

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное образовательное учреждение
профессиональная образовательная организация
«Троицкий технологический техникум»

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по ТО

_____/Гартвик Л.В./
(подпись)

« ____ » _____ 20__ г.

Пояснительная записка
к курсовому проекту

ПРОЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЭЦ - 236 МВт
ТТТ.13.02.03.001.21.00. ПЗ

ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ

Преподаватель

_____/Немчинова Э.Т./
« ____ » _____ 20__ г.

Разработал:

Урусов С.Д./_____/ /
(подпись, дата)

Руководитель:

преподаватель ГБПОУ «ТТТ»
(ученая степень, должность, место работы)

_____/Немчинова Э.Т./
(подпись, дата)

Нормоконтролер:

преподаватель ГБПОУ «ТТТ»

(ученая степень, должность, место работы)

_____/ Немчинова Э.Т./
(подпись, дата)

Работа защищена с оценкой

« ____ » _____ 20__ г.

Содержание

Задание

Введение

1 Разработка структурной схемы ТЭЦ.....

1.1 Выбор генераторов.....

1.2 Выбор блочных трансформаторов

1.3. Расчет мощности потребителей.....

1.4. Определение отбора мощности на собственные нужды. Выбор трансформаторов СН.....

1.5. Определение количества ЛЭП на шинах всех напряжений.....

1.6. Выбор токоограничивающих реакторов.....

2. Разработка принципиальной электрической схемы ТЭЦ.

2.1 Выбор и описание схемы электрических соединений на шинах всех напряжений.....

2.2 Разработка схемы питания собственных нужд.....

3 Расчет токов КЗ.....

4 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей в заданных цепях.....

5 Выбор распределительных устройств всех напряжений.

6. Техничко-экономические показатели ТЭЦ.

Заключение

Библиография

					ТТТ.13.02.03.001.21.00.ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Урусов С.Д			Проект электрической части ТЭЦ-236МВт	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Немчинова Э.Т					4	46
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Немчинова Э.Т				302		
<i>Утверд.</i>		Немчинова Э.Т						

Введение

В соответствии с основными положениями энергетической программы предусматривается дальнейшее строительство мощных тепловых электростанций, когда комбинируются производство электроэнергии и тепла для централизованного теплоснабжения предприятий и городов сокращенно ТЭЦ.

Цель данного курсового проекта- спроектировать электрическую часть новой блочной ТЭЦ-236 МВт с энергоблоками 2x63 МВт и 1x110 МВт с напряжениями 110кВ и 10кВ.

ТЭЦ предполагается строить в густонаселенном районе. С шин 10 кВ будут питаться город, населением 40 тыс. жителей и автомобильный завод с установленной мощностью 63 МВт. С шин 110кВ предполагается питать город с населением 80 тыс. жителей и металлургический комбинат с установленной мощностью 110 МВт. Мощность энергосистемы, в которую вольется ТЭЦ 1200мВА, сопротивление 13 Ом. Связь с энергосистемой будет осуществляться по двум линиям электропередач с шин 110 кВ.

Задачи курсового проекта:

- 1.Разработать структурную схему ТЭЦ
- 2.Выбрать схемы электрических соединений на всех напряжениях электростанции.
- 3.Выбрать основное оборудование согласно заданию
- 4.Рассчитать токи короткого замыкания в заданных точках
- 5.Выбрать токоведущие части
- 6.Выбрать электрические аппараты
- 7.Выбрать схемы соединений измерительных трансформаторов тока и напряжения
- 8.Выбрать и подключить электрические приборы в схемах трансформаторов тока и напряжения.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

9. Дать полное описание распределительных устройств на всех напряжениях ТЭЦ.

Проект электрической части ТЭЦ-236 МВт. является основой для создания новой электростанции на территории Челябинской области.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Разработка структурной схемы ТЭЦ

1.1 Выбор генераторов

Одной из перспективно развивающихся серий турбогенераторов является турбогенератор с водяным форсированным охлаждением мощностью 63 МВт и двумя полюсами, а также турбогенератор с водородно-водяным охлаждением, мощностью 110 МВт и двумя полюсами. В данных турбогенераторах (взрыво и пожаробезопасных) применяются только негорючие материалы.

Согласно заданию на курсовой проект, на проектируемой ТЭЦ, к установке принимаем два турбогенератора типа ТВФ-63-2 и два турбогенератора типа ТВФ-110-2ЕУЗ.

Таблица 1- Технические данные генераторов

Тип турбогенератора или гидрогенератора	Номинальные значения					Сверхпереходное индуктивное сопротивление x_d''	Система возбуждения	Охлаждение обмотки статора	Охлаждение обмотки ротора
	Частота вращения	Мощность МВт	Cos φ	Напряжения статора КВ	КП Д %				
ТВФ-63-2ЕУЗ	3000	78,75	0,8	10,5	98,3	0,139	СДН	КВР	НВР
ТВФ-110-2УЕЗ	3000	125,0	0,8	10,5	98,4	0,189	СДН	КВР	НВР

1.2. Выбор блочных трансформаторов

Выбираются блочные трансформаторы по полной мощности генераторов.

Таблица 2 - Данные трансформаторов

Тип тр-ра	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток холостого хода, %
	ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТД-80000/110	121	10,5	85	310	11	0,6
ТДЦ-125000/110	121	10,5	120	400	10,5	0,55

1.3. Расчет мощности потребителей

1.3.1. Определяется потребляемая мощность города с населением в 40 тыс. с шин низкого напряжения

$$S_{\text{гор}} = \frac{0,11 \cdot n \cdot K_{\text{спр}}}{\cos\varphi}, \quad (1.1)$$

где 0,11 кВт/час – количество потребляемой электроэнергии 1000 жителей;

$K_{\text{спр}}$ - коэффициент спроса, $K=1$;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности, $\cos=1$;

n - количество жителей, $n=40$ тысяч.

$$S_{\text{гор}} = \frac{0,11 \cdot 40 \cdot 1}{1} = 4,4 \text{ МВА.}$$

1.3.2. Определяется потребляемая мощность автомобильного завода, питающегося с шин 10 кВ.

$$S_{\text{зав}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{спр}}}{\cos\varphi}, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность тракторного завода, $P_{\text{уст}}=60$ МВт;

$K_{\text{спр}}$ – коэффициент спроса, $K = 0,45$;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности, $\cos=0,75$;

$$S_{\text{зав}} = \frac{60 \cdot 0,45}{0,75} = 35,6 \text{ МВА.}$$

$$\sum S_{10} = S_{\text{гор}} + S_{\text{зав}}, \quad (1.3)$$

где $\sum S_{10}$ - суммарная мощность, потребляемая с шин 10 кВ;

$S_{\text{гор}}$ - мощность, потребляемая городом с шин 10кВ, $S_{\text{гор}} = 4,4$ МВА;

$S_{\text{зав}}$ - мощность, потребляемая автомобильным заводом с шин 10 кВ, $S_{\text{зав}} = 36$ МВА.

$$\sum S_{10} = 4,4 + 35,6 = 40 \text{ МВА.}$$

1.3.3 Определяется потребляемая мощность города с населением в 80 тыс. с шин высокого напряжения

$$S_{\text{гор}} = \frac{0,11 \cdot n \cdot K_{\text{спр}}}{\cos\varphi}, \quad (1.4)$$

где 0,11 кВт/час – количество потребляемой электроэнергии 1000 жителей;

$K_{\text{спр}}$ - коэффициент спроса, $K=1$;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности, $\cos=1$;

n - количество жителей, $n=80$ тысяч.

$$S_{\text{гор}} = \frac{0,11 \cdot 80 \cdot 1}{1} = 8,8 \text{ МВА.}$$

1.3.4 Определяется потребляемая мощность электромеханического завода, питающегося с шин 110

$$S_{\text{зав}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{спр}}}{\cos\varphi}, \quad (1.5)$$

где $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность электромеханического завода, $P_{\text{уст}}=110$ МВт;

$K_{\text{спр}}$ - коэффициент спроса, $K=0,5$;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности, $\cos=0,7$;

$$S_{\text{зав}} = \frac{110 \cdot 0,5}{0,7} = 78,6 \text{ МВА}$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Sigma S_{110} = S_{\text{гор}} + S_{\text{зав}}, \quad (1.6)$$

где ΣS_{110} - суммарная мощность, потребляемая с шин 110 кВ;

$S_{\text{гор}}$ - мощность, потребляемая городом с шин 110кВ, $S_{\text{гор}} = 8,8$ МВА;

$S_{\text{зав}}$ - мощность, потребляемая металлургическим заводом с шин 110 кВ,
 $S_{\text{зав}} = 78,6$ МВА.

$$\Sigma S_{110} = 8,8 + 78,6 = 87,4 \text{ МВА.}$$

1.4. Определяется отбор мощности на собственные нужды. Выбор трансформаторов СН

1.4.1 Зная расход электроэнергии на собственные нужды для станции различного типа в % и установленную мощность станции или блока, определяется наибольшая мощность для СН блока 63МВт

$$S_{\text{тр.сн}} = \frac{P_{\text{сн}\%}}{100 \cdot \cos\varphi} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (1.7)$$

где $P_{\text{сн}\%}$ -расход электроэнергии на собственные нужды, $P_{\text{сн}\%} = 10$ [2,с.445];

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности турбогенератора, $\cos\varphi = 0,8$;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность блока, $P_{\text{уст}} = 63$ МВт.

$$S_{\text{тр.сн}} = \frac{10}{100 \cdot 0,8} \cdot 63 = 7,9 \text{ МВА}$$

1.4.2 Определяется наибольшая мощность для СН блока 110МВт по формуле (1.7.),

где $P_{\text{сн}\%}$ -расход электроэнергии на собственные нужды, $P_{\text{сн}\%} = 10$ [2,с.445];

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности турбогенератора, $\cos\varphi = 0,8$;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность блока, $P_{\text{уст}} = 110$ МВт.

$$S_{\text{тр.сн}} = \frac{10}{100 \cdot 0,8} \cdot 110 = 13,8 \text{ МВА}$$

Предварительно выбраны трансформаторы ТДНС-10000/20, ТДНС-16000/20

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.4.3 Определяется максимальная нагрузка на шины 6кВ от электродвигателей и трансформаторов 0,6/0,4.

