

Некоммерческое

Акционерное

общество



АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ

Кафедра электрических
станций и
электроэнергетических
систем

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ

Методические указания к выполнению курсового проекта
для студентов специальности
5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2017

СОСТАВИТЕЛИ: Ж.К.Оржанова, Н.А.Генбач. Проектирование электрических сетей и систем. Методические указания к выполнению курсового проекта студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2017. – 36 с.

В методических указаниях к выполнению курсового проекта по дисциплине «Проектирование электрических сетей и систем» рассмотрены основные этапы проектирования электрической сети, изложены содержание курсового проекта и порядок его выполнения и защиты. Сформулированы задания на выполнение курсового проекта.

Предназначены для студентов всех форм обучения специальности 5В071800 – Электроэнергетика.

Ил.6, табл.25, библиогр. – 11 назв.

Рецензент: доцент Гали Х.О.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017г.

@НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2017г.

Содержание

Введение.....	4
.	
1 Содержание курсового проекта.....	5
1.1 Содержание задания на курсовой проект.....	5
1.2 Требования, предъявляемые к оформлению курсового проекта..	5
2 Задание на курсовое проектирование.....	6
3 Определение мощностей потребителей в характерных режимах..	7
3.1 Составление баланса активной и реактивной мощностей.....	7
3.2 Определение мощности на шинах высшего напряжения трансформаторов подстанции.....	8
4 Выбор конфигурации и номинального напряжения сети.....	9
4.1 Построение конфигурации сети.....	9
4.2 Предварительный расчет распределения мощностей на участках сети.....	9
4.3 Выбор номинального напряжения сети.....	9
4.4 Проверка технической пригодности намеченных вариантов.....	10
5 Выбор числа и мощности трансформаторов на понизительных подстанциях.....	11
6 Выбор марки проводов на участках сети.....	11
7 Схема электрических соединений подстанций.....	12
8 Определение капитальных вложений по вариантам.....	15
9 Электрический расчет режима максимальных нагрузок.....	16
9.1 Составление схемы замещения и определение ее параметров.....	16
9.2 Расчет электрической сети в режиме максимальных нагрузок.....	16
10 Техничко-экономическое сравнение вариантов.....	17
11 Расчет напряжений в нагрузочных узлах.....	19
11.1 Определение напряжений в режиме максимальных нагрузок.....	19
11.2 Расчет послеаварийного режима.....	19
12 Выбор средств регулирования напряжения в сети.....	19
13 Определение технико-экономических показателей выбранного варианта сети.....	22
13.1 Уточнение капиталовложений и издержек производства.....	22
13.2 Техничко-экономические показатели электрической сети.....	22
Список литературы.....	23
Приложение.....	24

Введение

Одной из важнейших форм учебной работы является курсовое проектирование, цель которого – выработка навыков самостоятельной работы, выявление знания студентов по данной дисциплине и умение применять эти знания в дальнейшей профессиональной деятельности. В процессе выполнения курсового проекта студент должен самостоятельно работать с учебной и научно-технической литературой, уметь обобщать полученные знания, делать обоснованные выводы, формулировать рекомендации по выбору технических и программных средств для решения поставленных задач.

Изучение дисциплины «Проектирование электрических сетей и систем» предусматривает выполнение курсового проекта, задачами которого являются:

- овладение методами и алгоритмами проектирования электрических сетей, основами расчета установившихся режимов;
- формирование профессиональных навыков по проектированию электрических сетей.

В результате выполнения курсового проекта студент должен *знать*: цели, задачи, принципы, методы и общий алгоритм проектирования электрических сетей; технико-экономические основы проектирования электрических сетей; критерии выбора оптимального варианта электрической сети; порядок выбора схем построения электрической сети; методы расчета режимов электрических сетей; методы и способы регулирования напряжения в электрической сети;

уметь: составлять и анализировать конкурентоспособные варианты конфигурации электрической сети с учетом фактора надежности; выбирать номинальное напряжение сети; проводить компенсацию реактивной мощности; выбирать сечения проводов и кабелей, силовые трансформаторы в сетях различных назначений и номинальных напряжений; рассчитывать технико-экономические показатели вариантов электрической сети и выбирать оптимальный вариант; рассчитывать установившиеся режимы электрических сетей; регулировать напряжение в электрической сети;

владеть навыками: проектирования на вариантной основе районных электрических сетей и пользования справочной литературой; выбора оптимальных для рассматриваемой схемы электрической сети параметров; расчетов режимов сложных систем и анализа результатов расчетов.

Особенность курсового проекта состоит в том, что решение прикладной задачи проектирования приводит к генерации нового знания. Это принципиально отличает курсовое проектирование от изучения теоретического материала и последующего простого воспроизводства полученных знаний в виде ответа на экзаменационный вопрос или тест. При проектировании районной электрической сети исключительно важны навыки, которые в значительной степени формируются на практических занятиях и на этапе самостоятельной работы. При курсовом проектировании применяются

компьютерные технологии практически при выполнении каждого раздела, оформлении пояснительной записки и графической части проекта.

1 Содержание курсового проекта

Курсовой проект состоит из следующих разделов:

- определение мощностей потребителей в характерных режимах;
- выбор конфигурации и номинального напряжения сети;
- выбор числа и мощности трансформаторов на понизительных подстанциях;
- выбор марки проводов на участках сети;
- схема электрических соединений подстанций;
- электрический расчет режима максимальных нагрузок;
- технико-экономическое сравнение вариантов;
- расчет напряжений в нагрузочных узлах;
- выбор средств регулирования напряжения в сети;
- определение технико-экономических показателей выбранного варианта сети.

