МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электрические станции, сети и системы

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____
Улбеткулов Е.К. к.т.н., доцент
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «17» 06 2016 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Регулирование напряжения в распределительных сетях ЮРЭС

Специальность 5В071800 Электроэнергетика

Выполнил (а) Макажанова У.Т. _____
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Тохтибакиев К.К к.т.н., доцент

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:
по экономической части:
Жалгасов А.Н. к.э.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «2» 06 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Байзакова Сая Мухтаровна старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «27» 05 2016 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Тергеусизова М.А
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «16» 06 2016 г.
(подпись)

Рецензент: Гл. спец. тех. пред. АО "АЖК" Сулеймен Д.Т
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____» _____ 20___ г.
(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Электроэнергетический
Специальность 5В071800 Электроэнергетика
Кафедра Электрические станции сети и системы

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Макажанова Ұлжан Тұлеуқаевна
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Регулирование напряжения в распределительных сетях ИРЭС

утверждена приказом ректора № 165 от «20» ноября 2015 г.
Срок сдачи законченной работы «30» мая 2016 г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

1. Карта схема электрических сетей ИРЭС АО АЖК
2. Баланс мощности и энергии на 2015 год
3. Существующие схемы сети ИРЭС
4. Параметры электрооборудании подстанции ИРЭС
5. Справочник по проектирование электрических сети

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1. Обзор способов и средств регулирование напряжении ИРЭС
2. Подготовка расчетной схемы замещения ИРЭС для расчета режимов
3. Результаты расчетов режимов для выбора регулирование напряжение для различных режимов ИРЭС.
4. Экономический раздел дипломного проекта
5. Раздел безопасности жизнедеятельности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Карта схема
2. Существующие схемы электрических соединений ИРЭС
3. Средство регулирование напряжение ИРЭС.
4. Параметры расчетной схемы замещения электрических сети ИРЭС.
5. Результаты расчетов по регулирование напряжение режима зимнего времени.
6. Результаты расчетов по регулирование напряжение режима летнего времени.
7. Минимизация потерь при регулирование напряжение
8. Раздел БЖД
9. Раздел экономической части дипломного проекта.

Рекомендуемая основная литература

1. Рокотян С. С., Шапиро И. М. „Справочник по проектированию электроэнергетических систем" Москва, 1985 г.
2. С. Е. Соколов „Регулирование реактивной мощности и напряжения в электрических сетях „ Алма-Ата, 1991г.
3. Идельчик В. И. „Электрические системы и сети" Энергоатомиздат, 1989г.
4. В. А. Веников „Электрические системы и сети" Энергоатомиздат 1998г.
5. Арзамасцев „Оптимизация режима в энергосистемах"
6. Л. А. Солдаткина „Электрические системы и сети" Энергия; 1975г.
7. Аберсон М. А. „Оптимизация регулирования напряжения" Москва Энергия, 1975 г.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Байдакова С. М	27.05.16г	
Экономи. часть	Жакупов. А.А.	2.06.16г.	

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Средства и способы регулирования напряжения в электрических сетей	29.01.16г	Выполнено
2.	Составление расчетной схемы ИРЭС для расчетов установившихся режимов при регулировании напряжение	04.03.16г	Выполнено
3.	Регулирование напряжения в ИРЭС с целью достижения допустимых уровней и уменьшение потерь	05.04.16г	Выполнено
4.	Охрана труда и безопасность жизнедеятельности на ПС 35кВ и выше.	08.05.16г	Выполнено
5.	Обоснование уровня необходимых затрат на содержание и эксплуатацию сетей на передачу электрической энергии	03.06.16г	Выполнено

Дата выдачи задания «10» 10 2015 г.

Заведующий кафедрой _____ Умбетжулов Е.В.,
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Тохтибакиев К.К
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Макажанова Ч.Т.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл дипломдық жобаның тақырыбы «Іле ауданындағы АЖК АҚ» электр тораптарындағы шығынды есептеу және төмендету. Дипломдық жобада мекеме туралы деректер келтірілді, 110/35 кВ электр тораптарының есептік схемалары құрастырылды, жүктеменің тәуліктік графиктері келтірілді, трансформациялау коэффициенті бойынша режімдер оңтайландырылды және таратушы желілердегі рективті қуатты өтемелеу жүргізілді. Дипломдық жобаның негізгі бағыттарын дәлелдейтін графикалық бөлімдер орындалған. Режимді оңтайландыру есептеулері «РАСТР» программсын қолдану арқылы жүргізілді.

Экономика бөлімінде шығынды азайту бойынша инвестициялық программа жобаланды. Мұнда ең тиімді шара БСК - ны орнату болды. Өмір тіршілік қауіпсіздік бөлімінде өрт қауіпсіздігі, жасанды жарықтану және электр тораптарындағы жарақаттарға сараптама сұрақтары қарастырылды.

Аннотация

В дипломной работе были приведены сведения о предприятии, составлены расчетные схемы электрических сетей 110/35 кВ, суточные графики нагрузок, расчеты по оптемизации режимов коэффициента трансформации и снижения реактивной мощности в распределительной сети. Выполнены графические части, подтверждающие основные направления дипломного проекта. Расчеты по оптимизации режима проведены с использованием программы РАСТР.

В разделе экономики разработана инвестиционная программа по снижению потерь, в которой в качестве наиболее эффективного мероприятия было принято установка (БСК). По «Безопасность жизнедеятельности» были расмотряны вопросы: пожарная безопасность, искуственное освещение и анализ травм в электрических сетях.

Annotation

In the research paper were given information about the company, made up of design schemes of electric networks of 110/35 kV , daily schedules loads, calculations optemizatsii modes ratio and reduce the reactive power in the distribution network . Submitted graphic part , confirming the main directions of the diploma project . Calculations on optimization mode performed using.

In the economy of the investment program is designed to reduce losses, which in the installation (BSC) was accepted as the most effective measures. According to the " Health and Safety " were rasmotryany questions: fire safety, natural light and analysis of injury in electrical networks .

Содержание

Введение 7
1 Средства и способы регулирования напряжения в электрических сетей 8
1.1 Основные требования к качеству электроэнергии и регулированию напряжения в электрических сетях 8
1.2 Источники реактивной мощности 10
1.3 Потребители реактивной мощности 12
1.4 Регулирование напряжения с помощью трансформаторов 13
1.5 Регулирование напряжения с помощью конденсаторной батареи 19
2 Составление расчетной схемы ИРЭС для расчетов установившихся режимов при регулирования напряжения 27
2.1 Основная информация о линиях электропередачи Илийского района (ИРЭС)АО АЖК 27
2.2 Характеристика схемы подстанций и структурной схемы электрического оборудования 34
2.3 Расчет основных характеристик суточных графиков нагрузок 36
2.4 Краткое описание расчетной части программы «RASTR» 40
3 Регулирования напряжения в ИРЭС с целью достижения допустимых уровней и уменьшение потерь 42
3.1 Регулирование напряжения в центре питания в режимах максимальной и минимальной нагрузки 42
3.2 Расчет и анализ потерь в ЛЭП напряжением 35 кВ и выше в режиме максимальных и минимальных нагрузок 43
3.3 Оптимизация режима по напряжению, по реактивной мощности и по коэффициенту трансформаций 48
4 Охрана труда и безопасность жизнедеятельности на ПС 35 кВ и выше 62
4.1 Анализ условий труда 62
4.2 Пожарная безопасность 62
4.3 Расчет искусственного освещения помещения диспетчерского пункта ОДЦ АРЭК 63
5 Обоснование уровня необходимых затрат на содержание и эксплуатацию сетей на передачу электрической энергии 74
5.1 Расчет тарифов за «вход» на услуги по передаче электрической энергии по сетям регионального и или местного уровней по классам напряжения в виде тарифа за «вход» 74
5.2 Расчет нормативов затрат на эксплуатацию и ремонт электросетевого оборудования 79
Заключение 83
Список литературы 84

Введение

В данной дипломной работе рассматриваются вопросы регулирования режима электрических сетей ИРЭС АО АЖК.

Исходными данными к выполнению дипломного проекта явились электрическая схема сети 110-35 кВ, графики сезонных нагрузок, установленная и располагаемая мощность станций, уровни нагрузок основных ПС, структура потерь электроэнергии за отчетный 2006 год.

В основной части дипломного проекта были проведены расчеты установившихся режимов для характерных суток летнего и зимнего сезонов с цепью определения максимальных и минимальных потерь электроэнергии, расчеты оптимизации по напряжению и реактивной мощности, приводятся основные сведения по электрическим сетям ИРЭС, структура потерь,структурно-балансовая модель электропотребления и расчеты технических потерь по данным 2005 года. Выполнены расчеты по определению технических потерь в электрических сетях. Расчеты по оптимизации режима проведены с использованием программы РАСТР. В разделе экономики выполнен расчет затрат на услуги по передачи электроэнергии от Капшагайской ГЭС. Экономический эффект определен на основе расчета суммарного дохода компании от экономии электроэнергии при снижении потерь .

На основе проведенных расчетов определяется эффективность регулирования напряжения с целью снижения потерь мощности и потерь электроэнергии в электрических сетях ИРЭС АО АЖК

1 Средства и способы регулирования напряжения в электрических сетей

1.1 Основные требования к качеству электроэнергии и регулированию напряжения в электрических сетях

Для электрических сетей следует предусматривать технические мероприятия по обеспечению качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 13109-97.

Устройства регулирования напряжения должны обеспечивать поддержание напряжения на шинах 3-20 кВ электростанций и подстанций, к которым присоединены распределительные сети, в пределах не ниже 105% номинального в период наибольших нагрузок и не выше 100% номинального в период наименьших нагрузок этих сетей. Отклонения от указанных уровней напряжения должны быть обоснованы.

При регулировании напряжения в электрических сетях должны быть обеспечены:

- соответствие показателей напряжения требованиям государственного стандарта;
- соответствие уровня напряжения значениям, допустимым для оборудования электрических станций и сетей с учетом допустимых эксплуатационных повышений напряжения промышленной частоты на электрооборудовании (в соответствии данными заводов-изготовителей и циркуляров);
- необходимый запас устойчивости энергосистем;
- минимум потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем.

Как напряжение влияет на работу электрической сети и надежность электроснабжения потребителя.

Напряжение — важнейший показатель режима электроэнергетической системы (ЭЭС), непосредственно влияющий на качество электрической энергии, надежность электроснабжения потребителей и экономичность работы ЭЭС.

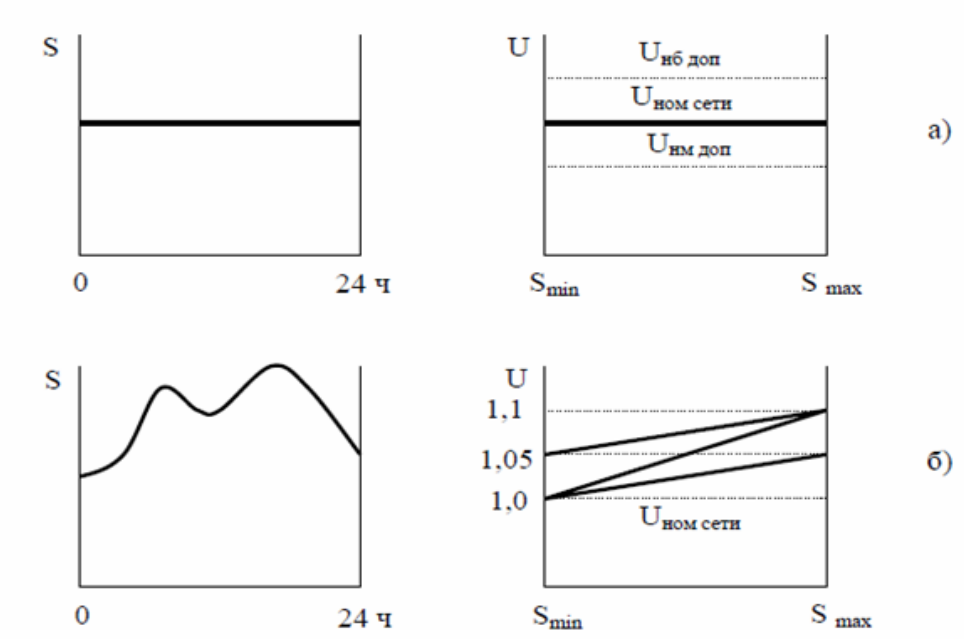
Требования к качеству электрической энергии состоят в том, что нормируется ряд показателей режима напряжений, характеризующих; его изменения при работе ЭЭС. С этими показателями можно подробно ознакомиться в ГОСТ 13109-97. Требования к качеству напряжения устанавливаются для точек сети, к которым присоединяются потребители электрической энергии. Нормы на показатели качества режима напряжений достаточно жесткие. Так, важным показателем является отклонение напряжения, определяемое (%) как разность между фактическим и номинальным напряжением, отнесенная к последнему. Учет надежности при

рассмотрении режима напряжений состоит в том, что как в нормальных, так и в особенности в аварийных и послеаварийных режимах напряжения в любых точках сети ЭЭС не должны превышать или быть ниже определенных допустимых значений.

Нагрузка большинства потребителей непрерывно изменяется в течение суток и года. Изменение нагрузки приводит к изменению потерь напряжения в сетях и отклонению напряжения у приемников электрической энергии. Изменение напряжения относительно номинального значения Uном оказывает неблагоприятное влияние на режимы работы, производительность и технико-экономические показатели всех элементов электрической системы.

Принципы и средства регулирования напряжения.

Режимы напряжения выбирают в зависимости от характера подключенных к сети потребителей и их удаленности от центра питания. Принципиально возможны два режима: а) стабилизация (рисунок 1.1 а); б) встречное регулирование (рисунок 1.1 б);



а) стабилизация; б) встречное регулирование.

Рисунок 1.1. Режимы регулирования напряжения:

Стабилизацию напряжения применяют, когда к центру питания подключены промышленные предприятия с 3-х сменным характером работы, имеющие ровный график нагрузки, Тм ≥ 5500-6000ч. Закон встречного регулирования применяют для смешанной нагрузки, коммунально-бытовой и 1-2-х сменных предприятий, Тм< 5500ч, причем, чем меньше Тм, тем более глубокое требуется регулирование. Для поддержания необходимого режима

напряжения в электрических системах используются следующие принципы регулирования напряжения:

- централизованное регулирование, когда воздействие оказывается на большое количество узлов сети. Такое регулирование осуществляется генераторами и трансформаторами электростанций, трансформаторами крупных системных и районных подстанций, синхронными компенсаторами;
- местное регулирование используется в связи с тем, что централизованного регулирования оказывается недостаточно для поддержания напряжения в требуемом диапазоне во всех узлах. Такое регулирование осуществляется трансформаторами понижающих подстанций и батареями статических конденсаторов;
- смешанное регулирование, использующее оба принципа.

1.2 Источники реактивной мощности

Генераторы электростанций являются основными источниками реактивной мощности. Номинальный коэффициент мощности генераторов, равный отношению активной мощности генератора $P_г$ к его полной мощности $S_г(\cos j_г=P_г/S_г)$, составляет 0,85 - 0,9, и, означает, выработка реактивной мощности генераторами не может превосходить 0,5 - 0,6 генерируемой ими активной мощности. Это значит, что генераторы электростанций не могут обеспечить всей потребности в реактивной мощности. Потому в ЭЭС обширно используются компенсирующие устройства. К ним относятся:

- конденсаторные батареи (КБ), применяемые в основном на напряжении 0,22—10 кВ. Будучи установленными в узлах перегрузки, они разрешают отчасти разгрузить электрические сети от передачи по ним реактивной мощности;
- синхронные компенсаторы (СК) — синхронные машинки, работающие без перегрузки на валу, т.е. в режиме холостого хода. Синхронные компенсаторы выпускаются сравнимо большой мощности (50 - 320 МВ·А) и инсталлируются, обычно, на районных подстанциях, где график перегрузки изменяется в широких пределах, в связи с чем значительно меняется баланс реактивной мощности. Обычно, это подстанции напряжением 330 - 500 кВ и выше, где СК инсталлируются на шинах низшего напряжения (10 - 20 кВ). Синхронный компенсатор быть может обеспечен устройством автоматического регулирования возбуждения, и при понижении напряжения он автоматом будет увеличивать выработку реактивной мощности, тем самым стабилизируя напряжение;
- статические тиристорные компенсаторы (СТК) состоят из параллельно включенных управляемых реакторов и КБ, которые подключаются к сети высочайшего напряжения через трансформатор. Для регулирования реактивной мощности употребляются тиристоры. Такое сочетание реакторов и КБ дозволяет применять СТК как для генерации (при преобладании емкостного элемента), так и для употребления реактивной мощности (при

преобладании индуктивного элемента). Статические тиристорные компенсаторы выпускаются большой номинальной мощности и инсталлируются на промежных и конечных подстанциях массивных электропередач, также в больших узлах перегрузки для стабилизации режима сети при резкопеременном нраве перегрузки. Внедрение СТК в питающих сетях дозволяет: стабилизировать напряжение в месте подключения СТК; уменьшить утраты активной мощности в электропередаче; прирастить пропускную способность полосы и тем самым устранить необходимость сооружения новейшей полосы; улучшить условия регулирования напряжения; демпфировать колебания мощности и напряжения;

- шунтирующие реакторы (ШР) употребляются для употребления излишней реактивной мощности в ЭЭС и ввода напряжений в допустимую область. Реакторы полностью необходимы при наличии в ЭЭС протяженных воздушных линий сверхвысокого напряжения, которые, как указывалось выше, генерируют реактивную мощность, вследствие чего же может быть увеличение напряжений на элементах ЭЭС сверх допустимых значений. Инсталлируются реакторы на конечных и промежных подстанциях длинноватых линий электропередач, их включение и отключение делается дежурным персоналом по распоряжению диспетчера ЭЭС. Внедрение регулируемых ШР дозволяет выполнить стабилизацию напряжения в точке подключения реактора.

При нормальных рабочих условиях все потребители электрической энергии, чей режим сопровождается постоянным возникновением электромагнитных полей (электродвигатели, оборудование сварки, люминесцентные лампы и многое др.) нагружают сеть как активной, так и реактивной составляющими полной потребляемой мощности. Эта реактивная составляющая мощности (далее реактивная мощность) необходима для работы оборудования содержащего значительные индуктивности и в то же время может быть рассмотрена как нежелательная дополнительная нагрузка на сеть.

При значительном потреблении реактивной мощности напряжение в сети понижается. В дефицитных по активной мощности энергосистемах уровень напряжения, как правило, ниже номинального. Недостаточная для выполнения баланса активная мощность передается в такие системы из соседних энергосистем, в которых имеется избыток генерируемой мощности. Обычно энергосистемы дефицитные по активной мощности, дефицитны и по реактивной мощности. Однако недостающую реактивную мощность эффективнее не передавать из соседних энергосистем, а генерировать в компенсирующих устройствах, установленных в данной энергосистеме. В отличие от активной мощности реактивная мощность может генерироваться не только генераторами, но и компенсирующими устройствами – конденсаторами, синхронными компенсаторами или статическими источниками реактивной мощности, которые можно установить на подстанциях электрической сети.

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является немаловажным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения и снижения нагрузок на электросеть. По оценкам отечественных и ведущих зарубежных специалистов, доля энергоресурсов, и в частности электроэнергии занимает значительную величину в себестоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы со всей серьезностью подойти к анализу и аудиту энергопотребления предприятия, выработке методики и поиску средств для компенсации реактивной мощности.

1.3 Потребители реактивной мощности

Реактивная мощность-мощность, которую источник переменного тока в течение одной четверти периода отдаёт во внешнюю цепь, обладающую реактивным сопротивлением, а в течение другой четверти периода получает её обратно. Характеризует энергию, не потребляемую во внешней цепи, а колеблющуюся между внешней цепью и источником, т.е. ёмкостную и индуктивную энергию, временно накапливаемую, а затем отдаваемую источнику.

Выражается произведением напряжения на зажимах данной цепи на реактивную составляющую тока в ней. Если реактивная составляющая тока больше активной составляющей, то и реактивная мощность будет больше фактически потребляемой в цепи мощности. Рассмотрим наиболее тщательно составляющие баланса реактивной мощности в ЭЭС. В уравнении баланса к мощности генераторов электростанций обязана быть добавлена реактивная мощность компенсирующих устройств SQКУ, также реактивная мощность, генерируемая емкостью высоковольтных линий электропередачи SQC

Потребители реактивной мощности. Каждый потребитель электроэнергии характеризуется потребляемой активной мощностью P, преобразуемой механизмами и устройствами в остальные виды энергии (механическую, тепловую, световую и др.). Потребление реактивной мощности Q перегрузкой определяется коэффициентом мощности tg j = Q/P. Основными потребителями реактивной мощности являются асинхронные движки (tg j=0,75 - 1,3), индукционные печи (tgj = 1 - 2,7), вентильные преобразователи (tg j = 0,75—1,2), сварочные агрегаты (tg j=1,5 - 2,7) и т.д. Промышленные компании — это главные потребители реактивной мощности, и доля асинхронной перегрузки в потребляемой ими реактивной мощности добивается 60 - 70 %. В городских электрических сетях потребление реактивной мощности меньше. Реактивная перегрузка квартир зависит от насыщенности электробытовой техникой и типа плит для приготовления еды. В часы вечернего максимума перегрузки для квартир с газовыми плитами tg j=0,5, для квартир с электроплитами tgj=0,35. Силовая перегрузка общедомовых электроприемников (лифты, насосы, вентиляция и т. п.) увеличивает потребление реактивной мощности на вводе в дом, потому что

для привода этих электроприемников употребляются асинхронные электродвигатели.

Утраты реактивной мощности. Основная часть утрат реактивной мощности приходится на утраты в трансформаторах и воздушных линиях (ВЛ) электрической сети. Так, утраты реактивной мощности в трансформаторе составляют 10—12 % передаваемой полной мощности. При передаче электроэнергии от электростанции до электро приемников происходит более 4 трансформаций, и потому эти утраты могут достигать приблизительно 50 % полной мощности электро приемников. Утраты реактивной мощности в ВЛ зависят от длины полосы и протекающего по ней тока. Передаваемая по полосы мощность быть может оценена по пропускной возможности полосы, которая, в свою очередь, может характеризоваться натуральной мощностью $P_{нат}$. При передаче по ВЛ натуральной мощности утраты реактивной мощности равны реактивной мощности QC, генерируемой линией. Величина $P_{нат}$ слабо зависит от сечения проводов, определяется волновым сопротивлением полосы и в среднем равна: для ВЛ 110 кВ — 30 МВт, 220 кВ - 135 МВт, 500 кВ — 900 МВт.

Зарядная мощность линий. Емкостная проводимость ВЛ учитывается при напряжениях 110 кВ и выше. Зарядная мощность полосы QC зависит от номинального напряжения и ее длины. К примеру, генерация реактивной мощности в полосы длиной 100 км составляет: при напряжении 110 кВ — 3,5 Мвар, 220 кВ - 14 Мвар, 500 кВ - 90 Мвар. Для средних длин линий, соответствующих для каждого номинального напряжения, зарядная мощность составляет от 6 до 30 % натуральной мощности полосы, повышаясь с увеличением напряжения ВЛ.

1.4 Регулирование напряжения с помощью трансформаторов

Трансформаторы, применяемые в энергосистемах, можно условно разделить на четыре группы.

1. Трансформаторы без регулирования под нагрузкой (переключаемые без возбуждения - ПБВ) в настоящее время изготовляют с основным и четырьмя дополнительными ответвлениями. Основное ответвление имеет напряжение, равное номинальному напряжению сети, к которой присоединяется трансформатор. Коэффициент трансформации трансформатора на основном ответвлении называется номинальным. При использовании четырех дополнительных ответвлений коэффициент трансформации соответственно отличается от номинального на +5, +2,5, -2,5 и -5 %. Кроме этого существуют трансформаторы с переключающим устройством барабанного типа с шестью ответвлениями в середине обмотки, также позволяющие повышать или понижать напряжение на 2,5 или 5 %.

Ранее изготовлялись трансформаторы с ПБВ с двумя дополнительными ответвлениями ±5 %. Чтобы переключить регулировочное ответвление в трансформаторе с ПБВ, требуется отключить его от сети. Такие переключения

производятся редко, только при сезонном изменении нагрузки. Поэтому в режиме наибольших и наименьших нагрузок в течение суток трансформатор с ПБВ работает на одном регулировочном ответвлении. Такие трансформаторы не позволяют обеспечить требования закона встречного регулирования.

2. Трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (трансформаторы с РПН) отличаются от трансформаторов с ПБВ наличием специального переключающего устройства, а также увеличенным числом ступеней регулировочных ответвлений и диапазоном регулирования. Например, для трансформаторов с номинальным напряжением основного ответвления высокого напряжения на 115 кВ предусматриваются диапазоны регулирования ±16% при 18 ступенях регулирования по 1,78 % каждая. С помощью РПН можно переключать ответвления и коэффициент трансформации под нагрузкой, а значит, обеспечить встречное регулирование в течение суток.

3. Линейные регуляторы, или последовательные трансформаторы, применяются для регулирования напряжения в отдельных линиях и в обмотке низкого напряжения автотрансформаторов. Они устанавливаются в уже существующих сетях, где расположены трансформаторы без регулирования под нагрузкой. Линейные регуляторы обычно изготовляются следующих серий: трехфазные мощностью 400-630 кВА с РПН ±10 %, числом ступеней ±6 на напряжение 6-35 кВ; трехфазные мощностью 1600-6300 кВА с РПН ±10 %, числом ступеней ±8 на 6-10 кВ; трехфазные мощностью 16-100 МВА с РПН ±15%, на 6,3-36,75 кВ; трехфазные мощностью 63 и 125МВА с РПН ±15 %, на 110 кВ.

4. Автотрансформаторы связи сетей различных номинальных напряжений выпускаются с РПН, встроенным на линейном конце обмотки среднего напряжения. Ранее для автотрансформаторов устройство РПН выполнялось встроенным в нейтраль. При этом изменение коэффициентов трансформации между обмотками высокого и среднего напряжений и обмотками высокого и низкого напряжений нельзя было производить независимо друг от друга и нельзя было осуществлять встречное регулирование одновременно на среднем и низшем напряжениях. В настоящее время с помощью РПН, встроенного на линейном конце обмотки среднего напряжения, можно изменять под нагрузкой коэффициент трансформации только для обмоток высокого и среднего напряжении. Если требуется одновременно изменить под нагрузкой коэффициент трансформации между обмотками высокого и низкого напряжений, то необходимо установить дополнительно линейный регулятор последовательно с обмоткой низкого напряжения автотрансформатора. Экономически такое решение оказывается более целесообразным, чем изготовление автотрансформаторов с двумя встроенными устройствами РПН. Для обеспечения требуемого КЭ в сети устройства РПН должны переключаться автоматически. К автоматическим регуляторам напряжения АРН трансформаторов предъявляются высокие требования. Они должны работать устойчиво, быть достаточно

чувствительными и в то же время не реагировать на кратковременные отклонения напряжения при коротких замыканиях, пусках мощных двигателей и т.п., обладать легко регулируемыми и стабильными температурными характеристиками и т.д.

Трансформаторы и автотрансформаторы с РПН и управляющие ими регуляторы напряжения характеризуются следующими величинами; значением напряжения ступени регулирования, зоной нечувствительности, точностью регулирования и выдержкой времени. Напряжением ступени регулирования Uст называется напряжение между двумя соседними ответвлениями, оно выражается в процентах от номинального напряжения обмотки, имеющей регулировочные ответвления. Например, в силовых трансформаторах напряжением 110 кВ с РПН ступень регулирования составляет 1,78 %.

Зоной нечувствительности называют некоторый диапазон изменения напряжения сети, в котором не происходит переключения ответвлений. Ширина зоны нечувствительности определяет точность регулирования и должна быть больше ступени регулирования на 0,2— 0,5 %. В противном случае это приведет к неустойчивой работе РПН. Выдержка времени в регуляторах РПН служит для предотвращения их срабатывания при кратковременных отклонениях напряжения от заданного значения. При увеличении выдержки времени значительно уменьшается общее количество переключений, однако снижается качество регулирования. При уменьшении выдержки времени точность регулирования повышается, но при этом увеличиваются частота переключений и их общее число, что ухудшает условия работы переключающего устройства. Опыт эксплуатации показывает, что переключающие устройства могут работать нормально в течение длительного времени, если число срабатываний не превышает 20—30 в течение суток.

Для обеспечения централизованного суточного регулирования напряжения на подстанциях, питающих распределительные сети, устанавливают трансформаторы с РПН, переключение ответвлений у которых производится без перерыва электроснабжения потребителей. Трансформаторы снабжаются аппаратурой автоматического регулирования — регуляторами напряжения, которые входят в комплектную поставку.

Встроенные регулировочные устройства в трансформаторах напряжением 35—330 кВ размещаются в нейтрали обмоток ВН. Диапазон регулирования напряжения ± 12% или ±16% номинального напряжения, ступенями по 1,5 или 1,78%. Трехобмоточные трансформаторы 110 и 220 кВ изготовляются с РПН только на обмотке ВН, а обмотка СН имеет ответвления для изменения коэффициента трансформации ±2 - 2,5%, переключаемые без возбуждения трансформатора (ПБВ

В качестве примера на рис. 10-1 приведена схема регулирования напряжения для трансформатора 110 кВ с диапазоном регулирования ±16% номинального напряжения.

Обмотка ВН трансформатора состоит из нерегулируемой части обмотки *Ab,* ступени грубой регулировки *bc* и регулировочной обмотки *de* из *9* ступеней. Каждая ступень регулировочной обмотки содержит *1,78%* витков общего числа витков обмотки *Ac*. Ступень грубого регулирования по числу витков равноценна регулировочной обмотке

В положении, изображенном на схеме (рис. 10-1), трансформатор работает на втором ответвлении, т е. с высоким коэффициентом трансформации: кроме нерегулируемой части обмотки, включены ступень грубой регулировки и 8 ступеней регулировочной обмотки. Избиратель нечетных ступеней находится в положении *1,* током не обтекается и готов к переходу на новую ступень. При получении команды снизить коэффициент трансформации (движение избирателей по стрелкам) избиратель начинает переход со ступени *1* на ступень *3*. Одновременно контактор получает импульс на подготовку к переключению с K_2 на K_1, аккумулируя энергию в пружине. После перехода избирателя в положение *3* пружина почти мгновенно (?0,15 с) перебрасывает контактор с K_2 на K_1. Ток нагрузки в процессе переключения контактора проходит через активное сопротивление R_2, а витки *2—3* регулируемой обмотки замыкаются через $R_2 + R_1$.

В новом положении избиратель четных ступеней без тока и готов к переходу на другую ступень, а контактор к переходу на K_2.

При дальнейшем снижении коэффициента трансформации процесс протекает аналогично описанному, пока избиратели не достигнут положений *9* и *10*. В этом состоянии трансформатор будет работать с основным коэффициентом трансформации (т.е. на ответвлении ± 0%). Затем в процессе дальнейшего снижения коэффициента трансформации избиратель нечетных ступеней с *9* перейдет в положение *1,* контактор в положение K_1, а переключатель замкнет контакты *11—12*. Ступень грубого регулирования из работы будет исключена, а вся регулировочная обмотка *de* будет подключена непосредственно к нерегулируемой части *Ab*. После этого следует новое прохождение каждого избирателя в означенном на рисунке направлении до полного исключения из работы витков регулировочной обмотки (ответвление - 16%).

При увеличении коэффициента трансформации переключения будут идти в обратном порядке.

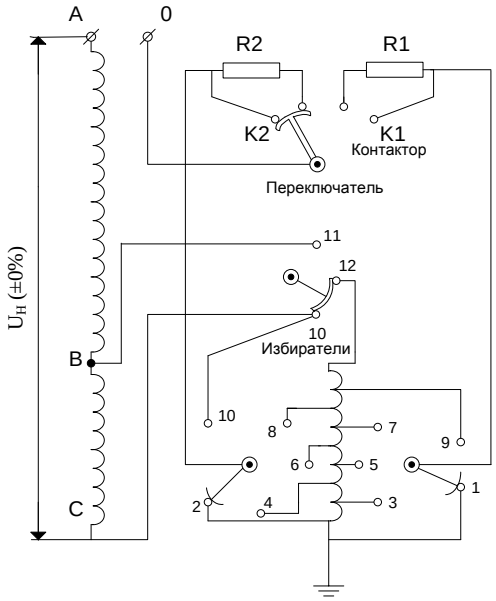
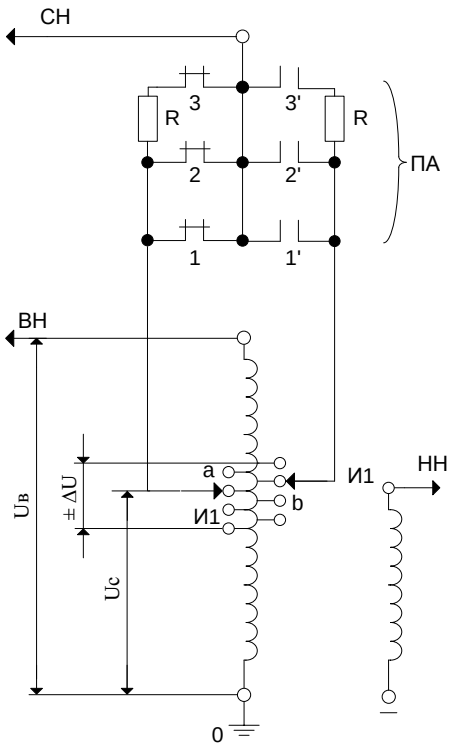


Рисунок 1.2 - Схема регулирования напряжения трансформатора с РПН (для одной фазы)

Трехобмоточные автотрансформаторы 220—330 кВ выпускаются со встроенными устройствами РПН для регулирования напряжения на стороне СН в линии. Диапазон регулирования ±12% ступенями не более 2% $\boldsymbol{U_H}$.
На рис. 10-2 приведена схема регулирования для одной фазы трехфазного автотрансформатора 330/110 кВ.

Переключение ответвлений происходит в следующем порядке. При переходе со ступени ***a*** на ступень ***b*** сначала размыкается рабочий контакт *1*, затем вспомогательный контакт *2* (ток нагрузки протекает через левое сопротивление ***R)***, далее замыкается дугогасительный контакт *3',* образуя мост (уравнительный ток протекает через оба сопротивления ***R*** и ***R')***, и вслед за этим размыкается дугогасительный контакт *3*, переводя ток нагрузки на правое плечо; после замыкаются последовательно контакты *2'* и /', чем и создается новое рабочее положение. Переход с ответвления ***b*** на ответвление ***a*** происходит в аналогичном порядке.



ПА —переключатель ответвлений с активными сопротивлениями *R, R'; И1, И2* - избиратели ступеней.

Рисунок 1.4. Схемы регулирования напряжения автотрансформаторов 220 - 330/110кВ

Изменение коэффициента трансформации между ВН и СН переключением ответвлений в линии СН не изменяет соотношения напряжений между обмотками ВН и НН. Поэтому автотрансформаторы такой конструкции имеют большие эксплуатационные преимущества перед автотрансформаторами с регулированием напряжения в нейтрали общей обмотки. В последнем случае, как известно, при переключении ответвлений происходит одновременное изменение числа витков обмоток ВН и СН, что приводит к изменению соотношения напряжений между обмотками ВН и НН: при увеличении напряжения на обмотке СН напряжение на обмотке НН уменьшается и, наоборот, при снижении напряжения обмотки СН напряжение обмотки НН увеличивается. Это приводит к невозможности присоединения нагрузки к обмотке НН без установки последовательно с ней линейного регулировочного автотрансформатора даже при совпадении графиков нагрузок на обмотках СН и НН.

