

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра строительства,
энергетики и транспорта**

Методические указания
к курсовому проекту

по дисциплине: **Б1.О.23** Электрические сети

для направления подготовки (специальности)

13.03.02

код направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника». Профиль – «Электроснабжение»

наименование направления подготовки

Для всех форм обучения

код и наименование специальности, форма обучения

Мурманск
2021

Составил: Васильева Елена Витальевна, доцент кафедры строительства, электроэнергетики и транспорта Мурманского государственного технического университета

Методические указания к курсовому проекту рассмотрены и одобрены на заседании кафедры СЭиТ 01/07/2021 протокол № 05

Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 03.09.2015 № 955, учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки/специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроснабжение».

Процесс изучения дисциплины «Электрические сети» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО:

ПК-5. Готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

ПК-7. Готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать: структуру современных электрических сетей; требования предъявляемые к электрическим сетям; режимы работы современных электрических сетей; способы регулирования напряжения в электрических сетях.

Уметь: выполнять выбор оборудования для современных электрических сетей; составлять математические модели основных элементов современных электрических сетей; выполнять расчёт параметров математических моделей схем замещения основных элементов современных электрических сетей; выполнять расчёт режимов современных электрических сетей на основе составленных математических моделей; выполнять расчёт потерь мощностей в электрических сетях, выполнять механический расчет проводов и тросов ВЛ.

Владеть: анализом результатов, получаемых в результате расчёта режимов работы электрических сетей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЗАДАНИЕ НА КП	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КП	6
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	19

Введение.

Курсовое проектирование является одной из учебной важнейших форм работы. Оно ставит своей целью закрепить умения и систематизировать знания, полученные по дисциплине «Электрические сети», а также в смежных дисциплинах, научить студентов применять эти знания при решении инженерных задач, привить им навыки к самостоятельной работе.

При проектировании электрической сети необходимо выполнить технико-экономическое обоснование решений, определяющих оптимальный вариант ЭС, обеспечивающий потребителей качественной электроэнергией, с учетом бесперебойности электроснабжения при рациональном сочетании затрат на сооружение и эксплуатацию ЭС.

Бесперебойность электроснабжения достигается прежде всего резервированием питания электропотребителей с учетом заданной категории надежности.

Электроснабжение электропотребителей первой категории следует осуществлять от двух независимых источников, которыми считают секции шин двух трансформаторов подстанции, питаемой не менее чем двумя линиями. Перерыв в их электроснабжении допустим лишь на время срабатывания АВР.

Питание электропотребителей II категории допускают по одной линии и одним трансформатором при наличии централизованного резерва трансформаторов.

Перерывы в электроснабжении электропотребителей II категории не должны быть продолжительней двух часов, а электропотребителей III категории – не более суток. Нагрузки III категории резервным питанием можно не обеспечивать.

В результате выполнения курсового проекта студент должен освоить:

- принципы и общий алгоритм проектирования электрических сетей;
- критерии выбора оптимального варианта электрической сети;
- порядок построения схем электрической сети;
- методы расчета режимов электрической сети;
- способы регулирования напряжения в электрической сети.
- решение вопросов, связанных с компенсацией реактивной мощности

1.Задание на курсовой проект

Задачей данной работы является выполнение комплекса работ, связанных с проектированием электрической сети 35-220 кВ внешнего электроснабжения промышленного района.

По заданным нагрузкам, их месторасположением и размещением источников питания, необходимо выбрать схему соединения сети, ее номинальное напряжение, определить конструктивное выполнение определенных линий и их основные характеристики:

- число цепей;
- сечение проводов;
- потокораспределение мощностей;
- уровни напряжения различных режимов.

Решить вопросы компенсации реактивной мощности.

Исходные данные к работе:

Нагрузки в МВт и \cos подстанций выбирается в соответствии с таблицей А (№ варианта согласуется с преподавателем)

Координаты точек подстанций выбираются в соответствии с таблицей Б (№ варианта соответствует предпоследней цифре зачетной книжки).

Масштаб – 3 км/мм

Продолжительность использования наибольшей нагрузки $T_m=4500$ ч.