1.1 Содержание задания на курсовой проект

В проекте разрабатывается схема электроснабжения вновь электрифицируемого района, включающего 5 узлов нагрузки, от имеющейся подстанции энергосистемы, расположенной в пункте с координатами $X = 0$; $Y = 0$.

В задании, приведенном в приложении 1, указываются следующие исходные данные:

- а) значения наибольших нагрузок и соответствующих им $\cos\varphi$ или $tg\varphi$;
- б) координаты нагрузочных узлов в масштабе $1\text{мм} : 1\text{км}$;
- в) число часов использования максимальной нагрузки T_m .

Специальный вопрос для углубленной проработки выдается руководителем проекта каждому студенту индивидуально.

1.2 Требования, предъявляемые к оформлению курсового проекта

Курсовой проект должен быть оформлен в виде расчетно-пояснительной записки и чертежей. Расчетно-пояснительная записка должна иметь: титульный лист с названием проекта; оригинал заданий на проект; оглавление; перечень чертежей к проекту; основной материал записки, поясняющий все этапы разработки проекта; основные расчеты и их результаты; анализ результатов; выводы и обоснования принятых решений; список литературы.

В начале каждой главы необходимо сформулировать задачу, указать исходные данные для расчетов, а также нормы и требования которые должны

быть соблюдены при разработке вопроса, описать последовательность и методику решения, основные используемые формулы. Далее приводятся полученные результаты расчетов, их анализ и краткие выводы по данной главе.

Расчеты должны иметь формулы в общем виде, подстановку величин, результат, размерность. В общем виде формулы приводятся при выполнении первого из расчетов того или иного типа, в последующих случаях приводятся лишь результаты расчетов, сведенные в удобно читаемые таблицы. Каждая таблица должна иметь наименование или пояснение ее содержания.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать необходимые рисунки. Текст должен быть набран в соответствии с [1], должна приводиться ссылка на использованные литературные источники.

Графическая часть выполняется на двух листах, на которых изображаются:

1. Намеченные варианты схемы электрической сети района; схема замещения выбранного на основе технико-экономического сравнения варианта с указанием режимных параметров.

2. Схемы электрических соединений двух сравниваемых вариантов.

В графической части должны быть показаны все линии, трансформаторы, выключатели, разъединители, отделители и короткозамыкатели, и компенсирующие устройства, если они выбраны.

2 Задание на курсовое проектирование

Исходные данные для выполнения курсового проекта строго индивидуальны. Каждый студент определяет свой вариант задания в зависимости от учебного года изучения данной дисциплины по трем признакам: последней и предпоследней цифре зачетной книжки, а также по первой букве своей фамилии.

Задание на курсовое проектирование состоит из трех групп данных:

I группа – значения наибольших нагрузок;

II – координаты 1, 2 нагрузочных узлов и T_{\max} ;

III – координаты 3, 4, 5 нагрузочных узлов и климатический район по гололеду.

Общими для всех студентов данными являются:

- коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,85$;

- во всех нагрузочных узлах принять следующий процентный состав (от максимальной мощности потребителей) по категориям:

I категория – 50%;

II категория – 30%;

III категория – 20%.

Согласно таблице 1 по последней цифре зачетной книжки, с учетом года изучения дисциплины устанавливается номер варианта исходных данных первой группы.

Таблица 1

Учебный год	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2017/2018	X	IX	VIII	VII	IV	V	VI	III	II	I
2018/2019	VI	VIII	IV	V	X	IX	III	II	I	VII
2019/2020	VII	IV	V	VI	I	III	II	VIII	IX	X

Аналогично, согласно таблице 2 устанавливается по предпоследней цифре номера зачетной книжки номер варианта исходных данных второй группы и согласно первой буквы фамилии по таблице 3 – номер варианта исходных данных третьей группы.

Варианты заданий приведены в таблицах Приложения 1.

Таблица 2

Учебный год	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2017/2018	VI	VIII	IV	V	X	IX	III	II	I	VII
2018/2019	VII	IV	V	VI	I	III	II	VIII	IX	X
2019/2020	X	IX	VIII	VII	IV	V	VI	III	II	I

Таблица 3

Учебный год	Первая буква фамилии									
	А, В, С,	Г, Д, Е.	Ж, З, И	К, Л, М	Н, О, П,	Р, Б, Т,	У, Ф, Х,	Ц, Ч, Ш,	Щ, Э, Ю,	Я
2017/2018	I	II	III	VI	V	X	IX	VIII	VII	VI
2018/2019	VI	VII	VIII	IX	X	V	VI	III	II	I
2019/2020	IX	X	V	VI	III	II	I	VI	VII	VIII

3 Определение мощностей потребителей в характерных режимах

3.1 Составление баланса активной и реактивной мощностей

Проектированию электрических сетей предшествует проверка возможности обеспечения баланса мощности в целом по району и каждому энергоузлу в отдельности. Баланс мощности необходим для обеспечения потребителей электроэнергией с требуемыми показателями качества. Мощность источника питания должна покрыть суммарную активную мощность нагрузки потребителей.

В данном курсовом проекте источником питания являются шины мощной энергосистемы и поэтому считается, что баланс активной мощности соблюдается во всех режимах работы потребителей.

В задании на курсовой проект приводятся значения максимальной активной мощности в узлах нагрузки, величина $\cos\varphi$ или $\operatorname{tg}\varphi$ для режима максимальных нагрузок, максимальная мощность P_M и время использования максимума T_M . Используя эти данные необходимо найти реактивные и полные

мощности в узлах соответственно для режима максимальных и минимальных нагрузок.