Линейные регулировочные автотрансформаторы мощностью 16—100 МВ·А напряжением 6 - 35 кВ, а также 63 - 125 МВ-А 110 кВ предназначаются для установки последовательно с нерегулируемыми обмотками трансформаторов, а также непосредственно в линиях электропередачи.

На рис. 10-3 дана схема одной фазы линейного трехфазного регулировочного автотрансформатора 10 - 35 кВ типа ЛТДН с

реверсированием регулировочной обмотки. Диапазон регулирования линейных автотрансформаторов ±15% U_H.

От регулировочной автотрансформаторной обмотки *АТ* через Избиратели ступеней $И_1$ и $И_2$ питается обмотка возбуждения *В* последовательного трансформатора *ПТр*. В последовательной обмотке этого трансформатора, включенной в рассечку линии, наводится добавочная э д с , величина которой зависит от положения избирателей на регулировочной обмотке, а направление - от положения переключателя ее реверсирования *ПР*.

В положении, данном на рис. 10-3, отрегулированное напряжение выше подведенного. Ток, питающий обмотку возбуждения последовательного трансформатора, проходит через ветви реактора ***Р*** *в* противоположных направлениях, вследствие чего результирующий магнитный потока реакторе очень мал и его сопротивление незначительно.

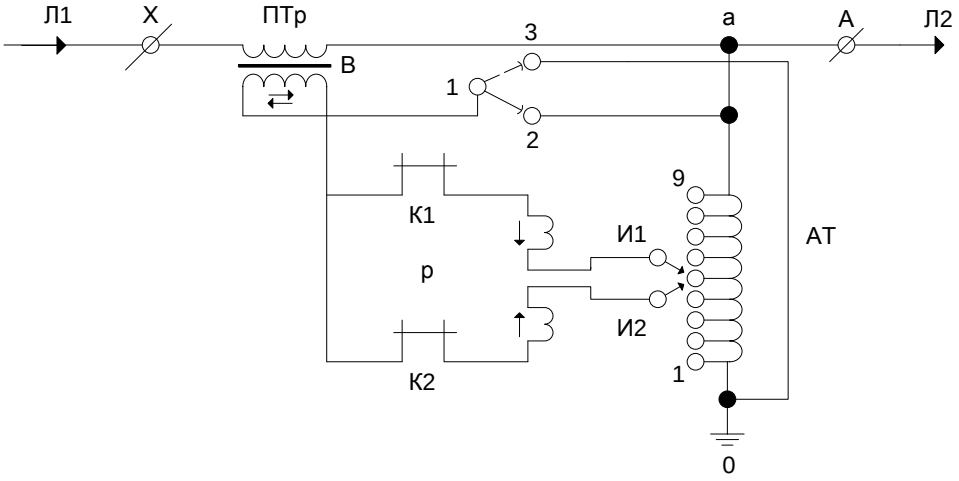


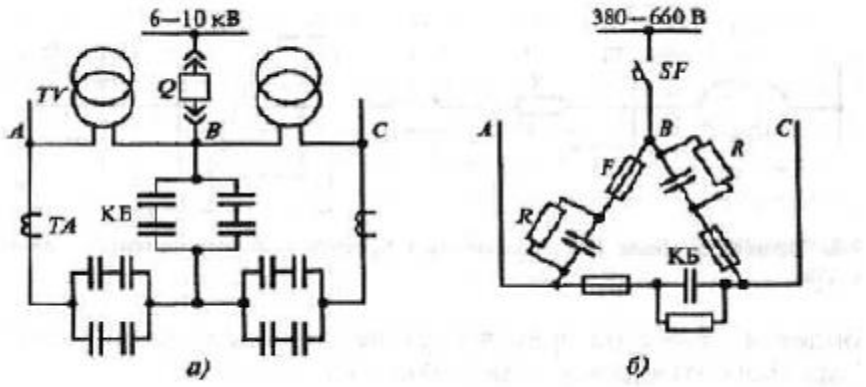
Рисунок 1.3 - Схема одной фазы линейного регулировочного автотрансформатора типа ЛТДН

При снижении напряжения в линии контактор $К_1$ кратковременно прерывает цепь избирателя $И_1$ и последний переходит на одну ступень в направлении контакта *9*. Вслед за этим аналогично происходит переход избирателя $И_2$ на тот же контакт. В процессе перехода избирателей обмотка возбуждения питается через одну ветвь реактора *Р*, а витки между соседними ступенями регулировочной обмотки замыкаются через последовательно включенные обе ветви реактора *Р*.

1 5 Регулирование напряжения с помощью конденсаторной батареи

Конденсаторная батарея является простым и надежным статическим устройством. Конденсаторные батареи собирают из отдельных конденсаторов различной мощности от 10 до 100 квар и напряжением от 230 В до 10,5 кВ. Конденсаторы обладают хорошей перегрузочной способностью по току (до 30 % номинального) и напряжению (до 10 % номинального).

Конденсаторной батареей называют группу конденсаторов, соединенных между собой параллельно и (или) последовательно. Конденсаторная батарея, оборудованная коммутационной аппаратурой, средствами зашиты и управления, образует конденсаторную установку (КУ), принципиальная схема которой показана на рисунке 1.4.



а - для сети напряжением 6 - 10 кВ, б - для сети напряжением 380 В

Рисунок 1.4 - Принципиальная схема одной трехфазной секции конденсаторной установки

Мощность QКБ, генерируемая КБ при ее заданной емкости С, пропорциональна квадрату приложенного напряжения и его частоте QКБ=U2ωС, Нерегулируемые КБ имеют отрицательный регулирующий эффект. Это значит, что мощность КБ снижается при уменьшении приложенного напряжения. Поэтому нерегулируемая КБ не может применяться для регулирования напряжения в схемах с поперечной компенсацией реактивной мощности (рис. 1.3). Этот недостаток преодолевают формированием КБ из нескольких секций, каждая из которых, управляемая регулятором напряжения и (или) реактивной мощности, подключается к сети через свой выключатель, наращивая таким образом емкость батареи. Это позволяет увеличить суммарную мощность КБ при снижении напряжения и поддержать баланс реактивной мощности в узле сети, а следовательно, и напряжение.

В схемах с продольной компенсацией (рисунок 1.4.) мощность КБ изменяется пропорционально квадрату протекающего через нее тока QКБ=I2/ωС. Такая КБ в устройствах продольной компенсации (УПК) включается в рассечку (последовательно) воздушной линии и увеличивает реактивную мощность при увеличении нагрузочного тока линии.

Емкости разделительных и блокировочного конденсаторов выбираются исходя из желаемого частотного диапазона микшера. Чем выше эти емкости, тем шире оказывается этот диапазон (происходит увеличение за счет охвата все более низких частот). На практике всегда приходится руководствоваться неким разумным пределом, что мы и делаем.

Количество входов микшера не может быть бесконечным. С их увеличением растут требования к динамическому диапазону усилительного звена. В нашем случае разумным будет ограничиться числом пять, да и вряд ли может потребоваться смешивать большее количество сигналов. Точные значения сопротивлений входного смесителя $R1,...R5$ зависят от желаемого закона смешивания сигналов и их уровня. На практике лучше всего использовать подстроечные или переменные резисторы, причем таких типов, которые обеспечивают наименьший уровень низкочастотных шумов в процессе регулировки.

Окончательные номиналы всех элементов приведены на принципиальной схеме, представленной выше на рис. 6.3.

Конструктивное исполнение простого низкочастотного устройства (такого, как наш микшер) может быть самым разнообразным и во многом определяется сферой применения и типоразмерами используемых компонентов. Никаких трудностей при изготовлении подобных устройств возникать не должно, поэтому здесь мы даже не станем и приводить никаких конкретных примеров конструктивного исполнения.

Что же касается настройки, то и она в данном случае вполне тривиальна и сводится к установке выбранного токового режима транзистора VT1,что достигается при помощи подбора сопротивления $R7$. Для удобства можно установить на его место подстроечный резистор с сопротивлением 470 Ом или 510 Ом.

Рассмотрим довольно распространенную ситуацию, когда необходимо улучшить качество телевизионного приема в диапазоне ДМВ.

Пусть у нас имеется отдельная антенна дециметрового диапазона, установленная на довольно значительном расстоянии от телевизора вне помещения. Качество приема телевизионных станций в данном диапазоне (450...800 МГц) нас не удовлетворяет и мы хотим его улучшить (заметим, что эти станции все-таки принимаются, хотя и плохо). Вещание в дециметровом диапазоне происходит из той же точки, откуда мы с приемлемым качеством принимаем станции метрового диапазона. Менять местоположение и конструкцию антенны мы не хотим.

Во-первых, проанализируем проблему несколько подробнее и для начала попытаемся выяснить основные причины плохого приема сигналов в диапазоне ДМВ, тем более что та же телебашня вещает и в диапазоне МВ, качество сигнала в котором нас вполне устраивает.

Первое, что приходит в голову, — это низкая эффективность применяемой нами ДМВ-антенны. Однако на практике телевизионные антенны ДМВ обычно имеют гораздо более сложную конструкцию и более эффективны, чем типичные бытовые антенны метрового диапазона. Причина в другом — энергия излучения телевизионных передатчиков, используемых на телецентре, очень часто ниже в диапазоне ДМВ, чем в диапазоне МВ (это обусловлено, в основном, не столько техническими, сколько

организационными факторами: менее "крутым" каналам — менее "крутые" частоты и технику), а кроме этого, и затухание дециметровых волн в атмосфере гораздо выше. В результате энергия полезного сигнала, принятая антенной и переданная в кабель, очень мала. Дополнительную лепту вносит сам кабель, соединяющий антенну с телевизором. Ведь с увеличением частоты увеличивается и удельное затухание сигнала в кабеле. Так что до телевизора доходит лишь слабенький, забитый шумами сигнал, который уже не может обеспечить надлежащее качество. Выходом из положения является применение антенного усилителя, который повысит мощность полезного сигнала, поступающего в телевизор.

Заметим, что определенное влияние на качество приема имеет чувствительность самого телевизора. Современные телевизоры имеют очень высокую чувствительность, и мы будем исходить из того, что раз уж сигнал не может быть с надлежащим качеством воспроизведен самим телевизором, то и все наши меры по его дополнительному усилению непосредственно перед передачей в телевизор не имеют смысла. Так что усиливать сигнал надо сразу после приема его антенной — до того, как он будет существенно ослаблен из-за затухания в длинном кабеле. А это означает, что наш усилитель будет находиться там же, где и антенна, — вне помещения, подвергаясь при этом самым разнообразным природным воздействиям. Все это нам предстоит учесть при проектировании.

Перво-на-перво, нам следует определиться с тем, какое конкретно усиление мы хотим получить от нашего усилителя. Во многом это зависит от длины и типа примененного кабеля, а также от чувствительности телевизора. В большинстве случаев уровень в 10...15 дБ можно считать вполне приемлемым, так что будем стремиться именно к нему.

Теперь наконец мы можем приступить и к построению блок-схемы нашего усилителя. Начнем со входного узла.

Итак, перед нами стоит задача усилить очень слабый высокочастотный сигнал, внеся в него при этом минимум искажений (шумов). По всей видимости, с этой задачей лучше всего справится один из рассмотренных нами усилителей с ОБ. Например, усилитель с внутрикаскадной трансформаторной ООС, изображенный на рис. 5.23. Посмотрим, какие у нас могут возникнуть проблемы.

Усилители с ОБ характеризуются относительно низким по сравнению с каскадами с ОЭ динамическим диапазоном и повышенной склонностью к самовозбуждению. В нашем случае узкий динамический диапазон может стать некоторой преградой. Дело в том, что мощные сигналы, излучаемые телецентром в метровом диапазоне волн, могут попасть на вход усилителя и возбудить его. Чтобы предотвратить это, нам придется включить на входе первого каскада фильтр высоких частот, который будет подавлять нежелательные сигналы и обеспечит устойчивую работу усилителя. Дополнительной функцией такого фильтра станет согласование импедансов между антенным кабелем и входом первого усилительного звена. Все

остальные части усилителя мы будем стараться выполнить максимально широкополосными. Это необходимо, во-первых, потому что диапазон ДМВ достаточно широк, а во-вторых, для обеспечения минимального уровня искажений усиливаемого сигнала.

После прохождения первого каскада усиления уровень полезного сигнала уже может оказаться довольно высоким (однако, учитывая наличие ФВЧ, усиление на 10...15 дБ достигнуто не будет). Это означает, что строить последующий каскад также по схеме с ОБ несколько рискованно - придется опять решать проблему динамического диапазона. Поэтому во втором каскаде усилителя применим решение с ОЭ. Например, схему с трансформаторной ООС, представленную на рис. 5.11. Мы опять используем решение с широкополосным трансформатором, поскольку именно оно в данном случае наилучшим образом отвечает нашим требованиям.

Двух каскадов усиления уже достаточно для достижения поставленной задачи (10...15 дБ), и мы можем перейти к следующему вопросу - организации питания и способам задания исходных рабочих точек всех элементов усилителя.

Здесь пришла пора снова вспомнить об условиях, в которых будет эксплуатироваться наш усилитель. А это, во-первых, широкий диапазон температур окружающей среды (-30...+40°С), а во-вторых, значительная удаленность от источника питания (если только мы не станем использовать батарейку, закрепляемую рядом с усилителем). Широкий температурный диапазон означает, что мы должны принять особые меры по стабилизации исходных рабочих точек для всех транзисторов усилителя, а удаленность от источника питания - что из-за длинного шлейфа питания, возможно, проходящего вблизи разнообразных источников наводок, напряжение, подаваемое к усилителю, не будет стабильным. Анализируя условия работы первого каскада, мы неизбежно придем к заключению, что для него высокая стабильность режима по постоянному току - это одно из важнейших требований, к соблюдению которого мы должны приложить максимум усилий. Действительно, от текущего режима работы транзистора по постоянному току довольно сильно зависят такие показатели, как: коэффициент усиления, коэффициент шума, динамический диапазон. А мы никак не можем допустить сколь-либо значительного дрейфа этих параметров (по крайней мере, во входном каскаде нашего усилителя). Таким образом, нам необходимо принять особые меры по обеспечению стабильности исходной рабочей точки в первом каскаде. Требуемую стабильность нельзя обеспечить с помощью таких простых цепей смещения, как подробно рассмотренные нами в главе 3, - мы должны использовать более сложное решение, например один из вариантов с источником тока, показанный на рис. 3.40. При рассмотрении высокочастотных усилителей с ОБ мы уже приводили пример с источником тока (рис. 5.31), им и воспользуемся.

Требования к стабильности исходной рабочей точки во втором каскаде оказываются не столь жесткими, и мы можем слегка "расслабиться" и

применить, например, схему эмиттерно-базовой стабилизации с ООС по току и напряжению с дополнительным термокомпенсирующим диодом (рис. 3.18 и рис. 3.23).

Поскольку напряжение питания может оказаться нестабильным, нам придется встроить в усилитель простейший стабилизатор напряжения, постаравшись и в нем обеспечить высокую температурную устойчивость.

Итак, мы определились с деталями исполнения обоих усилительных звеньев и системы питания. Осталось только пару слов сказать о входном фильтре. Он может быть достаточно простым, поскольку у нас нет надобности в особенно высокой избирательности. На практике удобнее всего оказывается обычный Т-образный фильтр 3-го порядка (два конденсатора и одна индуктивность), вносящий относительно небольшое затухание в полезный сигнал.

В нашем случае выбор элементной базы в первую очередь состоит в выборе двух маломощных высокочастотных транзисторов, которые мы будем использовать в основных усилительных звеньях. Основное требование к этим транзисторам - высокая граничная частота коэффициента передачи тока базы (если мы хотим обеспечить равномерную АЧХ во всем диапазоне 450...800 МГц и иметь минимум проблем при настройке усилителя, то нам необходимо выбирать транзисторы с граничной частотой порядка 4.,.8 ГГц).

С точки зрения соотношения цена/качество вполне приемлемыми оказываются приборы типа КТ3101А-2. В выбранном частотном диапазоне они обеспечивают коэффициент шума на уровне менее 2 дБ, а граничная частота коэффициента передачи тока составляет порядка 4,5 ГГц. Конечно, мы можем использовать и более высокочастотные транзисторы, например КТ3 115 или КТ3 132 ($f_{ГР} = 7...7.5$ ГГц), однако это в большинстве случаев уже не является оправданным с ценовой точки зрения.

Из представленных данных видно, что оптимальное (по соотношению сигнал/шум) значение коэффициента усиления по мощности достигается при $U_{КБ_0} = 2$ В, $I_{Э_0} = 2$ мА. Было бы логичным выбрать именно эти значения для режима работы транзистора первого каскада. Однако вспомним о том, что нам необходимо иметь относительно широкий динамический диапазон. Поэтому несколько изменим эти показатели в сторону увеличения и выберем для первого каскада: $U_{КБ_0} = 4$ В, $I_{Э_0} = I_{К_0} = 4$ мА. Динамический диапазон второго каскада должен быть еще шире, и, хотя здесь мы уже применяем схему с ОЭ, нам придется еще раз увеличить все электрические показатели по постоянному току. Для второго каскада выберем: $U_{КБ_0} = 6$ В, $I_{Э_0} = I_{К_0} = 10$ мА. Теперь нам осталось определиться с элементами в источнике тока и стабилизаторе напряжения. Это низкочастотные узлы, в которых нет смысла применять какие-то особенные транзисторы. Поэтому договоримся использовать широко распространенные приборы КТ3102 (когда нам нужен

транзистор п-р-п-типа) или КТ3107 (когда нам нужен транзистор р-п-р-типа). Такой же принцип (дешевизна и широкое распространение) будем использовать и при выборе всех остальных элементов устройства (диоды, стабилитроны и т.п.).

В качестве внешнего источника питания применим простейший маломощный сетевой источник бытового назначения (от калькулятора, телефона, плейера и т.п.) с выходным напряжением 12 В. Для подачи питающего напряжения в усилитель можно было бы использовать сам антенный кабель. Но мы упростим себе жизнь, если предусмотрим отдельный шлейф для напряжения питания (не надо включать ряд согласующих элементов, увеличивающих к тому же потери сигнала).

Приняв во внимание все изложенные выше рассуждения, мы наконец можем построить полную принципиальную схему нашего усилителя. Она представлена на рис. 6.6.

Казалось бы, теперь пора перейти к следующему шагу проектирования - расчету номиналов элементов. Однако правильнее будет проанализировать полученную принципиальную схему на предмет оптимального построения согласующих цепей, расположенных на стыках отдельных звеньев. Ведь мы брали просто типовые схемные решения и не рассматривали вопросы правильного согласования их между собой.

Внимательное рассмотрение первого звена показывает, что резисторы $R3, R4$ выполняют схожие в чем-то функции, и мы можем слегка модифицировать схему, совместив

эти два резистора. При этом образуется дополнительный контур обратной связи по напряжению. В то же время для сохранения баланса в каскаде нам придется ввести дополнительный резистор в коллекторную цепь транзистора VT2 Итоговая схема модифицированного таким образом звена представлена на рис. 6.7.

Теперь обратимся к вопросу согласования импедансов в точке соединения первого и второго каскадов усилителя. Вспомним, что входное сопротивление усилителя с ОЭ, примененного во втором каскаде, довольно велико (> 1 кОм). В свою очередь, выходное сопротивление первого каскада с ОБ в рассматриваемом случае составляет десятки ом (~ 50 Ом). Для достижения Согласования мы можем прибегнуть к нескольким методам. Например, задав индуктивность дросселя L3 такой, чтобы в рабочем диапазоне частот его эквивалентное сопротивление приблизительно равнялось выходному сопротивлению первого каскада. Однако диапазон рабочих частот усилителя весьма широк и эквивалентные сопротивления 13 на краях этого диапазона окажутся сильно различающимися, так что достичь полного согласования будет нельзя. Самое простое в данном случае - заменить дроссель L3 на обыкновенный резистор, чье сопротивление не зависит от частоты и будет оставаться одинаковым при любом входном сигнале. Вместо L3 мы также можем использовать дополнительный согласующий трансформатор на входе второго каскада (аналогично рис. 5.27). И наконец,

наиболее радикальное решение - модификция трансформатора Тр1 с целью получения более высокого выходного импеданса1.

Нельзя назвать построенную нами схему идеальной. Однако вспомним, что при ее составлении мы опирались только на такие схемотехнические решения, работа которых нами подробно изучена в предыдущих главах настоящей книги. Тем не менее эта схема вполне работоспособна, и мы можем приступить к ее окончательному расчету.

Нет необходимости расписывать данный пункт слишком подробно. Тем более что для расчетов мы будем использовать компьютер, а интерес для нас представляют только окончательные результаты. Имеет смысл пояснить только некоторые базовые положения.

При расчете входного фильтра мы будем полагать частоту среза равной ~ 400 Мгц. Сама методика расчета подобных фильтров широко описана в литературе, и здесь мы ее излагать не станем.

Емкости блокировочных и фильтрующих конденсаторов будем выбирать достаточно большими (до разумного предела), так чтобы их эквивалентное сопротивление в рабочем диапазоне частот оказывалось очень малым (< 1 Ом)2.

В заключение следует сказать несколько слов об особенностях конструктивного исполнения трансформаторов и других индуктивностей, а также определить их намоточные данные. Сразу же отметим, что мы будем придерживаться именно такой конструкции, которая была подробно описана нами при рассмотрении свойств высокочастотных усилительных каскадов с трансформаторными обратными связями (разделы 5.2, 5.3). Тем не менее это не единственный и не самый оптимальный вариант исполнения широкополосных трансформаторов для того диапазона частот, в котором будет работать наш усилитель. Основной проблемой здесь является наличие ферритового сердечника. Из-за разнообразных технологических ограничений использование таких сердечников на частотах более 100...200 МГц приводит к значительному росту потерь в трансформаторах. Именно поэтому мы должны применять максимально высокочастотный феррит (7ВН, 20ВН или 30ВН). Практика показывает, что при хорошей настройке и качественной сборке более или менее приемлемое усиление на частотах до 500...600 Мгц можно получить и при применении сердечников из феррита 50ВН. Что же касается самих намоточных данных, то приводимые на рис. 6.8 значения следует рассматривать как ориентировочные. Настройка данного усилителя, собственно, и сводится к экспериментальному подбору количества витков в обмотках трансформаторов, плотности скручивания проводов в этих обмотках и, наконец, размещения этих обмоток на тороидальном сердечнике с целью получить максимальное усиление при отсутствии искажений. В трансформаторах можно использовать любой надежно изолированный медный провод диаметром 0,15...0,25 мм.

Катушка входного фильтра L1 бескорпусная, наматывается медным (желательно посеребренным) проводом диаметром 0,3...0,8 мм на оправке диаметром 6 мм. Количество витков - 6.

Дроссели 12,13 могут иметь различное конструктивное исполнение. Например, можно использовать обычные резисторы с высоким сопротивлением (~1 Мом), на которые наматывается тонким медным изолированным проводом 20...50 витков, а концы провода подпаиваются к выводам резистора.

Конструирование столь высочастотных устройств как рассматриваемый нами антенный усилитель сопряжено с рядом больших проблем. Это обусловлено тем, что на высоких частотах приходится учитывать множество паразитных эффектов и свойств применяемых компонентов. На практике это выражается в необходимости экранировать все, что можно, и минимизировать размеры всех элементов и соединительных проводников, через которые протекают высокочастотные сигналы. Говоря о любительском конструировании, заметим, что выбранный нами частотный диапазон (450...800 МГц) лежит вблизи того предела, где еще можно что-то сделать голыми руками (без применения специального дорогостоящего оборудования), и решаемые здесь проблемы, пожалуй, достаточно сложны даже для относительно опытных радиолюбителей, а тем более для новичков. Мы не станем особенно подробно расписывать процесс разработки печатной платы и критерии, которыми мы должны пользоваться, продумывая размещение компонентов друг относительно друга. Окончательный макет антенного усилителя показан на рис. 6.9. На рис. 6.10 отдельно приведен чертеж печатной платы (две стороны).

Прежде всего отметим, что печатная плата двухсторонняя. С той стороны, где располагаются компоненты, - это в основном экранирующий слой, соединяемый с землей схемы. К его поверхности припаиваются экранирующие перегородки из луженой жести, а также те выводы деталей, которые на схеме заведены на землю. На обратной стороне платы располагаются проводники, по которым не протекают высокочастотные сигналы, т.е. они относятся только к цепям смещения. Выводы всех деталей в высокочастотной части укорачиваются до минимума. При их пайке следует соблюдать максимальную осторожность, чтобы не вывести из строя перегревом. Перед изготовлением широкополосных трансформаторов следует учесть их расположение относительно других компонентов на плате и соответственным образом разместить на них обмотки

Настройку усилителя начинают с регулировки стабилизатора и установки заданных режимов работы транзисторов по постоянному току. Выходное напряжение стабилизатора на транзисторах VT3, VT4 в очень незначительных пределах может регулироваться резистором R7, в основном же оно зависит от напряжения стабилизации стабилитрона VD2. Применение указанного на схеме прибора Д814А обеспечивает выходное напряжение порядка 10 В. Если же его заменить, например на КС 168, то выходное

напряжение составит около 9 В. Для нашей схемы важно, чтобы это напряжение было стабильным, его же абсолютная величина может выбираться из соображений удобства в диапазоне 8... 15 В. При изменении указанного на схеме значения 10 В следует откорректировать номинал резистора R9 так, чтобы напряжение на конденсаторе С11 при заданном токовом режиме (20 мА) составляло 8 В. Напряжение, подаваемое от внешнего источника питания, должно быть выше выходного напряжения стабилизатора (10 В) не менее чем на 1,5...2 В. При установке режимов работы по постоянному току в транзисторах основных усилительных каскадов может потребоваться подбор номинала сопротивления R3. Все остальные регулировки осуществляются только подстроечными резисторами R1 и R12.

Дальнейшая настройка усилителя сводится к подбору параметров широкополосных трансформаторов. От их конструктивного исполнения зависят практически все характеристики схемы. Значение имеют не только общее количество витков и глубина обратной связи (задается коэффициентом трансформации), но и особенности скручивания проводников, а также размещение обмоток на сердечнике.

Практика показывает, что в трансформаторе Тр1 лучше вообще не скручивать проводники обмоток, а просто разместить их на сердечнике вплотную или на небольшом расстоянии друг от друга. Глубина обратной связи в первом каскаде также не должна быть слишком сильной. При возникновении самовозбуждения можно пропорционально увеличить количество витков во всех обмотках (относительно указанного на схеме) в 1,5...3 раза. В трансформаторе Тр2, наоборот, следует скручивать проводники как можно плотнее. Глубина обратной связи подбирается здесь исходя из условия сохранения устойчивости усилителя. Общее количество витков также может быть пропорционально увеличено. Параметры выходной обмотки для достижения хорошего согласования с нагрузкой требуют подбора (скорее всего придется уменьшать количество витков в ней). Настройку входного фильтра можно произвести непосредственно наблюдая качество телевизионного изображения.

Следует заметить, что разработанная нами схема не является оптимальной для выбранного частотного диапазона и получить от нее требуемое усиление на ДМВ может оказаться довольно трудной задачей. Основная проблема уже называлась выше – значительное затухание высокочастотных сигналов на широкополосных трансформаторах. В то же время ее нельзя назвать и совершенно бесполезной. При минимальной модификации или исключении входного фильтра наш усилитель без каких-либо дополнительных доработок может использоваться и в метровой части диапазона (50...400 МГц). В этом случае его настройка значительно упрощается, поскольку основным требованием остается только отсутствие самовозбуждения, а вполне приличное усиление обеспечивается даже при сильном рассогласовании.

В заключительном разделе настоящей главы мы отойдем от принципа подробного описания всего процесса разработки устройства и просто представим несколько примеров простых схем усилителей на биполярных транзисторах (или схем на базе таких усилителей), которые могут оказаться полезными на практике. Мы будем лишь кратко пояснять некоторые особенности функционирования этих схем и, по возможности, дадим всю информацию, необходимую для их практического повторения (номиналы элементов, намоточные данные катушек и т.д.).

Схема простого фазовращателя представлена на рис. 6.11. Его работа основана на важнейшем эффекте, который имеет место в усилителе с ОЭ, – инверсии сигнала, проходящего через усилитель. Имея в своем распоряжении два противоположных по фазе сигнала, один из которых снимается с коллектора, а другой – с эмиттера транзистора (как в усилителе с ОК), мы можем комбинировать их в различных пропорциях. Именно это и происходит в представленной схеме.

При заданных на рис. 6.11 номиналах резисторов коэффициент усиления каскада по напряжению равен единице, т.е. усиления не происходит. Поступающий на вход сигнал расщепляется на два идентичных и инверсных друг относительно друга сигнала, причем сигнал на эмиттере транзистора в точности повторяет входной сигнал. Обращаем внимание на то, что для обеспечения симметрии оба выхода усилительного звена должны нагружаться на одинаковые или очень большие импедансы.

RC-цепочка является простейшим схемотехническим решением, обеспечивающим получение сигнала, сдвинутого по фазе относительно входного. В общем случае выходной сигнал этой схемы не повторяет в точности входной сигнал. Основным условием здесь является синусоидальная форма сигнала. Т.е., если входной сигнал имеет форму синусоиды, то и сигнал на выходе будет синусоидальным. Фазовый сдвиг при этом будет определяться. положением движка потенциометра R5. Точные номиналы конденсатора C2 и резистора R5 зависят как от амплитуды входного сигнала, так и от его частоты. Причем и получаемый в схеме сдвиг фазы также будет колебаться при различных частотах входного сигнала.

В простейших усилителях звуковых частот в качестве регулятора громкости используются переменные резисторы, включаемые как делитель напряжения на входе или выходе каскадов предварительного усиления. Если регулятор включен на входе усилителя, то пропорционально коэффициенту деления уменьшается соотношение сигнал/шум, а если на выходе – уменьшается перегрузочная способность.

Высокие перегрузочная способность и отношение сигнал/шум в любом положении ручки регулятора громкости могут быть достигнуты двумя способами. Первый – использование сдвоенных переменных резисторов, управляемых одной ручкой, один из которых включается на входе, а другой – на выходе. Второй – включение регулятора громкости в цепь ООС усилителя.

Пример схемы предварительного УНЧ с регулятором громкости в цепи ООС представлен на рис. 6.12. Максимальный коэффициент усиления узла достигается при нижнем по схеме положении движка резистора R7 и равен 50. Входное и выходное сопротивления равны соответственно 50 и 4 кОм.

В состав этого приемника входит три усилительных звена: два высокочастотных и одно низкочастотное. Отсюда проистекает и общепринятое название такого приемника - 2-V-1-приемник, где Vсимволизирует детектор.

Все три усилительных каскада приемника идентичны - это усилители с общим эмиттером, в которых задание рабочей точки по постоянному току производится с помощью схемы с фиксированным током базы. В качестве нагрузки выходного каскада выступает высокоомный наушник (внутреннее сопротивление 1...2 кОм), включенный в коллекторную цепь.

Свойство усилителя с ОЭ – инвертировать проходящий через него сигнал, уже использованное нами в описанном выше фазовращателе (рис. 6.11), часто оказывается удобным и при решении других задач. Важнейшим фактором здесь является наличие двух противофазных сигналов на коллекторе и эмиттере транзистора. Например, мы можем использовать цепочку, связывающую коллектор и эмиттер транзистора в каскаде с ОЭ или с ОК, как цепочку ООС по напряжению (следует только обеспечить развязку по постоянному току). Именно так реализована ООС в схеме на рис. 6.12. Но это не единственное приложение описанного эффекта. Дело в том, что мы можем рассматривать сигнал, снимаемый с коллектора и эмиттера усилительного транзистора, как сигнал, определяемый разностью потенциалов между двумя этими точками. Очевидно, что по форме такой сигнал будет идентичен входному, а общий коэффициент усиления зависит от выбора номиналов элементов в схеме.

Описанный выше эффект демонстрирует простой способ преобразования источника сигнала к симметричному виду. Заметим, что данная задача обычно легко решается с помощью трансформаторов, однако применение трансформаторов усложняет настройку и сборку радиоэлектронных устройств и совершенно неприемлемо в интегральной схемотехнике. Таким образом, мы можем сократить количество индуктивных элементов в схеме, используя решение на базе усилительного каскада с ОЭ(ОК) с выходами с эмиттера и коллектора транзистора.

Стандартная схема такого смесителя предполагает наличие трансформаторов с обоих концов диодного моста. Роль этих трансформаторов в основном сводится к правильной фазировке подаваемых на диоды сигналов. Оказывается, что, имея симметричный (относительно земли) источник сигнала, мы можем отказаться от первого трансформатора. Данное решение довольно часто применяется в простых бытовых радиоприемниках.

В современной звукотехнике широкое распространение получили т.н. системы псевдоквадрафонического звучания. Все они основаны на одном принципе - преобразовании исходного двухканального стереосигнала к

четырехканальному псевдоквадрафоническому сигналу. Приставка псевдо появляется здесь из-за того, что получаемые четыре канала не являются совершенно независимыми, как должно быть в "чистой" квадрафонии. Тем не менее подобные системы позволяют получить впечатляющие объемные эффекты, благоприятно воспринимаемые слушателем.

Система звуковоспроизведения псевдоквадрафонического комплекса (как и квадрафонического) состоит из четырех акустических подсистем: двух фронтальных и двух тыловых. К фронтальным АС подводятся два канала исходного стереосигнала, а к тыловым – два дополнительных канала, получаемых из исходных путем определенного комбинирования и фазового сдвига. Существует довольно широкий ряд методик получения этих дополнительных сигналов, отличающихся, в основном, законами преобразования фазы. На практике хорошо себя зарекомендовали схемотехнические решения с т.н. дисперсионными фазовращателями. В них сдвиг фазы сигнала определенным образом зависит от его частоты, а общая АЧХ системы в то же время линейна.

На вход этой приставки подаются исходные сигналы правого и левого каналов (которые одновременно поступают на фронтальные АС), а с выхода снимаются сигналы для тыловых АС (естественно, перед подачей непосредственно на АС все эти сигналы должны сначала усиливаться в четырехканальном УМЗЧ).

Приставка состоит из двух идентичных частей, отвечающих за формирование правого и левого тыловых каналов. Входные фазовращатели (VT1, VT4) построены на базе усилительного каскада с ОК. Цепи R5, R6, R 7, R8, C2, C3, C4 и R21, R22, R23, R24, C8, C9, C10 обеспечивают требуемые фазовые и частотные характеристики, а также комбинируют исходные сигналы левого (Л) и правого (П) каналов таким образом, что: Птыл ≈ Пфронт - 0,7 Лфронт, Лтыл ≈ Лфронт - 0,7 Пфронт. Следующие звенья (VT2 VT5) также являются фазовращательными, они окончательно формируют фазовую характеристику (задают фазу выходного сигнала в тыловых каналах). Заметим, что по своему построению они совершенно идентичны описанному нами выше фазовращателю (рис. 6.11). Выходные каскады (VT3, VT6) представляют собой эмиттерные повторители. Они выполняют роль буферных усилителей, понижая выходное сопротивление и повышая нагрузочную способность приставки.