Активная наименьшая мощность нагрузки составляет 25% от наибольшей. Район по гололеду – II

Таблица А

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_6 , МВт	12	10	8	16	8	12	14	10	8	12
$\cos \varphi_6$	0,82	0,8	0,83	0,85	0,84	0,8	0,81	0,85	0,82	0,81
P_B , МВт	8	12	16	10	14	8	12	16	10	14
$\cos \varphi_B$	0,8	0,85	0,83	0,81	0,8	0,82	0,86	0,82	0,8	0,81
P_G , МВт	10	6	10	8	12	10	10	8	16	10
$\cos \varphi_G$	0,82	0,83	0,8	0,81	0,85	0,8	0,82	0,83	0,85	0,8

Таблица Б

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Координаты точек подстанции А, х/у, мм	10/90	10/80	20/70	10/60	20/60	10/80	20/50	20/40	10/50	20/90
Координаты точек подстанции Б, х/у, мм	40/90	50/80	40/70	50/90	50/70	40/80	40/60	70/80	60/80	60/90
Координаты точек подстанции В, х/у, мм	90/90	70/60	80/50	70/80	80/60	90/60	70/50	60/60	80/60	90/70
Координаты точек подстанции Г, х/у, мм	50/30	70/40	60/30	50/40	40/20	50/20	40/30	50/10	60/10	50/20

2. Содержание и оформление курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки объемом не более 40 страниц печатного текста

Расчетно-пояснительная записка - основная часть проекта, содержащая методы исследования и расчета, в краткой и четкой форме раскрывающая замысел проекта. Основой пояснительной записки должны служить технико-экономические расчеты, их анализ и соответствующие выводы.

Последовательность приведения информации в разделах расчетно-пояснительной записки должна быть следующей:

формулировка задачи, которую следует решить;

пояснение методики, с помощью которой автор проекта предполагает решать поставленную задачу;

само решение, базирующееся на расчетах;

выводы по разделу.

При выполнении расчетов в начале необходимо указать формулу, пояснив параметры, входящие в нее и указать источник информации. Затем произвести подстановку числовых значений и выполнить расчеты с указанием размерности полученных параметров. Если в данном разделе имеет место ряд однотипных вычислений, то расчет выполняется только для одного случая, а все остальные целесообразно свести в таблицы.

Таблицы пояснительной записки должны удовлетворять требованиям простоты и наглядности. В методических указаниях приводится форма некоторых таблиц. Во всех остальных случаях форму сводных таблиц студент должен разработать самостоятельно.

Текст должен поясняться схемами, которые изображаются с соблюдением соответствующих стандартов.

При выполнении проекта необходимо применять Международную систему единиц СИ. Обозначения должны соответствовать государственным стандартам с использованием кратных и дольных единиц, например, А, В, кВ, кА, Вт, кВт, МВт, В*А, кВ*А, МВ*А, вар, квар, Мвар, кВт*ч, МВт*ч, Ом, кОм и т.д. Сокращения в тексте не допускаются, за исключением общепринятых, например, ВЛ, ЛЭП, ГПП и др.

В пояснительную записку включается: титульный лист, задание на проектирование, оглавление, введение, главы пояснительной записки

В оглавлении приводятся порядковые номера и полное наименование разделов или подразделов с указанием соответствующих страниц.

Во введении показывается состояние и перспективы развития рассматриваемого вопроса. Основное содержание пояснительной записки должно включать рассмотрение следующих разделов проекта:

1. Введение;
2. Содержание;
3. Составление и обоснование схемы и вариантов номинальных напряжений сети;
4. Баланс реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств;
5. Выбор типа и мощности трансформаторов понижающих подстанций;

6. Выбор типа и параметров коммутационного оборудования понижающих подстанций;
7. Электрический расчет составленных вариантов сети;
8. Уточненный расчет выбранного варианта проектируемой сети;
9. Список используемой литературы.

В заключении необходимо подвести итог выполненной работы, т.е. в виде ряда пунктов сформулировать основные технико-экономические результаты (как положительные, так и отрицательные), полученные в ходе проектирования.

Список литературы указывают в конце пояснительной записки с соблюдением современных требований. Примером может служить список литературы данных методических указаний. Ссылка на используемую литературу дается в виде цифры в квадратных скобках.

3. Разделы курсового проекта

Исходные данные:

Наименование подстанции	Координаты точек подстанций, мм		Активная нагрузка, Р, МВт	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	x	y		
А (источник питания)			-	-
Б				
В				
Г				
Масштаб 3 км/мм				

Таблица №1

- продолжительность использования наибольшей нагрузки – $T_m=4500$ ч.;
- активная наименьшая мощность нагрузки составляет 25% от наибольшей, при этом коэффициент мощности не изменяется;
- район по гололеду – II;
- во всех приемных пунктах имеются потребители I и II категорий, а также потребители III категории, составляющие 20-30% от общей нагрузки подстанции;
- срок строительства составит не более одного года;
- на питающей подстанции А осуществляется встречное регулирование напряжения;
- установленная мощность питающей электрической системы А достаточна для покрытия активной мощности потребителей проектируемой сети.