В целях снижения потерь мощности в сетях и обеспечения требуемого качества напряжения, со стороны энергосистемы накладываются определенные ограничения на величину потребляемой реактивной мощности в узлах нагрузки, т.е. потребители обязаны на месте вырабатывать (компенсировать) часть необходимой им реактивной мощности. В условиях реального проектирования обоснование оптимальной степени компенсации реактивной мощности производится путем проведения технико-экономических расчетов [2,3,4], что является достаточно сложной задачей.

Поэтому с целью упрощения расчетов, проводимых при выполнении учебных проектов, реактивную мощность, потребляемую из энергосистемы в режиме максимальных нагрузок, рекомендуется принимать равной:

$$Q_m = (0,15 \div 0,3)P_m. \quad (1)$$

Этим значениям реактивной мощности соответствуют следующие значения $\cos\varphi = 0,99 \div 0,95$.

3.2 Определение мощности на шинах высшего напряжения трансформаторов подстанции

Мощность на шинах высшего напряжения подстанции складывается из потерь мощностей в трансформаторах и мощности нагрузок потребителей (с учетом компенсации реактивной мощности). В первом приближении потери активной и реактивной мощностей в трансформаторах могут быть оценены соответственно в 2-5% и 8-10% от проходящей через них полной мощности, т.е.

$$\Delta P_T = (0,02 \div 0,05)S_{mp}; \quad (2)$$

$$\Delta Q_T = (0,08 \div 0,1)S_{mp}. \quad (3)$$

4 Выбор конфигурации и номинального напряжения сети

4.1 Построение конфигурации сети

В проектной практике для построения рациональной конфигурации сети применяют повариантный метод, при котором для заданного расположения потребителей намечаются несколько (при учебном проектировании достаточно пяти) вариантов сети, которые в масштабе вычерчиваются на миллиметровой бумаге.

При этом следует руководствоваться следующими основными положениями:

1. Потребители первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания; по возможности для потребителей второй категории также предусматривать питание от двух независимых источников (допускается применение одной двухцепной линии – две цепи подвешены на одних опорах).

2. Электроприемники третьей категории могут быть запитаны по одной линии и через один трансформатор.

Намечаемые варианты должны иметь ведущую идею построения сети (радиальная сеть, кольцевая сеть, и т.д.). При выборе вариантов необходимо соблюдать следующие два условия:

- сеть должна иметь по возможности меньшую длину;
- для каждого потребителя, в зависимости от его категории, должна быть обеспечена соответствующая степень надежности.

В целях сокращения общей длины сети можно применять отпайки от магистральных линий.

Все намечаемые варианты конфигурации сети в масштабе вычерчиваются на листе миллиметровой бумаги с указанием номеров узлов и категории нагрузок, длины линий.

4.2 Предварительный расчет распределения мощностей на участках сети

На данной стадии проектирования электрических сетей района сопротивления еще не известны, поэтому перетоки мощностей на участках сети определяются приближенно. Мощности на головных участках радиальной сети находят суммированием нагрузок отдельных потребителей. В замкнутых сетях потокораспределение находят исходя из условия постоянства сечения на всех участках.

4.3 Выбор номинального напряжения сети

В результате проведенных в предыдущем параграфе расчетов определяются перетоки мощностей на участках сети. При известном

расстоянии l (км), на которую требуется передать мощность P (МВт) (на одну цепь) по формулам Стилла или А.М.Залесского определяются целесообразные напряжения участков сети:

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16P} \text{ кВ}; \quad (4)$$

$$U = \sqrt{P \cdot (100 + 15\sqrt{l})} \text{ кВ}. \quad (5)$$

В замкнутых сетях на одном или нескольких участках линии в нормальном режиме могут оказаться малозагруженными, и их номинальные напряжения будут отличаться от номинальных напряжений на головных участках кольцевой сети. В таких случаях, как правило, принимают одинаковое напряжение для всех участков замкнутой сети [2].

4.4 Проверка технической пригодности намеченных вариантов

Под технической пригодностью рассматриваемого варианта понимают способность электрических сетей обеспечивать удовлетворительные уровни напряжения у потребителей как в нормальном эксплуатационном режиме максимальных нагрузок, так и в послеаварийном режиме. Приемлемость выбранных номинальных напряжений проверяют путем сопоставления значений напряжений в узлах нагрузки с номинальным в максимальном и минимальном режиме.

Приближенное определение уровней напряжения на шинах высшего напряжения подстанций ведут задавшись средними значениями активного и индуктивного сопротивления линий. Например, можно рекомендовать следующие значения погонных активных сопротивлений проводов: для сетей 110 кВ $r_0 = 0,33 \text{ Ом/км}$, для сетей 220 кВ $r_0 = 0,13 \text{ Ом/км}$, погонное индуктивное сопротивление можно принять равным $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$.

Если определенные отклонения напряжения в узловых точках составляют менее 15% в нормальном режиме и не более 20% в послеаварийном режиме, то считается, что выбранное номинальное напряжение позволит передать по участку требуемую мощность. При этом можно ограничиться учетом только продольной составляющей падения напряжения:

$$\Delta U = (PR + QX) / U. \quad (6)$$

Послеаварийные состояния элементов сети выбираются из условия наименьшего благоприятствования обеспечению надлежащего уровня напряжения в наиболее удаленных нагрузочных узлах или в точке токораздела кольцевой сети. В послеаварийном режиме допускается поддерживать напряжение на источнике питания на 10% выше номинального.