Большинство типовых усилительных каскадов на биполярных транзисторах обладает одним неприятным свойством: при включении напряжения питания они могут не сразу перейти в режим усиления. Это особенно характерно для низкочастотных усилителей и объясняется тем, что на начальный заряд переходных, блокировочных и фильтрующих емкостей требуется определенное время. Наиболее медлительными оказываются переходные емкости, которые блокируют вход усилительного каскада до тех пор, пока постоянное напряжение на них не превысит напряжение открывания транзистора. Поскольку начальный заряд переходных конденсаторов обычно

происходит через высоко омный входной делитель напряжения, данный процесс в низкочастотных усилителях (где переходные емкости достаточно велики) может занять несколько секунд.

Указанный недостаток в большинстве случаев не является существенным. Однако, если нам необходимо ускоренное включение каскада при подаче питания, проблему может решить схема, показанная на рис. 6.16. В ней при поступлении напряжения питания сразу же открывается транзистор VT1. Через него быстро заряжается переходной конденсатор C1. По достижении определенного постоянного напряжения на конденсаторе C1 транзистор VT1 закрывается (переходит в режим отсечки, т.е. в режим с высоким внутренним сопротивлением) и перестает оказывать влияние на работу усилительного звена на транзисторе VT2.Приведенная схема универсальна и может использоваться во всех каскадах.

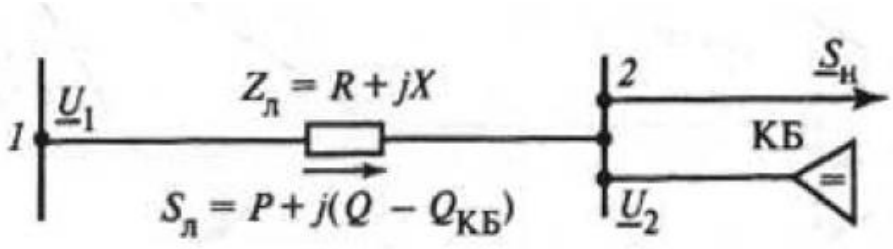


Рисунок 1.5 - Присоединение КБ к сети при поперечной компенсации реактивной мощности

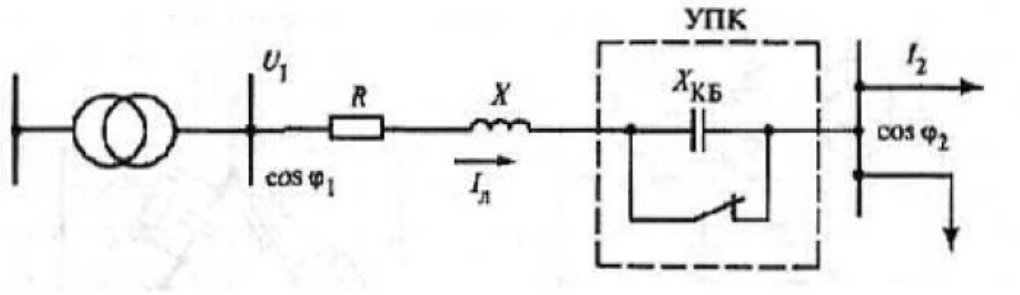


Рисунок 1.6 - Присоединение КБ к сети при продольной компенсации реактивной мощности

Конденсаторные батареи в составе конденсаторной установки и УПК применяются для регулирования напряжения.

Регулирование напряжения с помощью конденсаторной установки (при поперечной компенсации реактивной мощности) применяют в распределительных сетях напряжением 110 кВ и ниже.

Векторная диаграмма напряжений на концах линии (рис. 1.5) при включенной конденсаторной установке справедлива для любой ВЛ. Тогда напряжение в конце линии

$$U_2 = \left[(U_1 - \Delta U') + (\Delta U'')\right], \qquad (1.1)$$

где $\Delta U'' = \dfrac{PR + (Q_н - Q_{кб}) \cdot X}{U_2}$ продольная,

$\Delta U'' = \dfrac{PR - (Q_н - Q_{кб}) \cdot R}{U_2}$ - поперечная составляющие падения напряжения в компенсированной линии. В данном случае поперечной составляющей можно пренебречь из-за ее небольшого значения по сравнению с продольной. Тогда

$$U_2 = U_1 - \frac{PR + (Q_н - Q_{кб}) \cdot X}{U_2}.$$

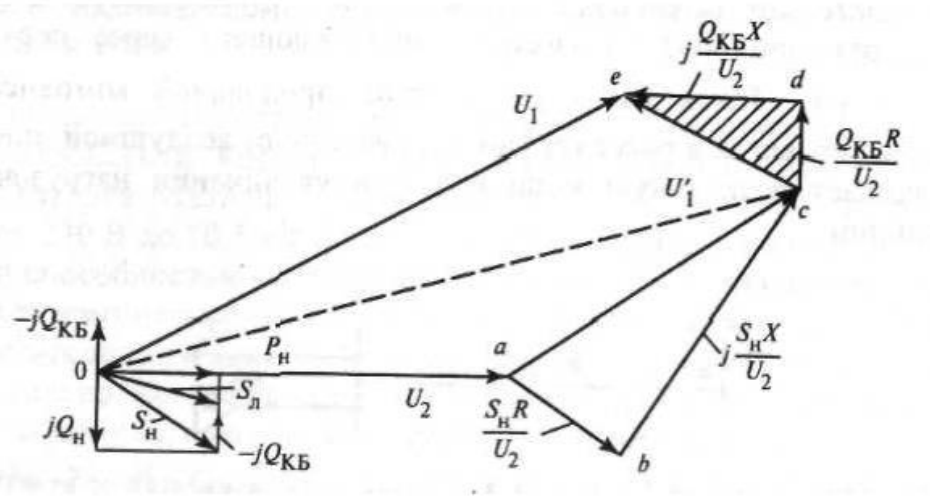


Рисунок 1.7 - Векторная диаграмма напряжений для схемы

Конденсаторы способны только генерировать реактивную мощность. Поэтому, включая конденсаторную установку на приемном конце ВЛ, напряжение U2 можно повысить, а отключая — понизить. Допустим, что это напряжение необходимо повысить до значения U2доп, при котором оно стало бы допустимым. Этот эффект может быть достигнут снижением потери напряжения в ВЛ на $\Delta U_{доп}=U_{2доп}-U_2$ за счет компенсации реактивной мощности, протекающей по ней при включении КУ мощностью QКБ. Эффект от включения КУ на рис. 1.3 соответствует заштрихованному треугольнику c_{de}. Тогда с достаточной для практических расчетов точностью можно записать:

$$U_{2доп} - U_2 = \frac{QKБК}{U_{2доп}}, \qquad (1.2)$$

Отсюда подключаемая мощность КУ:

$$Q_{КБ} = \frac{U_{2доп} - U_2}{X} \cdot U_{2доп}, \qquad (1.3)$$

Мощность конденсаторных установок, которые должны быть установлены в сетях, и место их установки определяются специальными технико-экономическими расчетами с учетом баланса реактивной мощности в соответствующем узле электрической системы, потерь напряжения и активной мощности в распределительных сетях. Поскольку конденсаторные установки оказывают влияние на режим напряжения сети, необходимо также использовать их для регулирования напряжения потребителя. При этом следует иметь в виду, что конденсаторные установки, устанавливаемые у потребителя в сетях напряжением 0,4 и 6—10 кВ, предназначены главным образом для снижения потерь активной мощности.

Регулирование напряжения с помощью УПК достигается путем изменения сопротивления воздушной линии. В электрических системах УПК устанавливаются в питающих сетях напряжением 220 кВ и выше, индуктивное сопротивление которых значительно превышает активное (см. рис. 2.9). Устройства продольной компенсации применяются в системах электроснабжения промышленных предприятий, где они устанавливаются, например, в коротких сетях мощных электротермических установок.

В любом случае эффект регулирования напряжения достигается за счет параметрического снижения потребляемой реактивной мощности на величину $Q_{КБ} = I^2 \cdot X_{КБ}$. При этом увеличение протекающего по КБ тока приводит и к увеличению генерируемой мощности КБ и снижению потери напряжения в питающей линии, так как

$$U_2 = U_1 = \frac{PR + Q \cdot (X - X_{КБ})}{U_2}. \qquad (1.4)$$

Преимущества использования конденсаторных установок, как средства для компенсации реактивной мощности:

- малые удельные потери активной мощности (собственные потери современных низковольтных косинусных конденсаторов не превышают 0,5 Вт на 1000 ВАр);
- отсутствие вращающихся частей;
- простой монтаж и эксплуатация (не нужно фундамента);
- относительно невысокие капиталовложения;
- возможность подбора любой необходимой мощности компенсации;

- возможность установки и подключения в любой точке электросети;
- отсутствие шума во время работы;
- небольшие эксплуатационные затраты.

В зависимости от подключения конденсаторной установки возможны следующие виды компенсации:

Индивидуальная или постоянная компенсация, при которой индуктивная реактивная мощность компенсируется непосредственно в месте её возникновения, что ведет к разгрузке подводящих проводов (для отдельных, работающих в продолжительном режиме потребителей с постоянной или относительно большой мощностью - асинхронные двигатели, трансформаторы, сварочные аппараты, разрядные лампы и т.д.).

Групповая компенсация, в которой аналогично индивидуальной компенсации для нескольких одновременно работающих индуктивных потребителей подключается общий постоянный конденсатор (для находящихся вблизи друг от друга электродвигателей, групп разрядных ламп). Здесь также разгружается подводящая линия, но только до распределения на отдельных потребителей.

Централизованная компенсация, при которой определенное число конденсаторов подключается к главному или групповому распределительному шкафу. Такую компенсацию применяют, обычно, в больших электрических системах с переменной нагрузкой. Управление такой конденсаторной установкой выполняет электронный регулятор - контроллер, который постоянно анализирует потребление реактивной мощности от сети. Такие регуляторы включают или отключают конденсаторы, с помощью которых компенсируется мгновенная реактивная мощность общей нагрузки и, таким образом, уменьшается суммарная мощность, потребляемая от сети.



Рисунок 1.8 – Виды конфигурации

Установка компенсации реактивной мощности состоит из определенного числа конденсаторных ветвей, которые в своём построении и ступенях подбираются исходя из особенностей каждой конкретной электросети и её потребителей реактивной мощности.

Больше других распространены ветви в 5 кВАр, 7,5 кВАр, 10 кВАр 12,5 кВАр, 20 кВАр, 25 кВАр, 30 кВАр, 50 кВАр. Более крупные ступени включения, например, в 100 кВАр или ещё больше, достигаются соединением

нескольких малых ветвей. Таким образом, снижается нагрузка на сеть, создаваемая токами включения и следовательно, уменьшаются образующиеся от этого помехи (например, импульсы тока). Если в напряжении электросети содержится большая доля высших гармоник, то конденсаторы, обычно, защищают дросселями (реакторами фильтрующего контура).

Применение автоматических установок компенсации реактивной мощности позволяет решить ряд проблем:

1. Снизить загрузку силовых трансформаторов (при снижении потребления реактивной мощности снижается потребление полной мощности);

2. Обеспечить питание нагрузки по кабелю с меньшим сечением (не допуская перегрева изоляции);

3. За счет частичной токовой разгрузки силовых трансформаторов и питающих кабелей подключить дополнительную нагрузку;

4. Позволяет избежать глубокой просадки напряжения на линиях электроснабжения удаленных потребителей (водозаборные скважины, карьерные экскаваторы с электроприводом, стройплощадки и т. д.);

5. Максимально использовать мощность автономных дизель - генераторов (судовые электроустановки, электроснабжение геологических партий, стройплощадок, установок разведочного бурения и т. д.);

6. Облегчить пуск и работу двигателя (при индивидуальной компенсации);

7. Автоматически отслеживается изменение реактивной мощности нагрузки в компенсируемой сети и, в соответствии с заданным, корректируется значение коэффициента мощности - cosφ;

8. Исключается генерация реактивной мощности в сеть;

9. Исключается появление в сети перенапряжения, т. к. нет пере компенсации,

Установки компенсации изготавливаются из отдельных, расположенных в металлических шкафах, силовых компенсационных модулей, конструкция которых обеспечивает взаимозаменяемость идентичных элементов установки. Сборка и комплектация установок компенсации реактивной мощности производится на предприятии-изготовителе, а на месте их размещения - только монтаж и подключение к компенсируемой сети электроснабжения.

Установки компенсации реактивной мощности до 100 кВАр, обычно, выпускаются в настенном исполнении.

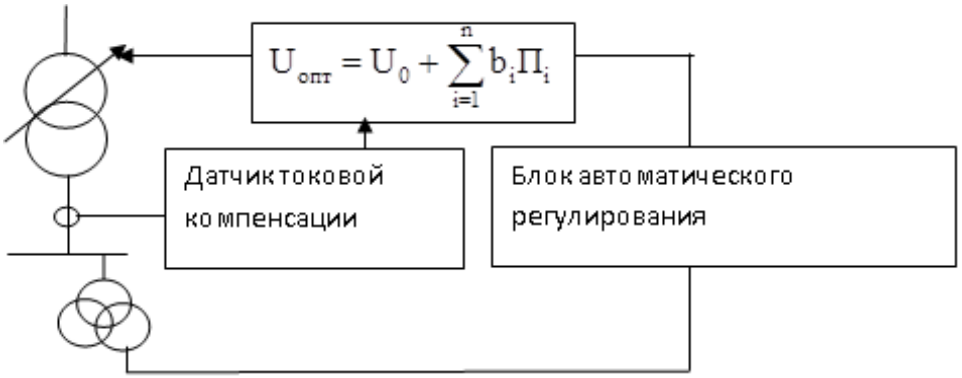
Размещать установки компенсации лучше всего вблизи распределительного щита, т.к. в этом случае упрощается их присоединение к электросети. При соблюдении требований ПУЭ комплектные установки компенсации реактивной мощности можно устанавливать непосредственно в производственных помещениях.

1.6 Постановка задачи оптимального регулирования напряжения в электрических сетях регионального уровня

Оптимальное регулирование напряжения автотрансформаторами определяется формулой:

$$U_{опт} = U_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i \Pi_i, \qquad (1.5)$$

где $U_{опт}$ – оптимальное напряжение, кВ; U_0, кВ и b_i – коэффициенты; Π_i – переменные регулирования, А, МВт, МВАр; n – число переменных регулирования. Схема регулирования напряжения АРН АТ по формуле оптимального регулирования:



1.9 Рисунок -

Преимущества регулирования напряжения по формулам оптимального регулирования:

- эффективно в большинстве режимов;
- не требуется дополнительного оборудования;
- выполняется в автоматическом режиме установленными автоматическими регуляторами напряжения автотрансформаторов;
- учитывает изменение режима сети.

Внедрение данного метода регулирования позволит значительно сократить потери электроэнергии.

Анализ формул оптимального регулирования показывает, что они меняются со временем и необходимо регулярно проводить расчеты уставок АРН для оптимального регулирования напряжения. Без специального ПО рассчитывать уставки неудобно из-за большого объема работы.

В дипломном проекте рассматриваются вопросы оптимального регулирования напряжения, которые могут быть использованы при выборе уставок АРН в точках установки компенсирующих устройств в электрических сетях АО «АЖК».

Задачи данной работы включают:

- составление схемы замещения электрических сетей ИРЭС АО АЖК;

- подготовка информации по электрическим сетям для ввода в комплекс РАСТР;

- расчет нагрузок для режима зимнего максимума и летнего минимума;

- выполнение расчетов установившихся режимов на программе RASTR;

- анализ режима напряжения по сети и определения места размещения коменсирующих устройств с АРН;

- выпонение расчетов с учетом ввода КУ при помощи блока оптимизации

- по программе РАСТР;

- сравнение результатов расчета с учетом КУ и без учета КУ;

2 Составление расчетной схемы ИРЭС для расчетов установившихся режимов при регулирования напряжения и анализа уровня технических потерь электроэнергий

2.1 Основная информация о линиях электропередачи Илийского района (ИРЭС)АО АЖК

Линий электропередач Илийского района были созданы в 1971 году и являются структурными единицами АО АЖК.

В состав Илийского РЭС входят 5 региональных мастерских: г. Іле РЭС-інің құрамына бес аумақтық шеберханалар кіреді: г. Капчагай, Жетиген, Акши, Шенгелди, Заречный. Қапшағай қ., Жетіген, Ақши, Шеңгелді, Заречный. В региональных мастерских рабочие делают плановый ремонт и реконструкцию распределительных сетей, используемых ежедневно.

На установках в ПС-220/110/35/10/6 кВ иЦРП-10/6 кВремонт и обслуживание делается работниками подстанций и групп РЗА..

Прафилактическая и плановая проверка устройств защиты от пернапряжения делается группами по изоляций.

Территоря ЛЭП которые обслуживаются Илийским РЭС-ом – это Илийский район Капчигайской администраций. Средний радиус обслуживания 75 км, по переписи от 01.01.2015 количество работников – 187 человек, в том числе 36 человек работают в ИТР.

Основными обязательствами перед районом являются бесперебойное и качественное оказание услуг электропотребителям, а так же сельскохозяйственным центрам, предприятиям и коммунально-жилищным потребителям Капчагайского района. Для исполнения этих обязательств работники решают ряд задач, основные из которых:

а) обслуживание линий 10; 6; 0,4кВ; ПС-35/10, ПС-220/110/10, ТП, ЦРП и другие установоки в районе должны быть в соответствий с ПУЭ, ТПЭ, ППБ;

б) проведение капитального ремонта ВЛ и КЛ напряжением 110;35;6;0,4 кВ и обслуживание ПС-220/110/10 кВ;

в) уменьшение потерь в ЛЭП ;

г) проводить мероприятия надежно и в соответствий требованиям техники безопасности и пожаро безопасности.

Расчетная схема линий электропередач состоит из схем замещения реакторов, трансформаторов, автотрансформаторов и батарей конденсаторов. ЛЭП напряжением 110 кВ и более длинной 300-400 км обычно даются П-образной схемой замещения. По расчетной схеме и по данным нагрузки расчитываются режимы в зимний и летний максимум. режимдер есептелінді.

Составление схемы замещения для электрических расчетов

Активное сопротивление, Ом:

$$R = r_0 \cdot l, \tag{2.1}$$

где r_0 – удельное активное сопротивление, Ом/км;

l – длинна линий, км.

Реактивное сопротивление определяется следующим способом:

$$X = x_0 \cdot l\ , \tag{2.2}$$

где x_0 – удельное реактивное сопротивление, Ом/км;

Реактивноая проводимость, см:

$$B = b_0 \cdot l, \tag{2.3}$$

где b_0 – удельная реактивная проводимость, см/км;

Таблица 2.1– Параметры линий электропередачи

Нумерация линий	Марка провода	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	b_0, Ом/км
1-2	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
2-3	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
1-7	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
1-5	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
5-6	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
6-4	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
42-8	АС – 95/16	0,306	0,421	
4-16	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
4-16	АС – 120/19	0,249	0,427	2,66
162-17	АС – 95/16	0,306	0,421	
162-15	АС – 95/16	0,306	0,421	
15-14	АС – 95/16	0,306	0,421	
161-12	АС – 95/16	0,306	0,421	
41-9	АС – 95/16	0,306	0,421	
9-10	АС – 95/16	0,306	0,421	
10-11	АС – 95/16	0,306	0,421	
11-112	АС – 95/16	0,306	0,421	

112-113	АС – 95/16	0,306	0,421	
113-13	АС – 95/16	0,306	0,421	
113-12	АС – 95/16	0,306	0,421	
14-112	АС – 95/16	0,306	0,421	

Активная проводимость определяется по следующей формуле:

$$G = g_0 \cdot l, \qquad (2.4)$$

где g_0 – удельная активная проводимость, см/км.

Удельные значения r_0, x_0определяется в зависимости от марки провода.В таблице 2.1 приведены марки провода в линий.

Таблица 2.2 –Расчетные параметры линий

Название линий	Длинна, км	R, Ом	X, Ом	B, Ом
1-2	20,51	5,1	8,76	54,6
2-3	9,9	2,46	4,23	26,3
1-7	40,2	10	17,16	106,9
1-5	40,55	10,1	17,31	107,9
5-6	20	4,98	8,54	53,2
6-4	24,5	6,1	10,46	65,17
42-8	13,45	4,12	5,66	
4-16	40,49	10,08	17,29	107,7
4-16	60,29	15,01	25,74	160,37
162-17	13,9	4,25	5,85	
162-15	4,2	1,28	1,77	
15-14	6	1,84	2,53	
161-12	9,1	2,78	3,83	
41-9	9,9	3,03	4,17	
9-10	10,77	3,29	4,53	
10-11	4,4	1,35	1,85	
11-112	5,77	1,76	2,43	
112-113	46	14,07	19,37	
113-13	0,5	0,15	0,21	
113-12	1,1	0,34	0,46	
14-112	5,77	1,76	2,43	

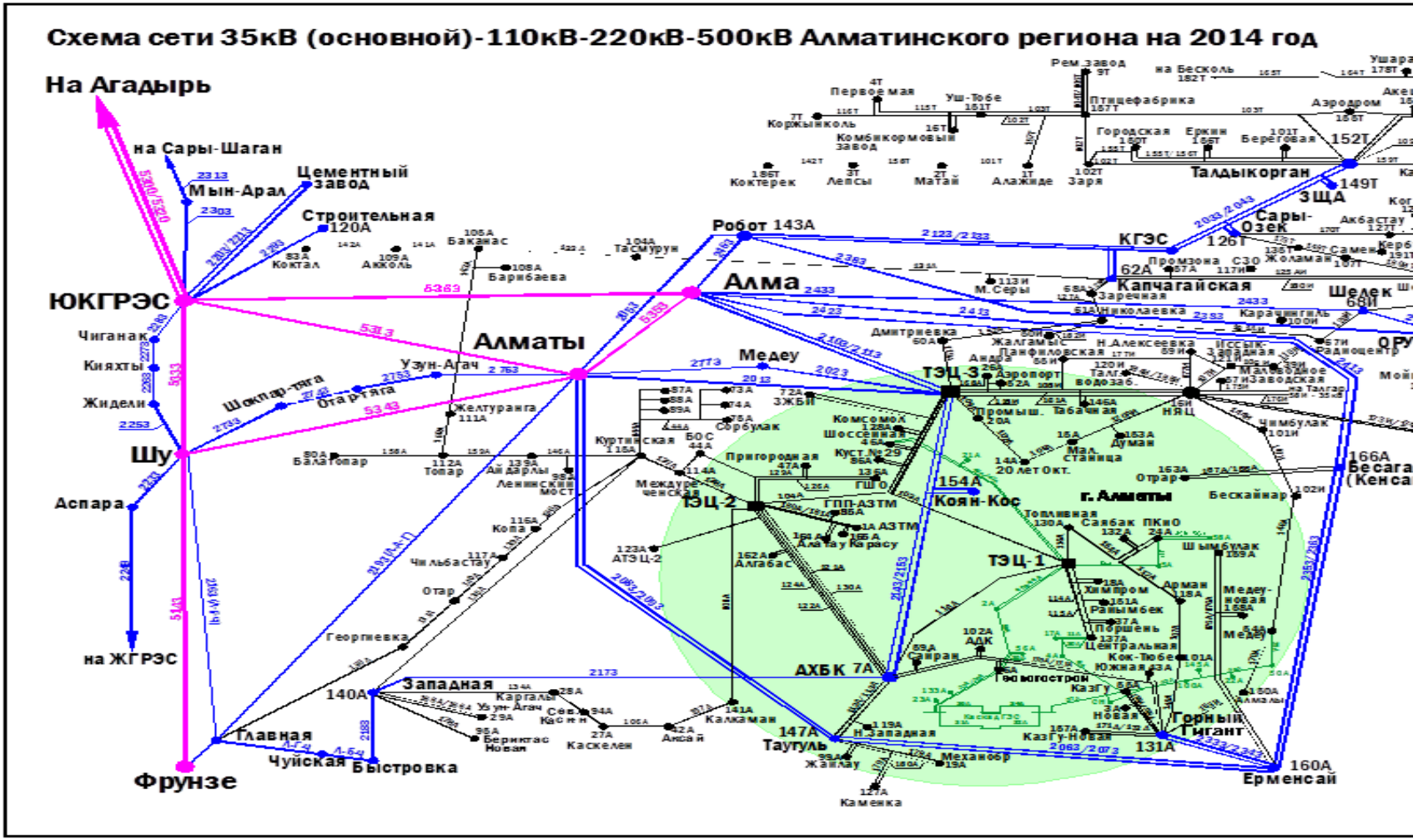


Рисунок 2.1 – Карта электрических сетей

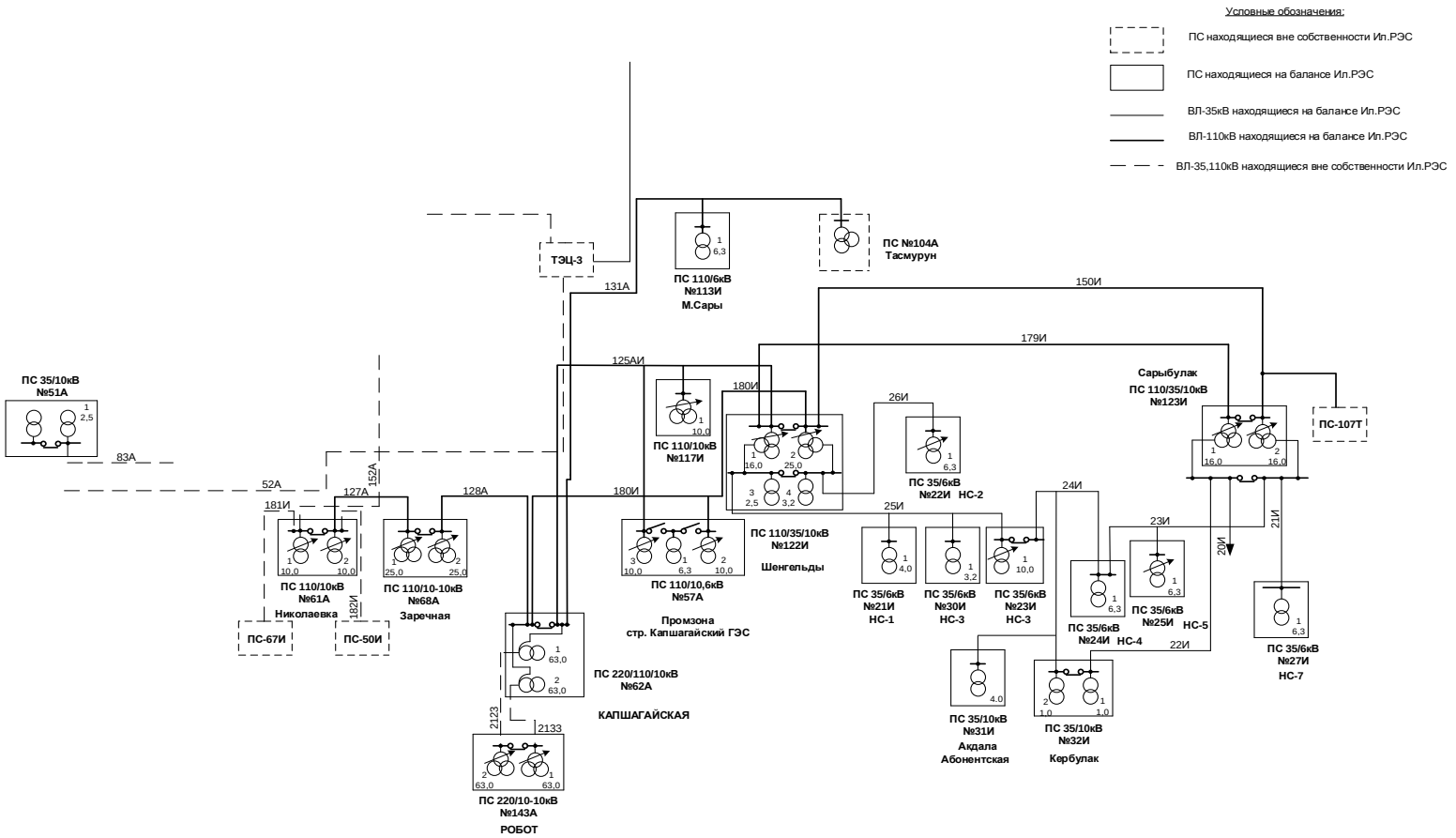
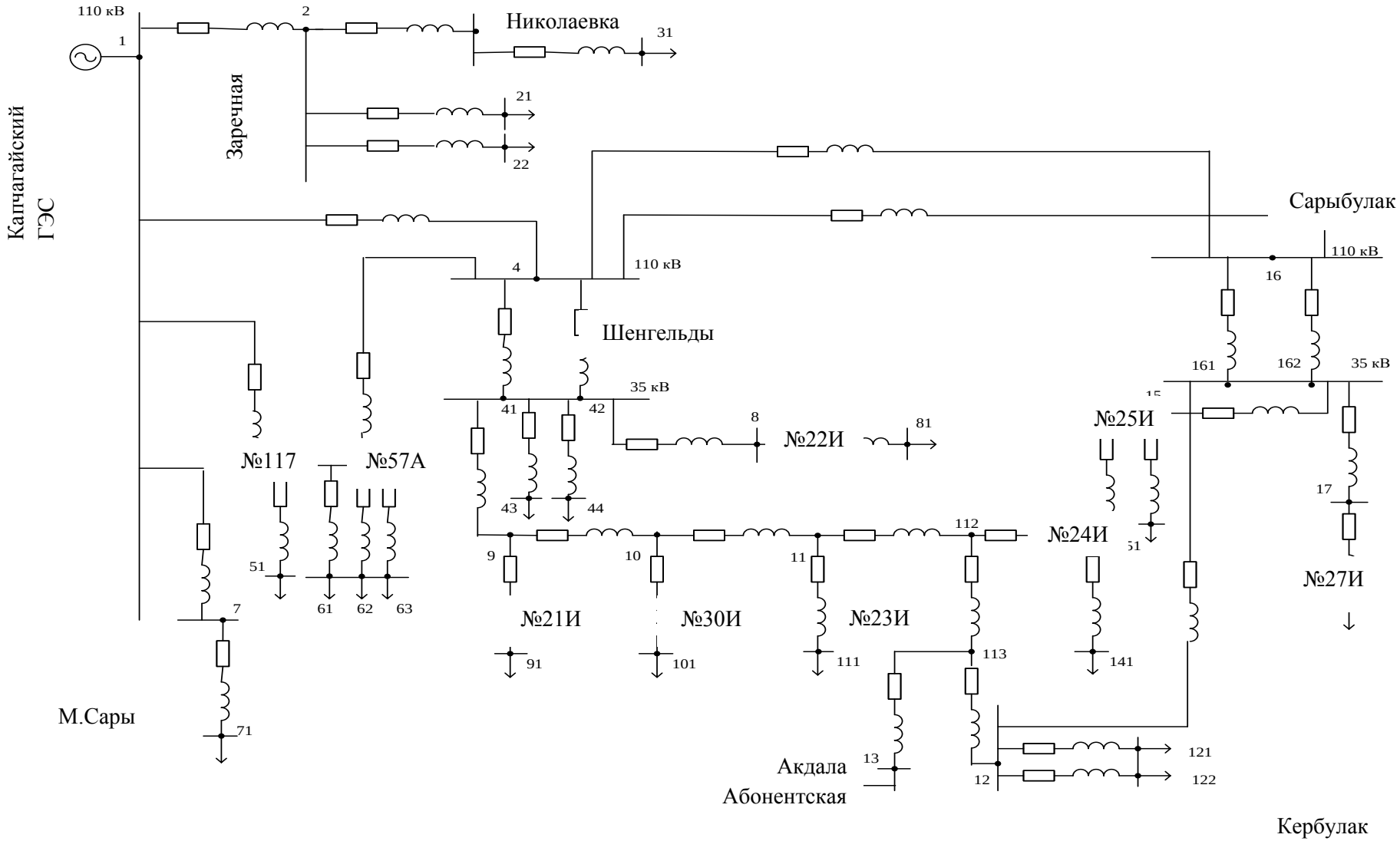


Рисунок 2.2 – Структурная схема электрических сетей Илийского района.



2.3 сурет – Схема замещения электрических сетей Илийского района.

Реактивная мощность, единица измерения кВАр

$$Q = S \cdot \sin \varphi, , \quad (2.5)$$

Полная мощность, единица измерения кВА

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, , \quad (2.6)$$

где P – активная мощность;
Q –реактивная мощность.

Таблица 2.3–Технические характеристики трансформаторов на питающих ПС 110-35/10-6 кВ

Тип	Напряжение обмотки, кВ	Потери, кВт ΔP_{xx}	$\Delta P_{кз}$	U_k,%	I_{xx},%
ТМ-1600/10	10	0,4	16,5	3,3	6,5
ТМ-1000/10	10	0,4	11,6	2,45	6,5
ТМ-630/10	10	1,56	7,6	5,5	2,0
ТМ-400/10	10	1,08	5,5	4,5	2,1
ТМ-250/10	10	0,082	3,7	4,5	2,3
ТМ-160/10	10	0,046	2,35	4,5	2,1

Таблица 2.4–Расчетные данные трансформатора для схемы замещения

Название	Номера в схеме	Тип трансформатора	R_T, Ом	X_T, Ом
Заречная	2-21,22	ТМ-1600/10	0,7	3,27
Николаевка	3-32	ТМ-630/10	2,12	8,5
М. Сары	7-71	ТМ-400/10	3,7	10,6
№117И	5-51	ТМ-630/10	2,12	8,5
Промзона	6-61,62,63	ТМ-630/10	2,12	8,5
Шенгельды	4-41	ТМ-1000/10	1,22	5,35
Шенгельды	4-42	ТМ-1600/10	0,7	3,27
Шенгельды	41-43	ТМ-160/10	4,35	10,2
Шенгельды	42-44	ТМ-160/10	4,35	10,2
№22И	8-81	ТМ-400/10	3,7	10,6
№21И	9-91	ТМ-250/10	6,7	15,6
№30И	10-101	ТМ-160/10	4,35	10,2
№23И	11-111	ТМ-630/10	2,12	8,5
Акдала Абонентская	13-131	ТМ-250/10	6,7	15,6
Кербулак	12-121,122	ТМ-160/10	4,35	10,2
Сарыбулак	16-161,162	ТМ-1000/10	1,22	5,35
№27И	17-171	ТМ-400/10	3,7	10,6
№25И	15-151	ТМ-400/10	3,7	10,6
№24И	14-141	ТМ-400/10	3,7	10,6

2.2 Характеристика схемы подстанций и структурной схемы электрического оборудования

В связи с условиями сегодняшнего времени обеспечение надежности и энергосбережний при электроснабжений потребителей крупные электрические станций, подстанций, линий электропередач на разных уровнях напряжения должны работать совместно. Так же нужно связать схему электрических подстанций с другими элементами сети. При этом оно долно быть простым, удобным и надежным.