Таблица 3 – Перечень электродвигателей и трансформаторов СН для блока 63МВт

№	Наименование механизма	Обозначение в схемах	Р _{исп}	Количество	
				Всего	в работе
1	Питательный электронасос	ПЭН	2000	2	1
2	Конденсатный насос	КН	200	3	2
3	Циркуляционный насос	ЦЭН	1000	1	1
4	Дымосос	ДС	400	4	4
5	Дутьевой вентилятор	ДВ	310	4	4
6	Мельница	М	400	8	6
7	Трансформатор главного корпуса		1000	2	1
8	Трансформатор ХВО		630	1	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ

Лист

11

9	Трансформатор топливоподачи				
---	--------------------------------	--	--	--	--

1.4.3.1 Определяется суммарная мощность трансформаторов 6/0,4 кВ

$$\sum P_{\text{тр.}} = 1000 + 630 = 1630 \text{ кВт}$$

1.4.3.2 Определяется суммарная мощность электродвигателей находящихся в работе

$$\sum P_{\text{эл.дв.в раб}} = 2000 \cdot 1 + 200 \cdot 2 + 1000 \cdot 1 + 400 \cdot 4 + 310 \cdot 4 + 400 \cdot 6 = 8640 \text{ кВт}$$

1.4.3.3 Определяется максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от трансформаторов 6/0,4 кВ

$$S_{\text{max.тр.}} = K \cdot \sum P_{\text{тр.6/0,4кВ}}, \quad (1.8.)$$

где K – коэффициент загрузки трансформаторов, $K=0,7$;

$\sum P_{\text{тр.6/0,4кВ}}$ – максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от трансформаторов 6/0,4 кВ, $\sum P_{\text{тр.6/0,4кВ}}=1630\text{кВт}$.

$$S_{\text{max.тр.}} = 0,7 \cdot 1630 = 1141\text{кВА.}$$

1.4.3.4 Определяется максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от электродвигателей

$$S_{\text{max.дв}} = K \cdot \sum P_{\text{эл.дв.в раб}}, \quad (1.8)$$

где K – коэффициент одновременности работы двигателей, $K=0,9$

$\sum P_{\text{эл.дв.в раб}}$ – максимальная нагрузку на секцию 6 кВ от электродвигателей, $\sum P_{\text{эл.дв.в раб}}=8640\text{кВт}$.

$$S_{\text{max.дв.}} = 0,9 \cdot 8640 = 7776\text{кВА.}$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1.4.3.5 Определяется максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от электродвигателей и трансформаторов 6/0,4 кВ

$$S_{max.общ} = S_{max.дв} + S_{max.тр}, \quad (1.9)$$

где $S_{max.дв.}$ - максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от электродвигателей $S_{max.дв.}=7776$ кВА;

$S_{max.тр.}$ - максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от трансформаторов 6/0,4 кВ.

$$S_{max.общ} = 1141 + 7776 = 8917 \text{кВА}$$

1.4.3.6 Проверяется выполнение условия

$$S_{max.общ} \leq S_{ТСН}, \quad (1.10)$$

где S_{max} - максимальная нагрузка на секцию 6 кВ от электродвигателей и трансформаторов 6/0,4 кВ; $S_{max} = 8917$ кВА;

$S_{СН}$ - максимальная мощность предварительно выбранного трансформатора, $S_{СН}=16000$ кВА.

$$8917 \leq 16000$$

Окончательно принимаются трансформаторы собственных нужд.

Мощность резервных трансформаторов СН и их количество согласно НТП.

Таблица 4 - Данные трансформаторов СН

Тип тр-ра	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток холостого хода, %	Кол-во
	ВН	НН	ХХ	КЗ			
ТДСН-10000/35 рабочий ТСН	10,5	3,15	12	81	14	0,75	2
ТДНС-16000/20 рабочий ТСН	10,5	6,3	17	85	10	0,7	1
ТДНС-16000/20 резервный ТСН	10,5	6,3	17	85	10	0,7	1

1.5. Определение количества ЛЭП на шинах всех напряжений

1.5.1 Определяется количество линий электропередач к потребителям, питающихся с шин 110 кВ

$$n = \frac{S_{110}}{S_{\text{проп}}}, \quad (1.6)$$

где S_{110} - суммарная мощность, потребляемая с шин 110 кВ, $S_{110}=87,4$ МВА;
 $S_{\text{проп}}$ - пропускная способность одной линии 110 кВ, $S_{\text{проп}}=50$ МВА.

$$n = \frac{87,4}{50} \approx 2 + 1_{\text{рез}} + 3_{\text{св}} = 6 \text{ ЛЭП.}$$

1.5.2 Определяется количество линий электропередач к потребителям, питающихся с шин 10 кВ

$$n = \frac{S_{10}}{S_{\text{проп}}}, \quad (1.7)$$

где S_{10} - суммарная мощность, потребляемая с шин 10 кВ, $S_{10}=40,4$ МВА;
 $S_{\text{проп}}$ - пропускная способность одной линии 10 кВ, $S_{\text{проп}}=4$ МВА.

$$n = \frac{40}{4} \approx 10 = 10 \text{ ЛЭП.}$$

1.6. Выбор токоограничивающих реакторов

Токоограничивающие реакторы выбираются по следующим условиям:

1) по номинальному напряжению

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{уст}}, \quad (1.8)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение реактора, $U_{\text{ном}} = 10$ кВ;

$U_{\text{уст}}$ - установленное напряжение для потребителей, $U_{\text{уст}} = 10$ кВ.

$$10 \text{ кВ} \geq 10 \text{ кВ.}$$

1) по номинальному току

$$I_{\text{ном.Р}} \geq I_{\text{расч.}}, \quad (1.9)$$

где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток реактора;

$I_{\text{расч}}$ - расчетный ток на шинах 10 кВ.

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{10} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10}, \quad (1.10)$$

где S_{10} - суммарная мощность потребителей, питающихся с шин 10 кВ,
 $S_{10}=39,29$ МВА.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

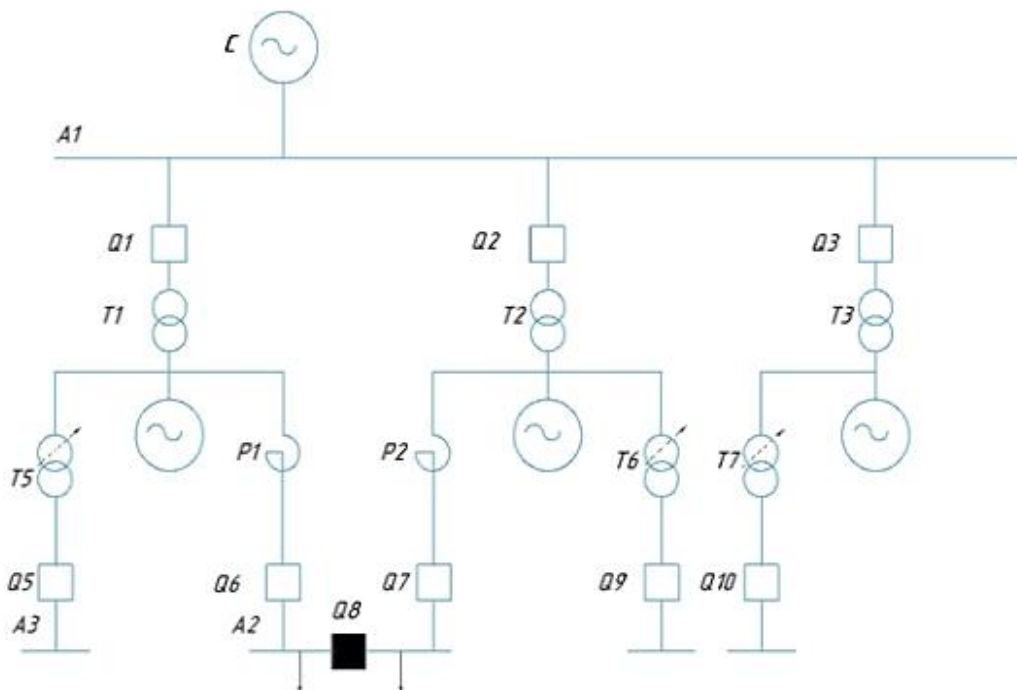
$$I_{\text{расч}} = \frac{40,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2332 \text{ A.}$$

Из справочных данных выбирается реактор, выполняющий данные условия : РБДГ-10-2500-0,32

$$2500\text{A} \geq 2332\text{A}$$

Вывод: окончательно выбираем реактор РБДГ-10-2500-0,32.

Структурная схема ТЭЦ 236 МВт представлена на рисунке 1



Структурная схема ТЭЦ 236 МВт

С-энергосистема;

Q₁, Q₂, Q₃, – блочные выключатели;

T₁, T₂ –блочные трансформаторы типа ТД-80000/110

T₃, – блочный трансформатор типа ТДЦ-125000/110

G₁, G₂ - турбогенераторы типа ТВФ-63-2ЕУ3

G₃, - турбогенератор типа ТВФ-110-2ЕУ3

T₅, T₆ – трансформаторы собственных нужд типа ТДНС-10000/35

T₇, – трансформатор собственных нужд типа ТДНС-16000/20

LR₁, LR₂ – токоограничивающие реакторы типа РБДГ-10-2500-0,32

										Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ

2 Разработка принципиальной электрической схемы ТЭЦ

2.1 Выбор и описание схемы электрических соединений на шинах всех напряжений

Согласно НТП на напряжение 110 кВ выбираем схему: две системы шин с обходной. Нормальный режим схемы: первая и вторая системы шин находятся в работе. Половина присоединений зафиксировано за первой системой, половина – за второй. ШСВ нормально включен, он параллелит работу трансформаторов с высокой стороны и равномерно распределяет потенциал по рабочим системам шин. Обходная система шин находится без напряжения и служит для вывода в ремонт или ревизию Выключателя любого присоединения, не отключая данного присоединения. Обходной выключатель нормально отключен и служит для замены выключателя любого присоединения.

Преимущества схемы:

1. Схема проста, наглядна, экономична.
2. Обладает надежностью, так как при коротком замыкании на одной из рабочей системе шин, отключается половина присоединений, но на время их перевода на вторую рабочую систему шин.
3. Обладает оперативной гибкостью и возможностью вывода ремонт оборудования.