Из намечаемых вариантов схем электроснабжения района, на основании предварительных подсчетов и соображений, выбираются два наиболее

целесообразных варианта, для которых в дальнейшем производится технико-экономическое сравнение.

5 Выбор числа и мощности трансформаторов на понизительных подстанциях

Число трансформаторов, устанавливаемых на подстанциях (ПС) всех категорий принимается, как правило, не более двух. Установка более двух трансформаторов может допущена на основе технико-экономических расчетов, а также в тех случаях, когда на ПС требуются два средних напряжения (СН).

При установке двух трансформаторов и отсутствии резервирования по сетям СН и НН, мощность каждого из них выбирается с учетом загрузки трансформатора не более 70% от суммарной максимальной нагрузки подстанции в номинальном режиме, и из условия покрытия всей нагрузки при выходе из работы одного трансформатора с учетом допустимой перегрузки до 40%. Таким образом, желаемая мощность трансформатора (автотрансформатора) выбирается по формуле:

$$S_{mp} = \frac{S_{n/cm}}{1,4}. \quad (7)$$

Далее выбирают тип трансформатора (автотрансформатора) с номинальной мощностью наиболее близкой к желаемой, но с учетом возможности обеспечения энергией потребителей I и II категории при повреждении одного из трансформаторов.

6 Выбор марки проводов на участках сети

В целях унификации и упрощения проектных работ, выбор экономически целесообразных сечений проводов в настоящее время производится с помощью нормированных значений экономической плотности тока. Сечения проводников на участках сети, удовлетворяющие условию экономичности, в этом случае определяют по формуле:

$$F = \frac{I_{\max}}{J_{\text{эк}}}, \quad (8)$$

где $I_{\max} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{3}U_{ном}}$ -ток нагрузки в фазе одной цепи в режиме максимальных

нагрузок;

$J_{\text{эк}}$ -экономическая плотность тока.

Определение по этой формуле сечение провода округляется до ближайшего стандартного сечения, с учетом ограничений по условиям механической прочности возникновения короны на проводах.

При выборе сечений проводов районных сетей необходим учет ограничений по нагреву, который сводится к сравнению значения максимально возможного тока на участке с длительно допустимым током выбранной марки провода. При этом рассматриваются режимы, в которых по проектируемой линии протекают наибольшие токи. Так, для двухцепной линии проверка по нагреву должна производиться в предположении отключения одной из параллельных цепей в период максимальной нагрузки подстанции.

7 Схема электрических соединений подстанций

Для выбора наиболее целесообразного варианта электроснабжения района необходимо учитывать стоимость не только линий, но и стоимость оборудования подстанций. Поэтому следует наметить схемы электрических соединений подстанций для каждого варианта схемы электроснабжения в соответствии с [5].

При выборе схемы подстанций следует учитывать число n присоединений (линий и трансформаторов), требования надежности и простоту эксплуатационных переключений. Одновременно следует стремиться к максимальному упрощению схемы подстанций. Значительную долю в стоимости подстанций составляет стоимость выключателей. Поэтому прежде всего следует рассмотреть возможность отказа от применения большого числа выключателей.

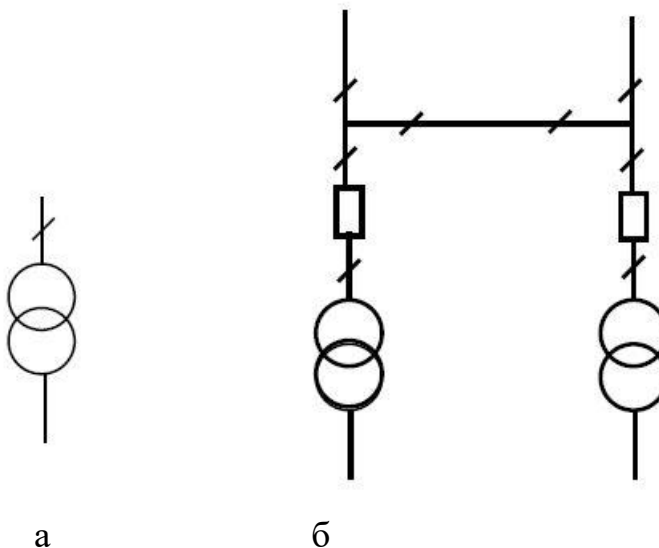


Рисунок 1 – Схема тупиковых ПС

Тупиковые одно-двухтрансформаторные подстанции (см. рисунок 1) выполняются, как правило, без выключателей со стороны высшего напряжения [6]. Перемычки со стороны линии двухтрансформаторной ПС могут быть

выполнены на отделителях, автоматическими с приводом двухстороннего действия, или неавтоматическими, выполненными из двух разъединителей.

Для проходных ПС напряжением 110 кВ (см.рисунок 2а) при числе присоединений до 6 применяется схема – одна секционированная выключателем и обходная системы шин с отделителями в цепях трансформаторов с совмещенным секционным и обходным выключателем. Проходные ПС напряжением 220 кВ (см.рисунок 2б) выполняются по схеме – одна секционированная выключателем и обходная системы шин с выключателями в цепях трансформаторов, с совмещенным секционным и обходным выключателем.