В связи с условиями эксплуатаций электрических подстанций при ремонте установок есть надобность в изменений схемы установки. Для обеспечения возможности изменения электрических схем, элементы этой схемы, такие как трансформаторы, шины распределительных устройств, воздушные и кабельные линий соединяются между собой коммутационными аппаратами. Основная схема электрических связей или схема первичных коммутаций называются электрической связью установки, т.е. имеют отношения к силовым и измерительным трансформаторам, реакторам и коммутационным устройствам и к устройствам связывающим их проводимостью. Для факторной схемы определенной подстанций место станций в энергосистеме и назначение, вырабатываемая мощность для подстанций, мощность и количество трансформаторов, уровни напряжения, категория потребителей питающихся от этой линий являются основными факторами.

Основной схема станций может быть многолинейным с изображением нулевого провода и всех фаз либо может быть однолинейным с изображением только одной фазы. Однолинейные схемы очень удобны для исполнения и легче в запоминаний. Однолинейные схемы используются для электроустановок у которых есть различия по фазе от многофазных схем.

При проектирований электроустановок выбранная схема должна отвечать следующим требованиям: должна обеспечивать надежность электроснабжения потребителей, эксплуатироваться с минимальными потерями и материальными затратами, обеспечивать безопасность и удобство при эксплуатаций.

В сложных схемах электроустановок последние условие может привести к трудностям, а облегчение схемы приведет к уменьшению надежности электроснабжения. Железнодорожне потребители в основном относятся к потребителям первой и второй категорий и для их запитки используются двухтрансформаторные подстанций. Для запитки потребителей третьей категорий используются однотрансформаторные подстанций.

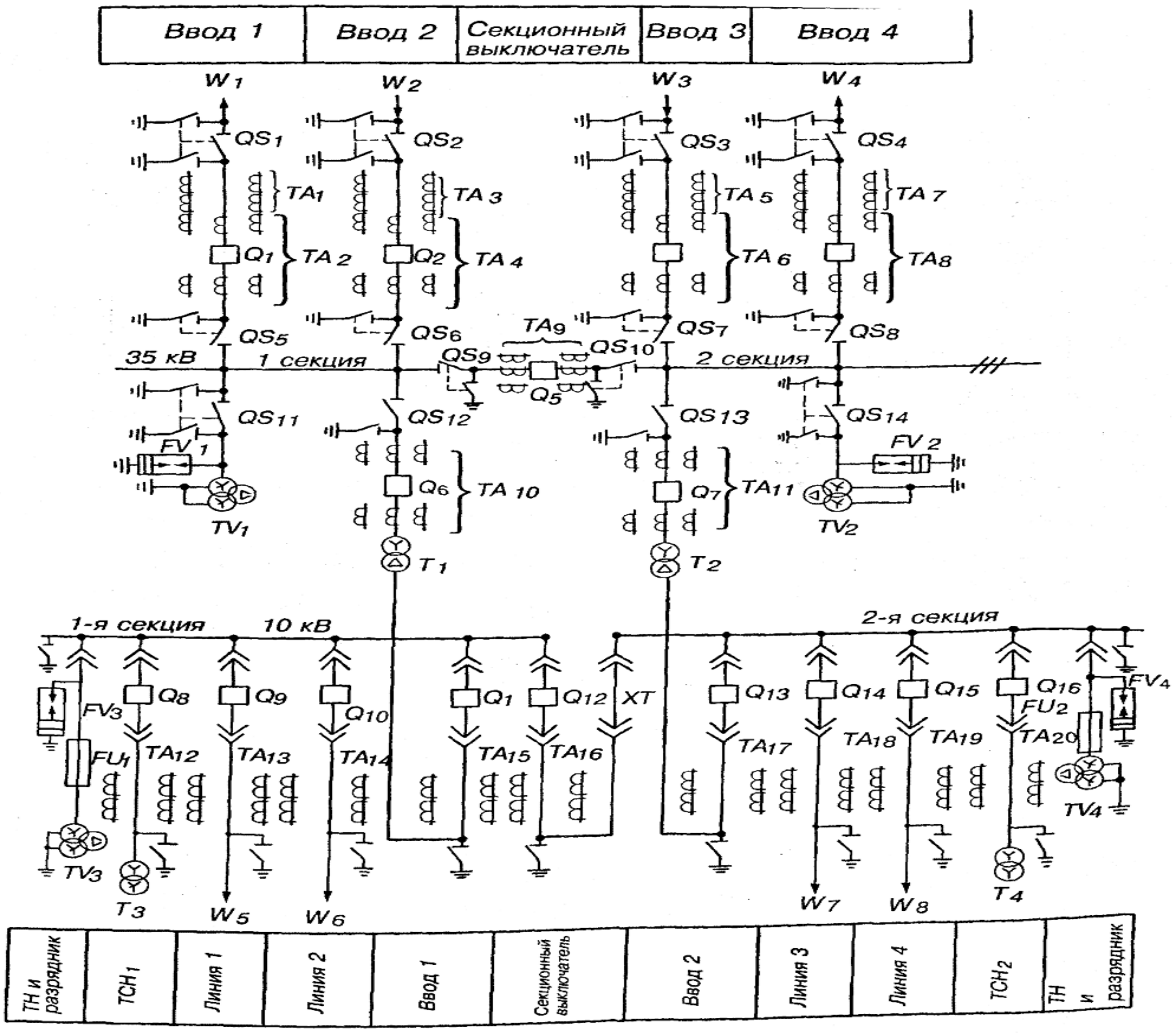


Рисунок 2.4 - Схема двухтрансформаторной подстанций с первичным напряжением 35 кВ

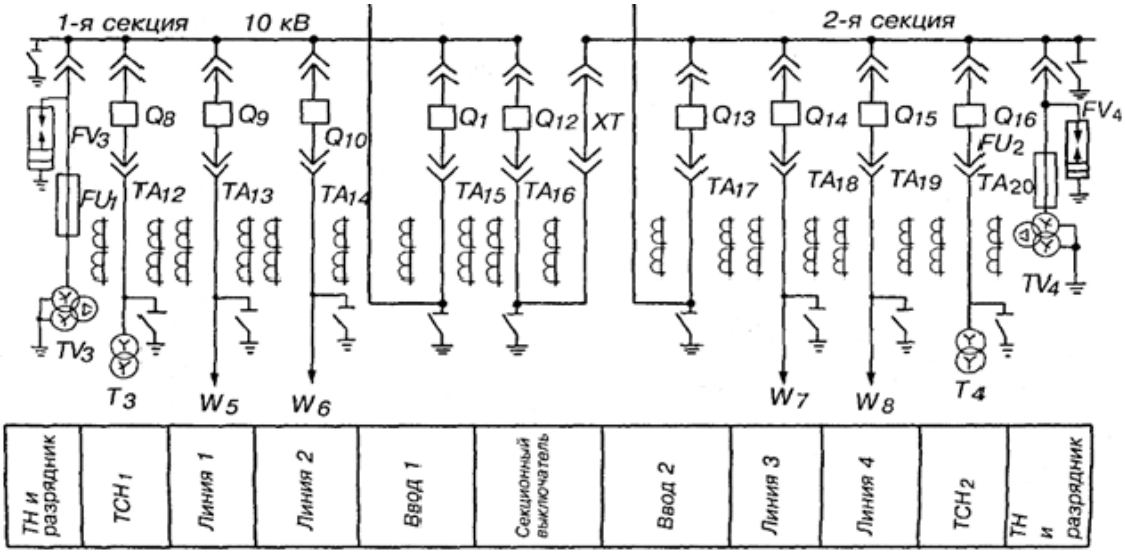


Рисунок 2.5 – Схема двухтрансформаторной подстанций с первичным напряжением 35 кВ

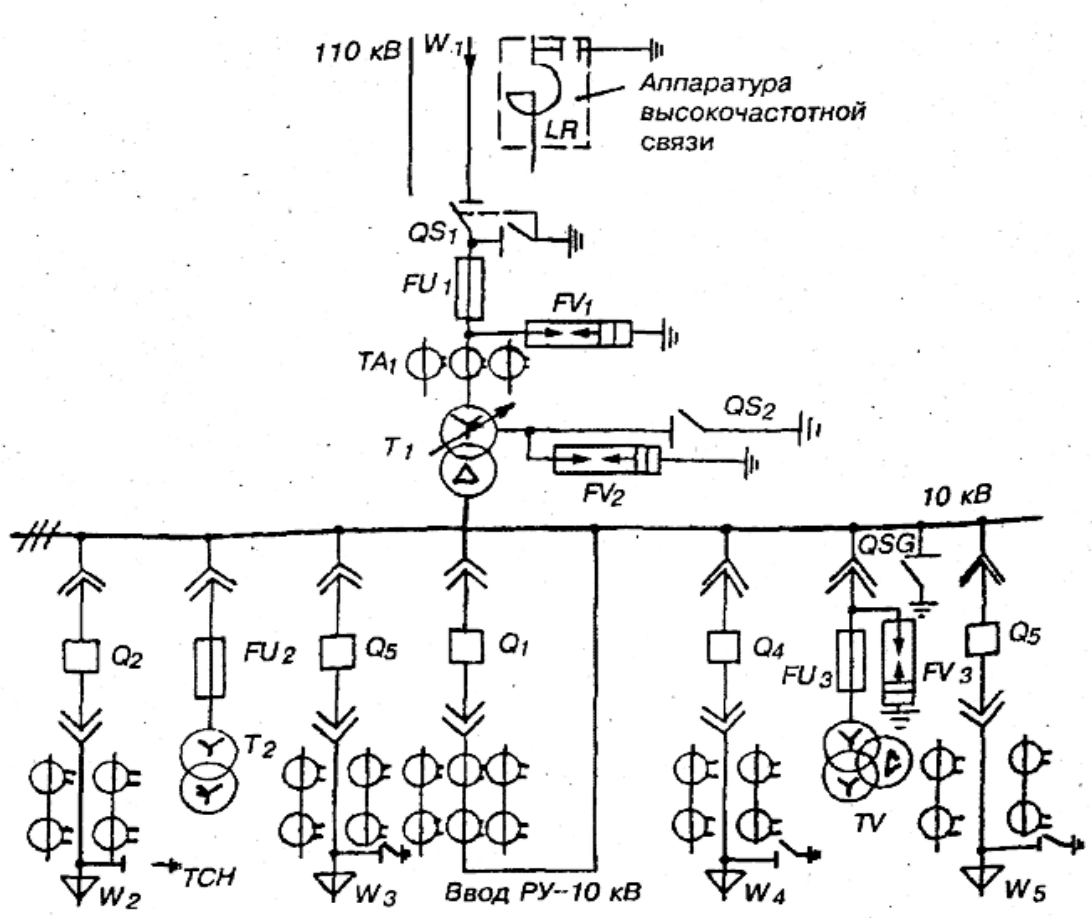


Рисунок 2.6–Схема однотрансформаторной подстанций с первичным напряжением 110 кВ

2.3 Расчет основных характеристик суточных графиков нагрузок

Графики электрических нагрузок дают возможность правильного выбора основного оборудования электрических подстанций, например: трансформаторы, устройства компенсацй, кабели.

Условия предприятий на которые влияет электрическая нагрузка дают возможность определять основные показатели для проектирования анологичных производств.

Суточные графики показывают изменение нагрузки за одни сутки. Они строятся по показаниям активной и реактивной мощности за один час или пол часа (для определения получасового максимума).

Для проектирования используются типовые суточные графики, т.е. графики определенные в предприятиях где максимальная суточная нагрузка равняется 1 или 100%-там. Для построения точного суточного графика необходимо знать максимальную нагрузку и типовой суточный график.

Суточные графики активной и реактивной нагрузки характеризуются следующими значениями: максимум активной (реактивной) $P`_м$ ($Q`_м$) кВт (квар), максимум активной нагрузки за найболее загруженную смену $P_{см}$

кВт, потери активной (реактивной) энергий за сутки$W_{сут}$ ($V_{сут}$), кВт-ч (квар-ч), потери активной реактивной энергий за наиболее загруженную смену $W_{см}$ ($V_{см}$), кВт-ч (квар-ч).

Используя эти значения и зная общую номинальную мощность всех электроприемников ($Р_и$, кВт), можно определить следующие показатели суточных графиков:

Средняя активная нагрузка за сутки (кВт):

$$Р_{сут} = \frac{W_{сут}}{24},, \tag{2.7}$$

Средняя активная нагрузка за загруженную смену (кВт):

$$Р_{см} = \frac{W_{см}}{8},, \tag{2.8}$$

Коэффициент использования номинальной $Р_н$ мощности за наиболее загруженную смену:

$$К_и = \frac{Р_{см}}{Р_н},, \tag{2.9}$$

Коэффициент мощности за максимум:

$$\cos\varphi = \frac{Р_м}{\sqrt{Р_м^2 + Q_м^2}},, \tag{2.10}$$

Средне сменный коэффициент мощности за смену:

$$\cos\varphi_{с.м} = \frac{W_{с.м}}{\sqrt{W_{с.м}^2 + V_{с.м}^2}},, \tag{2.11}$$

Коэффициент загрузки суточных графиков активной и реактивной нагрузки:

$$К_{н.а} = \frac{W_{сут}}{Р'_м \cdot 24},, \tag{2.12}$$

$$К_{н.р} = \frac{V_{сут}}{Q'_м \cdot 24},, \tag{2.13}$$

Кожффициент максимума за наиболее загруженную смену:

$$К_{м} = \frac{Р_{м}}{Р_{см}}.,\qquad (2.14)$$

Годовые графики нагрузки построенные на основе графиков активной и реактивной нагрузки за сутки или за месяц дают возможность определить потребленную электроэнергия за год, а так же дает возможность обозначить режим работы трансформатора в подстаний за год. Использую годовой график можно правильно подобрать компенсирующие устройства.

Годовые графики нагрузки построенные по длительности активной и реактивной нагрузки характеризуются следующими значениями: годовой максимум активной (реактивной) нагрузки $Р_{м.г}$ ($Q_{м.г}$), кВт (квар), потери активной и реактивной энергий за год $W_г$ ($V_г$), кВт-ч (квар-ч).

Нагрузки появившиеся в следствий этих графиков характеризуются следующими показателями:

Число часов использования максимума активной ($Т_м$, ч) и реактивной ($Т_{м.р}$, ч) нагрузки:

$$Т_{м} = \frac{W_г}{Р_{м.г} \cdot Т_{м.р}} = \frac{V_г}{Q_{м.г}},,\qquad (2.15)$$

Среднегодовое значение активной ($Р_{сг}$, кВт) и реактивной ($Q_{сг}$, КВар) нагрузки:

$$Р_{сг} = \frac{W_г}{Т_г \cdot Q_{сг}} = \frac{V_г}{Т_г},,\qquad (2.16)$$

где Т — годовой запас рабочего времени, час.

Годовой коэффициент по потреблению энергий за смену:

$$\alpha = \frac{Р_{сг}}{Р_{см}},,\qquad (2.17)$$

Коэффициент заполнения годового графика активной и реактивной нагрузки:

$$К_{н.а.г} = W_г \cdot Р_{мг} \cdot Т_г,,\qquad (2.18)$$

$$К_{н.р.г} = V_г \cdot Q_{мг} \cdot Т_г,,\qquad (2.19)$$

Для анализа и сравнения показателей одного предприятия, нужно знать данные по показателям графиков электрической нагрузки в анологичном предприятий, т.е. показатели должны совпасть с технологическими данными по предпрятию за сезон.

В примере который показан на рисунках 2.7 и 2.8 суточная активная нагрузка в цехе и годовая активная нагрузка в цехе 5,5 млн. м^2, т.е. они построены по расчету показателей электрической нагрузки предприятия в ходе проверки.

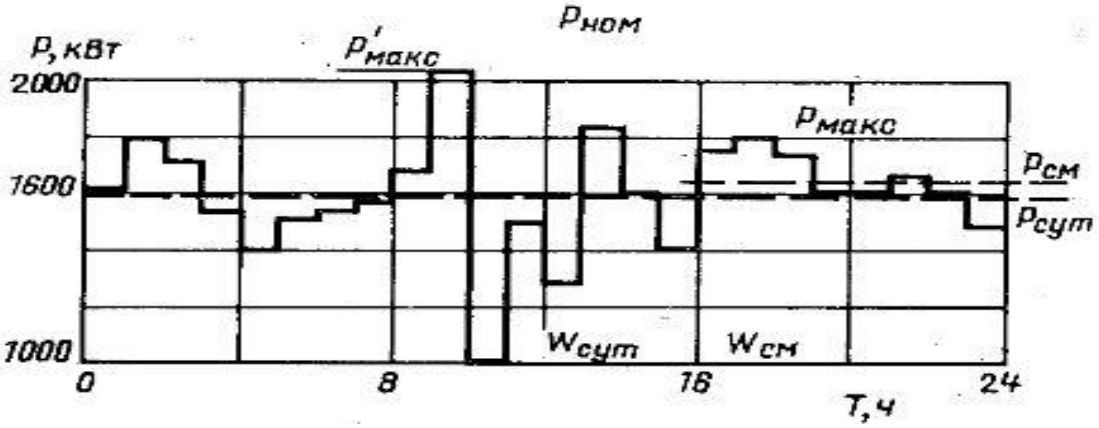


Рисунок 2.7 – Суточный график активной нагрузки

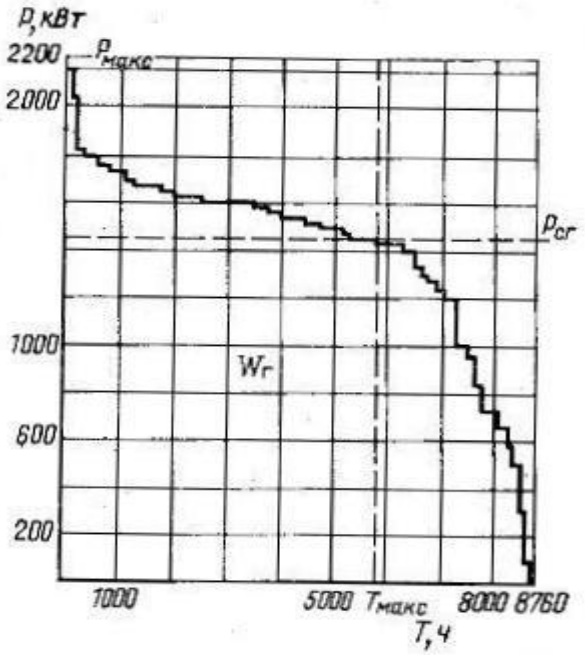


Рисунок 2.8 – Годовой график активной нагрузки

Нагрузочные данные полученные по суточным графикам сведем в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Нагрузки узлов сети:

№	Узлы	Uн, кВ	Зимняя нагрузка				Летняя нагрузка				cosφ
			Минммальная		Максимальная		Минимальная		Максимальная		
			P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	
			кВт	кВар	кВт	кВар	кВт	кВар	кВт	кВар	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	21	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
2	22	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
3	31	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
4	51	6	0,26	0,12	0,18	0,08	0,2	0,09	0,14	0,06	0,93
5	61	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
6	62	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
7	71	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
8	81	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
9	91	6	0,13	0,08	0,09	0,05	0,1	0,06	0,07	0,04	0,93
10	101	6	0,26	0,12	0,18	0,08	0,2	0,09	0,14	0,06	0,93
11	111	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
12	113	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
13	131	6	0,13	0,08	0,09	0,05	0,1	0,06	0,07	0,04	0,93
14	121	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
15	122	6	0,12	0,04	0,08	0,03	0,09	0,03	0,06	0,02	0,93
16	141	6	0,39	0,013	0,27	0,09	0,1	0,05	0,07	0,04	0,93
17	171	6	0,13	0,06	0,09	0,04	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
18	43	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93
19	44	6	0,26	0,12	0,18	0,08	0,2	0,09	0,14	0,06	0,93
20	45	6	0,39	0,13	0,27	0,09	0,3	0,1	0,21	0,07	0,93

2.4 Краткое описание расчетной части программы «RASTR»

Программный комплекс RASTR дает возможность расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. Отсутствуют программные ограничения на расчеты. Быстрота работы определяется объемом рассчитываемой схемы. В настоящее время предельный объем для схемы 1200-1500 узлов. Узлы :

- Район Район – номер, к какому узлу относится;
- Номер узла – номер на схеме замещения;
- Статическая характеристика–номер ;
- Название узла – имя (0-12 символов).

Узел:

- $U_{ном}$ –номинальное напряжение (напряжение определяется стандартной шкалой);
- $P_{наг}$, $Q_{наг}$ – активная и реактивная мощность (определяется контрольными измерениями, или путем расчета);

- $P_{ген}$, $Q_{ген}$ – активная и реактивная мощность узла генераций, так де определяется с помощью измерения и контроля;

- Q_{min}, Q_{max}– минимальные и максимальные пределы могут изменятся генерациеи узла реактивной мощности (определяется техническими возможностями оборудования) одного и того же генераций реактивной мощности для узла совместимой и позволяет программировать предельные значения задания.

Ветвь:

- $N_{бас}$, $N_{аяк}$ – номер ограниченный линией;
- R, X – активные и реактивные сопротивления;
- G – проводимость шунта ВЛ – после полной проводимости;
- П – образная схема замещения (<0), после проводимости трансформатора «Г» образная схема замещения (>0).
- Коэффициент трансформаций должен быть приведен к напряжению $U_{нач} / U_{кон}$.

Районы:

- Номер района - номер;
- Название района - название;
- Команда «результат»;
- Команда «узлы».

Выбранные номера узлов разделяются запятой, после нажатия F8 выводиться список номеров узлов, а для диапазона – черточка.

Приведен структурный анализ потерь активной мощности для всего района.

Расчет режимов линий электропередач:

- расчетнагрузки элементов линий,пропускной способности линий приведенной к ожидаемой мощности;
- расчет поперечного сечения проводов и кабелей, а так же мощности трансформаторов и автотрансформаторов;
-анализ уровеня напряжения в сетях и элементах линий электропередачи и поддержка напряжения на концах. Анализ экономичности работы линий и методы уменьшения потерь.

Для определения значений длительного потока мощности достаточно следующие характеристики режима. Максимальная зимняя нагрузка которая появляется при потреблений максимальной электрической энергий и при полном использований потоков мощности выдаваемых электрическими станциями.

3 Регулирования напряжения в ИРЭС с целью достижения допустимых уровней и уменьшение потерь

3.1 Регулирование напряжения в центре питания в режимах максимальной и минимальной нагрузки

Центром запитки может быть напряжения на шине генератора электрической станции, низшее напряжение районной подстанций, либо подстанция глубокого ввода.

Регулирование напряжения генератора электрической станций осуществляется с помощью автоматического регулирования возбуждения изменяя ток возбуждения.

Изменение напряжения на шине низшего напряжения понизительной подстанций осуществляется с помощью:

- трансформаторов имеющих устройства регулирования под нагрузкой;
- синхронных компенсаторов (СК);
- линейных регуляторов(ЛР).

С помощью этих устройств регулирование происходит автоматический в определенном диапазоне. Регулирование напряжение производиться в одно и то же время во всех линиях электропередачи, и они питаются с шин центров питания.

Качество напряжения надежно обеспечивается только в случае подключения к шине в центре питания одинаковые потребители. Для этого изменение графика нагрузки должно быть однотипным.

Если электроприемники имеют различный график нагрузки, тогда схема центра электропитания принимает групповую централизованную схему регулирования. В этом случае электроприемники будут делиться на группы по характеру нагрузки. Линий электропередач которые питают нагрузку такого типа стараются подключать к шинам разных секций для того чтобы можно было регулировать напряжение каждой секций.

Если нет такой возможности, тогда центры питания делаются как для потребителей с одинаковой нагрузкой. При необходимости дополнительного регулирования для этих потребителей реализуется местное регулирование напряжения.

По характеру электроприемников можно рассматривать три ступени регулирования напряжения:

- стабилизация напряжения;
- двухступенчатое регулирования напряжения;
- случайное регулирование.

Стабилизация напряжения применяется для нагрузок не изменяющихся в течений суток (трехсменные предприятия).

Двухступенчатое регулирование применяется для электроприемников с четким двухступенчатым характером изменения нагрузки (односменные

предприятия). В этом случае в зависимости от графика изменения нагрузки за сутки используется два уровня напряжения.

Для выбора желаемого напряжения на питающем центре выполняются расчеты по комплексу RASTR.

3.2 Расчет и анализ потерь в ЛЭП напряжением 35 кВ и выше в режиме максимальных и минимальных нагрузок

Для введения данных в программу RASTR используем значение данные в та Исходя из полученных значений расчета максимального (зима) режима работы РП-6 можно сделать следующий вывод:

- напряжения в узловых точках всей схемы сети 35-10 находятся впределах допустимых значений ±5%;
- активные потери в линиях составляют 0,06 МВт, а потери втрансформаторах 0,14 МВт.

Для режима зимнего максимума напряжение

.

	D	S	Тип	Номер	Название	U_ном	_сх	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	U_min	U_max	B_ш	V	Delta	айон
1			База	1	Капшагайский ГЭС	115					70.6	41		-1000	1000				115		
2			Нагр	2	Заречная вс	110													112.65	-0.64	
3			Нагр	21	Заречная нс1	10			10.6	6.6									10.12	-0.78	
4			Нагр	22	Заречная нс2	10			10.6	6.6									10.12	-0.78	
5			Нагр	3	Николаевка вс	110													112.46	-0.7	
6			Нагр	32	Николаевка нс	10			4.3	2.6									10.1	-0.83	
7			Нагр	7	М.Сары вс	110													114.62	-0.16	
8			Нагр	71	М.Сары нс	6			2.7	1.7									5.72	-0.25	
9			Нагр	5	№117И вс	110													107.48	-2.16	
10			Нагр	51	№117И нс	10			4.3	2.6									9.65	-2.32	
11			Нагр	6	№57А вс	110													104.16	-3.21	
12			Нагр	61	№57А нс1	10			2.7	1.7									9.35	-3.32	
13			Нагр	62	№57А нс2	10			4.3	2.6									9.35	-3.37	
14			Нагр	63	№57А нс3	10			4.3	2.6									9.35	-3.37	
15			Нагр	4	Шенгельды вс	110													101.42	-4.14	
16			Нагр	41	Шенгельды нс1	35													33.37	-4.31	
17			Нагр	42	Шенгельды нс2	35													33.43	-4.21	
18			Нагр	43	Шенгельды нс3	10			1.1	0.7									9.91	-4.72	
19			Нагр	44	Шенгельды нс4	10			1.4	0.8									9.9	-4.73	
20			Нагр	8	№22И вс	35													32.79	-4.63	
21			Нагр	81	№22И нс	6			2.7	1.7									5.43	-5.83	
22			Нагр	16	Сарыбулак вс	110													99.86	-4.63	
23			Нагр	161	Сарыбулак нс1	35													32.9	-4.72	
24			Нагр	162	Сарыбулак нс2	35													32.8	-4.87	
25			Нагр	17	№27И вс	35													32.12	-5.32	
26			Нагр	171	№27И нс	6			2.7	1.7									5.31	-6.58	
27			Нагр	12	Кербулак вс	35													32.34	-5.07	
28			Нагр	121	Кербулак нс1	10			0.4	0.3									9.02	-5.24	
29			Нагр	122	Кербулак нс2	10			0.4	0.3									9.02	-5.24	
30			Нагр	13	Акдала Абонентская вс	35													32.28	-5.11	
31			Нагр	131	Акдала Абонентская нс	10			1.7	1.1									8.79	-6.2	
32			Нагр	15	№25И вс	35													32.28	-5.19	
33			Нагр	151	№25И нс	6			2.7	1.7									5.34	-6.43	
34			Нагр	14	№24И вс	35													31.84	-5.45	
35			Нагр	141	№24И нс	6			2.7	1.7									5.26	-6.73	
36			Нагр	9	№21И вс	35													32.39	-4.97	
37			Нагр	91	№21И нс	6			1.7	1.1									5.36	-6.05	
38			Нагр	10	№30И вс	35													31.67	-5.49	
39			Нагр	101	№30И нс	6			1.4	0.8									5.3	-6.08	
40			Нагр	11	№23И вс	35													31.48	-5.63	
41			Нагр	111	№23И нс	6			4.3	2.6									5.17	-7.44	
42			Нагр	112	Узел 112	35													31.7	-5.51	
43			Нагр	113	Узел 113	35													32.3	-5.1	

Рисунок 3.1 – Расчетные значения полученные по узлам сети

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_г	руг	Название	R	X	B	Кт/г	P_нач	Q_нач	Na
1			ЛЭП	1	2			Капшагайский ГЭС - Заречная вс	5.1	8.76	-54.6		-26	-16	
2			Тр-р	2	21			Заречная вс - Заречная нс1	0.7	3.27		0.09	-11	-7	
3			Тр-р	2	22			Заречная вс - Заречная нс2	0.7	3.27		0.09	-11	-7	
4			ЛЭП	2	3			Заречная вс - Николаевка вс	2.46	4.23	-26.3		-4	-2	
5			Тр-р	3	32			Николаевка вс - Николаевка нс	2.12	8.5		0.09	-4	-3	
6			ЛЭП	1	7			Капшагайский ГЭС - М.Сары вс	10	17.16	-106.9		-3	-0	
7			Тр-р	7	71			М.Сары вс - М.Сары нс	3.7	10.6		0.05	-3	-2	
8			ЛЭП	1	5			Капшагайский ГЭС - №117И вс	10.1	17.31	-107.9		-42	-25	
9			Тр-р	5	51			№117И вс - №117И нс	2.12	8.5		0.09	-4	-3	
10			ЛЭП	5	6			№117И вс - №57А вс	4.98	8.54	-53.2		-36	-21	
11			Тр-р	6	61			№57А вс - №57А нс1	3.7	10.6		0.09	-3	-2	
12			Тр-р	6	62			№57А вс - №57А нс2	2.12	8.5		0.09	-4	-3	
13			Тр-р	6	63			№57А вс - №57А нс3	2.12	8.5		0.09	-4	-3	
14			ЛЭП	6	4			№57А вс - Шенгельды вс	6.1	10.46	-65.2		-24	-13	
15			Тр-р	4	41			Шенгельды вс - Шенгельды нс1	1.22	5.35		0.33	-7	-4	
16			Тр-р	4	42			Шенгельды вс - Шенгельды нс2	0.7	3.27		0.33	-4	-3	
17			Тр-р	41	43			Шенгельды нс1 - Шенгельды нс3	4.35	10.2		0.3	-1	-1	
18			Тр-р	42	44			Шенгельды нс2 - Шенгельды нс4	4.35	10.2		0.3	-1	-1	
19			ЛЭП	42	8			Шенгельды нс2 - №22И вс	4.12	5.66			-3	-2	
20			Тр-р	8	81			№22И вс - №22И нс	3.7	10.6		0.17	-3	-2	
21			ЛЭП	41	9			Шенгельды нс1 - №21И вс	3.03	4.17			-6	-4	
22			Тр-р	9	91			№21И вс - №21И нс	6.7	15.6		0.17	-2	-1	
23			ЛЭП	9	10			№21И вс - №30И вс	3.29	4.53			-4	-2	
24			Тр-р	10	101			№30И вс - №30И нс	4.35	10.2		0.17	-1	-1	
25			ЛЭП	10	11			№30И вс - №23И вс	1.35	1.85			-2	-1	
26			Тр-р	11	111			№23И вс - №23И нс	2.12	8.5		0.17	-4	-3	
27			ЛЭП	11	112			№23И вс - Узел 112	1.76	2.43			2	1	
28			ЛЭП	112	113			Узел 112 - Узел 113	14.07	19.37			1	0	
29			ЛЭП	113	13			Узел 113 - Акдала Абонентская вс	0.15	0.21			-2	-1	
30			Тр-р	13	131			Акдала Абонентская вс - Акдала Абонентская нс	6.7	15.6		0.28	-2	-1	
31			ЛЭП	113	12			Узел 113 - Кербулак вс	0.34	0.46			2	2	
32			Тр-р	12	121			Кербулак вс - Кербулак нс1	4.35	10.2		0.28	-0	-0	
33			Тр-р	12	122			Кербулак вс - Кербулак нс2	4.35	10.2		0.28	-0	-0	
34			ЛЭП	4	16			Шенгельды вс - Сарыбулак вс	15	25.74	-160.4		-5	-2	
35			ЛЭП	4	16			Шенгельды вс - Сарыбулак вс	10.08	17.29	-107.7		-8	-4	
36			Тр-р	16	161			Сарыбулак вс - Сарыбулак нс1	1.22	5.35		0.33	-3	-2	
37			Тр-р	16	162			Сарыбулак вс - Сарыбулак нс2	1.22	5.35		0.33	-9	-7	
38			ЛЭП	162	17			Сарыбулак нс2 - №27И вс	4.25	5.85			-3	-2	
39			Тр-р	17	171			№27И вс - №27И нс	3.7	10.6		0.17	-3	-2	
40			ЛЭП	161	12			Сарыбулак нс1 - Кербулак вс	2.78	3.83			-3	-2	
41			ЛЭП	162	15			Сарыбулак нс2 - №25И вс	1.28	1.77			-7	-5	
42			Тр-р	15	151			№25И вс - №25И нс	3.7	10.6		0.17	-3	-2	
43			ЛЭП	15	14			№25И вс - №24И вс	1.84	2.53			-4	-3	
44			Тр-р	14	141			№24И вс - №24И нс	3.7	10.6		0.17	-3	-2	
45			ЛЭП	14	112			№24И вс - Узел 112	1.76	2.43			-1	-1	

Рисунок 3.2 –Расчетные значения полученные в ветви данной сети

Районы+Потери

	Np+	Район	Dp	dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Ш_ЛЭП	Ш_Тр	dP_Ш
		U_ном		dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Корона	XX_тр-р	
1				4.38	4.02	0.36	0	0		

Рисунок 3.3 – Потери активной мощности

Районы+Потери Q

	Np+	Район	Dq	dQ_нагр	dQ_ЛЭП	dQ_Тр	dQ_пост	ШQ_ЛЭП	Ш_Тр	dQ_Ш
		U_ном		dQ_нагр	dQ_ЛЭП	dQ_Тр	dQ_пост	_Ген_ЛЭ	Q_XX_тр-р	
1				7.87	6.73	1.14	-7.79	-7.79		

Рисунок 3.4 – Потери реактивной мощности

	S	Номер	Название	U_ном	V	dV
1		2	Заречная вс	110	112.65	2.41
2		3	Николаевка вс	110	112.46	2.24
3		7	М.Сары вс	110	114.62	4.2
4		71	М.Сары нс	6	5.72	-4.69
5		5	№117И вс	110	107.48	-2.29
6		51	№117И нс	10	9.65	-3.53
7		6	№57А вс	110	104.16	-5.3
8		61	№57А нс1	10	9.35	-6.49
9		62	№57А нс2	10	9.35	-6.52
10		63	№57А нс3	10	9.35	-6.52
11		4	Шенгельды вс	110	101.42	-7.8
12		41	Шенгельды нс1	35	33.37	-4.67
13		42	Шенгельды нс2	35	33.43	-4.48
14		43	Шенгельды нс3	10	9.91	-0.94
15		44	Шенгельды нс4	10	9.9	-1.04
16		8	№22И вс	35	32.79	-6.33
17		81	№22И нс	6	5.43	-9.58
18		16	Сарыбулак вс	110	99.86	-9.22
19		161	Сарыбулак нс1	35	32.9	-6
20		162	Сарыбулак нс2	35	32.8	-6.29
21		17	№27И вс	35	32.12	-8.24
22		171	№27И нс	6	5.31	-11.53
23		12	Кербулак вс	35	32.34	-7.59
24		121	Кербулак нс1	10	9.02	-9.83
25		122	Кербулак нс2	10	9.02	-9.83
26		13	Акдала Абонентс	35	32.28	-7.77
27		131	Акдала Абонентс	10	8.79	-12.12
28		15	№25И вс	35	32.28	-7.76
29		151	№25И нс	6	5.34	-11.04
30		14	№24И вс	35	31.84	-9.03
31		141	№24И нс	6	5.26	-12.34
32		9	№21И вс	35	32.39	-7.45
33		10	№30И вс	35	31.67	-9.52
34		101	№30И нс	6	5.3	-11.6
35		11	№23И вс	35	31.48	-10.06
36		111	№23И нс	6	5.17	-13.78
37		112	Узел 112	35	31.7	-9.44
38		113	Узел 113	35	32.3	-7.73

Рисунок 3.5 – Напряжения

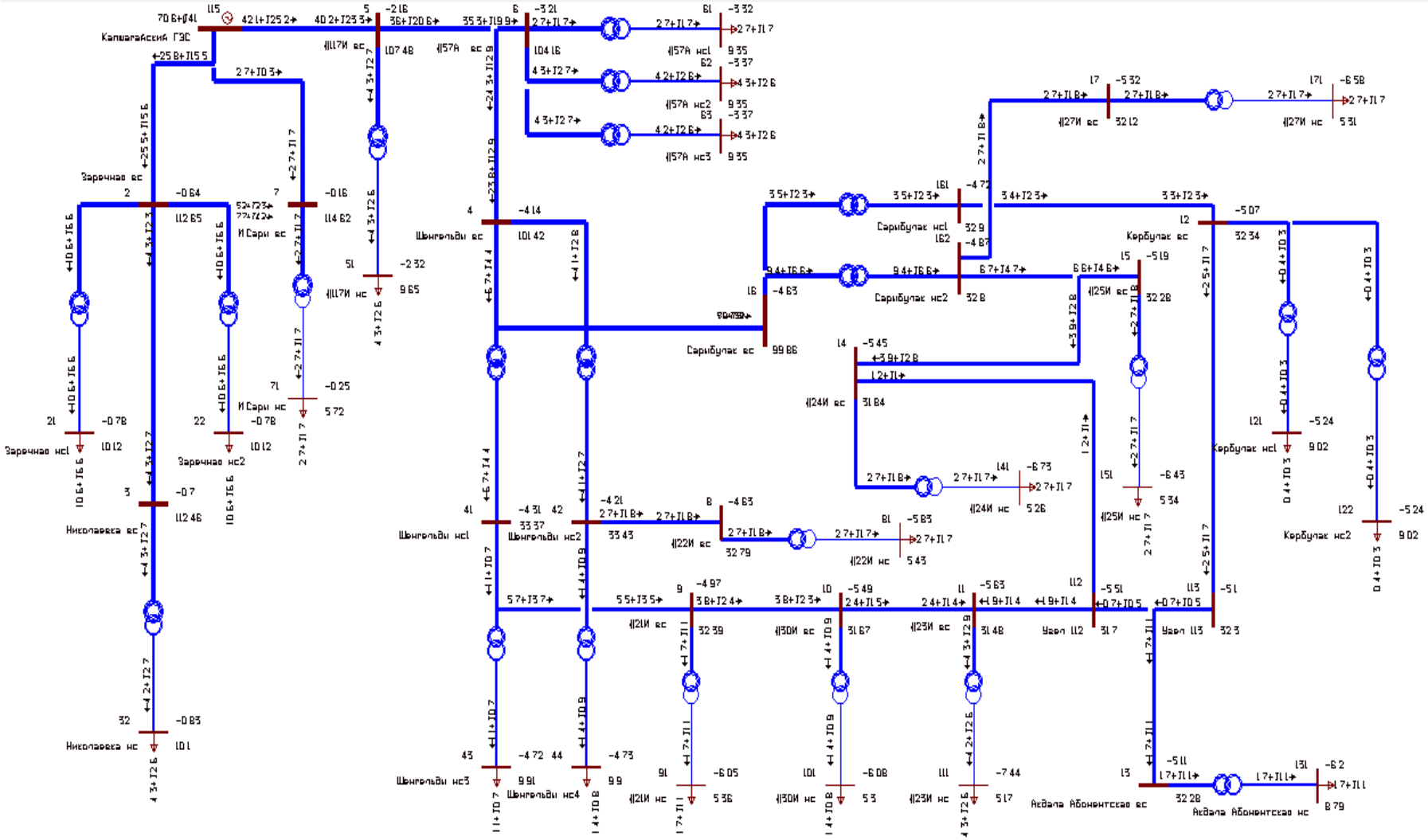


Рисунок 3.6 - Схема потокораспределения в электрической сети ИРЭС в режима максимума нагрузки

3.3 Оптимизация режима по напряжению, по реактивной мощности и по коэффициенту трансформаций

Оптимизация питающей сети по напряжению, реактивной мощности и коэффициенту трансформаций является одним из основных организационных мероприятий по уменьшению потерь электроэнергий. Задачей оптимизаций является определение режима при котором минимальны потери активной мощности и сохраняются технические ограничения.