Недостатки схемы:

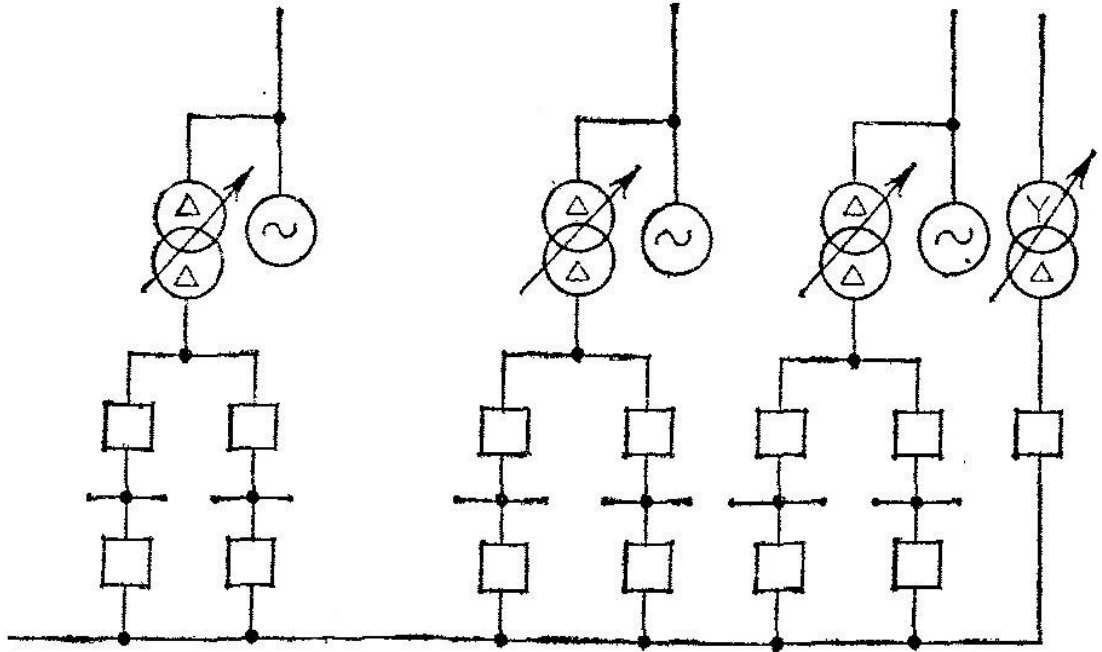
1. При коротком замыкании на рабочей системе шин отключается половина присоединений.
2. Много шин, ошиновки, изоляторов, что удорожает схему
3. Много шинных разъединителей, участвующих в оперативных переключениях, что снижает надежность схемы.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Согласно НТП на напряжение 6-10 кВ выбираем схему: две системы шин с секционированной рабочей. Нормальный режим схемы: первая система шин находится в работе. Одна треть присоединений зафиксирована за первой секцией, вторая — за второй. Секционный выключатель нормально Включен. Он параллелит работу генераторов и равномерно распределяют потенциал по рабочей системе шин. Вторая система шин находится в резерве и служит для перевода на нее присоединений как в нормальном режиме, так и при коротком замыкании на рабочей Шиносоединительные выключатели нормально отключены и служат для подачи напряжения на резервную систему шин при переключениях на нее. системе Шин. Преимущества схемы: 1. Схема проста, наглядна, экономична. 2. Обладает надежностью, так как при коротком замыкании на одной из секций рабочей системы шин отключается половина присоединений, но на время перевода этих присоединений на резервную систему шин. 3. Обладает оперативной гибкостью. Недостатки схемы: 1. При коротком замыкании на рабочей системе шин все - таки отключается половина присоединений. 2. Много шинных разъединителей, участвующих в оперативных переключениях, что снижает надежность схемы. 3. Много шин, ошиновки, изоляторов, что удорожает схему.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

2.2 Разработка схемы питания собственных нужд



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ

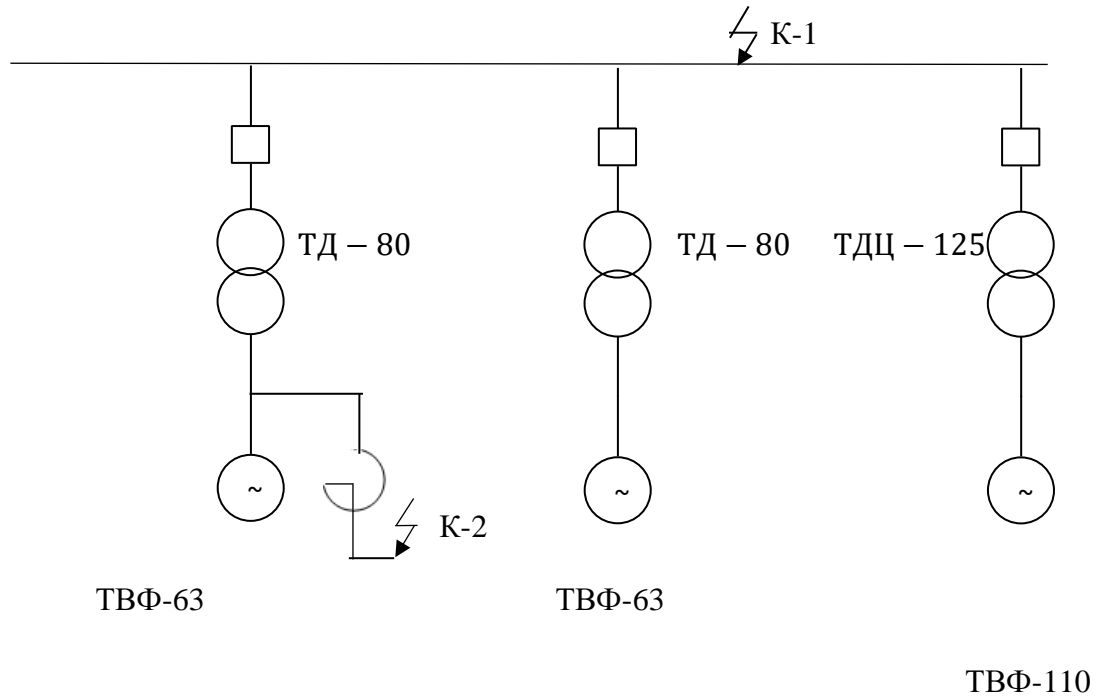
Лист

18

3. Расчет токов КЗ

Расчет токов КЗ ведется в относительных базисных единицах

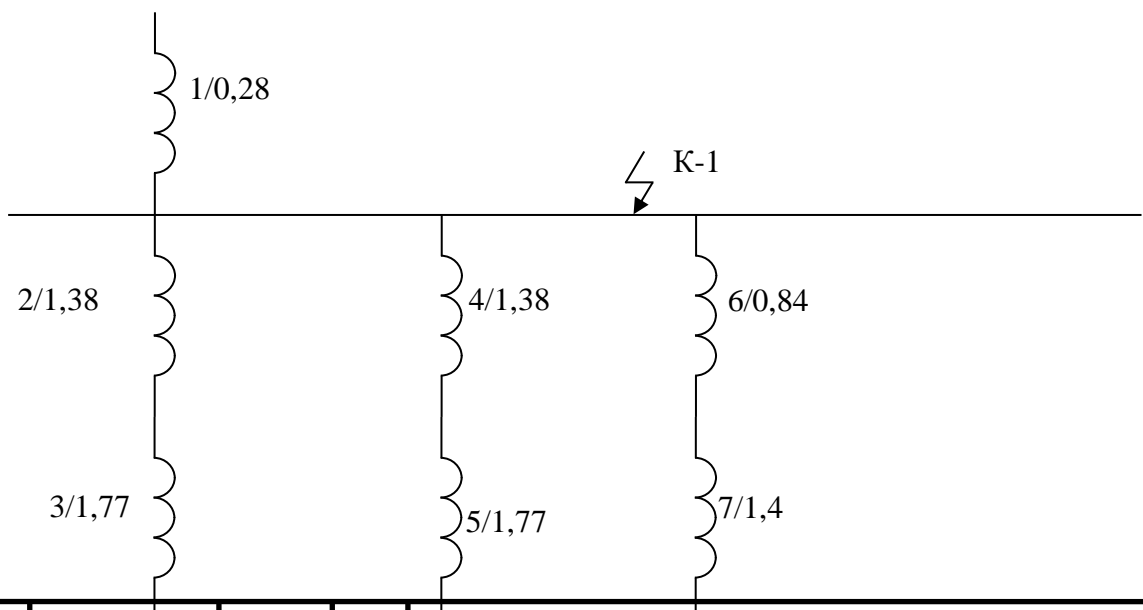
Расчетная схема представлена на рисунке ...



Расчетная схема точек КЗ

3.1 Расчет сопротивлений тока КЗ в точке К-1

На рисунке...представлена схема замещения точки короткого замыкания К-1



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ

Лист

19

Схема замещения точки короткого замыкания К-1

3.1.1 Рассчитывается сопротивление системы x_1

$$x_1 = x_c \cdot \frac{S_6}{U_6^2} \quad (3.1)$$

где x_c – сопротивление системы из задания, $x_c = 21 \text{ Ом}$;

S_6 – базисная мощность, $S_6 = 1000$;

U_6 – базисное напряжение, $U_6 = 115 \text{ кВ}$.

$$x_1 = 21 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,28$$

3.1.2 Рассчитывается сопротивление двухобмоточного трансформатора x_2, x_4

$$x_2 = x_4 = \frac{U_{кз\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.тр.}}}, \quad (3.2)$$

где $U_{кз\%}$ – напряжение короткого замыкания, $U_{кз\%} = 11$;

S_6 – базисная мощность, $S_6 = 1000$;

$S_{\text{ном. тр.}}$ – номинальная мощность трансформатора, $S_{\text{ном. тр.}} = 80 \text{ МВА}$.

$$x_2 = x_4 = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{80} = 1,38$$

3.1.3 Рассчитывается сопротивление x_3, x_5 генераторов 63МВт

$$x_3 = x_5 = x_d^{\text{II}} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

где x_d^{II} – сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора, $x_d^{\text{II}} = 0,139$

(Таблица 1) ;

S_6 – базисная мощность, $S_6 = 1000$;

$S_{\text{ном. тр.}}$ – номинальная мощность генератора, $S_{\text{ном. тр.}} = 78,75 \text{ МВА}$.