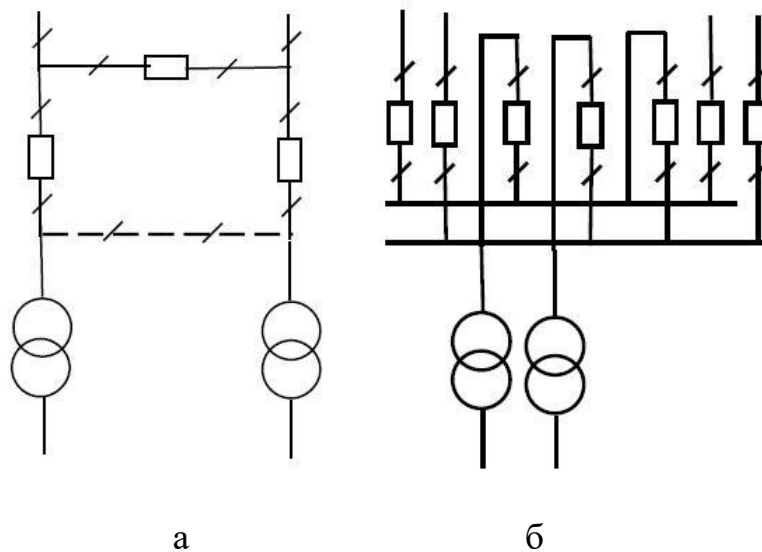


Рисунок 2 – Схема проходных ПС 110, 220 кВ ($n=6$)

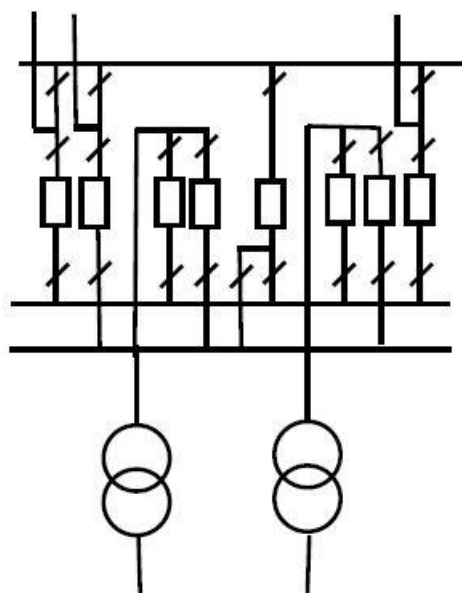


Рисунок 3 – Схема проходных ПС 110, 220 кВ ($n \geq 7$)

При числе присоединений 7 и более проходные ПС напряжением 110, 220 кВ выполняются по схеме – одна рабочая секционированная выключателем и

обходная система шин с выключателями в цепях трансформаторов, с отдельными секционными и обходными выключателями (см.рисунок 3). Для транзитных ПС, входящих в замкнутую (кольцевую) сеть, применяются мостиковые схемы (см.рисунок 4).

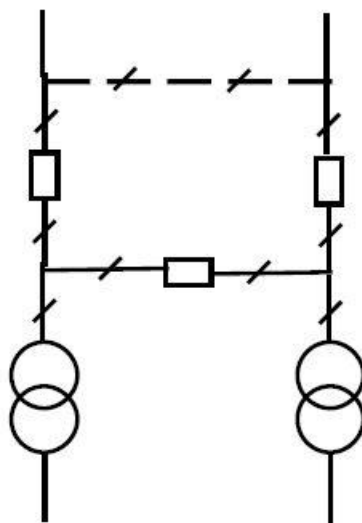


Рисунок 4 – Схема транзитных ПС 35, 110, 220 кВ

При числе присоединений 7 и более иногда (когда неприменима схема рисунка 3) применяют схему – два рабочие и одна обходная система шин (см.рисунок 5).

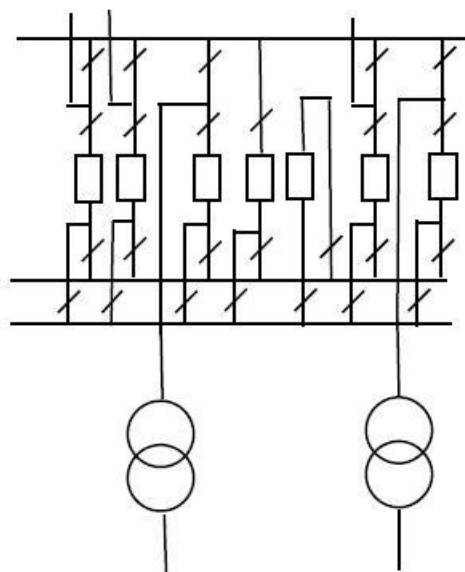


Рисунок 5 – Схема ПС110, 220 кВ

При 4-6 присоединениях, необходимости секционирования линии, наличии ответственного потребителя на стороне СН и НН и мощности трансформаторов от 125 МВА и более при напряжении 330 кВ и более применяются схемы четырехугольника (см.рисунок 6) и расширенного четырехугольника [7].

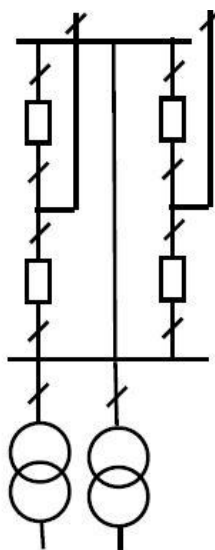


Рисунок 6 – Схема четырехугольника $U = 220\text{кВ}$, $S_T > 125\text{МВА}$

Схема – одна секционированная выключателем система шин – предназначена для распределительных устройств 35 кВ на стороне ВН, СН и НН. На стороне СН при напряжении 110, 220 кВ также широко применяются схемы рисунка 2б и 3. В данной главе приведены наиболее распространенные схемы электрических соединений ПС 35-220 кВ, которые в основном удовлетворяют задаче учебного проектирования.