Для решения этой задачи задаются активная мощность электростанций , активная и реактивная мощность не только балансовых узлов но и в узлах нагрузки. Учитываются граничные условия, они бывают в виде уравнений установившегося режима и граничных условий контролируемых величин. Потери активной мощности в сети ΔP являются целевыми (оптимизированными) функциями.

Когда производительность ЭВМ САДУ (система автоматизированного диспетчерского управления) ограничена, а так же для сокращения объемов телеизмерений задача оптимизаций режима сети и на следующие независимые задачи:

1) регулирования уровня напряжения всей сети или только части;

2) уменьшение влияния неоднородности сети с помощью регулирования комплексного коэффициента трансформаций;

3) отключение сети;

4) оптимизация передачи реактивной мощности между источниками реактивной мощности.

Результаты решение задачи оптимизаций режима сети можно соединить и исправить с имеющимися ограничениями. В условиях развития современных ЭВМ и САДУ, исправление задач и данных такого типа менее эффективно чем оптимизация режима сети по $\underline{U}$, Q и n. Каждая задача из четырех рассмотренных может быть полезно для оптимизаций режима при использований микро или мини ЭВМ. Такое использование в определенных случаях основывается на анализе величины погрешности задачи, и бывает независимым от оптимизаций режима по $\underline{U}$, Q и n. Это погрешность при минимуме независимой задачи приводит к увеличению потерь мощности во всей системе, то есть задача оптимизаций режима по $\underline{U}$, Q и n может приводит к минимумы независимого условия и к минимуму общего условия. Для использования САДУ нужно чтобы сошлись расчеты любого из выше перечисленных разногласий между свободными условиями использования и расчеты оптимизаций режима по $\underline{U}$, Q и n.

Оптимизация режима по $\underline{U}$, $Q_{ип}$ – это независимая задачи минимизаций потерь во всех обозначенных случаях кроме случая в балансирующем узле P_{ri}, или внутренняя задача, задачи комплексной оптимизаций режима. При оптимизаций, учитываются ограничения по напряжению в узлах нагрузки и по токам в контролируемой линий, кроме узлов с источниками реактивной

мощности и трансформаторов без регулирования коэффициента трансформаций.

Оптимизация режима по U, Q и nсоответсвует определению минимума активной мощности $P_б$ в балансирующей электростанций с учетом статических характеристик нагрузки и зависимости причинения вреда от некачественного напряжения. Если учитывать статические характеристики нагрузки, то тогда при минимальной мощности балансирующей станций не будут минимальные потери мощности в линий. В этом случае активная мощность нагрузки $P_н(U)$ не постоянна и зависима от напряжения. Соответственно:

$$Pg = \sum_{j}^{n} P_н j(U) + \Delta P - \sum_{i}^{m} Pgi, \qquad (3.1)$$

где N - количество нагрузочных узлов;

m - число планируемых $Pg = const$ генераторных узлов;

ΔP - потери активной мощности в линий.

Если не учитывать статические характеристики по напряжению, минимумы *Pg* и ΔP ровны по напряжению, поскольку в этом случае $\sum P_{нi} = const$. Если уитывать характеристику $P_{нi}(U)$, тогда оптимизация режима по U, Q и n будет ровнятся минимумы потерь мощности на шинах балансирующей станций. При этом задача учета целевой функций вреда от некачественного напряжения на шинах потребителей является очнь важной. Но до этого дня внедрение учета является проблематичным, по скольку метод недостаточно проверен. Нужно указать что во многих случаях оптимизация режима по U, Q и n не явно выражено для использования.

Оптимизация режима сети ИРЭС по реативной мощности, напряжению и коэффициенту трансформаций трансформаторов и автотрансформаторов осуществлялась изменением коэффициентов трансформаций в узловых ПС сети.Минимальные и максимальные значения коэффициентов трансформаций выбирались по паспортнымх данным трансформатора.

Таблица 3.1–Расчетные потери подстанций 110/35кВ при изменениях $К_т$

Название подстанций	$К_т$	$\Delta P_н$
Шенгельды 4 ПС	0,3	4,77
	0,33	4,38
	0,35	4,52
Сарыбулак 16 ПС	0,3	4,69
	0,33	4,38
	0,35	4,44

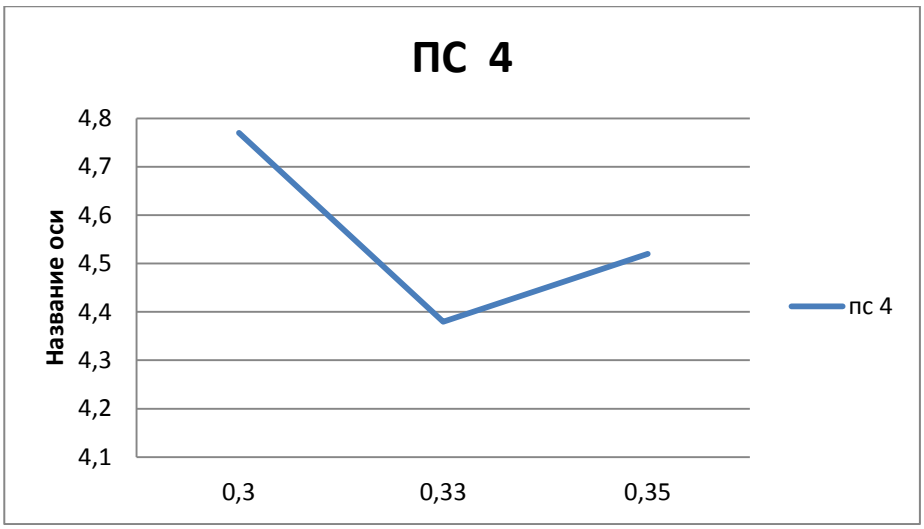


Рисунок 3.7 – График потерь мощности 4 - подстанций

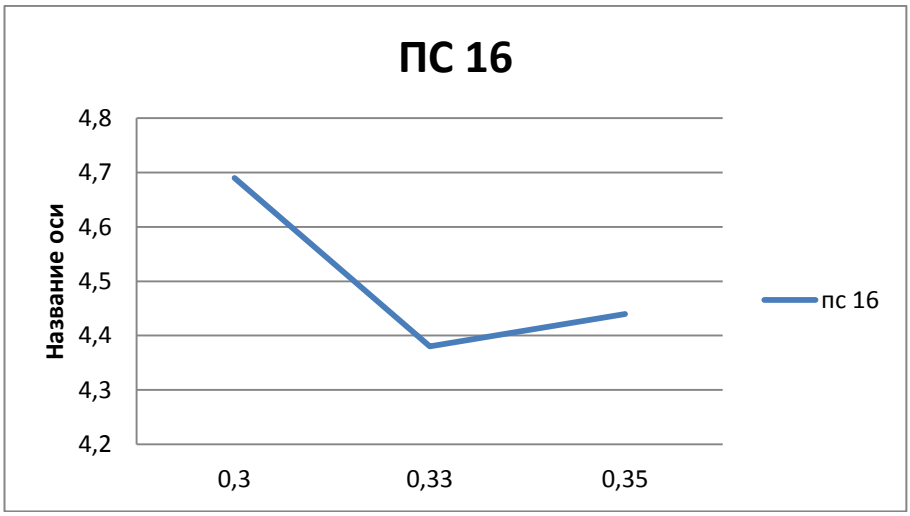


Рисунок 3.8 – График потерь мощности–подстанций 16

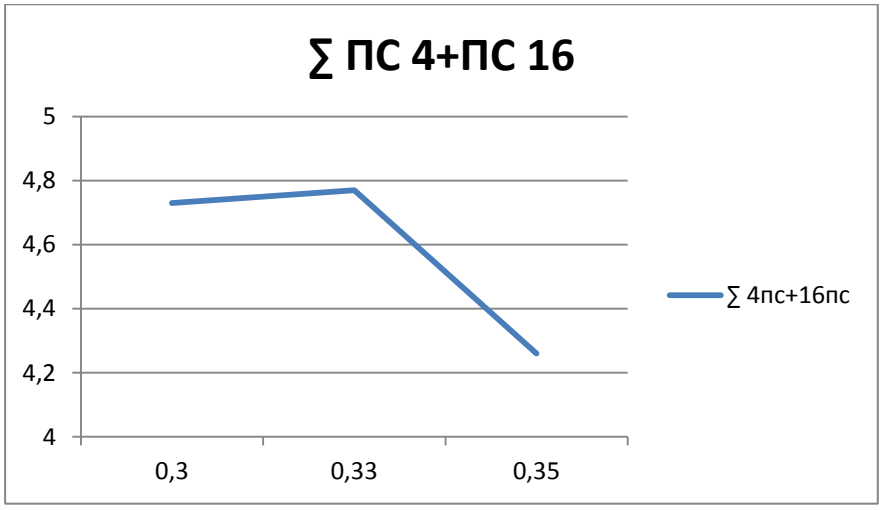


Рисунок 3.9 - График нагрузныхпотерь мощности подстанций 4 и 16

Таблица 3.2 - Нагрузочные параметры потерь подстанций 110/35 кВ

∑	Кт	ΔРн
∑ ПС4+1ПС6	0,3	4,73
	0,33	4,77
	0,35	4,26

3.4 Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях ИРЭС

Компенсация реактивной мощности – это вдияние на баланс реактивной мощности в узле электроэнергетической системы с целью регулирования напряжения, а на распределительных сетях с целью уменьшения потерь электро энергий. Они реализуются с помощью устройств компенсаций. При потреблений реактивной мощности для того чтобы сохранить допустмое значение напряжения в узлах сети нужно дополнительно подпитывать реактивной мощностью. Производимая реактивная мощность состоит из реактвной мощности выдаваемой генераторам электростанций и реактивной мощностью пройзводимой компенсирующими устройствами. А так же они зависят от электроприемников потребителей электрической энергий.

Компенсация реактивной мощности является большой проблемой на предприятиях, особенно в предприятиях где основными электроприемниками являются асинхронные двигатели с коэффициентом мощности 0,7-0,75. Мероприятия по компенсаций реактивной мощности дают следующие преимущества:

- уменьшение нагрузки на трансформаторе;
- уменьшение нагрузки на проводах и кабелях, использование меньшего сечения сымдағы, кабелдегі жүктемені азайту, оларды аз қимада қолдану;
- улучшение качество электрической энергий электропримников (уменьшение изменения формы кривой трансформатора),
- уменьшение нагрузки на коммутационные аппараты изза уменьшения тока в цепи;
- избежание штрафа изза уменьшения коэффициента мощности.

Компенсация реактивной мощности имеет особое местов среди многих факторов влиющих на эффективную работу системы электроснабжения. Но коммунально бытовые потребители у которых в основном однофазная нагрузка не олностью используют данную систему.

Ранее на городских распределительных сетях низкого напряжения в основном были короткие фидера, для небольших связанных мощностей и нагрузок проблемы такой системы для них не значительны.

При рассмотрений полученных графиков нагрузки многоквартирных жилых домов можно увидеть следующее: среднее значение коэффициента мощности ($\cos\varphi$) за сутки изменяется от 0,84 до 0,99. Соответственно потреление общей реактивной мощности изменяется в пределах 9..14 кВАр, а по фазе от 1 до 6 кВАр.

Таблица 3.3 – Расчетные параметры компенсаций реактивной мощности

Название	$Q_н$	$Q_{ку}$	$Q_{ку}$	$\Delta P_н$	$\Delta Q_н$
Заречная	6,6	30%	4,62	4,44	7,99
		60%	2,64	4,41	7,93
		90%	0,66	4,39	7,89
Николаевка	2,6	30%	1,82	4,48	8,05
		60%	0,4	4,47	8,04
		90%	0,26	4,47	8,04
М.Сары	1,7	30%	1,19	4,49	8,07
		60%	0,68	4,49	8,07
		90%	0,17	4,49	8,07
№117И	2,6	30%	1,82	4,49	8,06
		60%	0,4	4,47	8,04
		90%	0,26	4,47	8,04
№57А	2,6	30%	1,82	4,47	8,03
		60%	0,4	4,04	7,28
		90%	0,26	4,04	7,28
Шенгельды	0,7	30%	1,82	4,47	8,03
		60%	0,4	4,04	7,28
		90%	0,26	4,04	7,28
№22И	1,7	30%	1,19	4,41	7,93
		60%	0,68	4,41	7,93
		90%	0,17	4,14	7,45
№27И	1,7	30%	1,19	4,16	7,48
		60%	0,68	4,16	7,48
		90%	0,17	4,15	7,46
Кербулак	0,3	30%	0,21	4,18	7,52
		60%	0,12	4,18	7,52
		90%	0,03	4,18	7,52
Акдала абонентская	1,1	30%	0,77	4,18	7,52
		60%	0,44	4,18	7,52
		90%	0,11	4,18	7,52
№25И	1,7	30%	1,19	4,18	7,52
		60%	0,68	4,18	7,52

Продолжение таблицы 3.3					
		90%	0,17	4,16	7,49
№24И	1,7	30%	1,19	4,17	7,51
		60%	0,68	4,17	751
		90%	0,17	4,16	7,49
№21И	1,1	30%	0,77	4,18	7,53
		60%	0,44	4,18	7,53
		90%	0,11	4,18	7,53
№30И	0,8	30%	0,56	4,18	7,53
		60%	0,32	4,18	7,53
		90%	0,08	4,18	7,53
№23И	2,6	30%	1,82	4,18	7,53
		60%	0,4	4,14	7,44
		90%	0,26	4,14	7,44

Как была сказано выше, конденсаторные установки оказывают влияние на режим напряжения сети, поэтому необходимо использовать их для регулирования напряжения потребителя. При этом следует иметь в виду, что конденсаторные установки, устанавливаемые у потребителя в сетях напряжением 0,4 и 6 - 10 кВ, предназначены главным образом для снижения потерь активной мощности.

Мощность конденсаторных установок, которые должны быть установлены в сетях, и место их установки определяются специальными технико-экономическими расчетами с учетом баланса реактивной мощности в соответствующем узле электрической системы, потерь напряжения и активной мощности в распределительных сетях. Схема размещения КУ на одном из фидеров приведена на рисунке 3,5

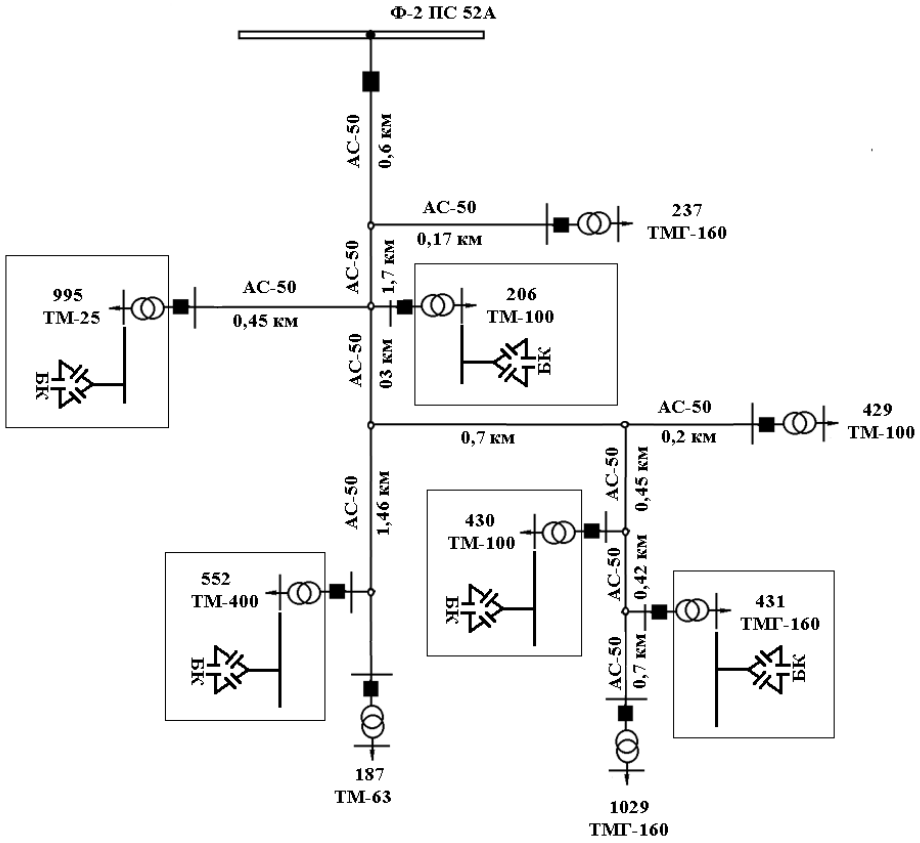


Рисунок 3.10 - Схема размещения КУ по ТП

Таким образом, для регулирования напряжения в электрических сетях 10 кВ Ф-2 устанавливаем КУ у потребителя в сетях с напряжением 0,4 кВ и производим расчет режимов электрической сети. Устанавливаем КУ там, где отклонения напряжения не соответствовала допустимым значениям. (ТП 206, ТП 995, ТП 552, ТП 430, ТП 431)

Таблица 3.4 – Перечень КУ устанавливаемых на ТП

Номер ТП	Sном, кВА	Q1, кВар	QБК, кВар	Тип БК
206	100	79,005	50	УКМ58М-0,4-50-25 У3
995	25	22,5	15	УКМ58М-0,4-15-33,3 У3
552	400	134,955	100	УКМ58М-0,4-100-33,3 У3
430	160	126,42	100	УКМ58М-0,4-100-33,3 У3
431	160	126,42	100	УКМ58М-0,4-100-33,3 У3

Результаты расчета в минимальном режиме (лето) фидера при приведены на рисунках.

	О	S	Тип	Номер	Название	U_ном	с	ай	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	I_ma	I_ma	B_ш	V	Delta	Ao
1			База	1	секция1	10					1.629	1.311	10	-100	100				10		
2			Нагр	2	ТП-2743	10							10						9.992	0.016	
3			Нагр	3	нагрузка3	0.38			0.26	0.161			0.38						0.372	-1.123	
4			Нагр	4	ТП 206	10							10						9.98	0.041	
5			Нагр	5	нагрузка5	0.38			0.327	0.203			0.38						0.37	-1.4	
6			Нагр	6	ТП 995	10							10						9.974	0.055	
7			Нагр	7	нагрузка7	0.38			0.092	0.057			0.38						0.376	-0.343	
8			Нагр	8	ТП-2742	10							10						9.969	0.065	
9			Нагр	9	нагрузка9	0.38			0.149	0.092			0.38						0.375	-0.583	
10			Нагр	10	ТП 429	10							10						9.967	0.071	
11			Нагр	11	нагрузка11	0.38			0.587	0.364			0.38						0.361	-2.578	
12			Нагр	12	ТП 552	10							10						9.97	0.07	
13			Нагр	13	нагрузка13	0.38			0.092	0.057			0.38						0.379	0.07	
14			Нагр	14	ТП 430	10							10						9.97	0.07	
15			Нагр	15	нагрузка15	0.38			0.149	0.092			0.38						0.379	0.07	
16			Нагр	16	ТП 431	10							10						9.97	0.07	
17			Нагр	17	нагрузка17	0.38			0.587	0.364			0.38						0.379	0.07	
18			Нагр	18	ТП 1029	10							10						9.97	0.069	
19			Нагр	19	нагрузка19	0.38			0.184	0.114			0.38						0.374	-0.731	
20			Нагр	20	ТП 187	10							10						9.971	0.068	
21			Нагр	21	нагрузка21	0.38			0.347	0.215			0.38						0.369	-1.461	

Рисунок 3.11 – Расчетные данные минимального режима (лето) работы узлов данной сети

	О	S	Тип	N_нач	N_кон	N_г	руг	Название	R	X	B	Кт/г	P_нач	Q_нач	Na
1			ЛЭП	1	2			секция1 - ТП-2743	0.058	0.018			-0.523	-0.437	
2			Тр-р	2	3			ТП-2743 - нагрузка3	2.016	8.73		0.038	-0.162	-0.103	
3			ЛЭП	2	4			ТП-2743 - ТП-2741	0.11	0.034			-0.369	-0.333	
4			Тр-р	4	5			ТП-2741 - нагрузка5	2.016	8.73		0.038	-0.209	-0.134	
5			ЛЭП	4	6			ТП-2741 - ТП-2791	0.092	0.035			-0.179	-0.222	
6			Тр-р	6	7			ТП-2791 - нагрузка7	2.016	8.73		0.038	-0.094	-0.059	
7			ЛЭП	6	8			ТП-2791 - ТП-2742	0.07	0.022			-0.136	-0.167	
8			Тр-р	8	9			ТП-2742 - нагрузка9	2.016	8.73		0.038	-0.078	-0.049	
9			ЛЭП	8	10			ТП-2742 - ТП-2786	0.047	0.018			-0.123	-0.162	
10			Тр-р	10	11			ТП-2786 - нагрузка11	2.016	8.73		0.038	-0.292	-0.19	
11			ЛЭП	10	12			ТП-2786 - ТП-2783	0.184	0.058			0.167	0.038	
12			Тр-р	12	13			ТП-2783 - нагрузка13	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
13			ЛЭП	12	14			ТП-2783 - ТП-2789	0.023	0.007			-0.019	-0.004	
14			Тр-р	14	15			ТП-2789 - нагрузка15	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
15			ЛЭП	14	16			ТП-2789 - ТП-2785	0.06	0.023			-0.047	-0.02	
16			Тр-р	16	17			ТП-2785 - нагрузка17	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
17			ЛЭП	16	18			ТП-2785 - ТП-2740	0.132	0.041			-0.027	-0.015	
18			Тр-р	18	19			ТП-2740 - нагрузка19	2.016	8.73		0.038	-0.145	-0.092	
19			ЛЭП	18	20			ТП-2740 - ТП-2749	0.046	0.018			0.101	0.075	
20			Тр-р	20	21			ТП-2749 - нагрузка21	2.016	8.73		0.038	-0.102	-0.064	

Рисунок 3.12 – Расчетные данные минимального режима (лето) работы ветвей данной сети

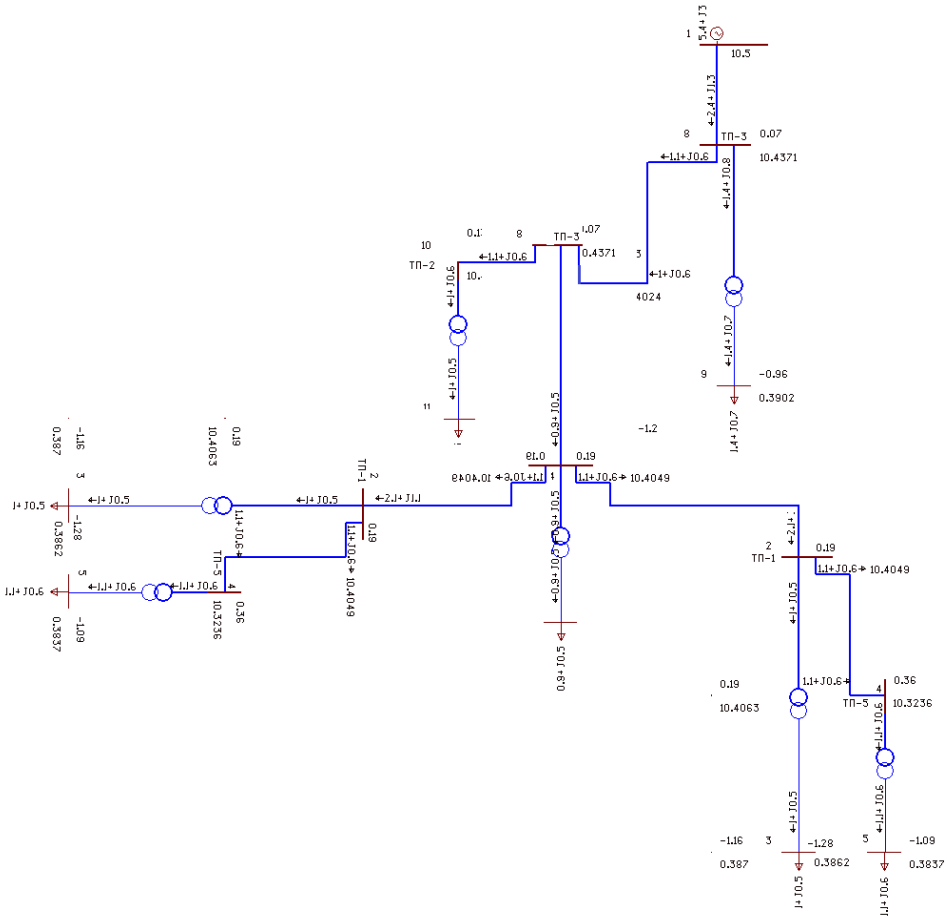


Рисунок 3.13 - Схема потоко распределения электрической сети 10 кВ Ф-2

	Ip+	Район	Dp	dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Ш_ЛЭП	Ш_Тр	dP_Ш
		U_ном		dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Корона	XX_тр-р	
1				0.008118	0.000988	0.00713				

Рисунок 3.14 – Активные потери минимального режима (лето)

	S	Номер	Название	U_ном	V	dV
1		1	секция1	10.5	10.5	
2		2	ТП-2743	10	10.496	4.964
3		3	нагрузка3	0.38	0.394	3.803
4		4	ТП 206	10	10.491	4.914
5		5	нагрузка5	0.38	0.393	3.409
6		6	ТП 995	10	10.489	4.891
7		7	нагрузка7	0.38	0.396	4.221
8		8	ТП 429	10	10.488	4.878
9		9	нагрузка9	0.38	0.396	4.324
10		10	ТП 552	10	10.487	4.87
11		11	нагрузка11	0.38	0.39	2.75
12		12	ТП 430	10	10.49	4.901
13		13	нагрузка13	0.38	0.399	4.901
14		14	ТП 431	10	10.49	4.901
15		15	нагрузка15	0.38	0.399	4.9
16		16	ТП 1029	10	10.49	4.898
17		17	нагрузка17	0.38	0.399	4.897
18		18	ТП 187	10	10.489	4.894
19		19	нагрузка19	0.38	0.395	3.852
20		20	ТП-2749	10	10.49	4.9
21		21	нагрузка21	0.38	0.396	4.173

Рисунок 3.15 - Напряжения минимального режима (лето)

Расчет максимального режима работы Ф-2 показывает:

- напряжения в узловых точках рассмотренной сети находятся в пределах допустимых значений ±5%;

- потери в линиях составляют 0,000988 МВт, а потери в трансформаторах 0,00713 МВт.

Примем за коэффициент использования максимума значение равное 0,75, тогда согласно формуле 2.9, рассчитаем суммарные потери за лето:

$$\Delta W_{Л} = 8{,}12 \cdot 0{,}75 \cdot 24 \cdot 190 = 27770{,}4 \text{ кВт}.$$

Результаты расчета в максимальном режиме (зима) одного фидера на рисунках.