Все другие данные, необходимые для проектирования, принимаются в соответствии с рекомендациями справочной и методической литературы.

1. Составление и обоснование схемы и вариантов номинальных напряжений сети.

Выполняем три варианта (рис.1), магистральную (схем: радиальную рис.2) и кольцевую (рис.3).

Определяем на этих схемах $\lambda_{изм}$ (измеряема длина). Расчетную длину $\lambda_{расч}$ находим по формуле:

$$\lambda_{расч} = \lambda_{изм} + \Delta\lambda$$

где $\Delta\lambda$ - расстояние, которое учитывает неточность прохождения трассы по сравнению с чертежом; $\Delta\lambda = (0,1 \div 0,15) \lambda_{изм}$

Результаты измерения заносим в таблицу №2.

Таблица №2

Обозначение линии	Результаты измерения, мм	Длина линии с учетом масштаба, $\lambda_{изм}$, км	$\Delta\lambda$, км	$\lambda_{расч}$, км
$\lambda_{аб}$				
$\lambda_{ав}$				
$\lambda_{бв}$				
$\lambda_{аг}$				
$\lambda_{вг}$				

Выбираем главные схемы понижающих подстанций [4].

Основным принципом, которым руководствуются при выборе схем соединения понижающих подстанций в ходе проектирования, строительства и реконструкции электрических сетей, является обеспечение максимальной надежности и экономичности электроснабжения при сохранении требуемых показателей качества электроэнергии. Перечисленным требованиям отвечают более простые унифицированные схемы подстанций с минимальным количеством выключателей на высокой стороне или вовсе без них.

Поэтому в практике проектирования некоторых видов сетей в большинстве случаев принимают определенные типы унифицированных подстанций. В частности, в кольцевых схемах, выполненных одноцепными линиями, применяют схему двухтрансформаторной подстанции типа «мостик» с одним выключателем в перемычке на высокой стороне трансформатора. В магистральных и радиальных схемах, выполненных двухцепными линиями, применяют схему двухтрансформаторной подстанции типа «два блока линия-трансформатор» без выключателей на высокой стороне трансформатора.

Определяем номинальные напряжения в электрических сетях.

Номинальное напряжение в электрических сетях при проектировании выражается тремя способами:

– по кривым; – по таблице;

– по формуле: $U_{эк} = \frac{1000}{\sqrt{500/\lambda + 2500/P}}$, кВ [1, стр.106]

где λ - длина линии, км;

P – передаваемая мощность, МВт.

В данной курсовой работе номинальное напряжение предлагается определять третьим способом для каждой схемы.

Для кольцевой схемы:

Разрезать кольцевую схему по “А”.

Потокораспределение определяется по правилу обратных плеч.

$$P_a = \frac{P_{\bar{b}} \cdot \lambda_{a\bar{b}} + P_{\bar{v}} (\lambda_{a\bar{b}} + \lambda_{\bar{b}\bar{v}}) + P_{\bar{r}} (\lambda_{a\bar{b}} + \lambda_{\bar{b}\bar{v}} + \lambda_{\bar{v}\bar{r}})}{\lambda_{a\bar{b}} + \lambda_{\bar{b}\bar{v}} + \lambda_{\bar{v}\bar{r}} + \lambda_{\bar{r}\bar{a}}}$$

$$P_a = \frac{P_{\bar{r}} \cdot \lambda_{a\bar{r}} + P_{\bar{v}} (\lambda_{a\bar{r}} + \lambda_{\bar{r}\bar{v}}) + P_{\bar{b}} (\lambda_{a\bar{r}} + \lambda_{\bar{r}\bar{v}} + \lambda_{\bar{v}\bar{b}})}{\lambda_{a\bar{b}} + \lambda_{\bar{b}\bar{v}} + \lambda_{\bar{v}\bar{r}} + \lambda_{\bar{r}\bar{a}}}$$

Проверка правильности расчета производится по уравнению

$$P_a + P_a = P_{\bar{b}}' + P_{\bar{v}}'' + P_{\bar{r}}$$

Определяется потокораспределение в сети по I закону Кирхгофа:

Выбор напряжения по всей сети определяется по наиболее загруженному участку.

2. Баланс реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств.

Компенсирующие устройства применяются во всех электрических сетях для того, чтобы реактивная мощность, передаваемая по линии, была минимальной. Уменьшение реактивной мощности приводит к уменьшению тока, а следовательно, и уменьшаются потери мощности в сетях. Выбор мощности компенсирующих устройств и их размещение на подстанции сети влияют на технико-экономические показатели вариантов схем, а также могут повлиять и на правильность выбора величины номинального напряжения и схемы проектируемой сети.