Руководствуясь приведенными здесь и в [6,7] указаниями следует составить схему электрических соединений двух выбранных, для дальнейшего сравнения вариантов электроснабжения района.

8 Определение капитальных вложений по вариантам

Капитальные вложения на строительство электрических сетей и ПС определяются по укрупненным показателям стоимости, приведенными в [5]. Капиталовложения по вариантам удобно делить на стоимости сооружения линий K_L и подстанции K_{II} .

Стоимость строительства ЛЭП в значительной мере зависит от материала опор. В настоящее время широкое распространение получили линии на железобетонных опорах, поэтому при выполнении данного курсового проекта следует также в основном ориентироваться на железобетонные опоры.

Строительство ПС на новом месте начинается с подготовительной работы, на что тратится так называемая постоянная часть затрат, зависящая от вида присоединения ПС к сетям на стороне ВН. Капиталовложения на сооружение ПС также включают стоимость открытых распределительных устройств (ОРУ) и стоимость трансформаторов.

9 Электрический расчет режима максимальных нагрузок

9.1 Составление схемы замещения и определение ее параметров

Режим электрической сети рассчитывается применительно к схеме замещения, которая получается в результате объединения схемы замещения отдельных элементов в соответствии с последовательностью соединения этих элементов в рассчитываемой сети.

В расчетные схемы районных сетей линии электропередач входят П-образными схемами замещения в параллельных ветвях которых учитывается только емкостная проводимость. Следовательно, для них необходимо определить активные и реактивные сопротивления и емкостные проводимости. Здесь же целесообразно подсчитать половину зарядной мощности каждого участка ЛЭП:

$$Q_c = \frac{U^2 B}{2}, \quad (9)$$

$$B = b_0 \cdot l. \quad (10)$$

Трансформаторы и автотрансформаторы замещаются активными и реактивными сопротивлениями и потерями холостого хода, включенными со стороны питающей линии.

9.2 Расчет электрической сети в режиме максимальных нагрузок

Далее производят расчет режима электрической сети по «данным начала» - известно напряжение у источника питания и мощность нагрузки у потребителя. Как известно, в этом случае задача решается в два этапа:

1. Напряжения в узловых точках принимаются равными номинальным и определяются потери мощности в элементах сети начиная от нагрузок в направлении источника питания (прямой ход – от нагрузки к источнику питания – расчет режима мощности);

2. По определенным на первом этапе перетокам мощностей определяются составляющие падения напряжения на участках сети, а по ним рассчитываются уровни напряжения в узловых точках (обратный ход – от источника энергии к потребителям – расчет режима напряжений).

Целью расчета режима максимальных нагрузок на данном этапе проектирования является – определение потерь мощностей в элементах сети, необходимые для проведения технико-экономического сравнения вариантов. Поэтому здесь можно ограничиться выполнением расчетов первого этапа.

10 Технико-экономическое сравнение вариантов

Целью технико-экономических расчетов является выбор оптимального варианта схемы проектируемой сети. Для этого необходимо из двух, составленных после предварительного сравнения, вариантов схемы электроснабжения района произвести выбор наиболее целесообразного (оптимального).

При этом сравниваемые варианты могут быть неодинаковыми по надежности электроснабжения. В этом случае сравнение вариантов должно производиться по формуле расчетных затрат с учетом математического ожидания ущерба от недоотпуска электроэнергии. В настоящее время нет единой методики, с помощью которой можно было бы достаточно просто и точно определить ущерб у потребителя.

Кроме того, нужно учитывать как разновременность капиталовложений, так и изменение эксплуатационных расходов во времени, т.к. любая электроэнергетическая система развивается. Однако строгий учет перечисленных факторов не может быть осуществлен в рамках курсового проекта.

Поэтому при курсовом проектировании вводятся следующие допущения:

1. Варианты принимаются равноценными по надежности, если в случае отключения одной цепи электроэнергия продолжает поступать по другой цепи либо по одноцепной линии (например, радиальная двухцепная линия и кольцевая сеть).

2. Капиталовложения в сеть считаются единовременными, а годовые издержки – постоянными.

В этом случае оценка вариантов производится по расчетным затратам, которые определяются по выражению:

$$Z_i = E_H K_i + I_{ai} + I_{\sigma i}, \text{ тыс.тенге/год}, \quad (11)$$

где $i = 1, 2$ - номера сравниваемых вариантов;

E_H - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, равный 0,12;

K - капиталовложения в объекты сети, тыс.тенге;

I_a - полные годовые отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание электрической сети, тыс.тенге/год;

I_{σ} - затраты на компенсацию потерь электроэнергии в сети, тыс.тенге/год.

Полные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание электрической сети могут быть найдены по выражению:

$$I_a = \sum_{ji}^{ni} P_j K_j, \quad (12)$$

где K_j - капиталовложения в j -ый элемент сети;

P_j - нормы амортизационных отчислений на j -ый элемент.