	D	S	Тип	Номер	Название	U_ном	c	йс	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	I_mir	I_ma	B_ш	V	Delta	йо
1			База	1	секция1	10					1.629	1.311	10	-100	100				10		
2			Нагр	2	ТП-2743	10							10						9.992	0.016	
3			Нагр	3	нагрузка3	0.38			0.26	0.161			0.38						0.372	-1.123	
4			Нагр	4	ТП 206	10							10						9.98	0.041	
5			Нагр	5	нагрузка5	0.38			0.327	0.203			0.38						0.37	-1.4	
6			Нагр	6	ТП 995	10							10						9.974	0.055	
7			Нагр	7	нагрузка7	0.38			0.092	0.057			0.38						0.376	-0.343	
8			Нагр	8	ТП-2742	10							10						9.969	0.065	
9			Нагр	9	нагрузка9	0.38			0.149	0.092			0.38						0.375	-0.583	
10			Нагр	10	ТП 429	10							10						9.967	0.071	
11			Нагр	11	нагрузка11	0.38			0.587	0.364			0.38						0.361	-2.578	
12			Нагр	12	ТП 552	10							10						9.97	0.07	
13			Нагр	13	нагрузка13	0.38			0.092	0.057			0.38						0.379	0.07	
14			Нагр	14	ТП 430	10							10						9.97	0.07	
15			Нагр	15	нагрузка15	0.38			0.149	0.092			0.38						0.379	0.07	
16			Нагр	16	ТП 431	10							10						9.97	0.07	
17			Нагр	17	нагрузка17	0.38			0.587	0.364			0.38						0.379	0.07	
18			Нагр	18	ТП 1029	10							10						9.97	0.069	
19			Нагр	19	нагрузка19	0.38			0.184	0.114			0.38						0.374	-0.731	
20			Нагр	20	ТП 187	10							10						9.971	0.068	
21			Нагр	21	нагрузка21	0.38			0.347	0.215			0.38						0.369	-1.461	

Рисунок 3.16– Расчетные данные максимального режима (зима) работы узлов данной сети

	D	S	Тип	N_нач	N_кон	_	у	Название	R	X	B	Кт/г	P_нач	Q_нач	Na
1			ЛЭП	1	2			секция1 - ТП-2743	0.058	0.018			-0.627	-0.504	
2			Тр-р	2	3			ТП-2743 - нагрузка3	2.016	8.73		0.038	-0.174	-0.11	
3			ЛЭП	2	4			ТП-2743 - ТП-2741	0.11	0.034			-0.46	-0.393	
4			Тр-р	4	5			ТП-2741 - нагрузка5	2.016	8.73		0.038	-0.219	-0.14	
5			ЛЭП	4	6			ТП-2741 - ТП-2791	0.092	0.035			-0.26	-0.275	
6			Тр-р	6	7			ТП-2791 - нагрузка7	2.016	8.73		0.038	-0.061	-0.038	
7			ЛЭП	6	8			ТП-2791 - ТП-2742	0.07	0.022			-0.249	-0.241	
8			Тр-р	8	9			ТП-2742 - нагрузка9	2.016	8.73		0.038	-0.099	-0.063	
9			ЛЭП	8	10			ТП-2742 - ТП-2786	0.047	0.018			-0.214	-0.22	
10			Тр-р	10	11			ТП-2786 - нагрузка11	2.016	8.73		0.038	-0.394	-0.26	
11			ЛЭП	10	12			ТП-2786 - ТП-2783	0.184	0.058			0.178	0.05	
12			Тр-р	12	13			ТП-2783 - нагрузка13	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
13			ЛЭП	12	14			ТП-2783 - ТП-2789	0.023	0.007			-0.005	0.009	
14			Тр-р	14	15			ТП-2789 - нагрузка15	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
15			ЛЭП	14	16			ТП-2789 - ТП-2785	0.06	0.023			-0.032	-0.007	
16			Тр-р	16	17			ТП-2785 - нагрузка17	3.563	11.25		0.038	-0	-0	
17			ЛЭП	16	18			ТП-2785 - ТП-2740	0.132	0.041			-0.012	-0.002	
18			Тр-р	18	19			ТП-2740 - нагрузка19	2.016	8.73		0.038	-0.123	-0.078	
19			ЛЭП	18	20			ТП-2740 - ТП-2749	0.046	0.018			0.094	0.074	
20			Тр-р	20	21			ТП-2749 - нагрузка21	2.016	8.73		0.038	-0.231	-0.149	

Рисунок 3.17 - Расчетные данные максимального режима (зима) работы ветвей данной сети

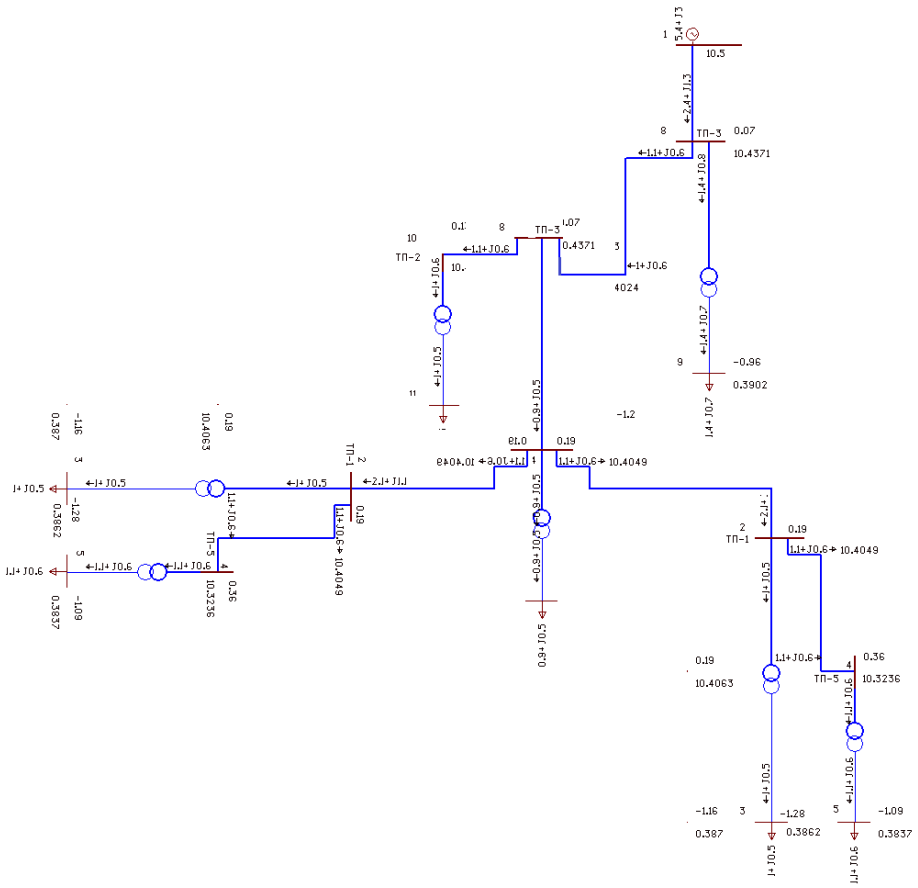


Рисунок 3.18 - Схема потоко распределения электрической сети 10 кВ Ф-2

	∿p+	Район	Dp	dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Ш_ЛЭП	Ш_Тр	dP_Ш
		U_ном		dP_нагр	dP_ЛЭП	dP_Тр	dP_пост	Корона	XX_тр-р	
1				0.01162	0.001487	0.01014				

Рисунок 3.19 – Активные потери максимального режима (зима)

	S	Номер	Название	U_ном	V	dV
1		1	секция1	10.5	10.5	
2		2	ТП-2743	10	10.496	4.957
3		3	нагрузка3	0.38	0.394	3.712
4		4	ТП 206	10	10.49	4.896
5		5	нагрузка5	0.38	0.393	3.318
6		6	ТП 995	10	10.486	4.864
7		7	нагрузка7	0.38	0.397	4.427
8		8	ТП 429	10	10.484	4.842
9		9	нагрузка9	0.38	0.396	4.128
10		10	ТП 552	10	10.483	4.829
11		11	нагрузка11	0.38	0.387	1.947
12		12	ТП 430	10	10.486	4.863
13		13	нагрузка13	0.38	0.398	4.862
14		14	ТП 431	10	10.486	4.863
15		15	нагрузка15	0.38	0.398	4.862
16		16	ТП 1029	10	10.486	4.861
17		17	нагрузка17	0.38	0.398	4.86
18		18	ТП 187	10	10.486	4.859
19		19	нагрузка19	0.38	0.395	3.98
20		20	ТП-2749	10	10.486	4.865
21		21	нагрузка21	0.38	0.392	3.193

Рисунок 3.20 - Напряжения максимального режима (зима)

Расчет максимального режима работы Ф-2 показывает:

- напряжения в узловых точках рассмотренной сети находятся в пределах допустимых значений ±5%;

- потери в линиях составляют 0,001487 МВт, а потери в трансформаторах 0,01014 МВт.

Сравнительный анализ потерь электроэнергии и отклонения напряжения приведены в таблицах 2.1 и 2.2

Таблица 3.5 - Анализ потерь электроэнергии

№	Режимы	Wл, кВт ч	Wз, кВт ч	W, кВт ч
1	До мероприятия по регулированию напряжения	69015,6	90468	159483,6
2	После мероприятия по регулированию напряжения	27770,4	36603	64373,4

Таблица 3.6 - Анализ отклонения напряжения

№	Режимы	№ ТП	До мероприятия по регулированию напряжения		После мероприятия по регулированию напряжения	
			U, кВ	ΔU, %	U, кВ	ΔU, %
1	Минимальный режим (лето)	ТП 206	9802,08	- 2,19	10,5	4,9
		ТП 995	9738,28	-3,30	10,48	4,8
		ТП 552	9503,32	- 4,29	10,49	4,8
		ТП 1029	9423,58	- 5,29	10,5	4,9
2	Максимальный режим (зима)	ТП 206	9722,61	-12,89	10,5	4,9
		ТП 995	9607,93	-14,86	10,4	4,8
		ТП 429	8512,89	-15,84	10,3	4,7
		ТП 1029	8327,34	-17,48	10,5	4,8

Вернемся, однако, к вопросу схемотехнической реализации транзисторных усилительных каскадов различного назначения. В первую очередь обсудим то, как будут видоизменяться решения некоторых конкретных цепей при постепенном переходе от низких частот к более высоким.

Усилители, предназначенные для усиления сигналов нулевой частоты — это т.н. усилители постоянного тока. Однако очевидно, что в реальности от конкретных устройств нам требуется работоспособность не только на нулевой частоте, но и в некотором, пусть незначительном, диапазоне частот, вплотную примыкающем к нулевой. Т.е. в общем случае можно говорить об усилителях низкой частоты, делая некоторый акцент на особенностях, присущих именно усилителям постоянного тока.

Характерной чертой низкочастотных электрических сигналов по сравнению с высокочастотными является некоторая трудоемкость воздействия на них с помощью пассивных компонентов электрических схем, таких как: емкости и индуктивности. Вызвано это в первую очередь тем, что для достижения требуемых воздействий на низких частотах мы должны применять большие емкости и большие индуктивности. Но с другой стороны, низкие частоты обладают и хорошими качествами — они не проникают, как высокочастотные сигналы, во все возможные точки схем, наводя там помехи, а для работы с низкочастотными сигналами не нужны дорогие и легко выходящие из строя радиокомпоненты.

Основной задачей низкочастотных усилителей обычно является усиление сигналов звуковой частоты (10...20000 Гц) в различных устройствах промышленной и бытовой радиоаппаратуры. Важнейшими характеристиками таких усилителей являются выходная мощность и уровень нелинейных искажений. Если с выходной мощностью все более или менее ясно – от нее зависит громкость звука, который мы слушаем – то о нелинейных искажениях скажем особо. Дело в том, что когда мы имеем дело с высокочастотными сигналами, то в подавляющем большинстве случаев – это модулированные сигналы, в которых качество передаваемого сообщения в некотором смысле защищено с помощью того или иного метода модуляции. Т.е. незначительные

искажения высокочастотного сигнала могут и не отразиться на модулирующем низкочастотном сигнале. Совсем по другому приходится относиться к искажениям в низкочастотных усилителях. Ведь здесь все вносимые в сигнал изменения будут в точности воспроизводиться на выходе.

Учитывая вышеизложенное, в низкочастотных усилителях, как правило, гораздо большее значение имеют вопросы оптимального выбора и обеспечения стабильности рабочей точки, а поскольку и протекающие в таких усилителях мощности также гораздо выше типичных для высокочастотных схем уровней, то и проблемы эффективности (коэффициента полезного действия), температурного режима и защиты элементов от повышенных токов и напряжений здесь встают гораздо чаще.

Обычным схемотехническим решением для любых высокочастотных схем является включение в цепи прохождения сигналов конденсаторов, которые имеют низкое сопротивление на частоте сигнала и высокое на низких частотах. Это позволяет отделить полезный высокочастотный переменный сигнал от постоянной составляющей, которая не проходит через конденсатор. С другой стороны, применение индуктивностей, которые, наоборот, имеют маленькое сопротивление на низких частотах и большое сопротивление на высоких частотах, позволяет выделять только постоянную составляющую, не оказывая при этом влияния на полезный высокочастотный сигнал.

Таким образом, в высокочастотных усилителях мы можем проектировать цепи смещения и цепи протекания полезного сигнала совершенно отдельно друг от друга. В низкочастотных каскадах (а тем более в усилителях постоянного тока) мы лишены этого удовольствия. Здесь любой конденсатор и любая индуктивность (если только они не сравнимы по размерам с консервной банкой) неизбежно окажут некоторое влияние на полезный сигнал. Иногда таким влиянием можно пренебречь. Но если мы хотим добиться достаточно качественного звучания, то приходится постоянно помнить о наличии данной проблемы. Цепи смещения и цепи протекания полезного сигнала в низкочастотных усилительных каскадах оказываются в значительной степени совмещенными (а в усилителях постоянного тока они полностью совмещены), т.е. мы должны проектировать их так, чтобы вносимые ими в полезный сигнал искажения были минимальными. Но совершенно избавиться от этих искажений мы не в состоянии. Поэтому в низкочастотные усилительные каскады очень часто включаются специальные корректирующие цепи, которые не оказывают влияния на режимы работы транзисторов по постоянному току, но исправляют некоторые важнейшие параметры, отражающие работу на переменном сигнале (к таким параметрам в первую очередь относятся: частотная и фазовая характеристики каскада, входное и выходное сопротивление, динамический диапазон и т.п.). Здесь мы не имеем в виду, что в высокочастотных усилителях не бывает цепей частотной коррекции и т.п., но вот способы включения таких цепей, а главное, их назначение оказываются, как правило, различными для высокочастотных и низкочастотных усилителей.

В низкочастотных усилителях цепи коррекции обычно включаются в виде разнообразных внутри- или междукаскадных обратных связей. При этом могут использоваться как уже имеющиеся в каскаде цепи обратной связи, образованные элементами смещения, так и новые цепочки, работающие только для переменной составляющей входного сигнала. Возможно очень большое число разновидностей данных цепей коррекции. Второй способ — это включение корректирующих элементов между каскадами многокаскадного усилителя. Для коррекции на низких частотах обычно применяются различные RC-цепочки. Ранее было довольно популярным использование низкочастотных трансформаторов, но этот метод по причине низкого качества и больших габаритов самих трансформаторов сегодня можно считать ушедшим в прошлое, в современных схемах предпочтение отдается пусть более сложным в схемотехническом плане, но более эффективным и надежным решениям.

Желание добиться минимального уровня искажений в низкочастотных усилителях приводит нас к еще одной проблеме. Эффективность простейших решений усилительных каскадов на биполярных транзисторах с точки зрения отношения потребляемой каскадом мощности к мощности добавляемой к усиливаемому сигналу очень низка. Это обычно терпимо для маломощных схем в каскадах предварительного и промежуточного усиления, но в выходных каскадах усиления мощности данная проблема становится основной, ограничивающей возможность достижения приемлемых показателей. Для ее решения, во-первых, используются специальные виды усилительных каскадов (например, двухтактный каскад), в которых удается поднять КПД до приемлемого уровня, а во-вторых, вводятся дополнительные элементы, предназначенные для снижения уровня нелинейных искажений, неизбежно нарастающего, когда транзистор выходит за пределы режима линейного усиления (а это приходится делать для повышения КПД схемы).

Кроме этого, в усилителях мощности (да и вообще в низкочастотных усилителях) мы часто сталкиваемся с такой проблемой. Напряжения и токи переменных сигналов, протекающие в усилительных каскадах, зачастую сравнимы с допустимыми для применяемых транзисторов предельными электрическими показателями. Также и напряжение источника питания, требуемое для таких усилителей оказывается достаточно высоким. Т.е. нам бывает трудно (а иногда и невозможно) удержать транзистор в режиме линейного усиления, когда сигналы на его электродах близки к предельно допустимым. Все это вынуждает включать в схемы усилителей специальные элементы защиты, предотвращающие выход транзисторов из строя в результате превышения разрешенных режимов, а также строго следить за температурным режимом усилителя и, если необходимо, осуществлять коррекцию рабочих точек по постоянному току.

Не следует думать, что все описанные проблемы, с которыми сталкивается разработчик при проектировании низкочастотного усилителя, не имеют значения для усилителей высокочастотных - это не так. Но обычно

данные проблемы гораздо менее значимы на высоких частотах, поскольку их затеняют другие, не проявлявшиеся на низких частотах эффекты. Что касается свойств конкретных схем включения биполярного транзистора, то можно констатировать, что в низкочастотных усилителях преобладают включения с ОЭ и с ОК, а также разнообразные комбинированные схемы.

Различные схемы включения транзистора (ОЭ, ОБ, ОК) обладают различными входными и выходными параметрами (какими именно, мы будем анализировать позднее). Для высокочастотных усилителей вопросы согласования каскадов по входу и выходу оказываются важны (по мере роста частоты все важнее, а для усилителей диапазона СВЧ вообще обязательны). Отсутствие согласования приводит к росту искажений сигнала, его переотражению обратно на вход предшествующего каскада, за счет чего уменьшается общий коэффициент усиления схемы, а главное — к росту неустойчивости схемы, что может привести к ее самовозбуждению. Чтобы избежать всех этих эффектов, при проектировании высокочастотных схем принимаются специальные меры по согласованию импедансов, т.е. выходной импеданс первого каскада должен быть равен (или, в крайнем случае, должен быть ниже) входному импедансу последующего каскада (заметим, что для низкочастотных усилителей, учитывая необходимость повышения КПД, мы обычно стремимся, чтобы входной импеданс усилительного каскада был гораздо выше выходного импеданса предшествующего каскада). Именно для согласования импедансов на входе высокочастотного каскада приходится включать специальные цепочки. Заметим также, что включать слишком сложные, вносящие достаточно высокие потери фильтры на входе высокочастотных усилительных каскадов (если только это не оконечные каскады) не принято. И без того довольно слабый высокочастотный сигнал может просто затеряться в шумах после прохождения таких фильтров.

Следующей отличительной чертой высокочастотных усилительных каскадов является достаточно умеренное использование в них цепей обратной связи. Дело в том, что на высоких частотах бывает довольно трудно обеспечить устойчивость схем с обратными связями. На одной частоте такая связь может действовать как отрицательная, а на другой — как положительная. Исключение составляют некоторые специальные хорошо изученные и просчитанные виды внутри-каскадных отрицательных обратных связей (обычно имеющие реактивный характер), параметры которых остаются более или менее стабильными в широком частотном диапазоне. Эти требования несколько облегчаются для узкополосных усилителей, в которых рабочий диапазон частот достаточно узок, и, соответственно, параметры различных цепей оказываются более предсказуемыми. Часто встречаются обратные связи, обеспечивающие автоматическую регулировку коэффициента усиления высокочастотных каскадов, поскольку уровень входного высокочастотного сигнала может меняться в очень широких пределах. Однако важнейшей задачей при проектировании высокочастотных усилителей является обратная задача — устранение всех возможных цепей обратной

связи в рабочем диапазоне частот (здесь уместно вспомнить конденсатор, включаемый параллельно сопротивлению в цепи эмиттера, как показано на рис. 3.21, 3.24). По мере повышения частоты эта задача становится все более трудоемкой, поскольку высокочастотные сигналы постоянно пытаются проникнуть туда, куда не надо, пользуясь при этом паразитными емкостями монтажа, внутренними токами утечки транзисторов, электромагнитным излучением соединительных проводников, индуктивностей и других компонентов схемы. С этими явлениями борются в первую очередь оптимизацией размещения компонентов при монтаже, разнообразными экранирующими перегородками, минимизацией размеров самих элементов и применением элементов с лучшими высокочастотными свойствами.

Напрашивается простой вопрос: а зачем необходимо так старательно контролировать все возможные цепи обратной связи? Дело в том, что наличие или отсутствие таких цепей оказывает определяющее воздействие на устойчивость усилителя. Существует целая теория устойчивости, позволяющая предсказывать поведение самых разнообразных схем. Основной проблемой здесь является то, что схема, вроде бы нормально работающая при тестовых испытаниях, когда на нее подается чистый полезный сигнал, может оказаться легковозбудимой вне рабочей полосы усиления, т.е. в реальном устройстве, где всегда имеются некоторые помехи и нежелательные продукты интермодуляции, действующие вне рабочей полосы, такая схема работать не сможет. Потеря устойчивости вызывает значительные нелинейные искажения сигнала, а в пределе схема может самовозбудиться, превратившись из усилителя в генератор. Не следует думать, что данная проблема отсутствует в низкочастотных усилителях. Но там она оказывается гораздо более предсказуемой и управляемой, так что не вызывает очень уж серьезных затруднений при проектировании усилителей. А вот в высокочастотных усилителях неконтролируемое самовозбуждение может проявляться даже в тщательно просчитанных и профессионально собранных схемах.

При регулировании напряжении с установкой КУ уровни напряжения находятся в пределах нормы и годовые потери составили 64 373,4 кВт. Разница годовых потерь составляет 42,44%.

4 Охрана труда и безопасность жизнедеятельности на ПС 35 кВ и выше

4.1 Анализ условий труда

Согласно ГОСТу 12,1,005 – 88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» выбираем II категорию работ для диспетчерской службы.

Даже при совершенной технологии и современном оборудовании не удается полностью исключить попадание в воздух производственного помещения вредных веществ. В этих случаях для защиты людей используется система вентиляции (организованный и регулярный воздухообмен в производственном помещении, обеспечивающий создание благоприятных метеорологических условий и отвечающий требованиям технологического процесса).

Вентиляционные системы обеспечивают необходимые параметры микроклимата, а также заданный состав воздушной среды в производственных помещениях.

Показатели, характеризующие производственную среду рабочей зоны, относятся к санитарно - гигиеническим факторам.

Таблица 4.1 Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата по категории работ

Период года	Категория работ	Температура		Относительная влажность		Скорость движения, м/с	
		Оптим.	Допуст	Оптим.	Допуст	Оптим.	Допуст
Холодный	Средней тяжести IIа	18 – 20	15 – 24	40 – 60	75	0,2	Не более 0,3

4.2 Пожарная безопасность

Штатным расписанием на ПС-143 предусмотрена пожарная охрана, укомплектованная двумя пожарными машинами: ЛПМ-1 и на базе автомобиля ГАЗ-66. Пожарная охрана несёт круглосуточное дежурство. Автомобилям проводятся регламентные работы и необходимый ремонт. Подстанции и другие объекты филиала укомплектованы первичными средствами пожаротушения.

На ПС-110 -220 кВ распределительные устройства защищены установками автоматического пожаротушения. В истекшем году проведена большая работа по оборудованию объектов филиала установками автоматической пожарной сигнализации.

В целях выявления нарушений противопожарного режима и недостатков по пожарной безопасности, а также привлечения ИТР, рабочих и служащих к проведению противопожарных мероприятий приказом по

предприятию созданы пожарно-технические комиссии (ПТК) по АРЭК и в его структурных подразделениях (РЭС). В соответствии с утверждённым планом в структурных подразделениях проводятся противопожарные инструктажи и противопожарные тренировки. По пожарной безопасности на 2005 г намечено 23 мероприятий - выполнены все (по предписаниям «Госпожнадзора» и «Комплексному плану мероприятий по филиалу на 2002 г.»). Состояние пожарной безопасности проверяется при всех плановых и внезапных проверках структурных подразделений филиала. Вопросы состояния пожарной безопасности включаются в обязательном порядке в программы проведения ежемесячного Дня ТБ.

На все объекты разработаны объектовые пожарные инструкции. На подстанциях и объектах ведутся журналы: «Осмотр складов, лабораторий и других помещений перед их закрытием по окончании работы», «Осмотр транспортных средств на стоянке», «Журнал контроля состояния первичных средств пожаротушения». Ключи от помещений, боксов, лабораторий по окончании работы сдаются в охрану объекта. На подстанциях имеются утверждённые оперативные планы пожаротушения, на особо ответственное оборудование составлены оперативные карточки пожаротушения.

С персоналом филиала проводится следующая работа:

- инструктажи;
- противопожарные тренировки;
- персоналу проводится обучение по программам пожарно-технического минимума;
- вопросы пожарной безопасности включаются в планы технической учёбы;

С персоналом ПС 220 кВ и ПС 110 кВ проведены совместные противопожарные тренировки с боевыми расчётами городских пожарных частей. С персоналом боевых расчётов проводятся занятия по утверждённым программам. Производится пересмотр оперативных карточек пожаротушения и оперативных планов пожаротушения.

4.3 Расчет искусственного освещения помещения диспетчерского пункта ОДЦ АРЭК

Проектирование искусственного освещения заключается в решении следующих задач: произвести расчет искусственного освещения точечным методом и сравнить результаты расчета с фактической освещенностью ОДС, при выявлении недостаточности освещенности методом коэффициента использования определить количество светильников; для создания нормируемого значения освещения.

В диспетчерских при постоянном пребывании людей в помещении, с наблюдением за щитом на расстоянии более 0,5 м норма освещенности составляет 150 лк (справочная величина) (8).

Большое влияние на работоспособность человека оказывает освещение производственного помещения. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность его ошибочных действий. Естественное освещение осуществляется при помощи бокового освещения и коэффициента КЕО = 1.2 % при данной категории работы с наименьшим объектом различения 1 мм.

Для искусственного освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы. Более экономичными являются газоразрядные лампы низкого давления (ЛД, ЛДЦ, ЛБ и др). Для освещения оперативно-диспетчерской службы применяются люминесцентные лампы белого света типа ЛБ номинальной мощностью 40 Вт, поскольку лампы данного типа имеют удовлетворительную светопередачу и наиболее высокую световую отдачу. Длина по штырькам таких ламп 1213,6 мм.

В ОДС расположены светильники серии ЛД. Длина светильников типа ЛД составляет 1240 мм, которые расположены в один ряд параллельно щиту управления.

Расположение светильников общего освещения в помещении определяется: H - высотой помещения, h - высотой подвеса над рабочей поверхностью, a - расстоянием между соседними светильниками или рядами люминесцентных светильников, l - расстоянием от крайних светильников до стены.

Высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью принимается h=1,5м.

Расстояние от стены до ряда светильников 1 = 4 м. и расстояние между соседними светильниками в оперативно-диспетчерской службе равно 0,76 м.

На рисунке 4.1 показана существующая схема расположения светильников в ОДС.

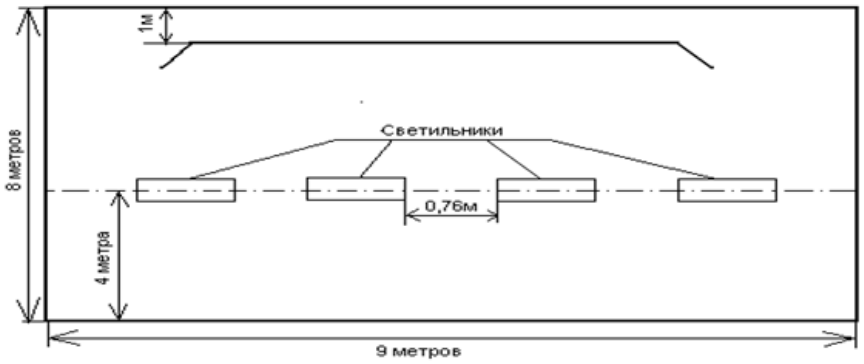


Рисунок 4.3 Схема расположения светильников в диспетчерской

Все представленные далее расчетные соотношения получаются при решении данной системы уравнений.

Учитывая, что эквивалентное сопротивление индуктивности $L1$ для высокочастотных сигналов в рабочей поле частот очень высоко, мы можем

исключить из дальнейшего рассмотрения анализ процессов в ветви $L1$ $R_Э$ и предположить: $Z_L \to \infty$, $I_L \to 0$.

Видно, что абсолютное значение входного сопротивления так или иначе зависит от множества факторов. На некоторые них мы можем влиять, изменяя конструктивные параметры каскада $\left(Z_Л, n, R_H\right)$, а некоторые целиком определяются свойствами примененного транзистора $\left(\alpha, r_{BX}\right)$

Причем по мере увеличения глубины ООС (по мере уменьшения n) входное сопротивление продолжает расти. В общем случае можно констатировать, что (при применении одних и тех же элементов) в каскаде с ООС (рис. 5.23) входное сопротивление увеличивается примерно в 1,5...2,5 раза по сравнению с входным сопротивлением схемы без цепи обратной связи (рис. 5.21).

Выше мы отмечали, что входное сопротивление r_{BX} высокочастотных транзисторов в схеме с ОБ обычно лежит в диапазоне 20...100 Ом. Однако это более или менее соблюдается только для достаточно маломощных (~100 мВт) германиевых и кремниевых приборов. В приборах с рассеиваемой мощностью 200...300 мВт входное сопротивление в схеме с ОБ может составлять единицы ом, а при мощности около 1 Вт и выше — десятые доли ома. В таких случаях применение схемы с ОБ в виде, представленном на рис. 5.21, становится крайне затруднительным даже в высокочастотных усилителях. Поэтому увеличение входного сопротивления, достигаемое в каскаде с трансформаторной ООС (рис. 5.23) оказывается как нельзя кстати. Более того, анализ формулы (5.24) показывает, что при уменьшении r_{BX} эта величина практически перестает влиять на полное входное сопротивление усилителя, которое теперь целиком определяется значениями n и $Z_Л$. А если сейчас взглянуть на рис. 5.26, то можно видеть, что именно конструктивный параметр трансформатора $Z_Л$ более всего воздействует на R_{BX}.

В высокочастотных устройствах широкое распространение получила 50-омная техника. При построении усилителя с ОБ по схеме на рис. 5.23 значение $R_{BX} \approx 50$ Ом может оказаться недостижимым из-за технологических ограничений. В этом случае на входе каскада добавляется еще один согласующий широкополосный трансформатор, как это показано на рис. 5.27. Коэффициент трансформации такого трансформатора может оказаться как больше, так и меньше единицы (обычно n_2=0,7... 1,3), в зависимости от того, какой вид рассогласования ($R_{BX} > 50$ Ом или $R_{BX} < 50$ Ом, где R_{BX} — входное сопротивление каскада без дополнительного согласующего трансформатора) мы устраняем. Следует только помнить, что дополнительный трансформатор неизбежно вносит некоторое затухание в полезный сигнал (~0,5... 1 дБ) и ухудшает шумовые свойства усилителя.

Отрицательной чертой анализируемого каскада является зависимость входного сопротивления от сопротивления нагрузки (вообще, влияние параметров выходной цепи на входные параметры присуще всем типам усилителей с обратными связями). Это означает, что при возникновении рассогласования на выходе автоматически возникает рассогласование и по входу. Т.е. в многокаскадном усилителе, построенном на базе схемы с рис.5.23 или 5.27, при любых проблемах на выходе будет наблюдаться цепной эффект, приводящий к значительному снижению общего коэффициента усиления мощности.

Как будет показано в дальнейшем, конструктивные особенности широкополосного трансформатора в цепи ООС оказывают большое влияние не только на входное сопротивление, но и на многие другие свойства рассматриваемого каскада. Причем заметим, что значение здесь имеют не только свойства линии, образуемой скрученными обмотками $Z_Л$, но и характер размещения этих обмоток на сердечнике и друг относительно друга.

Выходное сопротивление ($R_{ВЫХ}$) усилительного каскада, эквивалентная схема которого представлена на рис. 5.24, при условии полного согласования на входе $\left(R_{ВХ} = R_Г\right)$ и выходе $\left(R_Н = R_{ВЫХ}\right)$ находится по формуле:

$$R_{ВЫХ} = \sqrt{\frac{n^2 r_{ВХ} Z_Л^2 \left(2r_{ВХ} + Z_Л\right)}{\left[5r_{ВХ} + Z_Л\left(3-2\alpha\right)\right]}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\left[r_{ВХ}\left(2+n\left(2+3n\right)\right) + Z_Л + 2nZ_Л\alpha\right]}} \quad (5.25)$$

Анализ формулы (5.25) показывает, что свойства выходного сопротивления рассматриваемого каскада во многом схожи с описанными выше свойствами входного сопротивления. Наибольшее значение здесь по-прежнему имеют конструктивные параметры широкополосного трансформатора. Характер зависимостей относительного изменения выходного сопротивления от относительного изменения величины $Z_Л$ при различных значениях n , $r_{ВХ}$ и а совершенно аналогичен тому, что изображено на рис. 5.26 для относительного изменения входного сопротивления. Величина входного сопротивления транзистора в схеме с ОБ $r_{ВХ}$ может сколь-либо., существенно влиять на выходное сопротивление усилителя только в том случае, когда она имеет тот же или больший порядок, что и величина волнового сопротивления $Z_Л$. И наконец, глубина обратной связи (определяемая коэффициентом трансформации n) также может оказывать некоторое незначительное воздействие на выходное сопротивление, которое будет почти линейно снижаться по мере уменьшения n

Следует отметить, что одна из основных функций широкополосного трансформатора в рассматриваемом каскаде состоит в обеспечении согласования на выходе. Поэтому для получения требуемого выходного сопротивления его конструкция (количество и конфигурация обмоток) может претерпевать значительные изменения. Например, в схеме на рис. 5.28 используется высокочастотный трансформатор с шестью обмотками, а выход сигнала симметричен.

Коэффициент усиления по напряжению $\left(K_{U_}\right)$ схемы на рис. 5.24 определяется по формуле:

$$K_{U_}=\frac{U_H}{U_{BX}}=^{R_{BX}=R_Г}\ 2\frac{U_H}{e_C}=$$

$$=\frac{nR_H\left[r_{BX}\left(2+n\right)+Z_Л+2nZ_Л\alpha\right]}{r_{BX}R_H\left(2+n\left(2+3n\right)\right)+n^2r_{BX}Z_Л+R_H Z_Л\left(1+2n\alpha\right)}. \quad (5.26)$$

Коэффициент усиления по напряжению $\left(K_{U_}\right)$ схемы на рис. 5.24 определяется по формуле:

$$K_{U_}=\frac{U_H}{U_{BX}}=^{R_{BX}=R_Г}\ 2\frac{U_H}{e_C}=$$

$$=\frac{nR_H\left[r_{BX}\left(2+n\right)+Z_Л+2nZ_Л\alpha\right]}{r_{BX}R_H\left(2+n\left(2+3n\right)\right)+n^2r_{BX}Z_Л+R_H Z_Л\left(1+2n\alpha\right)}. \quad (5.26)$$

Коэффициент усиления по току $\left(K_{I_}\right)$:

$$K_{I_}=\frac{I_H}{I_{BX}}=\frac{Z_Л\left[r_{BX}\left(2+n\right)+Z_Л+2nZ_Л\alpha\right]}{n\left[r_{BX}\left(5R_H+2Z_Л\right)+Z_Л\left(Z_Л+R_H\left(3-2\alpha\right)\right)\right]}. \quad (5.27)$$

Коэффициент усиления по мощности $\left(K_{P_}\right)$ находится перемножением соотношений (5.26), (5.27):

$$K_{P_}=\frac{R_H Z_Л\left(r_{BX}\left(2+n\right)+Z_Л+2nZ_Л\alpha\right)^2}{r_{BX}\left(5R_H+2Z_Л\right)+Z_Л\left(Z_Л+R_H\left(3-2\alpha\right)\right)}\cdot$$

$$\cdot\frac{1}{r_{BX}R_H\left(2+n\left(2+3n\right)\right)+n^2r_{BX}Z_Л+R_H Z_Л\left(1+2n\alpha\right)}. \quad (5.28)$$

При детальном рассмотрении всех этих графиков видно, что они ни в чем не противоречат здравому смыслу. Действительно, увеличение глубины ООС (уменьшение n) ведет к падению коэффициента усиления по мощности, о чем

мы уже не раз говорили выше. Заметим, кстати, что данное падение достаточно плавное, сопровождается повышением устойчивости и расширением динамического диапазона усилителя. Кроме того, общий коэффициент усиления по мощности зависит от величины сопротивления нагрузки. Максимум усиления достигается, когда сопротивление нагрузки согласовано с выходным импедансом усилителя $\left(R_{Н\ ОПТ} = R_{ВЫХ}\right)$. Причем некоторое увеличение сопротивления нагрузки от оптимального значения влияет на коэффициент усиления каскада в гораздо меньшей мере, чем уменьшение этого сопротивления.

В заключение отметим еще одну важную особенность каскада с трансформаторной обратной связью по схеме на рис. 5.23. Анализ полученных соотношений для всех параметров каскада показывает, что они крайне слабо зависят от величины коэффициента передачи тока эмиттера а применяемого транзистора (вообще говоря, данное свойство в некоторой мере присуще всем видам усилителей с ОБ, но здесь оно выражается особенно сильно). Это означает, что характеристики схемы практически полностью определяются ее топологией, а не параметрами конкретного экземпляра транзистора. Кроме того, в значительно меньшей мере проявляются частотные зависимости параметров каскада, поскольку влияние на них частотных свойств транзистора минимально. Как результат мы имеем очень равномерную амплитудно-частотную характеристику в широкой полосе частот.

Отрицательной чертой рассматриваемой схемы (рис. 5.23), несмотря на наличие внутрикаскадной ООС, остается ее потенциальная неустойчивость и относительно узкий динамический диапазон. Для уменьшения вероятнсти возбуждения каскада на вывод коллектора транзистора может надеваться маленькое ферритовое колечко.

Иногда забываемым недостатком каскада с ОБ с трансформаторной ООС является высокий коэффициент передачи с выхода на вход. Заметим, что в отличие от рассмотренного ранее похожего усилителя с ОЭ здесь обмотка обратной связи включается непосредственно во входную цепь и ее влияние на источник сигнала гораздо выше, многих случаях обратное прохождение сигнала может вызвать значительные нелинейные искажения, нарушение устойчивости и ухудшение многих других характеристик усилителя. Поэтому при проектировании схем всегда необходимо следить за возможностью такого прохождения и пользовать специальные заградительные цепи, если это необходимо.