$$x_3 = x_5 = 0,139 \cdot \frac{1000}{78,75} = 1,77$$

3.1.4 Рассчитывается сопротивление двухобмоточного трансформатора x_6 по формуле (3.2),

где $U_{кз\%}$ – напряжение короткого замыкания, $U_{кз\%} = 10,5$;

S_6 – базисная мощность, $S_6 = 1000$;

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$S_{\text{ном. тр.}}$ – номинальная мощность трансформатора, $S_{\text{ном. тр.}} = 125 \text{ МВА}$.

$$x_6 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 0,84$$

3.1.5 Рассчитывается сопротивление x_7 генератора 110 МВт по формуле (3.3), где x_d^{II} – сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора, $x_d^{\text{II}} = 0,189$ (Таблица 1);

S_6 – базисная мощность, $S_6 = 1000$;

$S_{\text{ном. тр.}}$ – номинальная мощность генератора, $S_{\text{ном. тр.}} = 137,5 \text{ МВА}$.

$$x_7 = 0,189 \cdot \frac{1000}{137,5} = 1,4$$

На рисунке 2 представлена схема замещения сопротивлений для расчета тока КЗ в точке К-1

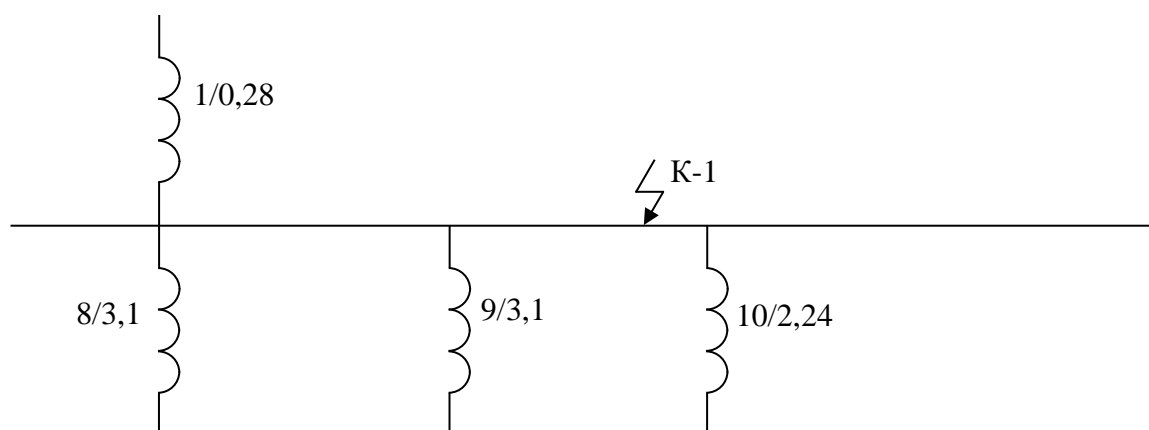


Рисунок 2 – Схема замещения сопротивлений для расчета тока КЗ в точке К1

3.1.6 Определяется сопротивление x_8 и x_9 первого и второго блока 63 МВт по правилам последовательного соединения сопротивлений

$$x_8 = x_9 = x_2 + x_3, \quad (3.4)$$

где x_2 – сопротивление блочного трансформатора, $x_2 = 1,38$;

x_5 – сопротивление генератора, $x_5 = 1,7$;

$$x_8 = x_9 = 1,38 + 1,77 = 3,1$$

3.1.7 Определяется сопротивление x_{10} третьего блока 110 МВт по формуле последовательного соединения сопротивлений

$$x_{10} = x_6 + x_7, \quad (3.5)$$

где x_6 -сопротивление блочного трансформатора, $x_4=0,84$;

x_7 -сопротивление генератора, $x_7=1,4$;

$$x_{10}=0,84+1,4=2,24$$

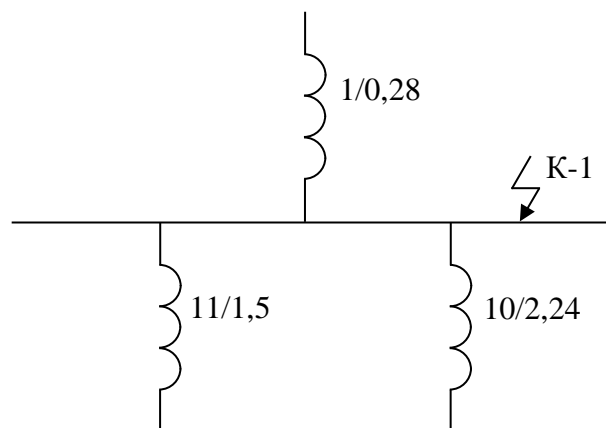
3.1.8 Определяется сопротивление x_{11} ветви генераторов 1,2 по формуле параллельного соединения сопротивлений

$$x_{11} = \frac{1}{\frac{1}{x_8} + \frac{1}{x_9}}, \quad (3.6)$$

где x_8, x_9 – сопротивления первого и второго блоков 63МВт, $x_8=x_9=3,1$.

$$x_{11} = \frac{1}{\frac{1}{3,1} + \frac{1}{3,1}} = 1,5$$

Рисунок 3 – схема замещения



3.2 Определение токов короткого замыкания в точке К-1

3.2.1 Определяется периодическая составляющая токов КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для системы

$$I_{п0} = \frac{E_*''}{x_1} \cdot I_6, \quad (3.7)$$

где E_*'' – ЭДС источника, для системы $E_*''=1$;

x_1 – сопротивление системы, $x_1=0,28$;

I_6 – ток базисный.

Определяется базисный ток

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (3.8)$$

где S_6 – базисная мощность, $S_6=1000$;

U_6 – базисное напряжение, $U_6=115$ кВ.

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{пос}} = \frac{1}{0,28} \cdot 5 = 17,9 \text{ кА.}$$

3.2.2 Определяется периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для блока генератора 1,2

$$I_{\text{пог1,2}} = \frac{E''}{x_{11}} \cdot I_6, \quad (3.9)$$

где E'' – ЭДС источника, $E''=1,08$ для генераторов 63МВт [2,с.130];

x_{11} – сопротивление ветви генераторов 1,2, $x_{11}=1,5$.

I_6 – базисный ток, $I_6=5$ кА.

$$I_{\text{пог1,2}} = \frac{1,08}{1,5} \cdot 5 = 3,8 \text{ кА}$$

3.2.3 Определяется периодическая составляющая токов КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для блоков генератора 3

$$I_{\text{пог3}} = \frac{E''}{x_{10}} \cdot I_6, \quad (3.10)$$

где E'' – ЭДС источника, $E''=1,13$ для генераторов 110МВт [2,с.130];

x_{10} – сопротивление ветви генератора 3, $x_{10}=2,24$.

I_6 – базисный ток, $I_6=5$ кА.

$$I_{\text{пог3}} = \frac{1,13}{2,24} \cdot 5 = 2,4 \text{ кА.}$$

3.2.4 Определяется суммарная периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для системы, блоков генераторов 1,2, блоков генератора 3

$$\sum I_{\text{п0}} = I_{\text{пос}} + I_{\text{пог1,2}} + I_{\text{пог3}}, \quad (3.11)$$

где $I_{\text{п0с}}$ – периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для системы, $I_{\text{п0}}=17,9$ кА ;

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$I_{п0r1,2}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для генераторов 1,2, $I_{п0}=3,8$ кА ;

$I_{п0r1}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для генераторов 3, $I_{п0}=2,4$ кА ;

$$\sum I_{п0} = 17,9 + 3,8 + 2,4 = 24,1 \text{ кА.}$$

3.2.5 Определяется ударный ток

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{п0}, \quad (3.12)$$

где $K_{уд}$ - ударный коэффициент, $K_{уд} = 1,975$ [2,с.150];

$I_{п0}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,
 $I_{п0} = 24,1$ кА

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 24,1 \cdot 1,975 = 67,1 \text{ кА.}$$

3.2.6 Определяется аperiodическая составляющая в любой момент времени

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot j_{ат}$$

где $I_{п0}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,
 $I_{п0} = 24,1$ кА;

$j_{ат}$ –отношение τ (расчетного времени для определения токов КЗ) к

T_a (постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ
 $T_a=0,4$ [2,с,150]), находится методом типовых кривых ;

$$\tau = t_{св} + t_{рз}, \quad (3.13)$$

где $t_{св}$ – собственное время отключения выключателя ВГУ-110 (предварительно выбирается), $t_{св}=0,028$ с; [3,с.201]

$t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты, $t_{рз}=0,01$ с.

$$\tau = 0,028 + 0,01 = 0,038 \text{ с.}$$

По графику определяется $j_{ат} = 0,78$

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot 24,1 \cdot 0,78 = 26,5 \text{ кА.}$$

3.2.7 Определяется периодическая составляющая тока в любой момент времени для системы

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Т.к. источник (энергосистема) связан непосредственно с точкой КЗ, то действующее значение периодической составляющей тока от энергосистемы при трехфазном коротком замыкании для любого момента времени можно считать равным: $I_{пт} = I_{п0} = const$ [2, с. 151] .

$$I_{птс} = I_{п0с} = 17,9 \text{кА.}$$

3.2.8 Определяется периодическая составляющая тока в любой момент времени для ветви генераторов 1,2, для этого определяется приведённый ток генераторов к той ступени напряжения, на которой рассматривается короткое замыкание

$$I_{НОМГ1,2} = \frac{S_{НОМГ1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (3.15)$$

где $S_{НОМГ1,2}$ - мощность генераторов, $S_{НОМГ1,2} = 2 \cdot 78,75 = 157,5$;

U_6 – базисное напряжение, $U_6 = 115 \text{кВ}$

$$I_{НОМГ1,2} = \frac{157,5}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,79 \text{кА.}$$

Рассчитывается отношение $I_{п0Г1,2}$ к $I_{НОМГ1,2}$, если $\frac{I_{п0Г1,2}}{I_{НОМГ1,2}} \leq 1$, то $I_{птГ1,2} = I_{п0Г1,2}$.

$$\frac{I_{п0Г1,2}}{I_{НОМГ1,2}} = \frac{3,8}{0,79} = 4,8 \geq 1, \text{ следовательно}$$

$$I_{птГ1,2} = j_{пт} \cdot I_{п0Г1,2}, \quad (3.16)$$

где $I_{п0Г1,2}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для генераторов 1,2, $I_{п0} = 3,8 \text{кА}$;