Затраты на компенсацию потерь электроэнергии для каждого варианта определяют по формуле:

$$I_0 = \Delta P' \cdot \tau \cdot Z_0' + \Delta P'' \cdot 8760 \cdot Z_0'', \text{ тыс.тенге/год}, \quad (13)$$

где $\Delta P'$ -переменные потери мощности, зависящие от нагрузки (потери в активном сопротивлении проводов линий, обмотках трансформаторов и т.п.);

$\Delta P''$ -постоянные потери мощности, независящие от нагрузки (потери холостого хода трансформаторов, потери на корону в линиях напряжением 220 кВ и выше);

Z_0', Z_0'' -удельные затраты на компенсацию соответственно переменных и постоянных потерь;

$\tau, \tau'' = 8760$ -время наибольших потерь соответственно для переменных и постоянных потерь мощности (τ принимается по кривой [6], $\tau'' = 8760$ часов, т.е. равно времени работы оборудования).

По приведенным выражениям определяются расчетные затраты по каждому из сравниваемых вариантов. Оптимальным по экономическим показателям является вариант, характеризующийся меньшими расчетными затратами. Если разница в расчетных затратах сравниваемых вариантов не превышает 5%, варианты считаются равноэкономичными. Выбор рекомендуемого варианта в этом случае производится на основе инженерной оценки их характеристик. К таким оценкам относятся перспективность схемы, удобство эксплуатации, дефицитность материалов и оборудования, серийность применяемого оборудования и т.п.

Все дальнейшие расчеты производятся для одного, выбранного в результате технико-экономического сравнения, варианта схемы электроснабжения района.

11 Расчет напряжений в нагрузочных узлах

В условиях реального проектирования, как правило, производят электрический расчет сети для номинального (максимальный и минимальный) и нескольких более тяжелых послеаварийных режимов.

Вследствие ограниченности объема в курсовом проекте следует рассмотреть только два режима: режим максимальных нагрузок и наиболее тяжелый послеаварийный режим (выбирается один из рассмотренных в 3.4).

11.1 Определение напряжений в режиме максимальных нагрузок

Результаты расчета по определению распределения мощностей в режиме максимальных нагрузок, проверенного при выполнении первого этапа (пункт 8.2), позволяет вычислить уровни напряжений на шинах трансформаторов подстанций. На этом заканчивается определение первого приближения параметров режима сети.

Для достижения более высокой точности расчета режима районных электрических сетей иногда проводят уточнение режимных параметров, определенных в первой итерации, т.е. осуществляется расчет второй итерации. Однако, при учебном проектировании можно ограничиться первым приближением.

11.2 Расчет послеаварийного режима

Анализируя данные прикидочных расчетов, проведенных в параграфе 3.4 выбирают один, наиболее тяжелый с точки зрения проектировщика, послеаварийный режим. Далее по «данным начала» производят электрический расчет первой итерации выбранного послеаварийного режима. На втором этапе расчета (от источника к потребителю) определяют также напряжение на шинах НН и СН трансформаторов, приведенных к стороне ВН.

12 Выбор средств регулирования напряжения в сети

Для обеспечения требований, предъявляемых к качеству напряжения электроприемниками, значения напряжений в узлах проектируемой сети должны находиться в определенных пределах. Допускаемый режим напряжений может быть обеспечен применением специальных устройств, позволяющих регулировать напряжение в разных точках сети. Регулирование напряжений могут осуществляться на шинах источников питания и на шинах НН приемных подстанций.

В качестве основных средств регулирования напряжения при выполнении проекта принимаются трансформаторы с автоматическим переключением ответвлений под нагрузкой (трансформаторы с РПН). Выбор ответвлений со стороны высшего напряжения, как правило, должен производиться по условиям регулирования напряжения на стороне низшего напряжения.

Выбор ответвлений на стороне высшего напряжения двухобмоточных трансформаторов производится следующим образом.

Напряжение на низшей стороне трансформатора, приведенное к стороне высшего напряжения - U_2' , определяется для всех подстанций предыдущими расчетами. Напряжение на низкой стороне трансформатора - U_1 и это же напряжение, приведенное к высокой стороне - U_2 связаны через коэффициент трансформации выражением:

$$U_2 = \frac{U_2'}{K_T}, \quad (14)$$

где $K_T = \frac{U_{1отв}}{U_{2ном}}$, -коэффициент трансформации, соответствующего

ответвления РПН;

$U_{1отв}$ -напряжение на соответствующем ответвлении обмотки высшей стороны;

$U_{2ном}$ - номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

Если известно желаемое напряжение $U_{2ж}$ на низшей стороне трансформатора, то напряжение соответствующего регулировочного ответвления будет равно:

$$U_{1отв} = \frac{U_{2ном}}{U_{2ж}} U_2', \quad (15)$$

при $U_{2ном} = U_{2ж}$, $U_{1отв} = U_2'$.

При известном $U_{1отв}$ по таблице регулировочных ответвлений трансформатора с РПН, которую следует составить в соответствии с паспортными данными выбранных трансформаторов и устройств РПН, выбирается ближайшее стандартное ответвление и определяется действительное напряжение на низкой стороне:

$$U_{2н} = \frac{U_2'}{K_T}, \quad (16)$$

где $K_T = \frac{U_{2отв}}{U_{2ном}}$, -действительный коэффициент трансформации,

соответствующий выбранному стандартному ответвлению.

Трехобмоточные трансформаторы изготавливают с регулированием напряжения под нагрузкой только на обмотке высшего напряжения, а обмотка среднего напряжения имеет ответвления для изменения коэффициента трансформации без возбуждения. В тех случаях, когда характер изменения суточных графиков нагрузки на низшем и среднем напряжениях не совпадают, последовательно с обмоткой среднего напряжения включают линейные регулировочные трансформаторы.