Следует выбрать батареи конденсаторов такой мощности, чтобы довести коэффициент мощности на шинах вторичного напряжения каждой подстанции до $0,92 \div 0,95$ (меньшие значения желаемого коэффициента мощности нужно принимать для подстанций, расположенных вблизи от источников питания).

Приближенное значение мощности компенсирующих устройств $Q_{ку}$, установленных на шинах вторичного напряжения каждой подстанции, определяем по формуле:

$$Q_{ку} = P_{к} \cdot K_{н} (tg \varphi_{к} - tg \varphi_{жкк})$$

где $P_{к}$ – активная мощность, заданная на шинах вторичного напряжения понижающей К-ой подстанции;

$\varphi_{к}$ и $\varphi_{жкк}$ – угол сдвига фаз между током и напряжением на шинах вторичного напряжения К-той подстанции и его желаемое значение после компенсации;

$K_{н}$ – коэффициент нагрузки, $K_{н} \approx 0,8 \div 0,96$.

Результаты вычислений сводим в таблицу №3.

Таблица №3

Параметры		Подстанции		
		Б	В	Г
Активная мощность, $P_{к}$, МВт				
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_{к}$			
	$tg \varphi_{к}$			
Желаемый коэффициент мощности	$\cos \varphi_{жкк}$			
	$tg \varphi_{жкк}$			
Реактивная мощность компенсирующего устройства, $Q_{ку}$, Мвар				
Желаемая реактивная мощность, $Q_{жк}$, Мвар				
Желаемая полная мощность, $S_{жк}$, МВ·А	$P_{к} + jQ_{жк}$			
	$\sqrt{P_{к}^2 + Q_{жк}^2}$			

3 Выбор типа и мощности трансформаторов понижающих подстанций.

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования уровня напряжения.

Различают два режима работы трансформатора:

- систематические допустимые перегрузки;
- аварийные перегрузки.

Исходя из допустимой перегрузки на время максимума нагрузки на 40%, мощность каждого из двух трансформаторов выбираем равной $0,65 \div 0,7$ максимальной нагрузки подстанции. При этом обеспечивается питание всех потребителей при аварийном отказе одного трансформатора.

$$S_{н.тр} \geq (0,65 \div 0,7) S_{ж}$$

Определяем ориентировочные мощности трансформаторов подстанций и результаты заносим в таблицу №4.

Таблица №4

	Подстанции		
	Б	В	Г
Ориентировочная мощность трансформаторов, МВ · А			

Выбираем трансформаторы и заносим их в таблицу №5

Таблица №5

Подстанции	$S_{ном},$ МВ · А	Тип	Каталожные данные						Расчетные данные			
			$U_{ном},$ кВ		$u_k,$ %	$P_{кз},$ кВт	$P_{xx},$ кВт	$I_{xx},$ %	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$Q_{xx},$ квар	
			ВН	НН								

Производим расчет потерь мощности в силовых трансформаторах по формулам:

$$\Delta P_T = P_{xx} \cdot n_T + \frac{P_{кз}}{n} \left(\frac{S_{ж}}{S_{н.тр}} \right)^2$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} S_{н.тр} \cdot n_T + \frac{u_k}{100 \cdot n_T} \cdot \frac{S_{ж}^2}{S_{н.тр}}$$

где P_{xx} и I_{xx} – потери холостого хода;

$P_{кз}$ и u_k – потери короткого замыкания; n_T

– количество трансформаторов, $n_T = 2$.

Находим потери напряжения в трансформаторах по формуле:

$$\Delta U_T = \frac{P_k \cdot R_T + Q_{ж} \cdot X_T}{n_T \cdot U_H} \text{ [кВ]}$$

$$\Delta U_T \% = \frac{\Delta U_T}{U_H} \cdot 100 \%$$

где R_T и X_T – активное и реактивное сопротивления трансформатора;

P_k – активная мощность, заданная на шинах вторичного напряжения понижающей

Результаты вычислений сводим в таблицу №6.

Таблица №6

Подстанции	Потери мощности		Потери напряжения	
	$\Delta P_T, \text{кВт}$	$\Delta Q_T, \text{квар}$	$\Delta U_T, \text{кВ}$	$\Delta U_T, \%$
Б				
В				
Г				

Все потери напряжения должны быть меньше 5%.