$I_{НОМГ1,2}$ - номинальный ток генераторов 1,2, $I_{НОМГ1,2} = 0,79 \text{кА}$,

$j_{пт}$ – это отношение $I_{птГ1,2}$ к $I_{п0Г1,2}$, которое находится методом кривых по данному отношению и времени $\tau = 0,038 \text{с}$. [2, с.152], $j_{пт} = 0,89$.

$$I_{птГ1,2} = 0,89 \cdot 3,8 = 3,4 \text{кА.}$$

3.2.9 Определяется периодическая составляющая тока в любой момент времени для ветви генератора 3, для этого определяется приведённый ток генераторов к той ступени напряжения, на которой рассматривается короткое замыкание

$$I_{\text{НОМГЗ}} = \frac{S_{\text{НОМГЗ}}}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (3.15)$$

где $S_{\text{НОМГЗ}}$ - мощность генератора3, $S_{\text{НОМГЗ}}=125\text{МВА}$;

U_6 – базисное напряжение, $U_6 = 115\text{кВ}$

$$I_{\text{НОМГЗ}} = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,63\text{кА}.$$

Рассчитывается отношение $I_{\text{п0ГЗ}}$ к $I_{\text{НОМГЗ}}$, если $\frac{I_{\text{п0ГЗ}}}{I_{\text{НОМГЗ}}} \leq 1$, то $I_{\text{птГЗ}}=I_{\text{п0ГЗ}}$.

$$\frac{I_{\text{п0ГЗ}}}{I_{\text{НОМГЗ}}} = \frac{2,4}{0,63} = 3,8 \geq 1, \text{ следовательно}$$

$$I_{\text{пт ГЗ}} = j_{\text{пт}} \cdot I_{\text{п0З}}, \quad (3.16)$$

где $I_{\text{п0ГЗ}}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для генератора3, $I_{\text{п0}}=2,4\text{кА}$;

$j_{\text{пт}}$ – это отношение $I_{\text{птГЗ}}$ к $I_{\text{п0ГЗ}}$, которое находится методом кривых по данному отношению и времени $\tau = 0,038\text{с}$. [2,с.152], $j_{\text{пт}}=0,93$.

$$I_{\text{пт ГЗ}} = 0,93 \cdot 2,4 = 2,2\text{кА}.$$

3.2.10 Определяется суммарная периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в любой момент времени для системы, блоков генераторов1,2, блоков генератора3

$$\sum I_{\text{пт}} = I_{\text{птс}} + I_{\text{птГ1,2}} + I_{\text{птГЗ}}, \quad (3.11)$$

где $I_{\text{птс}}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для системы, $I_{\text{тс}}=17,9\text{кА}$;

$I_{\text{птГ1,2}}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в любой момент времени для генераторов1,2, $I_{\text{птГ1,2}}=3,4\text{кА}$;

$I_{\text{п0ГЗ}}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в любой момент времени для генераторов3, $I_{\text{птГЗ}}=2,2\text{кА}$;

$$\sum I_{\text{пт}} = 17,9 + 3,4 + 2,2 = 23,5 \text{ кА}$$

3.3. Расчет сопротивлений тока КЗ в точке К-2

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На рисунке представлена схема замещения для расчета тока КЗ в точке К-2

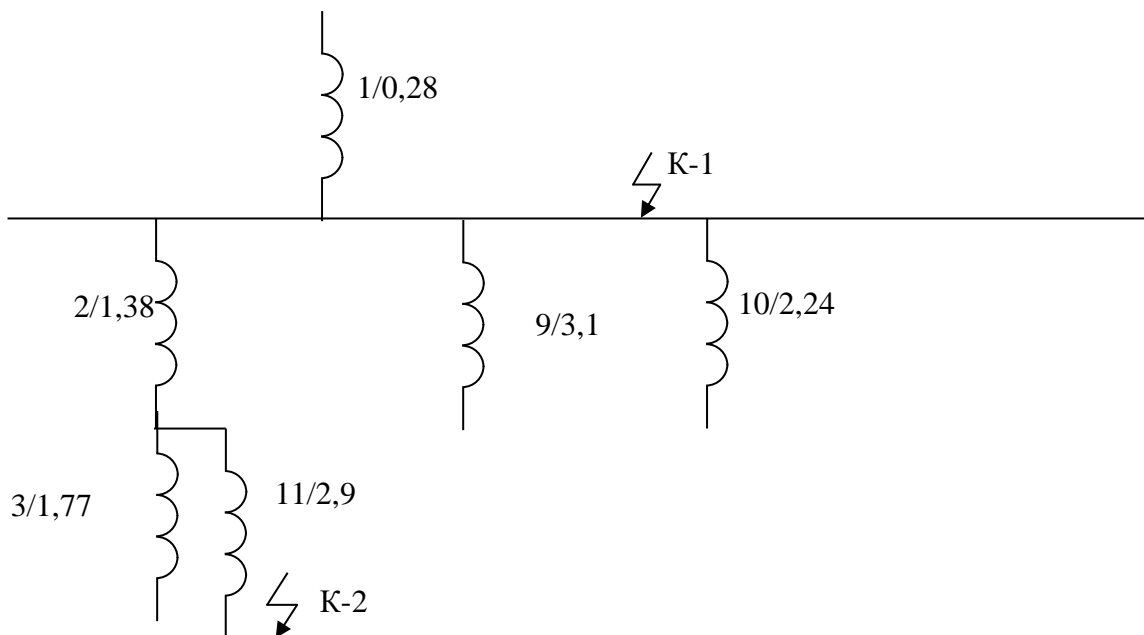


Рисунок -Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К-2

Расчет сопротивлений выполняется с использованием ранее рассчитанных сопротивлений для точки К-1

3.3.1 Определяется сопротивление реактора

$$X_{11} = X_{p.ном} \cdot \frac{S_6}{U_{ном}^2}, \quad (3.12)$$

где $X_{p.ном}$ – номинальное индуктивное сопротивление реактора, $X_{p.ном} = 0,32 \text{ Ом}$;

S_6 – базисное напряжение, $S_6 = 1000 \text{ МВА}$;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение в месте установки реактора, $U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}$.

$$X_{11} = 0,32 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,9$$

$$X_{12} = \frac{X_9 \cdot X_{10}}{X_9 + X_{10}} = 1,3$$

$$X_{13} = \frac{X_1 \cdot X_{12}}{X_1 + X_{12}} = 0,23$$

На рисунке представлена схема замещения для расчета тока КЗ в точке К-2

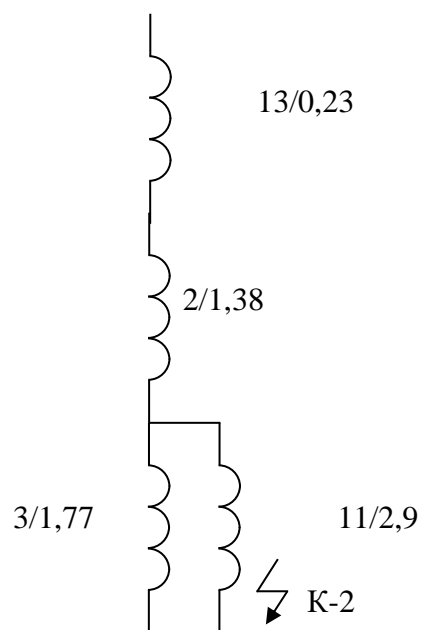


Схема замещения для расчета тока КЗ в точке К-2

$$x_{14} = x_{13} + x_2 = 0,23 + 1,38 = 1,6$$

$$x_{15} = \frac{x_{14} \cdot x_3}{x_{14} + x_3} = 0,84$$

$$x_{рез} = x_{15} + x_{11} = 0,84 + 2,9 = 3,74$$

3.3.1 Определяется периодическая составляющая токов КЗ в точке К-2 в начальный момент времени для источника Г1

$$I_{п0г} = \frac{E_*''}{x_{рез}} \cdot I_6, \quad (3.7)$$

где E_*'' – ЭДС источника, для генератора 1 $E_*''=1,08$;

x_{16} – результирующее сопротивление , $x_{16}=3,74$;

I_6 – ток базисный.

Определяется базисный ток

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (3.8)$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

где S_6 – базисная мощность, $S_6=1000$;

U_6 - базисное напряжение, $U_6=10,5$ кВ.

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,1 \text{ кА.}$$

$$I_{п0} = \frac{1,08}{3,74} \cdot 55,1 = 15,9 \text{ кА.}$$

3.3.2 Определяется ударный ток в точке К-2

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{п0}, \quad (3.9)$$

где $K_{уд}$ - ударный коэффициент, $K_{уд} = 1,955$;

$I_{п0г}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,
 $I_{п0г} = 15,9$ кА.