Поэтому ответвления РПН на стороне высшего напряжения трехобмоточных трансформаторов выбираются исходя из условия обеспечения желаемого уровня на стороне низшего напряжения.

При этом предполагается, что необходимый уровень напряжения на средней стороне обеспечивается линейными регуляторами.

Автотрансформаторы в настоящее время выполняют с РПН на обмотке среднего напряжения, а к обмотке низшего напряжения при необходимости подключаются линейные регуляторы (вольтодобавочные трансформаторы).

Указанные расчеты выполняются для подстанций с наихудшими условиями напряжения во всех рассчитываемых режимах ее работы.

Если не удастся с помощью отпаек осуществить встречное регулирование, требуется дополнительная установка компенсирующих устройств. В качестве последних, как правило, выбираются батареи статических конденсаторов, устанавливаемых на шинах 6, 10 кВ соответствующей подстанции.

Мощность батареи статических конденсаторов ориентировочно может быть определена по выражению:

$$Q_k = \frac{U'_{i\text{жс}}(U'_{i\text{жс}} - U'_i)}{X_\text{э}} \cdot \frac{U_n^2}{U_{\text{жс}}^2}, \quad (17)$$

где $U'_{i\text{жс}}$ -желаемое напряжение на шинах низкого напряжения i -ой подстанции, приведенное к высокой стороне;

U'_i -напряжение на шинах той же подстанции, полученное в предыдущем расчете без учета КУ;

$X_\text{э}$ - эквивалентное реактивное сопротивление сети, соединяющей шины центра питания и рассматриваемой подстанции.

После этого производится уточнение ранее выполненных расчетов в результате чего находится новое значение напряжения, приведенного к высокой стороне подстанции и вновь выбирается ответвление на РПН трансформатора.

13 Определение технико-экономических показателей выбранного варианта сети

13.1 Уточнение капиталовложений и издержек производства

При составлении баланса реактивной мощности в 2.1 были определены мощности компенсирующих устройств, необходимых для повышения $\cos\varphi$ потребителей до нормативных. В предыдущем разделе определяются мощности компенсирующих устройств, требуемых для обеспечения соответствующего уровня напряжения на подстанции. В результате этих расчетов находится суммарная мощность компенсирующих устройств и выбирается вид, тип и их номинальная мощность [6].

Далее уточняются суммарные капиталовложения и издержки производства выбранного варианта с учетом стоимости источников реактивной мощности [6].

13.2 Техничко-экономические показатели электрической сети

С помощью обобщенных технико-экономических показателей необходимо оценить выбранный вариант передачи электроэнергии. К таким показателям относятся:

1. КПД передачи по мощности

$$\eta_p = \frac{\sum_i P_{Mi}}{\sum_i P_{Mi} + \sum_j \Delta P_j}; \quad (18)$$

2. КПД передачи по энергии

$$\eta_э = \frac{\sum_i P_{Mi} T_{Mi}}{\sum_i P_{Mi} T_{Mi} + \sum_j \Delta \mathcal{E}_j}; \quad (19)$$

$$\Delta \mathcal{E}_j = \Delta P_j \tau_j. \quad (20)$$

3. Себестоимость передачи энергии

$$C_c = \frac{I}{\mathcal{E}}; \quad (21)$$

$$\mathcal{E} = \sum_i P_{Mi} T_{Mi}. \quad (22)$$

4. Удельная расчетная стоимость передачи энергии

$$C_{\Pi} = \frac{3}{\mathcal{E}}. \quad (23)$$

где P_{Mi} - мощность потребителей i -го узла в режиме максимальных нагрузок;

$\Delta \mathcal{E}_j, \Delta P_j$ - потери энергии и мощности в j -ом элементе сети;

T_{Mi} - время использования максимума нагрузки;

3 - приведенные затраты;

I - полные годовые издержки.

Список литературы

1 Герасименко А.А. Передача и распределение электроэнергии: Учеб.пособие. – Ростов-на Дону: Феникс, 2011.

2 Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: Учебное пособие для электроэнергетических спец. вузов. – СПб: Издательство Сизова М.П., 2012.

3 Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1989.

4 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. РД 34 РК.20.501-02. – 2012.

5 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро/ - М.: Энергоатомиздат, 1985, 352 с.

6 Электрические системы: Электрические сети /Под ред. В.А. Веникова.- М.: Высшая школа, 1997.

7 Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях: Учеб. пособие для электроэнергетич. спец/ Под ред. В.А. Строева.- М.: Высш. шк., 1999.

8 Блок В.М. Электрические сети и системы.- М.: Высшая школа, 1986.

9 Соколов С.Е., Сажин В.Н., Генбач Н.А. Электрические сети и системы. Учебное пособие.- АУЭС, 2010.

10 Оржанова Ж.К., Тергеусизова М.А. Проектирование электрических сетей и систем. Конспект лекций для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика. Алматы: АУЭС, 2015.

11 Оржанова Ж.К., Утешкалиева Л.Ш. Электрические сети и системы. Сборник задач к практическим занятиям для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика. – АУЭС: Алматы, 2017.

Жанар Керимбековна Оржанова
Наталья Алексеевна Генбач

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ

Методические указания к выполнению курсового проекта
для студентов специальности
5В071800 – Электроэнергетика

Редактор **Голева Н.М.**
Специалист по стандартизации **Н.К.Молдабекова**

Подписано в печать « ____ » ____ 2017г Формат 60x84 1/16
Тираж 70 экз Бумага типографская
Объем _____ уч.изд.л Заказ № ____ Цена _____ тенге

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул.Байтурсынова, 126