Определяем потери энергии в трансформаторах по формуле:

$$\Delta W_T = P_x \cdot n_T \cdot T' + \frac{P_{\text{кз}}}{n_T} \left(\frac{S_{\text{ж}}}{S_{\text{н.тр}}} \right)^2 \cdot T'$$

где T' и T'' - количество часов в году, в течении которых происходят потери электроэнергии (зависящие и независящие от нагрузки):

$$T' = \tau / \alpha_{\text{max}} \text{ и } T'' = 8760 \text{ ч.}$$

τ - время потерь, определяется по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10^4} \right)^2 \cdot T''$$

T_m – число часов использования максимума нагрузки, $T_m=4500$ ч.

α_{max} – коэффициент попадания нагрузки рассматриваемого потребителя (дополнительный потребитель мощности) в максимум нагрузки энергосистемы, принимаем $\alpha_{\text{max}}=0,9$.

Определяем потери энергии и результаты заносим в таблицу №7.

Таблица №7

Подстанции	Потери электроэнергии в трансформаторах, $\Delta W_T, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	
	зависимые от нагрузки	независимые от нагрузки
Б		
В		
Г		
Итого, $\Delta W_{T,\Sigma}$		

Определяем потери электроэнергии в конденсаторных установках по формуле:

$$\Delta W_{\text{кв}} = Q_{\text{кв}} \cdot K_{\text{кв}} \cdot T$$

где $K_{\text{кв}}$ – коэффициент удельных потерь в компенсационных установках, принимаем $K_{\text{кв}}=0,003$ кВт/квар.

Результаты заносим в таблицу №8.

Таблица №8

Подстанции	Потери электроэнергии в компенсационных установках, $\Delta W_{\text{кв}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}$	
	зависимые от нагрузки	независимые от нагрузки
Б		
В		
Г		
Итого, $\Delta W_{\text{кв},\Sigma}$		

4. Выбор типа и параметров коммутационного оборудования понижающих подстанций.

Для каждого из вариантов схем сети выбрать главные электрические схемы понижающих подстанций.

Для каждой подстанции произвести выбор и проверку коммутационного оборудования на стороне высокого напряжения.

Выбор вводных выключателей, линейных и шинных разъединителей производится по номинальной мощности силового трансформатора с учетом допустимой перегрузки на время максимума нагрузки на 40%.

$$I_{\text{ном м}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{но}}}{\sqrt{3} U_{\text{вн}}}$$

Проверка вводных выключателей, линейных и шинных разъединителей производится по нагрузке подстанции.

Выбор секционных выключателей, секционных разъединителей и разъединителей ремонтной перемычки (при наличии в схеме) производится по номинальной мощности силового трансформатора.

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{вн}}}$$

Проверка секционных выключателей, секционных разъединителей и разъединителей ремонтной перемычки производится по 1/2 нагрузки подстанции.

Результаты расчетов сводим в таблицы №9 и №10

Таблица №9

Подстанция	Наименование главной электрической схемы подстанции	Высоковольтные выключатели			
		Вводные		Секционный	
		Тип	I _{ном}	Тип	I _{ном}
Б					
В					
Г					

Таблица №10

Подстанция	Наименование главной электрической схемы подстанции	Высоковольтные разъединители			
		Линейные/ шинные		Секционные/ ремонтной перемычки	
		Тип	I _{ном}	Тип	I _{ном}
Б					
В					
Г					

6 . Электрический расчет составленных вариантов сети.

Зная потери в трансформаторах, приводим нагрузки трансформаторных подстанций к высокой стороне и результаты записываем в таблицу №11.

$$P_2 = P_k + \Delta P_T$$

$$Q_2 = Q_{ж} + \Delta Q_T$$

Таблица №11

Параметры	Подстанции		
	Б	В	Г
Активная мощность, P_2 , кВт			
Реактивная мощность, Q_2 , квар			
Полная мощность, S_2 , кВ·А	$P_2 + jQ_2$		
	$\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}$		

Приближенно определяем зарядную мощность линии для каждой схемы по формуле:

$$Q_{зар} = \beta_0 \cdot \lambda \cdot U_n^2$$

где λ - длина линии, [км];

β_0 - приближенное значение проводимости линии $\frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{км}}$

U_n – номинальное напряжение сети, [кВ]

Определяем приближенное потокораспределение без учета потерь в линиях.

Приближенное потокораспределение – это потокораспределение в линиях и трансформаторах без учета потерь мощности.

В радиальной схеме, потребляемая мощность является передаваемой.

В магистральной схеме потокораспределение находится по I закону Кирхгофа.