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,955 \cdot 15,9 = 43,8 \text{ кА}$$

3.3.3 Определяется апериодическая составляющая тока КЗ

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot j_{ат}, \quad (3.10)$$

где $I_{п0г}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,
 $I_{п0г} = 15,9$ кА;

$j_{ат}$ –отношение τ (расчетного времени для определения токов КЗ) к

T_a (постоянной времени затухания апериодической составляющей тока КЗ

$T_a=0,15$ [2.с,150]), находится методом типовых кривых ;

$$\tau = t_{св} + t_{рз}, \quad (3.13)$$

где $t_{св}$ – собственное время отключения выключателя ВБЭ-10 (предварительно выбирается), $t_{св}=0,04$ с; [3,с.197]

$t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты, $t_{рз}=0,01$ с.

$$\tau = 0,04 + 0,01 = 0,05 \text{ с.}$$

По графику определяется $j_{ат} = 0,72$ [2.с,150]

$$I_{ат} = \sqrt{2} \cdot 15,9 \cdot 0,72 = 16,1 \text{ кА.}$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

3.2.8 Определяется периодическая составляющая тока в любой момент времени, для этого определяется приведённый ток к той ступени напряжения, на которой рассматривается короткое замыкание

$$I_{\text{НОМГ}} = \frac{S_{\text{НОМГ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б}}}, \quad (3.15)$$

где $S_{\text{НОМГ}}$ - мощность генератора, питающего шины 10 кВ, $S_{\text{НОМГ}}=78,75\text{МВА}$;

$U_{\text{б}}$ – базисное напряжение, $U_{\text{б}} = 10,5\text{кВ}$

$$I_{\text{НОМГ}} = \frac{78,75}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 4,33\text{кА}.$$

Рассчитывается отношение $I_{\text{п0}}$ к $I_{\text{НОМГ}}$, если $\frac{I_{\text{п0Г}}}{I_{\text{НОМГ}}} \leq 1$, то $I_{\text{птГ}}=I_{\text{п0Г}}$.

$$\frac{I_{\text{п0Г}}}{I_{\text{НОМГ}}} = \frac{15,9}{4,33} = 3,7 \geq 1, \text{ следовательно}$$

$$I_{\text{птГ1,2}} = j_{\text{пт}} \cdot I_{\text{п0Г}}, \quad (3.16)$$

где $I_{\text{п0Г}}$ - периодическая составляющая тока КЗ в точке К-1 в начальный момент времени для генераторов 1, $I_{\text{п0}}=15,9\text{кА}$;

$I_{\text{НОМГ}}$ - номинальный (приведённый) ток генератора 1, $I_{\text{НОМГ}}=4,3\text{кА}$,

$j_{\text{пт}}$ – это отношение $I_{\text{птГ}}$ к $I_{\text{п0Г}}$, которое находится методом кривых по данному отношению и времени $\tau = 0,05\text{с}$. [2,с.152], $j_{\text{пт}}=0,91$.

$$I_{\text{птГ}} = 0,91 \cdot 15,9 = 14,47\text{кА}.$$

Таблица 5- Сводные данные токов К.З

Точка КЗ	$U_{\text{уст}}$, кВ	$U_{\text{б}}$, кВ	$I_{\text{п0}}$, кА	$j_{\text{уд}}$, кА	$I_{\text{ат}}$,кА	$I_{\text{пт}}$, кА
№1	110	115	24,1	67,1	26,5	23,5
№2	10	10,5	15,9	43,8	16,1	14,47

4 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей в заданных цепях

4.1. Составляется таблица для выбора электрических аппаратов и токоведущих частей

4.1.1 Рассчитывается номинальный ток на шинах точки КЗ К-1

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ.тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (4.1)$$

где $S_{\text{НОМ.тр.}}$ – номинальная мощность трансформатора, $S_{\text{НОМ.тр.}} = 125 \text{ МВА}$;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение сети, $U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$.

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 656 \text{ А}$$

4.1.2 Рассчитывается полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-1

$$\beta_{\text{к}} = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}), \quad (4.2)$$

Где $I_{\text{п0}}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,

$$I_{\text{п0}} = 24,1 \text{ кА};$$

$t_{\text{отк}}(\tau)$ – полное время отключения выключателя, $t_{\text{отк}} = 0,038 \text{ с}$;

$T_{\text{а}}$ – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, $T_{\text{а}} = 0,4 \text{ с}$.

$$\beta_{\text{к}} = 24,1^2 \cdot (0,038 + 0,4) = 353,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

4.1.3 Рассчитывается минимальное сечение, отвечающее требованию его термической стойкости при КЗ

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{\beta_{\text{к}}} \cdot 10^3}{\text{С}}, \quad (4.3)$$

где $\beta_{\text{к}}$ – полный импульс квадратичного тока КЗ, $\beta_{\text{к}} = 353,37 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$;

С – функция с постоянным значением, $\text{С} = 91$.

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{353,37} \cdot 10^3}{91} = 206,57 \text{ мм}^2$$

4.1.4 Рассчитывается номинальный ток на шинах точки КЗ К-2

$$I_{\text{НОМ.расч}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (4.5)$$

где $S_{\text{н}}$ – мощность нагрузки на шины, $S_{\text{н}} = 40 \text{ МВА}$;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, $U_{\text{ном}}=10\text{кВ}$.

$$I_{\text{нам.расч}} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2312,14\text{А}.$$

4.1.4 Рассчитывается полный импульс квадратичного тока КЗ в точке К-2 по формуле (4.2)

где $I_{\text{п0}}$ – периодическая составляющая тока КЗ в начальный момент времени,
 $I_{\text{п0}} = 15,9 \text{ кА}$;

$t_{\text{отк}}(\tau)$ – полное время отключения выключателя, $t_{\text{отк}}=0,05\text{с}$;

T_a - постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, $T_a=0,15\text{с}$.

$$\beta_k = 15,9^2 \cdot (0,05 + 0,15) = 50,56\text{кА}^2 \cdot \text{с}.$$

4.1.5 Рассчитывается минимальное сечение, отвечающее требованию его термической стойкости при КЗ в точке К-2 по формуле (4.3)

где β_k - полный импульс квадратичного тока КЗ, $\beta_k=50,56\text{кА}^2 \cdot \text{с}$;

C – функция с постоянным значением, $C=91$.

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{50,56} \cdot 10^3}{91} = 78,14 \text{ мм}^2$$

Таблица 6- Данные для выбора токоведущих частей

Точка КЗ	$U_{\text{уст}}$, кВ	U_6 , кВ	$I_{\text{п0}}$, кА	$j_{\text{уд}}$, кА	$I_{\text{ат}}$, кА	$I_{\text{пт}}$, кА	B_k кА ² · с	g_{min} , мм ²	$I_{\text{ном.расч}}$
К-1	110	115	24,1	67,1	26,5	23,5	56	206,6	656
К-2	10	10,5	15,9	43,8	16,1	14,47	12	78,1	2312,1

4.2 Выбор сборных гибких шин

4.2.1 По допустимому току выбираются шины АС300/39

$$I_{\text{ном.расч}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

$$656\text{А} \leq 710\text{А}$$

4.2.2 По термической стойкости

$$q_{\text{min}} \leq q_{\text{выб}}, \quad (4.7)$$

Согласно ПУЭ гибкие проводники на термическую стойкость могут не рассчитываться, т.к они выполнены голыми проводами на открытом воздухе

4.2.3 По электродинамической стойкости

$$\delta_{\text{расч}} \leq \delta_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

Согласно ПУЭ сборные гибкие шины на электродинамическую стойкость могут не рассчитываться, так как расстояние между фазами велико, а силы взаимодействия между ними малы.

4.2.4 По условию коронирования

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$$

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}} \right) = 31 \text{ кВ/см}$$

$$E = \frac{k \cdot 0,354 \cdot U}{n \cdot r_0 \cdot l_g \cdot \frac{D_{\text{ср}}}{z_0}}$$

$$E = \frac{1 \cdot 0,354 \cdot 110}{1 \cdot 1,2 \cdot l_g \cdot \frac{5,04}{5,5}} = 13 \text{ кВ/см}$$

где k – коэффициент учитывающий количество проводов (n) в расщепленной фазе, $K=1$;

U – линейное напряжение, $U=110\text{кВ}$;

n – количество проводов в фазе, $n=1$;

$D_{\text{ср}}$ – среднее расстояние между фазами.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$D_{\text{ср}} = 5,04 \cdot D$$

$$D_{\text{ср}} = 1,26 \cdot 300 = 378 \text{ см.}$$

$$13,91 \leq 27,9 \text{ кВ/сек}$$

Вывод: выбранные гибкие шины АС-300/39 проходят по всем условиям.

4.5 Выбор сборных жестких шин на 10 кВ

1) По допустимому току.

$$I_{\text{ном.расч.}} < I_{\text{доп}}$$

$$2400 \text{ А} < 2312 \text{ А}$$

2) По термической стойкости.

$$Q_{\text{min}} \leq Q_{\text{выбр.}}$$

$$78,1 \leq 960$$

3) По электродинамической стойкости.

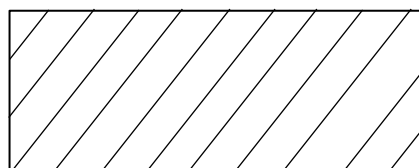
$$\delta_{\text{рас.}} \leq \delta_{\text{доп}} ; 5,9 \leq 40 \text{ МПа}$$

$$\delta_{\text{рас.}} = \frac{M_{\text{изч.}}}{W_{\text{сопр.}}} ; \frac{77,8}{13,3} = 5,9$$

$$f = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot K_{\phi} \cdot \frac{I_{\text{уд}}^2}{a} = 194,6 \text{ Н/м}$$

$$M_{\text{изч.}} = \frac{f \cdot l^2}{10} = \frac{194,6 \cdot 4}{10} = 77,8 ; w = \frac{B \cdot h^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 10^2}{6} = 13,3$$

АЛ 100х8



0,8мм

10мм

$$\delta_{\text{рас.}} = \frac{116,05}{10,66} = 10,88 \text{ МПа}$$

$$10,88 \text{ МПа} \leq 40 \text{ МПа}$$

Вывод: выбранные жесткие шины ШМТ (шины медные твердые) 120х8

подходят по всем условиям

Таблица 7 – Каталожные данные выключателя

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ

Лист

32

Каталожные данные ВБЭ-110-20У		
$U_{\text{ном}} - 110 \text{ кВ}$	$I_{\text{доп}} - 3150 \text{ А}$	$I_{\text{дин}} - 45 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} - 80 \text{ кА}$	$t_{\text{терм}} - 3\text{с.}$	$I_{\text{откл.ном}} - 45 \text{ кА}$
$I_{\text{тер}} - 20 \text{ кА}$		

4.6 Выбор выключателей на высокое напряжение

1) По напряжению установки.

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} ; 110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ}$$

Выбирается ВБЭ-110-20У

Таблица 8- Каталожные данные Выключателей

$I_{\text{нам}}$	$i_{\text{дин}}$	$I_{\text{тер}}$	$t_{\text{тер}}$	$T_{\text{ат}}$
1600	80	20	3	30

2) По номинальному току.

$$656 < 1600$$

3) По отключающей способности.

$$I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ном.отк}} \text{ зав. ; } 9,5 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА}$$

Проверка на откл. апериодической составляющей тока короткого замыкания

$$i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot B_{\text{н}} \cdot \frac{I_{\text{отк.ном}}}{100}$$

Если условие $I_{\text{нт}} \leq I_{\text{ном.отк}}$ соблюдается, а $i_{\text{ат}} > i_{\text{а.ном}}$ то, допускается проверка по отключающей способности полного тока короткого замыкания

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\text{нт}} + i_{\text{ат}}) \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{отк.нам}} \cdot \left(1 + \frac{B_{\text{н}}}{100}\right)$$

$$(\sqrt{2} \cdot 9,5 + 34) \leq \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \left(1 + \frac{30}{100}\right)$$

$$47,5 \leq 54,6$$

4.7

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{вкл}}$$

$$31,5 \leq 80$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$i_{\text{п0,расч}} \leq i_{\text{вкл}}$$

$$11,3 \leq 80$$

4.8 По электродинамической стойкости

$$I_{\text{п0,расч}} \leq I_{\text{дин}}$$

$$11,3 \leq 31,5$$

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}}$$

$$31,5 \leq 80$$

4.9 По термической стойкости

$$W_{\text{к,расч}} < I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$$

$$426 < 1200$$

Вывод: выбранный выключатель ВГУ-110-40У1 подходит по всем условиям.