Выше мы не раз отмечали, что в высокочастотных каскадах цепи задания смещения по постоянному току могут быть полностью отделены от сигнальных цепей. Схема с ОБ в этом плане наиболее показательна, поскольку здесь обычно приходится использовать различные виды включении транзистора для постоянного и переменного токов. По постоянному току это может быть включение с ОЭ или с ОК, а по переменному, естественно, с ОБ.

Причем на работу транзистора в полосе частот усиливаемого сигнала способ задания смещения влияния не оказывает (значение имеет только стабильность рабочей точки). Таким образом, схема на рис. 5.21 отражает лишь один из возможных вариантов построения усилительного каскада. На практике могут применяться любые рассмотренные в главе 3 способы задания смещения И стабилизации рабочей точки по постоянному току (например, показанные на рис. 5.31). При этом все приведенные соотношения для параметров каскада в рабочей полосе частот остаются неизменными.

Прежде всего отметим, что единственное принципиальное отличие данной схемы от схемы усилительного каскада с ОЭ (рис. 5.1) состоит в том, что выходной сигнал снимается не с коллекторного, а с эмиттерного вывода транзистора. Мы, конечно, могли бы сказать, что кроме этого в схеме с ОК входной сигнал подается не на эмиттерный, а на коллекторный переход (точнее, между базой транзистора и минусом источника питания, являющимся на рис. 5.32 землей схемы). Однако, если глубоко вникнуть в данный вопрос, оказывается, что речь здесь идет только лишь о формальном выборе точки отсчета. Т.е. мы можем совершенно произвольно называть "входным сигналом" разность напряжений между базой и любым из полюсов источника питания. При этом изменятся лишь некоторые математические соотношения, отражающие работу усилителя, но не физические процессы в нем. Естественно, мы

С1, С2 — разделительные конденсаторы (являются элементами межкаскадных связей, предотвращают проникновение постоянной составляющей сигнала с выхода одного каскада усиления на вход другого, могут использоваться для коррекции частотных характеристик);

С3 — фильтрующий конденсатор (предотвращает проникновение переменной составляющей сигнала в цепи питания).

Должны позаботиться о том, чтобы полезный сигнал (тот, который мы хотим

усилить) подавался именно так, как мы предполагали, проектируя усилитель, но это уже задача внешних по отношению к усилительному каскаду цепей.

Указанные обстоятельства показывают, что на практике разница между усилительными каскадами с ОЭ и с ОК очень невелика. Иногда даже бывает трудно идентифицировать тип того или иного усилителя. Тем не менее не стоит забывать, что мелкие, на первый взгляд, отличия могут стать определяющими в формировании общих характеристик каскада. Например, одним из таких важнейших отличий является отсутствие инверсии сигнала в усилителе с ОК (напомним, что сигнал, снимаемый с эмиттера транзистора в усилителе с ОЭ, поворачивается по отношению ко входному сигналу на 180°).

Теперь так же, как и для остальных видов усилительных каскадов, рассматривавшихся в настоящей книге, займемся детальным анализом усилителя с ОК (рис.5.32). Его полная эквивалентная схема для переменных токов и напряжений представлена на рис. 5.33.

При построении эквивалентной схемы в данном случае мы руководствовались теми же принципами, что были описаны в разделе 5.2 для каскада с ОЭ. Внимательный читатель заметит, что в схеме на рис. 5.33 условно-положительные направления переменных токов на электродах транзистора, а также направление источника тока в коллекторной цепи оказались противоположны тому, что было задано на рис. 5.2 в эквивалентной схеме каскада с ОЭ. Это совершенно логично, если вспомнить, что в данном случае мы рассматриваем усилитель на п-р-п-транзисторе (в схеме на рис. 5.2 мы полагали использование транзистора п-р-п-типа, и нам было удобно выбирать условно-положительные направления другими). По эквивалентной схеме сразу видно, что направления входного $U_{Б_}$ и выходного $U_{H_}$ напряжений совпадают, именно это и означает, что инверсии сигнала в данном каскаде нет.

Сопротивление $R_Б$ отражает общее сопротивление входных цепей каскада переменному току и в нашем случав равно: $R_Б = R1 \| R2$.

Входное сопротивление $\left(R_{BX}\right)$ эквивалентной схемы на рис. 5.33 определяется как параллельное включение цепи смещения базы, $R_Б = R1 \| R2$ и входного сопротивления транзистора r_{BX} : $R_{BX} = R1 \| R2 \| r_{BX}$, $r_{BX} = U_{Б_} / I_{Б_}$.

Запишем уравнение Кирхгофа для входной цепи транзистора (Б — Корпус):

$$U_{Б_} = I_{Б_} r_б + I_{Э_} \left(r_Э + R_Э \| R_H\right) \overset{r_K^* \to \infty}{\approx}$$

$$\approx I_{Б_} r_б + I_{Б_} \left(1+\beta\right)\left(r_Э + R_Э \| R_H\right)$$

Тогда:

$$r_{BX} = \frac{U_{Б_}}{I_{Б_}} \approx r_б + \left(1+\beta\right)\left(r_Э + R_Э \| R_H\right). \qquad (5.29)$$

Таким образом, общее входное сопротивление R_{BX} транзисторного усилительного каскада по схеме с ОК определяется: параметрами делителя напряжения $R1, R2$; коэффициентом передачи тока базы β; сопротивлением отрицательной обратной связи в цепи эмиттера $R_Э$. Более глубокий анализ показывает, что входное сопротивление в любом случае не превышает величины:

$$R_{BX\max} < \left(r_K + R_K\right)\left[\left(1+\beta\right) r_K^* + R_K\right].$$

Сравнивая выражение (5.29) с формулой для входного сопротивления усилительного каскада с ОЭ (5.1), можно видеть, что отличия между ними минимальны и обусловлены только включением в эмиттерную цепь

транзистора нагрузки R_H , несколько шунтирующей резистор $R_Э$ и снижающей тем самым входное сопротивление. На практике, однако, в каскадах с ОК обычно достигаются большие значения входного сопротивления, чем в каскадах с ОЭ. Причина здесь в том, что в каскаде с ОК резистор $R_Э$, обеспечивающий отрицательную обратную связь по току, как правило выбирается достаточно большим по сравнению с резистором R_K , который в пределе может и вообще отсутствовать (эмиттерный повторитель).

Выходное сопротивление ($R_{ВЫХ}$) эквивалентной схемы на рис. 5.33 определяется при отключенной нагрузке по переменному току R_H и нулевом входном сигнале, т.е. $e_{C_}$ = 0. Рассмотрим случай, когда к точкам схемы Э— Корпус приложено напряжение сигнала стороннего генератора $U_{Э_}$ подключаемого вместо нагрузки) R_H . Сопротивление r_K^* обычно достаточно велико, и его можно исключить из дальнейшего рассмотрения. Уравнение Кирхгофа для напряжения ($U_{Э_}$ будет иметь следующий вид:

$$U_{Э_} = I_{Э_} r_Э + \left[r_б I_{Б_} + I_{Б_} \left(R_Г \parallel R_Б \right) \right] \approx I_{Б_} \left[\left(1+\beta\right) r_Э + r_б + \left(R_Г \parallel R_Б \right) \right]$$

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ}$ в точках схемы Э — Корпус соответствует формуле $R_{ВЫХ} = R_Э \parallel r_{ВЫХ}$, где:

$$r_{ВЫХ} = \frac{U_{Э_}}{I_{Э_}} \approx \frac{I_{Б_} \left[\left(1+\beta\right) r_Э + r_б + \left(R_Г \parallel R_Б \right) \right]}{I_{Б_} \left(1+\beta\right)} = r_Э + \frac{\left(R_Г \parallel R_Б \right) + r_б}{\left(1+\beta\right)} .$$

Таким образом, выражение для полного выходного сопротивления схемы $R_{ВЫХ}$ принимает вид:

$$R_{ВЫХ} = R_Э \parallel \left[\frac{\left(R_Г \parallel R_Б \right) + r_б}{\left(1+\beta\right)} + r_Э \right] \overset{R_Г \to 0}{\approx} R_Э \left[\frac{r_б}{\left(1+\beta\right)} + r_Э \right] \approx$$

$$\overset{R_Э \gg r_Э, r_б}{\approx} \frac{r_б}{\left(1+\beta\right)} + r_Э \approx r_Э . \qquad (5.30)$$

Сразу видно, что полученный в формуле (5.30) результат даже близко не лежит со значениями выходного сопротивления в каскадах с ОЭ (5.2) и с ОБ (5.20). В схеме с ОК выходное сопротивление оказывается очень малым, поскольку определяется только дифференциальным сопротивление эмиттерного перехода транзистора $r_Э$. У современных маломощных транзисторов величина $r_Э$ обычно лежит в пределах 1...100 Ом. Она сильно

зависит от постоянного ток эмиттера. В некотором приближении можно считать: $r_Э \approx 0{,}026 / I_{Э_0}$. Т.е. при токе 10 мА выходное сопротивление каскада будет не более 3 Ом. Столь низкое выходное сопротивление каскада с ОК позволяет подключать к нему низкоомные нагрузки, обеспечивая при этом хороший КПД (напомним, что большой КПД достигается при значительнее превышении сопротивления нагрузки над выходным сопротивлением источника сигнала).

Коэффициент усиления по току $\left(K_{I_}\right)$ Ток в нагрузке R_H зависит от токораспределения в выходной цепи:

$U_{H_} = I_{\gamma_} R_Э = I_{H_} R_H$.

Поэтому

$\frac{I_{\gamma_}}{I_{H_}} = \frac{R_H}{R_Э} \Rightarrow I_{\gamma_} = I_{H_} \frac{R_H}{R_Э}$.

С учетом $I_{Э_} = I_{\gamma_} + I_{H_}$ получаем:

$I_{Э_} = \frac{I_{H_}\left(R_Э + R_H\right)}{R_Э} \Rightarrow I_{H_} = \frac{I_{Э_} R_Э}{R_Э + R_H} = \gamma_{ВЫХ} I_{Э_}$,где

$\gamma_{ВЫХ} = \frac{R_Э}{R_Э + R_H}$.—коэффициент передачи тока выходной цепи

Подобно схеме с ОЭ, входной ток в схеме с ОК также содержит две составляющие:

$I_{Д_}$ — ток делителя, определяющий часть мощности входного сигнала, рассеиваемой в цепи делителя;

$I_{Б_}$ — ток базы, определяющий часть мощности входного сигнала, затрачиваемой на управление выходным током.

Поэтому коэффициент передачи тока входной цепи $\gamma_{ВХ}$ выражается так же, как и в схеме с ОЭ:

$\gamma_{ВХ} = \frac{R_Б}{R_Б + r_{ВХ}}$; $\quad I_{ВХ_} = \frac{I_{Э_}}{\gamma_{ВХ}}$

Коэффициент усиления по току определяется как отношение тока нагрузки $I_{H_}$ ко входному току $I_{ВХ_}$:

$$K_{I_} = \frac{I_{H_}}{I_{ВХ_}} = \gamma_{ВЫХ} \cdot \gamma_{ВХ} \frac{I_{Э_}}{I_{Б_}} \approx \gamma_{ВЫХ} \cdot \gamma_{ВХ}\left(1+\beta\right) . \quad (5.31)$$

Максимум коэффициента усиления по току $K_{I_\max} \to 1+\beta$ достигается при $R_Э \gg R_H$ и $R_Б \gg r_{BX}$.

Коэффициент усиления по напряжению $\left(K_{U_}\right)$. Для напряжения выходного сигнала в схеме на рис. 5.33 можно записать:

$$U_{H_} = I_{Э_}\left(R_Э \parallel R_H\right) \overset{r_K^* \to \infty}{\approx} I_{Б_}\left(1+\beta\right)\left(R_Э \parallel R_H\right)$$

В свою очередь, уравнение Кирхгофа для входной цепи имеет вид:

$$U_{Б_} = I_{Б_}\frac{R_{BX}}{\gamma_{BX}} = I_{Б_} r_{BX}.$$

Дифференциальное сопротивление прямовключенного эмиттерного перехода $r_Э$ на практике оказывается достаточно малым, и его влиянием в дальнейших вычислениях можно пренебречь.

Коэффициент усиления по напряжению равен отношению напряжения на нагрузке U_{H-} ко входному напряжению U_{BX-}. И для него с учетом полученных выше соотношений можно записать:

$$K_{U_} = \frac{U_{H_}}{U_{BX_}} = \frac{U_{H_}}{U_{Б_}} \approx \frac{I_{Б_}\left(1+\beta\right)\left(R_Э \parallel R_H\right)}{I_{Б_} r_{BX}} =$$

$$= \frac{\left(1+\beta\right)\left(R_Э \parallel R_H\right)}{r_б + \left(1+\beta\right)\left(r_Э + R_Э \parallel R_H\right) I_{Б_} r_{BX}} \overset{r_Э \to 0}{\approx}$$

$$\approx \frac{R_Э \parallel R_H}{r_б/\left(1+\beta\right) + R_Э \parallel R_H} < 1 \qquad (5.32)$$

Из полученной формулы видно, что каскад с ОК не обеспечивает усиления по напряжению (даже наоборот — имеется некоторое незначительное затухание сигнала). Может показаться, что такой каскад совершенно бесполезен (или, по крайней мере, неприменим в усилительных схемах), но это не так. Не обладая усилением по напряжению, схема с ОК имеет высокий коэффициент усиления по току, что позволяет использовать ее для усиления мощности. Коэффициент усиления по мощности, как мы сейчас покажем, здесь; достаточно высок.

Коэффициент усиления по мощности $\left(K_{P_}\right)$ Перемножение соотношений (5.3 1) и (5.32) дает формулу для $K_{P_}$:

$$K_{P_} = \gamma_{BX}\gamma_{ВЫХ}\left(1+\beta\right)\frac{\left(R_Э \parallel R_H\right)}{r_б + \left(1+\beta\right)\left(R_Э \parallel R_H\right)} =$$

$$= \frac{\gamma_{ВХ}\gamma_{ВЫХ}\left(R_Э \parallel R_Н\right)(1+\beta)^2}{r_б + (1+\beta)\left(R_Э \parallel R_Н\right)} \approx K_{I-}. \quad (5.33)$$

Первый же взгляд на полученные нами соотношения (5.29) ... (5.33) показывает, что параметры каскада с ОК практически не зависят от величины сопротивления $R_К$ в коллекторной цепи транзистора. Естественно, возникает вопрос: а зачем тогда вообще нужно данное сопротивление? Может быть, оно оказывает какое-то положительное воздействие на стабильность исходной рабочей точки по постоянному току? Однако коэффициент нестабильности тока коллектора при выбранном способе построения цепей смещения будет тем меньше, чем большее сопротивление имеет резистор $R_Э$ в эмиттерной цепи транзистора, образующий внутрикаскадную последовательную ООС по току. Это означает, что при заданной величине питающего напряжения максимальная температурная стабильность исходной рабочей точки достигается при нулевой величине сопротивления $R_К$ в цепи коллектора. Итак, мы приходим к выводу, что в схеме на рис. 5.32 мы можем спокойно принимать) $R_К = 0$, и это будет самое оптимальное решение.

Усилительный каскад на биполярном транзисторе во включении с ОК, в котором реализована 100%-ная последовательная ООС по току (т.е.) $R_К = 0$), принято называть эмиттерным повторителем. Оказывается, что подавляющее большинство усилителей с ОК, используемых в реальной схемотехнике, — это и есть эмиттерные повторители (данный факт продиктован оптимальностью их характеристик по сравнению с другими видами каскадов с ОК, как было показано выше). В связи с этим в литературе довольно часто вообще не различают "эмиттерный повторитель" и, строго говоря, более общий термин "усилительный каскад с ОК". Однако мы копнем несколько глубже и покажем пару случаев, когда усилитель все-таки может строиться по более общей схеме с ОК и не подпадать под данное нами определение эмиттерного повторителя.

Самое первое, что приходит в голову, это вопрос: а может ли нам понадобиться снимать какой-либо вспомогательный сигнал с коллектора транзистора (так же, как мы это делаем в схемах с ОЭ)? Ответ очевиден — конечно, да. Это могут быть как сигналы, передаваемые в последующие каскады схемы, так и используемые цепями обратной связи (внутри- или междукаскадными). Снимая сигнал с коллектора, мы уже не можем устанавливать нулевое значение сопротивления в цепи коллектора (иначе никакого полезного сигнала на коллекторе не будет), т.е. усилитель неизбежно перестает быть эмиттерным повторителем. Строго говоря, усилительный каскад, в котором в качестве выходных выступают сигналы, снимаемые и с коллектора, и с эмиттера транзистора, вообще нельзя однозначно идентифицировать как каскад с ОК или с ОЭ — для его анализа

потребуются соотношения, выведенные нами для обоих видов усилительных каскадов. На самом деле на практике такие "двойственные" схемы встречаются довольно часто. Это обусловлено тем, что очень удобно иметь в своем распоряжении два противофазных источника сигнала (с эмиттера и коллектора транзистора), выбирая и комбинируя их для оптимального построения последующих схем усиления, коррекции или любой другой обработки.

Обратимся теперь к главе 3, в которой мы описывали возможные схемы задания исходной рабочей точки по постоянному току. В схеме на рис. 5.32 мы представили случай; эмиттерно-базовой стабилизации с ООС по току. Однако на практике возможны и другие решения. Например, схема эмиттерно-базовой стабилизации с ООС по току и ООС по напряжению, в которой резистор $R2$ подключается к выводу коллектора транзистора, а величина резистора R_K оказывает непосредственное влияние на глубину ООС по напряжению и должна выбираться по крайней мере сравнимой с величиной $R_Э$ Впрочем, такие схемы встречаются достаточно редко, и подробный анализ мы здесь проводить не будем. Отметим лишь еще раз, что все многообразие усилительных каскадов с ОК не ограничивается только эмиттерным повторителем, как это можно понять из некоторых книг.

Выше в настоящей книге были приведены весьма подробные описания и проведен детальный анализ свойств ряда простейших усилительных звеньев на биполярных транзит торах. Конечно, мы рассмотрели только несколько самых примитивных решений, не затрагивая пока множество комбинированных схем, строящихся на базе двух или более при боров (дифференциальные усилители, двухтактные каскады, каскадное включение и т.д.). Тем не менее, даже опираясь исключительно на эту незамысловатую схемотехническую базу, мы уже можем строить устройства с довольно хорошими характеристиками.

Было бы несколько несправедливо перегружать читателя чисто теоретической информацией и не показывать то, как можно применять на практике полученные им знания. Поэтому в настоящей главе мы попытаемся помочь ему преодолеть этот барьер и на нескольких примерах проектирования реальных устройств продемонстрируем, каким образом весь полученный выше теоретический материал может быть использован в жизни.

Учитывая, что многие свойства и схемотехнические решения усилительных схем различаются для усилителей низкой частоты и усилителей высокой частоты, мы будем рассматривать проектирование двух устройств: микшера низкочастотных сигналов (для использования, например, в составе звукового комплекса на концерте или дискотеке) и (антенного усилителя дециметрового диапазона волн, предназначенного для улучшения качества приема телевизионных сигналов в диапазоне ДМВ.

Пусть нам необходимо разработать некоторое устройство, обеспечивающее смешение нескольких низкочастотных сигналов от

стандартных источников. Под стандартными источниками мы здесь понимаем типовые линейные выходы разнообразной звуковой аппаратуры (усилители, магнитофоны, эквалайзеры и т.п.). На выходе такого устройства мы должны получить сигнал, уровень которого также должен соответствовать принятому стандарту (т.е. должен быть примерно равен уровню входных сигналов).

Рассматриваемое устройство называется микшером и может пригодиться для технического обеспечения концертного зала, дискотеки и т.п.

В качестве дополнительного требования выдвинем пожелание, чтобы разрабатываемый микшер имел минимальную сложность и мог быть легко воспроизведен новичком.

Схема пассивной цепи, обеспечивающей смешение любых сигналов (и низкочастотных, и высокочастотных), широко известна и представляет собой последовательно-параллельное включение нескольких резисторов (рис. 6.1).

Очевидным недостатком схемы на рис. 6.1 является низкий уровень полезного сигнала на выходе, гораздо меньший уровней сигналов, поступающих на входы схемы. Тем не менее, взяв данную схему за основу, мы можем доработать ее так, чтобы удовлетворить поставленным требованиям. Что же для этого нужно предпринять? Ответ очевиден — необходимо дополнить пассивную резистивную цепь простым усилительным звеном, которое обеспечит увеличение уровня выходного сигнала.

Как мы уже знаем, существуют три основных схемы включения транзистора в усилительный каскад (ОЭ, ОБ, ОК) и, соответственно, три принципиально отличающихся типа усилительных каскадов. Какое же из этих решений наиболее подходит для применения в нашем микшере? Ответить на этот вопрос не так просто, как может показаться. Во всех случаях есть свои плюсы и минусы. Рассмотрим названные варианты по порядку. В случае применения усилительного каскада по схеме с ОЭ мы сможем обеспечить высокое усиление и широкий динамический диапазон. Однако АЧХ усилителя без применения специальных корректирующих цепей не будет равномерной (будет плавно убывать с ростом частоты), а нагрузочная способность будет невысокой (большое выходного сопротивление). Все эти проблемы разрешимы, но связаны с некоторым усложнением схемы.

При применении усилителя с ОБ мы имеем равномерную АЧХ и высокое выходное сопротивление (низкую нагрузочную способность), динамический диапазон уменьшается. Также возникает проблема обеспечения начальной рабочей точки каскада по постоянному току (на низких частотах это может потребовать усложнения цепей смещения в каскаде с ОБ). Дополнительный фактор, отличающий каскад с ОБ, — низкое входное сопротивление, что в нашем случае стоит отнести скорее к плюсам (это обусловлено спецификой использования микшера).

В каскаде с ОК мы не можем получить усиления по напряжению, что, конечно же, в данном случае является недостатком. Зато здесь мы будем иметь равномерную АЧХ (из-за глубокой ООС) и высокую нагрузочную способность.

Из приведенного краткого обзора следует, что в нашем случае разумнее всего остановиться на каскаде с ОБ. Пожалуй, несколько лучшие характеристики мы могли бы получить от двухкаскадной схемы ОЭ—ОК, однако такое решение, по всей видимости, окажется сложнее.

Для обеспечения правильного смещения биполярного транзистора в каскаде с ОБ при питании от однополярного источника нам понадобится источник тока (схема, обеспечивающая протекание стабильного заданного тока и обладающая высоким внутренним сопротивлением).

При проектировании низкочастотных схем мы располагаем широчайшим спектром решений при выборе элементной базы наших устройств. Промышленностью выпускается масса полупроводниковых приборов (транзисторов), различающихся своей усилительной способностью, частотными свойствами, допустимой рассеиваемой мощностью и т.п Сказать, что у нас "есть выбор на все случаи жизни", будет не совсем правильно. Корректнее будет звучать, что у нас "есть широкий выбор в каждом конкретном случае из всех случаев жизни". Таким образом, и в случае нашего микшер у нас масса вариантов.

Мы выберем в качестве основного транзистора КТ342, По всем своим параметрам он нас устраивает. Логичным будет использовать в источнике тока точно такой же прибор (приборы).

Итак, определимся окончательно со схемой нашего основного усилительного звена. Типовое решение с ОБ, данное на рис. 5.21, мы возьмем за основу. Доработка, как мы уже говорили, будет заключаться в дополнении этой схемы источником тока. Зачем он нам нужен? А затем, чтобы предотвратить "поедание" полезного сигнала относительно невысоким сопротивлением $R_Э$ которое в схеме на рис. 5.21 включено между входом усилительного каскада и землей. Заменив этот резистор источником тока с высоким внутренним сопротивлением, мы, во-первых, сохраним нужный нам режим по постоянному току, а во-вторых, увеличим коэффициент передачи тока входной цепи для полезного сигнала.

Выше, на рис. 3.40, мы приводили несколько примеров простых источников тока на биполярных транзисторах. Воспользуемся, например, последней из этих схем (она, помимо высоких характеристик, допускает использование тех же транзисторов, что мы выбрали для основного усилительного звена, — КТ342, т.е. в схеме микшера все используемые полупроводниковые приборы будут одинаковыми, что без сомнения упрощает комплектацию при изготовлении устройства).

Наконец мы можем приступить к построению принципиальной схемы микшера. Ее полный окончательный вариант представлен на рис. 6.3. Заметим, что в процессе проектирования мы внесли в схему еще одну неупомянутую ранее доработку, позволившую нам сократить один резистор. Эта доработка заключается в использовании для питания источника тока напряжения, снимаемого с выхода делителя на базе транзистора, а не

напряжения источника питания. Помимо прочего, в каскаде возникает дополнительная цепь отрицательной обратной связи, стабилизирующая его рабочую точку по постоянному току. Резистор R_0, замыкавший контур протекания входного тока на рис. 6.1, также может быть удален, учитывая низкое входное сопротивление усилительного каскада с ОБ.

В выбранной нами схеме мы в качестве основы использовали несколько нетипичное решение цепей смещения (его расчет мы не рассматривали в главе 3). Тем не менее никаких затруднений при расчете номиналов элементов возникать не должно. Главное — правильно соблюсти последовательность наших действий.

Перво-на-перво, необходимо определиться с исходной рабочей точкой основного транзистора. Воспользовавшись стандартными справочными данными, остановимся на значениях: $I_{К0} \approx I_{Э0} \approx 2$ мА, $U_{КБ0} = 5$ В $U_{БЭ0} \approx 0{,}6$ В Для напряжения источника питания выберем $U_{П} = 12$ В.

Теперь рассмотрим цепь протекания тока "плюс источника питания — транзистор VT1 — транзистор VT2 — резистор $R7$ ". Очевидно, что суммарное падение напряжения в этой цепи должно составлять 12 В. Для транзистора VT1 мы выбрали $U_{КБ0}$ = 5 В; для VT2 разумнее всего выбрать минимально возможное падение напряжения, что достигается при равенстве потенциалов базы и коллектора (дополнительное уменьшение потенциала коллектора приводит к прямому смещению коллекторного перехода и переключению транзистора из активного режима в режим насыщения), т.е. для VT2 мы получим $U_{КБ0} \approx U_{БЭ0} \approx$ 0,6 В; падение напряжения на резисторе $R7$ равно напряжению на эмиттерном переходе транзистора VT2, т.е. $U_{R7} \approx$ 0,6 В, а постоянный ток через этот резистор практически равен току эмиттера транзистора VT1, т.е. $I_{R7} \approx$ 2 мА. Таким образом, сопротивление резистора $R7$ определяется сразу же из известных значений напряжения и тока через этот резистор ($R7$ = 0,6/0,02 = 300 Ом), а падение напряжения на резисторе $R_б$ определяется как разность напряжения источника питания и суммы падений напряжения на остальных участках рассматриваемой цепи ($U_{Rб}$ = 12 - 5 - 0,6 - 0,6 = 5,8 В). И соответственно, для сопротивления резистора $R_б$ имеем: $R_б$ = 5,8/0,02 = 2900 Ом (на практике нам придется округлить это значение до более распространенного номинала 3 кОм).

Процесс вычисления номиналов сопротивлений $R8$, $R9$ протекает аналогично. Здесь только надо определиться с точным значением тока в цепи "плюс источника питания — резистор $R9$ — резистор $R8$ — транзистор VT3". Естественно» его надо выбирать существенно большим, чем ток базы транзистора VT1 (это улучшает стабильность исходной рабочей точки и позволяет избежать зависимости номиналов резисторов от статического

коэффициента передачи тока базы примененных транзисторов). В нашем случае мы примем $I_{R9} \approx 1$мА.

Для определения существующей освещенности по точечному методу необходимо выбрать контрольную точку, в которой минимальная освещенность. В нашем случае контрольной точкой является точка, отстоящая на 7,5 м от наружной стены.

Определим условную суммарную освещенность, создаваемую всеми источниками в контрольной точке. Для этого определим условные освещенности от источников 1, 2, 3 и 4:

$$e_{ri} = I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha / h, \qquad (4.1)$$

где I_α - сила света в направлении угла α, кд (справочная величина);

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

α - угол между направлением силы света в расчетную точку и вертикалью, проведенной от светильника к рабочей поверхности. Для определения угла α воспользуемся следующей формулой:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / h \qquad (4.2)$$

где d - расстояние от контрольной точки до источника.

Для точки № 1:

Расстояние от контрольной точки до ближайшего светильника $d_1 = 2,5$м, высота подвеса светильника над рабочей поверхностью – 1,5м.

Следовательно:

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,5 / 1,5 = 1,6667,$$

$$\alpha = 59^\circ\ 0',$$

$$\cos \alpha = 0,515$$

Тогда: $\cos^3 \alpha = 0,137$.

По справочнику определяем величину $I_\alpha = 69,2$ кд.

Тогда условная освещенность, создаваемая светильником №1 будет равна:

$$e_{ri} = \frac{I_\alpha \cdot \mathrm{Cos}^3 \alpha}{h^2} = \frac{69,2 \cdot 0,137}{1,5^2} = 4,214$$

Аналогичный расчет производится для остальных точек.

Для точки №2: $d_2 = 3{,}2$м, $h = 1{,}5$м

Следовательно: $\operatorname{tg}\alpha = 3{,}2/1{,}5 = 2{,}1333$

Тогда: $\alpha = 64^\circ 54'$, $\cos\alpha = 0{,}4242$, $\cos^3\alpha = 0{,}076$.

По справочнику определяем величину $I_\alpha = 53{,}2$ кд.

Тогда условная освещенность, создаваемая светильником №2 будет равна:

$$e_{ri} = \frac{I_\alpha \cdot \mathrm{Cos}^3\alpha}{h^2} = \frac{53{,}2 \cdot 0{,}076}{1{,}5^2} = 1{,}797$$

Для точки №3: $d_3 = 4{,}7$м, $h = 1{,}5$м

Следовательно: $\operatorname{tg}\alpha = 4{,}7/1{,}5 = 3{,}1333$

Тогда: $\alpha = 72^\circ 18'$, $\cos\alpha = 0{,}3040$, $\cos^3\alpha = 0{,}0281$.

По справочнику определяем величину $I_\alpha = 32{,}5$ кд.

Тогда условная освещенность, создаваемая светильником №3 будет равна:

$$e_{ri} = \frac{I_\alpha \cdot \mathrm{Cos}^3\alpha}{h^2} = \frac{32{,}5 \cdot 0{,}0281}{1{,}5^2} = 0{,}406$$

Для точки №4: $d_4 = 6{,}5$м, $h = 1{,}5$м

Следовательно: $\operatorname{tg}\alpha = 6{,}5/1{,}5 = 4{,}3333$.

Тогда: $\alpha = 77^\circ 0'$, $\cos\alpha = 0{,}0225$, $\cos^3\alpha = 0{,}0114$.

По справочнику определяем величину $I_\alpha = 22$ кд

Тогда условная освещенность, создаваемая светильником №2 будет равна:

$$e_{ri} = \frac{I_\alpha \cdot \mathrm{Cos}^3\alpha}{h^2} = \frac{22 \cdot 0{,}0114}{1{,}5^2} = 0{,}112$$

Условная суммарная освещенность, создаваемая всеми источниками определяется по формуле:

$$\sum e_r = e_{r1} + e_{r2} + e_{r3} + e_{r4} = 4{,}214 + 1{,}797 + 0{,}406 + 0{,}112 = 6{,}529 \text{ лк}.$$

С учетом этого рассчитываем горизонтальную освещенность:

$$E_Г = \frac{F \cdot \mu \cdot \sum e_Г}{1000 K_З} \quad (4.3)$$

где F- световой поток лампы

$\mu = 1{,}1$ - коэффициент, учитывающий увеличение освещенности за счет отражения;

$K_З$ - коэффициент запаса, повышающий расчетное значение освещенности по сравнению с нормированным (справочная величина). $K_З = 1{,}5$.

При расчете люминесцентного освещения световой поток лампы Ф расположенной в ОДС известен и определено количество ламп в светильнике п. Световой поток существующей лампы ЛБ номинальной мощностью 40Вт равен 3120 лм., количество ламп в светильнике равно 2.

Тогда:

$$E_Г = \frac{2 \cdot 3120 \cdot 1{,}1 \cdot 6{,}529}{1000 \cdot 1{,}5} = 29{,}88 \text{ лк}.$$

Проведенные расчеты показали, что фактически существующей освещенности недостаточно, поэтому определим методом коэффициента использования количество светильников, которое необходимо установить по нормам в данном помещении.

Метод коэффициента использования заключается в определении значения коэффициента η равного отношению светового потока, падающего на расчетную поверхность, к полному потоку осветительного прибора. Значения ТI находят из таблиц, связывающие геометрические параметры помещений (индекс помещений i) с их оптическими характеристиками (коэффициентами отражения потолка, стен и пола).

Индекс помещения определяется:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.4)$$

где A - длина помещения;

B - ширина помещения;

h - расчётная высота.

Необходимое количество светильников определим по формуле:

$$N = \frac{E \cdot K_З \cdot S \cdot z}{n \cdot Ф_Л \cdot \eta} \quad (4.5)$$

где E - заданная минимальная освещенность;

$К_з$ - коэффициент запаса, справочная величина $К_з = 1,5$

S - освещаемая площадь, $м^2$;

z- коэффициент неравномерности освещения. Для люминесцентных ламп z = 1,1;

$Ф_Л$ - световой поток каждой лампы, $Ф_Л$ == 3120 лм;

η - коэффициент использования, равный отношению светового потока, падающего на расчетную поверхность, к полному потоку осветительного прибора.

Для определения коэффициента использования необходимо определить оптические характеристики:

$$\rho_{пот}=70\%,\ \rho_{ст}=50\%,\ \rho_{п}=30\%.$$

Индекс помещения:

$$i = \frac{9 \cdot 8}{3 \cdot (9+8)} = 2{,}824 .$$

Тогда при индексе помещения $i=2,824$ для светильников ЛД, относящихся к первой группе, коэффициент использования $\eta=72\%$ - по справочной книге для проектирования электрического освещения [8].

Необходимое количество светильников:

$$N = \frac{150 \cdot 1{,}5 \cdot 72 \cdot 1{,}1}{2 \cdot 3120 \cdot 0{,}72} = 8 .$$

Таким образом, можно сделать реконструкцию системы освещения ОДС. Для этого по точечному методу определим световой поток и количество ламп, которые установим непосредственно перед щитом управления. Необходимая освещенность по справочнику для диспетчерских равна 150 лк, из которых 30 лк обеспечивает фактическая освещенность, то есть:

$$Ф_Л = \frac{E_Г \cdot 1000 \cdot К_З}{\mu \cdot \sum e_Г \cdot n} = \frac{120 \cdot 1000 \cdot 1{,}5}{1{,}1 \cdot 6{,}529 \cdot 4} = 12530 \text{ лк} .$$

По справочнику /8/ для дополнительного искусственного освещения устанавливаем газоразрядные лампы низкого давления мощностью 40 Вт, световой поток которых равен 3120 лк и длинной по штырькам 1213,6 мм в количестве четырех штук, что позволит обеспечить необходимую

освещенность в данном помещении. Выбираем светильники типа ЛД длиной 1240 мм.

Так как в диспетчерской стоит ряд светильников такого же типа и в таком же количестве, их местоположение меняется и светильники размещаем на расстоянии 2,5 метров от стен. Расстояние между рядами светильников равно 3,0 м.Новая схема системы искусственного освещения приведена на рисунке 6.2.