В кольцевой схеме потокораспределение находится по правилу обратных плеч.

$$S_a^{\circ} = \frac{\dot{S}_6 \cdot \lambda_{a6} + \dot{S}_B (\lambda_{a6} + \lambda_{6B}) + \dot{S}_Г (\lambda_{a6} + \lambda_{6B} + \lambda_{BГ})}{\lambda_{a6} + \lambda_{6B} + \lambda_{BГ} + \lambda_{aГ}}$$

$$S_a^{\circ//} = \frac{\dot{S}_Г \cdot \lambda_{aГ} + \dot{S}_B (\lambda_{aГ} + \lambda_{BГ}) + \dot{S}_6 (\lambda_{aГ} + \lambda_{BГ} + \lambda_{6B})}{\lambda_{a6} + \lambda_{6B} + \lambda_{BГ} + \lambda_{aГ}}$$

Проверка правильности расчета производится по уравнению:

$$S_a^{\circ} + S_a^{\circ//} = \dot{S}_6 + \dot{S}_B + \dot{S}_Г$$

Определяем потокораспределение в сети по I закону Кирхгофа:

Определяем сечения проводов в электрических сетях.

Критерием для выбора сечения проводников ВЛ является минимум приведенных затрат. В практике проектирования линий массового строительства выбор сечения проводников производится по нормативным обобщенным показателям.

В качестве такого показателя при проектировании ВЛ 35÷500 кВ используется экономическая плотность тока $j_э$, которая в зависимости от типа проводки и числе часов использования максимума нагрузки в год выбирается по [3, стр.40]:

$$j_э = 1,1 \text{ А/мм}^2$$

Экономически целесообразное сечение S [мм²] определяется из соотношения:

$$S = \frac{I_{\max}}{j_3}$$

где I_{\max} – максимальный ток в аварийном режиме (при обрыве одной из линий), [А].

Расчетный ток определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_{\text{линии}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

где $S_{\text{линии}}$ – мощность, передаваемая по конкретной линии. При двухцепной ($n_{\text{л}}=2$) линии это значение уменьшается в два раза.

Значение I_{\max} находится по той же формуле, но при обрыве одной из питающих линий.

1. Радиальная схема

– участок АБ

$$I_{p.а\text{б}} = \frac{S_{а\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{\text{л}}}$$

$$I_{\max.а\text{б}} = \frac{S_{а\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок АВ

$$I_{p.а\text{в}} = \frac{S_{а\text{в}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{\text{л}}}$$

$$I_{\max.а\text{в}} = \frac{S_{а\text{в}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок АГ

$$I_{p.а\text{г}} = \frac{S_{а\text{г}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{\text{л}}}$$

$$I_{\max.а\text{г}} = \frac{S_{а\text{г}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

2. Магистральная схема

– участок АБ

$$I_{p.а\text{б}} = \frac{S_{а\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{\text{л}}}$$

$$I_{\max.а\text{б}} = \frac{S_{а\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок БВ

$$I_{p.бв} = \frac{S_{бв}}{\sqrt{3}U_n \cdot n_{л}}$$

$$I_{max.бв} = \frac{S_{бв}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

3. Кольцевая схема

– участок АБ

$$I_{p.аб} = \frac{S_{аб}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{max.аб} = \frac{S_{авар.аб}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок БВ

$$I_{p.бв} = \frac{S_{бв}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{max.бв} = \frac{S_{авар.бв}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок ВГ

$$I_{p.вг} = \frac{S_{вг}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{max.вг} = \frac{S_{авар.вг}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

– участок АГ

$$I_{p.аг} = \frac{S_{аг}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_{max.аг} = \frac{S_{авар.аг}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

Выбранные провода и их характеристики заносим в таблицу №12.

Таблица №12

Схема	Участок	Расчетный ток, I_p , А	Максимальный ток, I_{max} , А	Марка провода	Допустимый длительный ток провода, А	Погонные сопротивления (проводимости)		
						активное, R_0 , Ом/км	Ом/км индуктивно	емкостная, β , 10^{-6} 1/(Ом·км)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
радиальная	АБ							
	АВ							
	АГ							
магистральна	АБ							
	БВ							
	АГ							

Продолжение таблицы №12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
кольцевая	АБ							
	БВ							
	ВГ							
	АГ							

Находим потери напряжения сетей по формуле:

$$\Delta U_{л} = \frac{P_{к} \cdot R_{0} + Q_{жс} \cdot X_{0}}{U_{н} \cdot n_{л}} \cdot \lambda_{к} \text{ [кВ]}$$

$$\Delta U_{л} \% = \frac{\Delta U_{л}}{U_{н}} \cdot 100 \%$$

Потери мощности находим по формулам:

$$\Delta P_{л} = \frac{P_{к}^2 + Q_{жс}^2}{U_{н}^2 \cdot n_{л}} \cdot \lambda_{к}$$

$$\Delta Q_{л} = \frac{P_{к}^2 + Q_{жс}^2}{U_{н}^2 \cdot n_{л}} \cdot X_{0} \cdot \lambda_{к}$$

Потери электроэнергии определяем по формуле:

$$\Delta W_{л}^{//} = \Delta P_{л}$$

• τ Все потери записываем в таблицу №13.