Таблица 10 – Каталожные данные выключателей

Каталожные данные ВБЭ-10-31,5		
$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$I_{\text{терм}} = 31,5 \text{ кА}$	$I_{\text{ном}} = 3150 \text{ кА}$
$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 31,5 \text{ кА}$	$t_{\text{терм}} = 3 \text{ сек}$

4.10 Выбор выключателя на 10 кВ напряжение

1) По напряжению установки.

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}; U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

Выбирается ВБЭ-10

Выключатель вакуумный электромагнитный

4.11 По номинальному току

$$I_{\text{ном,расч}} \leq I_{\text{доп}}$$

$$1540 \leq 1600 \text{ А}$$

4.12 по отключающей способности

$$I_{пт} \leq I_{откл}$$

$$14,9 \leq 40$$

$$I_{ат} \leq I_{ат.зав}$$

$$14 \leq 40$$

4.13 По электродинамической стойкости

$$i_{уд.расч} < I_{дин}$$

$$30 < 128$$

4.14 По термической стойкости

$$B_{к.расч} \leq B_{к.зав}$$

$$12 \leq 4800$$

Вывод: Выбранный выключатель ВБЭ-10-35 подходит по всем условиям

4.15 Выбор разъединителей на 110 кВ

Таблица 11 – Каталожные данные Разъединителей

Каталожные данные РГН-110-2000 УХЛ1		
$U_{ном} - 110 \text{ кВ}$	$I_{доп} - 2000 \text{ А}$	$i_{дин} - 100 \text{ кА}$
$I_{тер} - 40 \text{ кА}$	$t_{терм} - 3 \text{ с.}$	

1) По номинальному напряжению.

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ}$$

2) По номинальному току.

$$I_{ном.расч} \leq I_{доп}$$

$$656 \text{ А} \leq 2000 \text{ А}$$

3) По конструкции и роду установки.

РГН-110-2000 УХЛ1 – разъединитель горизонтальный для наружной установки

4) По эл.динамической стойкости

$$i_{уд.расч} \leq i_{пр.с}$$

$$31,5 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}$$

$$I_{по.расч} \leq i_{пр.с}$$

$$11,3 \leq 40$$

5) По термической стойкости.

$$W_{к.расч} < I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$$

$$426 \leq 4800$$

Вывод: Разъединитель РГН-110-2000 УХЛ1 подходит по всем условиям

Точка К-2 рассчитана на 6 кВ, разъединители не выбираются

Таблица 8 – Каталожные данные разъединителя

4.16 Выбор трансформатора тока на 110 кВ

Таблица 12 - каталожные данные Трансформатора тока

Каталожные данные ТГФ-110-У1		
$U_{ном} - 110 \text{ кВ}$	$I_{доп} - 750 \text{ А}$	$i_{дин} - 45-170 \text{ кА}$
$I_{тер} - 16-60 \text{ кА}$	$t_{терм} - 3 \text{ с.}$	

1) По напряжению установки.

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ}$$

2) По номинальному току.

$$I_{\text{ном.расч}} \leq I_{\text{доп}}$$

$$656 \text{ A} \leq 750 \text{ A}$$

3) По конструкции и классу точности.

ТГФ-110-У1 – трансформатор тока с газовой изоляцией.

Таблица 13- Приборы подключённые к трансформаторам тока

Наименование класса точности	Область применения
0,2	Точные лабораторный приборы
0,5	Приборы учёта электроэнергии (счётчики)

4) По термической стойкости.

$$W_{\text{к.расч}} < I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$$

$$426 \leq 3675$$

5) По эл. динамической стойкости

$$I_{\text{уд.расч}} \leq I_{\text{дин.}}$$

$$31,5 \leq 80$$

6) По вторичной нагрузке.

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}}$$

Где Z_2 - вторичная нагрузка трансформатора тока

$Z_{2 \text{ ном}}$ -номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности

$Z_2 = r_2$ т.к индуктивное сопротивление токовых цепей невелико

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}}$$

$$r_2 = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = 0,26 \text{ [Ом]}$$

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}} \leq Z_{2 \text{ ном}} \text{ откуда}$$

где $r_{\text{приб}}$ – сопротивление приборов;

$r_{\text{пр}}$ – сопротивление соединительных проводов;

$r_{\text{к}}$ – переходное сопротивление контактов

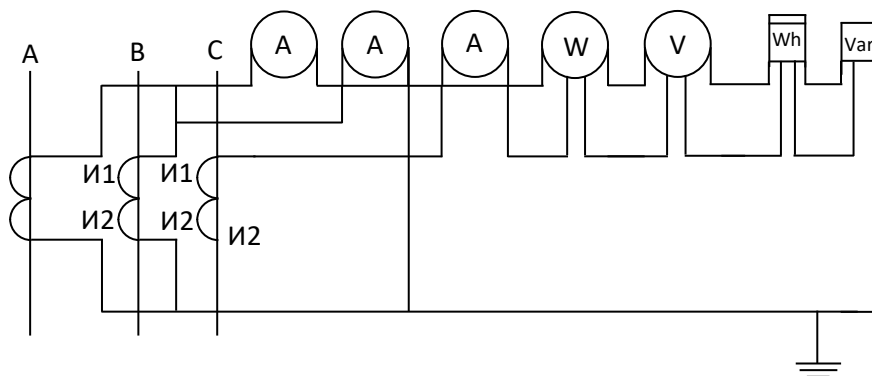
$$r_{\text{пр}} = Z_{2 \text{ ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{конт}} = 30 - 0,26 - 0,1 = 29,64$$

Зная $r_{\text{пр}}$ можно определить сечение соединительных проводов

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 100}{29,64} = 0,06$$

где ρ – удельное сопротивление медного провода, $\rho=0,0175$,

l – длина соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов, $l = 100\text{м}$



Вывод: выбранный трансформатор тока ТГФ-110-У1 подходит по всем условиям.

4.17 Выбор трансформаторов тока на 10кВ

Таблица 14- Каталожные данные Трансформаторов тока

Каталожные данные ТЛШ – 10-У3		
$U_{\text{ном}} - 10 \text{ кВ}$	$I_{\text{доп}} - 2000 \text{ А}$	$i_{\text{дин}} - 81 \text{ кА}$
$I_{\text{тер}} - 32 \text{ кА}$	$t_{\text{терм}} - 3 \text{ с.}$	

Трансформатор тока выбирается:

- 1) По напряжению установки.

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}$$

- 2) По номинальному току.

$$I_{\text{ном.расч}} \leq I_{\text{доп}}$$

$$1540 \text{ А} \leq 2000 \text{ А}$$

- 3) По конструкции и классу точности.

ТЛШ – 10-У3 - трансформатор литой, шинный.

Таблица 15- Приборы подключённые к Трансформаторам тока

Наименование класса точности	Область применения
0,5	Приборы учёта электроэнергии (счётчики)
P	Приборы для релейной защиты

- 4) По электродинамической стойкости.

$$I_{\text{уд,расч}} \leq I_{\text{дин}}$$

$$30 \text{ кА} \leq 81 \text{ кА}$$

5) По термической стойкости

$$W_{\text{К,расч}} < I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}}$$

$$12 \leq 3072$$

6) По вторичной нагрузке

$$Z_2 \leq Z_{2 \text{ ном}}$$

где Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока, соответствует полному сопротивлению;

$Z_{2 \text{ ном}}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности, соответствует номинальному полному сопротивлению. Так как индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, то учитывается их активное сопротивление.

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}}$$

где $r_{\text{приб}}$ – сопротивление приборов;

$r_{\text{пр}}$ – сопротивление соединительных проводов;

$r_{\text{к}}$ – переходное сопротивление контактов.

$$r_2 = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = 0,22 \text{ [Ом]}$$

где $S_{2 \text{ ном}}$, - номинальная нагрузка измерительной обмотки;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора.

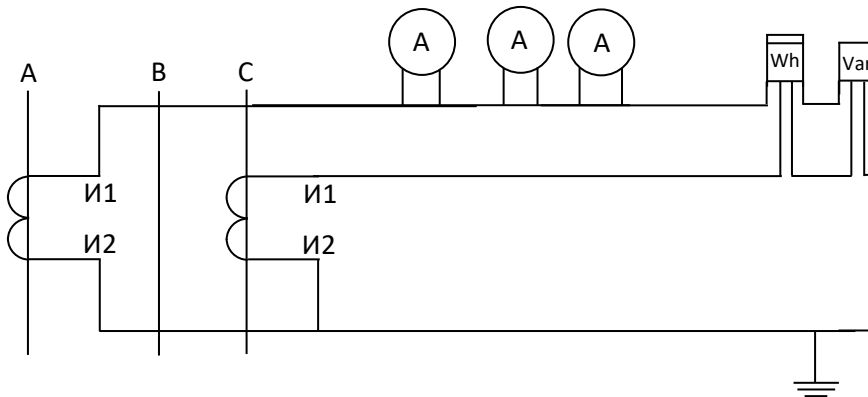
$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{конт}} \leq Z_{2 \text{ ном}} \text{ откуда}$$

$$r_{\text{пр}} = Z_{2 \text{ ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{конт}} = 20 - 0,22 - 0,1 = 19,68$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Зная $r_{пр}$ можно определить сечение соединительных проводов

$$q = \frac{p \cdot l_{расч}}{r_{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 4}{19,68} = 0,003$$



Вывод: Трансформатор тока ТЛШ-10-У3 подходит по всем параметрам

4.18 Выбор трансформаторов напряжения

Таблица 16- Каталожные данные Трансформатора напряжения

Каталожные данные 3-НОГ-М-110	
$U_{ном} - 110$ кВ	$S_{2ном} = 3200$ ВА

Трансформатор напряжения выбирается:

1) По номинальному напряжению.