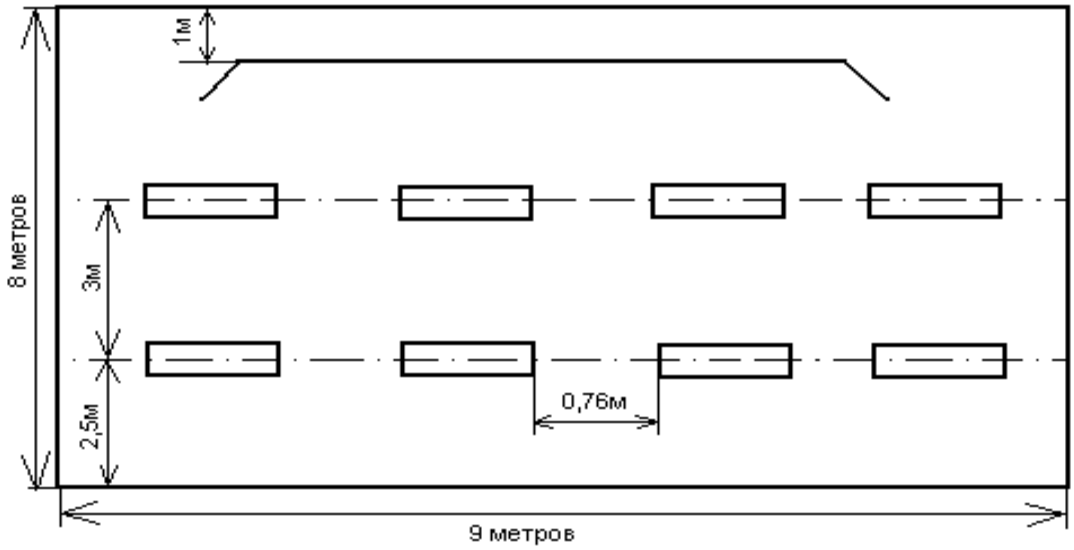


Рисунок 4.3 Схема расположения светильников в помещении диспетчерской

4.4 Расчёт защитной зоны для подстанции

Имеются три категории устройств молниезащиты: I и II - защищает от прямых ударов, электростатической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов. III - от прямых ударов и заноса высоких потенциалов.

Зона защиты молниеотвода - это часть пространства внутри которого объект защищен от ударов молнии с определенной степенью надежности: зона типа А-99. 5% и выше, Б-95% и выше.

Например, I категорию защиты и зону типа А должны иметь взрывоопасные объекты по ПТЭ класса BI и BII, а II-BIa и BIIa причем зоной защиты типа А при ожидаемом количестве поражений в год больше одного, а также Б - меньше одного.

Для приема электростатического заряда молнии и отвода ее токов в землю служат специальные части молниезащиты-молниеотводы, которые состоят из несущей части (опоры), молниеприемника, токоотвода и заземлителя.

По конструкции различают молниеотводы (9):

1) одиночный стержневой.

2)двойной стержневой - это 2 стержневых молниеотвода, расположенные по разные стороны защищаемого объекта.

3) тросовый - между двойными стержневыми молниеотводами натянут стальной трос.

4) молниеприемная сетка, укладываемая на неметаллическую кровлю.

Опоры молниеотводов могут выполняться из стали, железобетона, дерева. Молниеприемники стержневые изготавливаются из стали сечением не менее 100 мм2 и длиной не менее 200 мм. В качестве молниеприемника могут служить металлические конструкции объектов (трубы, дефлекторы, кровля и т. п.).

Молниеприемники тросовых молниеотводов выполняются из стального многопроволочного оцинкованного троса сечением не менее 35 мм2.

Молниеприемная сетка выполняется из стальной проволоки 6-8 мм или полосовой стали сечением не менее 46 мм2 и укладывается непосредственно на кровлю или под слой негорючего утеплителя или гидроизоляции. Узлы сетки соединяются сваркой. Размер ячеек должен быть не более 36м2 (6*6 м) для защиты II категории и 150 м2 (12*12) для III категории.

Для молниезащиты II и III категории допускается в качестве молниеприемника использовать металлическую кровлю.

Все металлические элементы объекта, расположенные на крыше должны быть соединены с металлом кровли или сетки, а неметаллические элементы, возвышающиеся над кровлей должны иметь дополнительные молниеприемники. Токоотводы, соединяющие сетку или кровлю с заземлителями прокладываются не реже, чем через 25 м по периметру здания. Токоотводы выполняются в виде стальных тросов, полос, труб, сечением (24-48 мм2) согласно СН РД и прокладываются к заземлителям кратчайшим путем. Они должны быть оцинкованы, пролужены или окрашены. При прокладке во избежание разрыва от электродинамических усилий при больших токах молнии, необходимо избегать острых углов и петель.

Заземлители делятся на:

а) углубленные из полосовой или круглой стали, укладываемые на дно котлована.

б) вертикальные из стальных ввинчиваемых стержней (2-5 м) или на уголковой стали; верхний конец заземлителя углубляется на 0. 6-0. 7 м.

в) горизонтальные - из круглой или полосовой стали (160 мм2) уложенные на глубине 0. 6-0. 8 м в виде одного или нескольких симметричных лучей.

г) комбинированные - вертикальные и горизонтальные. Сечение элементов заземлителей должны быть не менее требуемых РД.

Соединение молниеприемников токоотводов и заземлителей на сварке.

Среднегодовая интенсивность грозовой деятельности в часах определяется по спецкарте РД.

Ожидаемое количество поражений молнией в год:

$$N = (S + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n \cdot 1000000 \qquad (4.6)$$

где S, L - соответственно ширина и длина защищаемого объекта, м;

h - наибольшая высота объекта м;

n - среднегодовое число ударов молний в 1 км^2 земной поверхности.

Таблица 4.2 - Среднегодовое число ударов молний в 1 км^2.

Интенсивность грозовой деятельности, ч/год	10-20	20-40	40-60	60-80	80 и более
N	1	3	6	9	12

Величина импульсного сопротивления заземлителя связана с предельно допустимым сопротивлением растеканию тока промышленной частоты.

$R_и$ = K где - коэффициент импульса принимается согласно РД; $R_и$ для каждого заземлителя должна быть не более 10 Ом (для защиты II категории 20 Ом), а в грунтах с удельным сопротивлением 500 Ом·м допускается до 40 Ом.

Для защиты от заноса высоких потенциалов в защищаемый объект по подземным металлическим коммуникациям необходимо заземлители и подводы к ним располагать на расстоянии Sз = 0. 5·Rист и Sз = 0. 3·$R_{итр}$, но не менее 3 м. где $R_{ист}$, $R_{итр}$ - величина $R_и$ для стержневого и тросового заземлителя. Коммуникации при вводе в здание соединяются с заземлителями.

Ввод в здание с защитой I и II категории электрических сетей напряжением до 1000 В, сетей телефона, радио и сигнализации выполняется кабелем; металлическая оболочка кабелей заземляется у ввода в здание и в местах перехода воздушных линий в кабель. Кроме того, в местах перехода линий в кабель между каждой жилой и заземленными элементами устраиваются закрытые искровые промежутки или разрядники (например, РВН -0. 5).

Ввод в здание с защитой III категорий линий электрических сетей выполняется по ПТЭ, а линий связи и пр. по ведомственным нормам и правилам.

Защита от электростатической индукции должна выполняться путем присоединения металлических корпусов всего оборудования, аппаратов и металлических конструкций к специальному или защитному заземлению.

Защита от электромагнитной индукции между трубопроводами и другими протяженными металлическими предметами (оболочки кабелей и пр.) в местах их возможного сближения на расстоянии 10 см и менее через каждые 20 м для объектов I категории защиты и 25-30 см для II категории привариваются металлические перемычки (для недопущения незамкнутых контуров).

При выполнении молниезащиты также необходимо учитывать следующее: для повышения безопасности людей и животных необходимо заземлители молниеотводов размещать в редко посещаемых местах, в удалении на 5 м и более от проезжих и пешеходных дорог; для исключения заноса высоких электрических потенциалов в защищаемые объекты по подземным коммуникациям, необходимо размещать заземлители и токоотводы к ним на достаточном расстоянии (согласно СН 305-77) от этих коммуникаций, для исключения перекрытия разряда от молниеприемника на достаточном (согласно СН 305-77) расстоянии от элементов объекта.

Размеры подстанции:

h_x=9м

Площадь 20х45м

Высота молниеотвода выбирается из условия

$$Д \le 8 \cdot (h - h_x) \qquad (4.7)$$

где Д - расстояние между молниеотводами,

h_x - высота опорных конструкций,

h - высота молниеотвода.

Из неравенства находим:

$$h \ge \frac{Д + 8 \cdot h_x}{8} \qquad (4.8)$$

$$h \ge \frac{47 + 8 \cdot 6}{8} \ge 15 \text{ м}.$$

Защитные свойства стержневого молниеотвода характеризуется зоной защиты, под которой понимают пространство вокруг молниеотвода, где поражение защищаемого объекта атмосферными разрядами маловероятно. Радиус защиты r_x молниеотвода определяется по формуле для молниеотводов высотой до 30 м

$$h_\alpha = h - h_x \qquad (7.9)$$

где h =19м - полная высота молниеотвода;

h_x =9м - высота защитного объекта

h=19-9=10м.

$$r_X = 10 \cdot \frac{1{,}6}{1 + \frac{9}{19}} = 15{,}8 \text{ м}.$$

Таким образом, при высоте молниеотводов разной 19 м, данная подстанция будет находиться в защитной зоне.

Так как два молниеотвода, то защитная зона, ограничения сверху другой окружности, проходящей через точку наименьшей высоты защитной зоны ho, находящейся в середине между молниеотводами. Наименьшая высота защитной зоны двойного стержневого молниеотвода определяется по формуле:

$$h_0 = 4 \cdot h - \sqrt{9 \cdot h^2 + 0{,}25 \cdot Д^2} \qquad (4.10)$$

где h=19м — полная высота молниеотвода;

Д=47м - расстояние между молниеотводами

$$h_0 = 4 \cdot 19 - \sqrt{9 \cdot 19^2 + 0{,}25 \cdot 47^2} = 14{,}3\,м.$$

Расчётная ширина зоны защиты на высоте h_x находятся по формуле

$$B_x = 3 \cdot (h_0 - 1{,}25 \cdot h_x) \qquad (4.11)$$

где h_o=13,4м - наименьшая высота защитной зоны.

h_x=9м - высота защищаемого объекта.

$$B_x = 3 \cdot (14{,}3 - 1{,}25 \cdot 6) = 22{,}4\,м.$$

По результатам расчёта производим необходимые построения очертаний зоны защиты.

При установке молниеотводов на порталах подстанции для повышения надёжности грозозащиты необходимо:

а) У стоек конструкций с молниеотводами устраивать дополнительный заземлитель из двух, трёх труб длинной три, пять метра;

б) Обеспечить растекание тока молнии от конструкций к молниеотводом не менее чем в трёх, четырёх направлениях;

в) Число изоляторов в гирляндах на порталах увеличить на два изолятора по сравнению с обычным;

г) Присоединение заземлителя трансформаторов производить на расстоянии не менее пятнадцати метров от заземлителя молниеотвода.

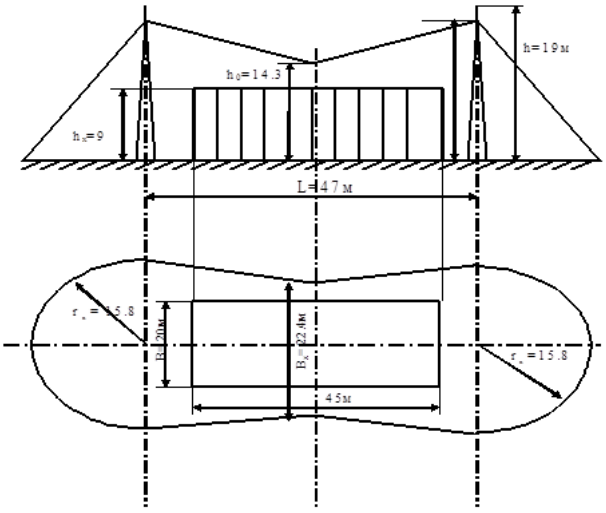


Рисунок 4.3 - Защитная зона подстанции

5 Обоснование уровня необходимых затрат на содержание и эксплуатацию сетей на передачу электрической энергии

5.1 Расчет тарифов за «вход» на услуги по передаче электрической энергии по сетям регионального и/или местного уровней по классам напряжения в виде тарифа за «вход»

Расчет тарифа за «вход» дифференцируется по классам напряжения в точке подключения потребителя к сетям электросетевой организации по двум группам, объединяющим классы напряжения - 220/110/35 кВ и 10/6-0,4 кВ.

В тариф «за вход» включаются затраты, связанные с компенсацией:

1) стоимости нормативных технических потерь;

2) стоимости сверхнормативных потерь в размере 0,8 % от объема оказываемых услуг при наличии у электросетевой организации согласованной с уполномоченным органом инвестиционной программы (проекта), направленной на снижение сверхнормативных потерь;

3) стоимости сверхнормативных потерь в размере до 5 % от объема (ежегодного) оказываемых услуг, при утверждении для электросетевой организации тарифа за «вход» на среднесрочный период.

Затраты на оказание услуг по энергоснабжению в тариф за «вход» не включаются.

4) Тарифы за «вход» по двум группам, объединяющим классы напряжения 220/110/35 кВ (далее - первая группа) и 10/6-0,4 кВ (далее - вторая группа) определяются по формулам:

$$T_{ВХ220/110/35} = (Z_{220/110/35} + Z_{пост} \cdot b_{220/110/35}) / (W_{220}^{пол} + W_{-0,4}^{пол}) \quad (5.1)$$

$$T_{ВХ.10.6-0,4/35} = (Z_{220/1108/35} + Z_{пост} \cdot b_{10/6-0,4}) / W_{10/6-0,4}^{пол} \quad (5.2)$$

где $T_{ВХ220/110/35}$ - тариф за «вход» по первой группе (тенге/кВт·ч);

$Т_{ВХ10/0,4}$ - тариф за «вход» по второй группе (тенге/кВт·ч);

$Z_{220/110/35}$, $Z_{10/6\text{-}0,4}$ – условно-переменные затраты электросетевой организации по первой и второй группам соответственно, (тыс. тенге) определяемые по формулам:

$$Z_{220/110/35} = Z^{рем}_{220/110/35} + А_{220/110} + П_{220/110/35} \quad (5.3)$$

$$Z_{10/6-0,4} = Z^{рем}_{10/6-0,4} + А_{10/6-0,4} + П_{10/6-0,4} + (К \cdot W^{пол}_{10/6-0.4} \cdot S^{пот}) \quad (5.4)$$

где $Z^{рем}_{220/110/35}$, $Z^{рем}_{10/6\text{-}0,4}$ – расходы электросетевой организации на текущий и капитальный ремонты сетей первой и второй групп соответственно, не приводящие к увеличению стоимости основных средств, включаемые в затратную часть тарифа при наличии документального технического подтверждения компетентным органом необходимости их проведения, (тыс.тенге);

$А_{220/110/35}$, $А_{10/6\text{-}0,4}$ – амортизационные отчисления основных средств и нематериальных активов (сооружений, передаточных устройств, силовых машин и оборудования), которые по бухгалтерскому учету можно отнести к определенному классу напряжения первой и второй групп соответственно, (тыс.тенге);

$П_{220/110/35}$, $П_{10/6\text{-}0,4}$ – затраты электросетевой организации, связанные с компенсацией нормативных технических потерь электрической энергии по первой и второй группам соответственно (тыс.тенге), которые определяются по формулам:

$$П_{220/110/35} = W^{пот}_{220/110/35} \cdot S^{пот} \quad (5.5)$$

$$П_{10/6\text{-}0,4} = W^{пот}_{10/6\text{-}0,4} \cdot S^{пот} \quad (5.6)$$

где $S_{пот}$ – средневзвешенная цена покупки электрической энергии для компенсации нормативных технических и сверх нормативных потерь, приобретаемой электросетевой организацией в установленном законодательством порядке, (тенге/кВтч);

$W^{пот}_{220/110/35}$, $W^{пот}_{10/6\text{-}0,4}$ –нормативные технические потери электрической энергии в сетях первой и второй групп соответственно (тыс. кВт·ч), определяемые по формулам:

$$W^{пот}_{220/110/35} = W^{норм}_{220/110/35} \cdot Э_{220/110/35} \quad (5.7)$$

$$W^{пот}_{10/6\text{-}0,4} = W^{норм}_{10/6\text{-}0,4} \cdot Э_{10/6\text{-}0,4} \quad (5.8)$$

где $W^{норм}_{220/110/35}$, $W^{норм}_{10/6\text{-}0,4}$ – нормативы технических потерь электрической энергии по первой и второй группам соответственно, утвержденные компетентным органом;

$Э_{220/110/35}$, $Э_{10/6\text{-}0,4}$ – объем поступления электрической энергии в сеть первой и второй групп соответственно, (тыс. кВтч);

K- допустимый уровень сверхнормативных потерь, включаемый в тариф за «вход» определенный в размере:

- 0,8% от полного полезного отпуска, при наличии у электросетевой организации согласованной с уполномоченным органом инвестиционной программы (проекта), направленной на снижение сверхнормативных потерь.

- до 5 % от полного полезного отпуска (ежегодно), при утверждении для электросетевой организации тарифа за «вход» на среднесрочный период.

$Z_{пост}$ – условно-постоянные затраты электросетевой организации, в том числе материальные затраты, фонд оплаты труда производственного персонала, налоги и другие обязательные платежи в бюджет, амортизационные отчисления групп основных средств (зданий и строений, сооружений, передаточных устройств, силовых машин и оборудования, мобильного транспорта, компьютерного и периферийного оборудования, фиксированных активов), которые в бухгалтерском учете нельзя отнести ни к какому классу напряжения, ремонт основных средств общего назначения, прочие расходы и расходы периода**,** (тыс. тенге);

$b_{220/110/35}$, $b_{10/6\text{-}0,4}$ - доля условных единиц[2] по первой и второй группам соответственно в общем объеме условных единиц электросетевой организации, (в процентах);

$W^{пол}_{220/110/35}$, $W^{пол}_{10/6\text{-}0,4}$ – полный полезный отпуск по первой и второй группе соответственно (тыс. кВтч):

Либо фактический за четыре предшествующих квартала или за предшествующий календарный год;

Либо планируемый, подтверждённый договорами, протоколами, намерений, расчетами объемов оказываемых услуг, исходя из обязанности качественного всеобщего обслуживания и возможностей субъекта естественной монополии.

В затратную часть тарифа за «вход» не включаются затраты электросетевой организации непосредственно связанные с оказанием услуг по энергоснабжению, к которым относятся:

- сырье и материалы;

- расходы на оплату труда работников, непосредственно связанных с оказанием услуг по энергоснабжению;

- амортизационные отчисления основных средств, задействованных при оказании услуг по энергоснабжению;

- ремонты, не приводящие к увеличению стоимости основных фондов;

- прочие расходы;

- расходы периода, в том числе:

- затраты на обязательные виды страхования, предусмотренные действующим законодательством;

- аренда автотранспорта и помещений;

- расходы на аудиторские, консалтинговые, маркетинговые услуги;

- услуги банков;

- канцелярские и типографские расходы;

- услуги связи;

- техобслуживание и ремонт оргтехники.

Прибыль в тарифе за «вход» определяется в соответствии с Инструкцией по расчету ставки прибыли (чистого дохода) на регулируемую базу задействованных активов для субъектов естественной монополии, оказывающих услуги водохозяйственной и (или) канализационной систем и субъектов естественной монополии энергетического сектора (далее – Инструкция), утвержденной приказом Председателя Агентства Республики Казахстан по регулированию естественных монополий и защите конкуренции от 27 января 2003 года №17-ОД, зарегистрированным в Министерстве юстиции Республики Казахстан от 6 февраля 2003 года № 2154.

Порядок распределения уровня прибыли по первой и второй группам, определяется по формуле:

$$УП_{220/110/35} = РБА_{220/110/35} \cdot NI, \quad (5.9)$$

$$УП_{10/6-0.4} = РБА_{10/6-0.4} \cdot NI. \quad (5.10)$$

где NI -ставка прибыли, определяемая в установленном порядке, (в процентах);

$РБА_{220/110/35}$, $РБА_{10/6-0.4}$ – регулируемая база задействованных активов по первой и второй группам соответственно (тыс.тенге), которая определяется для каждой группы по формулам:

$$РБА_{220/110/35} = СА_{220/110/35} \cdot К_{за\,220/110/35} \quad (5.11)$$

$$РБА_{10/6-0,4} = СА_{10/6-0,4} \cdot К_{за10/6-0,4} \quad (5.12)$$

где $СА_{220/110/35}$, $СА_{10/6-0,4}$ - фактическая стоимость активов по первой и второй группе соответственно (тыс.тенге), определяемая следующим образом:

$$СА_{220/110/35} = СА \cdot b_{220/110/35} \quad (5.13)$$

$$СА_{10/6-0.4} = СА \cdot b_{10/6-0.4} \quad (5.14)$$

где СА - фактическая стоимость активов электросетевой организации, (тыс.тенге).

$К_{за220/110/35}$, $К_{за10/6-0,4}$ – коэффициент задействованности активов по первой и второй группам соответственно, который рассчитывается по формуле:

$$Кза_{кл.напр} = W^{собс}_{кл.напр} / (P^{техн}_{кл.напр} \cdot 8760 \cdot К_{зап.гр}) \quad (4.15)$$

где $W^{собс}_{кл.напр}$ - объем электрической энергии, который проходит через оборудование первой и второй группы классов напряжения электросетевой организации, определяемый как полный полезный отпуск за вычетом объёмов электрической энергии потребителей, заключивших прямые договора на покупку электрической энергии от энергопроизводящих организаций, (тыс. кВт·ч);

8760 – календарный год (в часах);

$P^{техн}_{кл.напр}$ - технологическая мощность оборудования первой и второй групп классов напряжения электросетевой организации (тыс.кВт·ч), которая определяется по формуле:

$$P^{техн}_{кл.напр} = S^{сумм}_{кл.напр} \cdot К_{ср} \cdot 0,7 \quad (5.16)$$

где $S^{сумм}_{кл.напр}$ - суммарная (по балансовой принадлежности) установленная мощность оборудования первой и второй группы, на момент ввода в эксплуатацию, (тыс.кВА);

$К_{ср}$ - усредненный коэффициент мощности, размер которого определён:

- для оборудования, находящегося в центрах питания – 0,85;
- для отдаленного оборудования – 0,90;

0,7 - коэффициент физического износа оборудования, определённый по максимальной нагрузке оборудования в последний год нормативного срока окупаемости ($T_{норм}$ = 6,7 лет) и ограничивающий максимальную мощность оборудования;

$К_{зап.гр}$ – коэффициент заполнения графика нагрузки, который определен по формуле:

$$К_{зап.гр} = W^{собст}_{кл.напр} / (P_{макс} \cdot 8760) \quad (5.17)$$

где $К_{макс}$ - максимум нагрузки по классам напряжения, определяемый электросетевой организацией в дни контрольных замеров, (тыс.кВт).

Для электросетевых организаций, не указанных в подпункте 1 настоящего пункта, а так же электросетевых организаций, основные средства которых получены в доверительное управление, имущественный найм, по лизингу или в результате иных сделок, определяется на основе стоимости приобретения (покупки и других способов приобретения) основных средств электросетевой организации с учетом фактически произведенных (ежегодных) инвестиций, ремонтных и других видов работ за период владения и (или) пользования повлекших увеличения первоначальной стоимости основных средств, за минусом фактически начисленных на новую стоимость (ежегодных) амортизационных отчислений.

5.2 Расчет нормативов затрат на эксплуатацию и ремонт электросетевого оборудования

Нормативы затрат на эксплуатации и ремонт электросетевого оборудования должны удовлетворять следующим образом:

- единство нормативной базы для всех энергопередающих и энергоснабжающих организаций потребительского рынка электроэнергий с использованием коэффициентов привязки нормативов к местным целовиям эксплуатаций;
- базирование нормативов на действующей системе норм расхода материальных, трудовых и других ресурсов на ремонтное – эксплуатационное обслуживание, действующих инструктивных и нормативных материалов по эксплуатаций электросетей;
- стабильность нормативов в течение ряда с индексацией, обусловленной инфляционными процессам.

При формирований нормативообращих показателей могут быть использованы следующие показатели электросетевого хозяйства энергоснабжающей организацией:

- стоимость основных производственных фондов – тыс.тенге;
- объем ремонтно – эксплуатационного обслуживание – целебных единицах;
- Объекты ремонтно – электросетевого оборудования – км линий электропередачи с учетом материала опор, класса напряжения, числа цепей на опоре и единиц основного оборудований подстанций.

Нормативы, отнесенные к стоимости основных фондов, характеризуют материальные затраты, амортизационную и ремонтную составляющие.

Нормативы, отнесенные к объему обслуживание в целебных единицах, характеризуют только трудозатраты на эксплуатацию и ремонт электросетевого хозяйства, требуют дополнительного расчета целебных единиц по всем объектам электросетевого хозяйства.

Одним из недостатков этого показателя является трудность расчета по данным отраслевой отчетности.

Нормативы, отнесенные к электросетевого оборудованию, позволяют учесть все многообразие структур электросетевого хозяйства РЭК.

В состав затрат включены все затраты РЭК, необходимые непосредственно для оперативного и ремонтно – эксплуатационного облуживания электросетевого хозяйства.

В составе укрепленных нормативов учтены затраты на выполнение ремонта оборудования ремонтно – механическими заводами и ремонтными предприятиями, строительно – ремонтными подразделениями по ремонту зданий и сооружений, целые централизованных автохозяйств, метрологических лабораторий, учебных комбинаторов, вычислительных центров и других организаций энергообъединений.

В состав затрат включены расходы по заработной плате, амортизационные отчислений, материальные затраты и прочие затраты.

В состав расходов по оплате труда включены основная и дополнительная заработная плата, доплаты и наставку, материальная помощь, отчисления на специальное страхование и обеспечений.

В составе материальных затрат включены затраты на основные и вспомогательные материалы, запасные целя ремонта.

В составе прочих расходов включенные плата за воду, услуги сторонних организаций, расходы на командировки, налоги и такие далее. Прочие расходы распределены на два группы: изменения которых связаны с изменениями материальных затрат. При расчете структуры затрат они соответственно учитывается в составе расходов по заработной плате и материальными затратами.

В составе амортизационных отчислений также учитывается отчисления в ремонтный фонд.

5.3 Расчет затрат затрат на эксплуатацию и ремонт электросетевого оборудования при передачи электроэнергии с Капшагайской ГЭС

Расчет затрат производится на базе укрепленных нормативов в ценах 1991 года путем умножения количественной характеристики (километрах или единицах оборудования), на удельную величину укрепленных нормативов затрат по соответствующему электросетевого оборудованию.

Укрупненые нормативные затраты по каждому из видов электросетевого оборудования рассчитывается по формуле:

$$Z_0 = \sum Z_i \cdot n_i, \tag{5.18}$$

где Z_i – укрупнение нормативы соответствующей ЛЭП или оборудований подстанций (тыс. тенге/км или тыс. тенге/ед. обор);

n_i - протяженность соответствующей ЛЭП или количеств оборудований.

Расчёт затрат уровня тарифа на транзит по существующей методике. На схеме имеются следующие данные:

1. Участок Алматы- Капшагай,
- длина-66,1 км.
- передаваемая мощность-156 МВт,
- тип линии одноцепная, ВЛ-220 кВ, на железобетонных опорах.
2. ТЭЦ-3 – Капшагай,
- длина – 45 км.
- передаваемая мощность - 80 МВт,
- тип линии – 1 цепная, ВЛ – 220 кВ, на железобетонных опорах.
3. Участок Капшагай – Талдыкурган;
- длина 189 км,
- передаваемая мощность- 170 МВт.
- тип линии – двух цепная, ВЛ – 220 кВ на железобетонных опрах.

Определим затраты по следующей формуле:

$$Z_{общ} = (0{,}251 + 0{,}0051 \cdot L) \cdot W \qquad (5.19)$$

где L – длина участка,

W – объём транзита электроэнергии, млн.кВт.ч.

Примем число часов использования сетей $T_{исп}$=4850 ч.
- тогда

$$W_{алм\text{-}капч} = 1850 \cdot 156 = 756{,}6 \text{ млн.кВт.ч.}$$

$$W_{ТЭЦ-3-Капч} = 4850 \cdot 80 = 388{,}0 \text{ млн.кВт.ч.}$$

$$W_{Талд-Капч} = 4850 \cdot 170 = 824{,}5 \text{ млн.кВт.ч.}$$

Общие затраты по формуле 5.1

$$Z_{общ1} = (0{,}251 + 0{,}0051 \cdot 66{,}1) \cdot 756{,}6 \cdot 10^6 = 444{,}8 \text{ млн.тенге.}$$

$$Z_{общ2} = (0{,}251 + 0{,}0051 \cdot 189) \cdot 824{,}5 \cdot 10^6 = 1001{,}8 \text{ млн.тенге.}$$

$$Z_{общ3} = (0{,}251 + 0{,}0051 \cdot 189) \cdot 824{,}5 \cdot 10^6 = 1001{,}8 \text{ млн.тенге.}$$

$$Z_{общ} = (448,8 + 186,6 \cdot 1001,8) \cdot 10^6 = 1633,2 \text{ млн.тенге.}$$

Определим средне отпускающий тариф в сетях:

$$Q_{ср} = \frac{T_1 \cdot W_1 + T_2 + W_2 + T_3 \cdot W_3}{W_{общ}} \quad (5.20)$$

$$Q_1 = (0,251 + 0,0051 \cdot 66,1) = 0,588 \text{ тг/кВт·ч,}$$

$$Q_2 = (0,251 + 0,0051 \cdot 45) = 0,451 \text{ тг/кВт·ч,}$$

$$Q_3 = (0,251 + 0,0051 \cdot 189) = 1,215 \text{ тг/кВт·ч,}$$

$$Q_{ср} = \frac{0,588 \cdot 766 \cdot 10^6 + 388 \cdot 10^6 + 0,451 + 1,212 \cdot 824 \cdot 10^6}{(756,6 + 388 + 824,5) \cdot 10^6} = \frac{163,2}{1969,1} = 0,829 \frac{\text{тг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Определение затраты на содержание и эксплуатацию сетей:

$$Z_{содиэкс} = Z_{общ} - Z_{дисп} \quad (5.21)$$

где $Z_{дисп}$ - затраты на диспетчеризацию и административный аппарат

$$Z_{дисп} = 0,05 \cdot W_{общ} \quad (5.22)$$

$$Z_{дисп} = 0,05 \cdot 1969,1 \cdot 10^6 = 0,98 \text{ млн.тенге}$$

Произведем расчет нормативного уровня тарифа на транзит, исходя из укрупненных нормативов затрат на содержание и эксплуатацию сете, норматив затрат приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Нормативы затрат

N	Название	млн. тенге/км/ед.
1	ВЛ-220 кВ (2-х цепная, на железобетонных опорах)	7,48
2	ВЛ-220 кВ (1-х цепная, на железобетонных опорах)	5,96
3	Подстанций 220 кВ	40,12

$$Z^{Н}_{алм-капч} = 5,96 \cdot 10^6 \times 66,1 = 393,96 \quad \text{млн. тенге}$$

$$Z^{Н}_{гэц-з-капч} = 5,96 \cdot 10^6 \times 45 = 268,2 \quad \text{млн. тенге}$$

$$Z^{Н}_{талд-капч} = 5,96 \cdot 10^6 \times 189 = 1413,72 \quad \text{млн. тенге}$$

$$Z^{Н}_{ОБЩ} = 2075{,}88 \quad \text{млн. тенге}$$

Отсюда, нормативный тариф на содержание эксплуатацию сетей

$$T^{Н}_{ТР} = Z^{Н}_{общ} / Z_{общ},$$

$$T^{Н}_{ТР} = 207588 \cdot 10^{6} / 1969{,}1 \cdot 10^{6} = 1{,}05 \quad \frac{\text{тенге}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Разница составляют $\Delta z \approx 442.68$ млн. тенге или $\Delta T = 0{,}221$ тенге/кВт·ч.

Заключение

В дипломном проекте выполнены расчеты и анализ по выбору напряжения в распределительных сетях ИРЭС АО АЖК. Определены параметры сети выбранного участка сети , построена схема замещения для расчетов в программе RastrWin, произведен расчет режима с существующими нагрузками для различных режимов. Расчет режимов при существующих нагрузках показал что, годовые потери равны 259183,6 кВт ч. уровни напряжения при использовании устройств РПН во всех узловых точках рассмотренной сети остаются в пределах нормы.

Для поддержания отклонений напряжения у приемников в допустимых пределах используется регулирование напряжения на трансформаторах в питающих центрах с помощью устройств РПН. Регулирование напряжения в распределительных сетях осуществляется по критерию оптимальности уровня напряжения и минимума потерь. Целесообразно обратить внимание сетевых предприятий на размеры их собственного ущерба от недостаточного качества электроэнергии. Для электроэнергетики постоянно актуальны вопросы рационального расходования каждого киловатт-часа электроэнергии при надлежащем ее качестве во всех звеньях и главным образом, при потреблении.

Оптимизация режима сети при использовании установкой КУ позволяет поддерживать уровни напряжения в пределах нормы, при этом годовые потери составили 64373,4 кВт. Уменьшение годовых потерь составляет 42,76%.

Также были рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности и экономики.

Список литературы

1. Автоматизированные системы управления в энергетике. Под ред. В.А.Веникова,- М.: Наука, 1981г.

2. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. Д.А. Арзамасцев, П.И. Барталомей, А.М. Холян,- М.: Высшая школа, 1983 г.

3. О построении алгоритмов ПА в энергосистемах при использовании ЭВМ в контуре управления. Ст. науч. трудов ВНИИЭ. Устойчивость энергосистем и противоаварийное управление ими. В.А. Веников, В.А. Строев, А.П. Унгер, А.А. Окин, М.Г. Портной,- М.: «Энергоиздат», 1987 г.

4. Окин А.А. Определение управляющих воздействий противоаварийной автоматики для повышения устойчивости энергосистем. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. к.т.н., М.: ВНИИЭ, 1978 г.

5. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. В.А.Веников, В.Г. Журавлев.- М.: Энергоатомиздат, 1990 г.

6. Оперативно производственная информация в энергетике. Под ред. Семенова - М.: «Энергия», 1987 г.

7. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей ВУЗов. Под ред. В.М. Блока, - М.: «Высшая школа», 1990 г.

8. Система ВТИ для регулирования мощности турбогенераторов в аварийных режимах. Доклад ВТИ на II ВНТС по устойчивости и надежности энергосистем СССР. Б.П. Мурганов, И.З. Черномзив, - М., 1969 г.

9. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. Н.Ш. Шапиро, С.С. Рокотяна, - М.: Энергоатомиздат, 1985 г.

10. Управление мощными энергообъединениями. Под ред. С.А. Совалова - М.: «Энергоиздат», 1984 г.

11. Охрана труда в электроустановках. Под редакцией проф. Б.А. Князевского, - М.: «Энергоатомиздат», 1983 г.

12. Модели оптимизации развития энергосистем. Д.А. Арзамасцев, А.В. Липес, А.Л. Мызин, - М.: «Высшая школа», 1987 г.