Таблица №13

Схема	Участок	Длина участка, $\lambda_{к}$, км	Потери напряжения		Потери мощности		Потери электроэнергии, $\Delta W_{л}^{//}$, кВт·ч
			$\Delta U_{л}$, кВ	$\Delta U_{л}$, %	$\Delta P_{л}$, кВт	$\Delta Q_{л}$, квар	
1	2	3	4	5	6	7	8
радиальная	АБ						
	АВ						
	АГ						
	Итого, $\Delta W_{л.Σ}$		-	-	-	-	
магистральная	АБ						
	БВ						
	АГ						
	Итого, $\Delta W_{л.Σ}$		-	-	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8
кольцевая	АБ						
	БВ						
	ВГ						
	АГ						
	Итого, $\Delta W_{л.Σ}$		-	-	-	-	

Все потери напряжения должны быть меньше 5%.

7.. Уточненный расчет выбранного варианта проектируемой сети.

Расчет проектируемой сети будем производить в трех режимах:

- режим максимальной нагрузки;
- режим минимальной нагрузки;
- послеаварийный режим.

Расчеты включают в себя:

- точное потокораспределение;
- уровни напряжений;
- коэффициент трансформации в трех режимах.

Зная сечения проводов, определяем точные значения зарядной мощности:

1. Максимальный режим:

- участки АБ и БВ

Определяем мощность, передаваемая по сети:

$$S_{2'}^{\circ} = S_{2б}^{\circ} + S_{2в}^{\circ} + \Delta S_{л.бв}^{\circ} - jQ_{зар.бв}$$

$$S_{1'}^{\circ} = S_{2'}^{\circ} + \Delta S_{л.аб}^{\circ} - jQ_{зар.аб}$$

Определяем уровни напряжений у трансформаторных подстанций:

$$U_{2'} = U_1 - \Delta U_{л.аб}$$

$$U_2 = U_{2'} - \Delta U_{л.бв}$$

Где U_1 – напряжение, вырабатываемое подстанцией А

Определяем коэффициенты трансформации трансформаторов подстанций:

$$K_{Т.б} = \frac{U_{2'}}{U_{НН}}$$

$$K_{Т.в} = \frac{U_2}{U_{НН}}$$

- участок АГ

Определяем мощность, передаваемая по сети:

$$\dot{S}_{1''} = \dot{S}_{2r} + \Delta \dot{S}_{л.ар} - jQ_{зар.ар}$$

Определяем полную мощность и коэффициент мощности источника питания А:

$$\begin{aligned} \dot{S}_1 &= \dot{S}_1' + \dot{S}_{1''} \\ S_1 &= \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \\ \cos \varphi_1 &= \frac{P_1}{S_1} \end{aligned}$$

Определяем уровень напряжения у трансформаторных подстанций:

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{л.ар}$$

Определяем коэффициент трансформации трансформатора подстанции:

$$K_{Т.г} = \frac{U_2}{U_{НН}}$$

2. Минимальный режим:

В целях сокращения однотипных расчетов режим наименьших нагрузок можно рассматривать упрощенно с некоторой неточностью, допускаемой в этом случае. Можно считать, что потери напряжения в сети в режиме наименьших нагрузок уменьшаются пропорционально величине:

$$\frac{S_{\min}}{S_{\max}} = \frac{1}{4}$$

А потери мощности пропорционально величине:

$$\frac{S_{\min}^2}{S_{\max}^2} = \frac{1}{16}$$

Поэтому величины потерь напряжения и мощности в линиях и обмотках трансформаторов в режиме наименьших нагрузок могут быть получены путем умножения соответствующих значений, найденных для режима наибольших нагрузок, на приведенные значения.