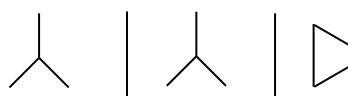
$$U_{уст} \leq U_{нам.зав}$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ}$$

2) По конструкции и схеме соединения обмоток.

3-НОГ-М-110 – Трансформатор напряжения, однофазный с газовой изоляцией.

На рисунке 12 представлена схема соединения соединения обмоток трпансформатора



3) По классу точности.

Таблица 17- Приборы подключённые к трансформатору напряжения

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Наименование класса точности	Область применения
0,2	Точные лабораторные измерения
0,5	Приборы учёта электроэнергии (счётчики)
1,0	Щитовые приборы

4) По вторичной нагрузке.

$$S_{2 \text{ расч}} = \sqrt{P^2 + Q^2} \leq S_{\text{ном}}$$

$$88,4 \leq 3200$$

где $S_{2\text{ном}}$ – максимальная мощность, подключаемых приборов

P – активная мощность, подключаемых приборов

Q – реактивная мощность подключаемых приборов

Вывод: Выбранный Трансформатор напряжения 3-НОЛ-М-110 подходит по всем условиям

4.19 Выбор Трансформатора на напряжение 10 кВ

Таблица 18- Каталожные данные трансформатора напряжения

Каталожные данные 3-НОЛ-0.9	
$U_{\text{ном}} - 10 \text{ кВ}$	$S_{2\text{ном}} = 630 \text{ ВА}$

Трансформатор напряжения выбирается:

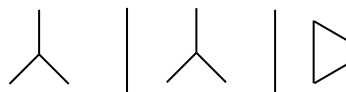
1) По номинальному напряжению

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{нам}}$$

$$10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ}$$

2) По конструкции и схеме соединения обмоток 3-НОЛ-0.9
 3-НОЛ-0.9 – Трансформатор напряжения трехобмоточный, однофазный, с
 литой изоляцией

На рисунке 14 представлена схема соединения соединения обмоток
 трпансформатора



3) По классу точности

Таблица 19- Приборы подключённые к Трансформатору напряжения

Наименование класса точности	Область применения
0,2	Точные лабораторные измерения
0,5	Приборы учёта электроэнергии (счётчики)
1,0	Щитовые приборы
3,0	Контроль изоляции цепи релейных защит

4) По вторичной нагрузке

$$S_{2 \text{ расч}} = \sqrt{P^2 + Q^2} \leq S_{\text{ном}}$$

$$45,1 \leq 630$$

где $S_{2\text{ном}}$ – максимальная мощность, подключаемых приборов,

P – активная мощность, подключаемых приборов,

Q – реактивная мощность подключаемых приборов

5 Выбор распределительных устройств всех напряжений в соответствии с НТП.

5.1 Согласно НТП на напряжение 6-10кВ применяется КРУ.

Комплектное распределительное устройство распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов со встроенными аппаратами, измерительными, защитными приборами и вспомогательными устройствами. Шкафы КРУ изготавливаются на заводах, что позволяет добиться тщательной сборки всех узлов обеспечить надежность снабжения работы электрооборудования. Применение КРУ позволяет ускорить монтаж распределительных устройств. КРУ безопасно в обслуживании, так как все части находящиеся под напряжением, закрыты металлическим кожухом. В качестве изоляции между токоведущими частями в КРУ могут использоваться: воздух, масло, твердая изоляция и инертные газы. Для КРУ 6кВ применяются выключатели обычной конструкции, а вместо разъединителей – втычные контакты. Применение КРУ приводит к сокращению объема и сроков проектирования.

5.2 Согласно НТП на напряжение 110кВ принимается ОРУ. На Распределительное устройство, расположенное открытым воздухе, называется открытое распределительное устройство (ОРУ). Как правило, распределительные устройства напряжением 35кВ и выше выполняются открытыми. Все аппараты ОРУ обычно располагаются на высоких основаниях. Шины могут быть гибкими, из многопроволочных проводов, или жесткие из труб. Гибкие шины крепятся с помощью опорных изоляторов на железобетонных металлических стойках. На ОРУ 110кВ в принятой компоновке все выключатели размещают в один ряд около второй системы шин, что облегчает обслуживание. Такие ОРУ называются однорядными. В Типовых компоновках выключатель не изображается и показано лишь место его установки. Опиновка ОРУ выполнена гибкими сталеалюминевыми шинами. Линейные и шинные порталы и все опоры под аппаратами - стандартные, железобетонные.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

1. Техничко-экономические показатели ТЭЦ

Экономическая целесообразность схемы определяется минимальными приведенными затратами:

$$Z = P_n \cdot K + И$$

K – капиталовложения на сооружение электроустановки, тыс. руб.

P_n – нормативный коэффициент экономической эффективности.

$И$ – годовые эксплуатационные издержки

При выборе оптимальных схем выдачи электроэнергии определяют по укрупненным показателям стоимости элементов схемы.

Вторая составляющая расчётных затрат – годовые эксплуатационные издержки, которые определяются по формуле:

Таблица 20- Расчёт стоимости электрооборудования ТЭЦ

№ п/п	Оборудование	Количество	Стоимость единицы, тыс.руб	Общая стоимость тыс.руб
1	ТД-80000/110	2	408	816
2	ТДЦ-125000/110	1	440	440
3	ТДНС-16000/20	4	110	440
4	ВГУ-110-40У1	10	290	2900
5	ВР6-6-40	7	10	700
Итого:				5296 · 55 = 291280

$$K = 291128 \text{ тыс.руб}$$

Определение эксплуатационных расходов. Определение издержек на потери электрической энергии.

Определяются потери в трансформаторе ТД-80000/110

$$\Delta W = P_{xx} \cdot T_{max} + P_{кз} \cdot \left(\frac{S_{max}}{S_{ном}} \right)^2 \cdot \tau$$

Где P_{xx} -потери холостого хода трансформатора-85

T_{max} -Максимальное время работы потребителей в год, $T_{max} = 7000$ ч.

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$P_{кз}$ -потери короткого замыкания-310

S_{max} -максимальная мощность генератора, $S_{max}=78,75$

$S_{ном}$ -номинальная мощность трансформатора, $S_{ном}=80$

τ -время макимальных потерь с учётом коэффициента мощности генератора
 $\tau=6300$

$$\Delta W = 85 \cdot 7000 + 310 \cdot \left(\frac{78,75}{80}\right)^2 \cdot 6300 = 2487450 \text{ кВ/ч}$$

$$И = \frac{P_a + P_0}{100} \cdot K + \beta \cdot \Delta W \cdot 10^{-5}$$

$$И = \frac{4,8 + 5,2}{100} \cdot 291128 + 2,5 \cdot 2487450 \cdot 10^{-5} = 29175$$

K – капиталовложение на сооружение электроустановки.

P_a – отчисления на амортизацию, %

$$P_a = 4,8\%$$

P_0 – отчисления на обслуживание, %

$$P_0 = 5,2\%$$

ΔW – потери электроэнергии

β – стоимость электроэнергии 1кВт/ч.

$$\beta = 2,5 \text{ руб.}$$

Расчитывается минимальные приведённые затраты

$$З = P_n \cdot K + И$$

$$З = 0,15 \cdot 291128 + 29175$$

$$З = 72844$$

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Библиография

1. **Крючков, Н.П.** Электрическая часть электрических станций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования /Н.П.Крючков, Б.Н.Неклепаев. -М.: Энергоатомиздат, 2018. - 608 с.– ISBN978-5-383-01270-3.
2. **Рожкова, Л.Д.** Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник/ Л.К.Карнеева, Т.В.Чиркова - 12-е издание, - М: ИЦ Академия, 2010. - 448 с– ISBN 978-5-7695-7575-4.
3. **Карнеева, Л.К.** Электрооборудование электрических станций и подстанций: справочник/Л.К.Карнеева, Л.Д. Рожкова –Иваново: 2006. – ISBN 5-93901-002-4.
4. Нормы технологического проектирования электрических подстанций/утверждены Минэнерго РФ. - // Теплоэлектропроект: [сайт]. - URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294853/4294853911.htm> (дата обращения: 20.03.2021).
5. Методические указания для курсовой работы по дисциплине «Основы экономики»: Расчет среднегодовых технико-экономических показателей работы подстанции.
6. Электроэнергетика Уральского ФО: по пути интенсивного развития [сайт]. - URL: <http://marketelectro.ru/content/elektroenergetika-uralskogo-fo-po-puti-intensivnogo-razvitiya>. (дата обращения: 21.05.2021).
7. Свободная энциклопедия//[сайт]. - URL: <https://www.wikipedia.org>(дата обращения: 13.04.2021).
8. Измерительные трансформаторы напряжения Школа для электрика: электротехника и электроника//[сайт]. - URL:<http://electricalschool.info/main/electroshemy/512-izmeritelnye-transformatory.html>(дата обращения:15.04.2021).
9. Схемы соединения измерительных трансформаторов напряжения » Школа для электрика: электротехника и электроника

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

<http://electricalschool.info/main/electroshemy/1293-skhemy-soedinenija-izmeritelnykh.html> (дата обращения: 12.05.2021).

10. Справочные данные параметров трансформаторов

https://powersystem.info/index.php?title=Справочные_данные_параметров_трансформаторов_от_35_кВ (дата обращения: 18.05.2021).

11. <https://studfiles.net/preview/2378874/page:4/>(дата обращения: 09.05.2021).

12. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к

выполнению. - // Техэксперт: [сайт]. -

URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200069439> (дата обращения: 20.05.2021)

13. ГОСТ 2.702-2011 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. - // Техэксперт: [сайт]. -URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200086241>(дата обращения: 10.04.2021)

14. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах - // Техэксперт: [сайт]. -URL:
<http://docs.cntd.ru/document/1200001985> (дата обращения: 01.05.2021)

15. ГОСТ 2.105-2019 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. - // Техэксперт: [сайт]. -URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200164120> (дата обращения: 20.04.2021).

16. ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы. - // Техэксперт: [сайт]. - URL:

					ТТТ.13.02.03.000.21.02.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48