– участки АБ и БВ

Определяем мощность, передаваемая по сети:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{2'} &= \frac{1}{4} \left(\dot{S}_6^{\circ} + \dot{S}_B^{\circ} \right) + \frac{1}{16} \left(\Delta \dot{S}_{Т.б}^{\circ} + \Delta \dot{S}_{Т.в}^{\circ} + \Delta \dot{S}_{л.бв}^{\circ} \right) - jQ_{зар.бв} \\ \dot{S}_{1'} &= \dot{S}_{2'} + \frac{1}{16} \left(\Delta \dot{S}_{л.аб}^{\circ} \right) - jQ_{зар.аб} \end{aligned}$$

Определяем уровни напряжений у трансформаторных подстанций:

$$\begin{aligned} U_{2'} &= U_1 - \frac{1}{4} \Delta U_{л.аб} \\ U_2 &= U_{2'} - \frac{1}{4} \Delta U_{л.бв} \end{aligned}$$

Определяем коэффициенты трансформации трансформаторов подстанций: $K_{Т.б}$

$$\begin{aligned} &= \frac{U_{2'}}{U_{НН}} \\ K_{Т.б} &= \frac{U_2}{U_{НН}}; \end{aligned}$$

– участок АГ

Определяем мощность, передаваемую по сети:

$$\overset{\circ}{S}_{1''} = \frac{1}{4} \left(\overset{\circ}{S}_2 \right) + \frac{1}{16} \left(\Delta S_{T.2}^{\circ} + \Delta S_{л.аг}^{\circ} \right) - j Q_{зар.аг}$$

Определяем полную мощность и коэффициент мощности источника питания А:

$$\overset{\circ}{S}_1 = \overset{\circ}{S}_{1'} + \overset{\circ}{S}_{1''}$$

Определяем уровень напряжения у трансформаторных подстанций:

$$U_2 = U_1 - \frac{1}{4} \Delta U_{л.аг}$$

Определяем коэффициент трансформации трансформатора подстанции:

$$K_{Т.г} = \frac{U_2}{U_{НН}};$$

3. Послеаварийный режим:

В этом режиме произошел обрыв одной из цепей двухцепной линии, поэтому потери электроэнергии в линиях и трансформаторах, и потери напряжения увеличатся в два раза, а зарядная мощность – уменьшится в два раза.

– участки АБ и БВ

Определяем мощность, передаваемая по сети:

$$\overset{\circ}{S}_{2'} = \overset{\circ}{S}_6 + \overset{\circ}{S}_6 + 2 \left(\Delta S_{T.6}^{\circ} + \Delta S_{T.6}^{\circ} + \Delta S_{л.бв}^{\circ} \right) - j \frac{Q_{зар.бв}}{2}$$

$$\overset{\circ}{S}_{1'} = \overset{\circ}{S}_{2'} + 2 \left(\Delta S_{л.аб}^{\circ} \right) - j \frac{Q_{зар.аб}}{2}$$

Определяем уровни напряжений у трансформаторных подстанций:

$$U_{2'} = U_1 - 2(\Delta U_{л.аб})$$

$$U_2 = U_{2'} - 2(\Delta U_{л.бв})$$

– участок АГ

Определяем мощность, передаваемая по сети:

$$\overset{\circ}{S}_{1''} = \overset{\circ}{S}_2 + 2 \left(\Delta S_{T.2}^{\circ} + \Delta S_{л.аг}^{\circ} \right) - j \frac{Q_{зар.аг}}{2}$$

Определяем полную мощность и коэффициент мощности источника питания А:

$$\overset{\circ}{S}_1 = \overset{\circ}{S}_{1'} + \overset{\circ}{S}_{1''}$$

Определяем уровень напряжения у трансформаторных подстанций:

$$U_2 = U_1 - 2(\Delta U_{л.аг})$$

Результаты расчетов заносим в таблицу №14.

Таблица №14.

Параметры	Режимы сети		
	максимальный	минимальный	послеаварийный
Полная мощность источника питания $A, S_1, \text{кВ} \cdot \text{А}$			
Уровень напряжения возле подстанции, кВ	Б		
	В		
	Г		
Коэффициент трансформации на подстанции, K_T	Б		
	В		
	Г		

Определяем пределы регулирования коэффициентом трансформации силовых трансформаторов:

$$K_{T.\text{ном}}^{\pm} = \frac{U_{\text{ВН}} \pm 9 \cdot 1,78 \cdot \frac{U_{\text{ВН}}}{100\%}}{U_{\text{НН}}}$$

Список используемой литературы:

- 1) Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро – Москва: Энергоатомиздат, 1985.
- 2) Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Проектирование электрических сетей и систем. – Минск: «Высшая школа», 1978.
- 3) Правила устройства электроустановок.
- 4) Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.30.010-2008 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения», дата введения - 2007-12-20.