

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Проектирование системы электроснабжения группы установок по переработке нефти»

Студент(ка)

Д.С. Петровский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Г. Сорокин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе разработаны вопросы проектирование системы электроснабжения группы установок по переработке нефти.

Выбрано силовое оборудование и коммутационная аппаратура для низковольтной и высоковольтной сети, рассчитаны токи короткого замыкания для низковольтной и высоковольтной сети, рассчитаны релейная защита, проверена выбранная коммутационная аппаратура на воздействие токов короткого замыкания.

Пояснительная записка состоит из 63 страниц, 22 таблицы и 5 рисунков. Графическая часть выпускной квалификационной работы представлена на 6 листах формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	
Введение.....	
1. Краткое описание технологического процесса проектируемого объекта	
2. Расчет силовой и осветительной нагрузки установки ЛГ - 35 -11/300...	
3. Выбор числа, мощности и места расположения трансформаторных подстанций установки ЛГ - 35 -11/300.....	
4. Расчет распределительной сети, выбор и расчет защитных устройств на стороне низкого напряжения установки ЛГ - 35 -11/300.....	
5. Расчет освещения установки ЛГ - 35 -11/300	
6. Расчет токов короткого замыкания в сети низкого напряжения	
7. Расчет электрических нагрузок и определение числа и мощности трансформаторов остальных установок	
8. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП группы установок по переработке нефти	
9. Выбор схемы распределительного устройства ГПП, коммутирующей аппаратуры, трансформаторов тока, напряжения и собственных нужд.....	
10. Расчет токов короткого замыкания в сети высокого напряжения	
11. Проверка сечений проводов, кабелей, шин, изоляторов и коммутирующей аппаратуры на термическую и динамическую стойкость к токам короткого замыкания.....	
12. Расчет релейной защиты и автоматики систем электроснабжения.....	
Заключение	
Список использованных источников	

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика является базовой отраслью экономики России. Надежное и эффективное функционирование энергетики, бесперебойное снабжение потребителей - основа поступательного развития экономики страны и неотъемлемый фактор обеспечения цивилизованной жизни всех ее граждан.

В настоящее время ускоренными темпами увеличивается количество оборудования электрических станций и электрических сетей, выработавших свой проектный ресурс. Таким образом повышение эффективности функционирования электроэнергетики и использование инвестиций, а также выбор стратегически правильных решений по развитию отрасли, совершенствованию механизмов и структуры управления ее имеют ключевое значение.

В последние годы нефтепереработка в России продолжает интенсивно развиваться и оставаться одной из ведущих отраслей промышленности. Процесс развития идет не только по пути сооружения и ввода в эксплуатацию новых нефтеперерабатывающих предприятий, но и в том числе по пути укрупнения, модернизации и реконструкции существующих производств. В условиях современной экономики происходит постоянное повышение требований к качеству выпускаемой продукции. В связи с этим повышенные требования предъявляются ко всем структурным элементам производства, и системе электроснабжения в частности.

Проектируемый объект является сложным комплексом взаимодействующих установок, конечной целью работы которого является получение различных видов топлива: автомобильные и авиационные бензины, реактивные топлива, дизельное, газотурбинное, котельное топлива. Кроме того, выпускаются бензины-растворители для лакокрасочной и резиновой промышленности.

1. Краткое описание технологического процесса проектируемого объекта

Поступающая на нефтеперерабатывающий завод нефть подвергается подготовке, заключающейся в обезвоживании и обессоливании сырой нефти. Для обессоливания нефть промывают пресной водой, которая затем отделяется от нефти.

Таблица 1.1

№ п/п	Наименование	Категория надежности	Категория по типу среды
1	35- 11/300 (реформинг)	I	B-1A
2	35- 11/600 (реформинг)	I	B-1A
3	КАС	I	B-1A
4	43/102-1 (каталитический крекинг)	I	B-1A
5	43/102-2 (каталитический крекинг)	I	B-1A
6	24/6 (гидроочистка)	I	B-1A
7	Водоблок	I	B-1A
8	ЭЛОУ - АВТ	I	B-1A
9	ЦВК	I	

В таблице 1.1 приняты сокращения:

КАС - установка компрессии, абсорбции и стабилизации;

ЭЛОУ-АВТ - электрообессоливающая установка - атмосферно-вакуумная трубчатка;

ЦВК - центральная воздушная компрессорная.

В процессе перегонки нефти происходит ее разделение на фракции. В результате атмосферной перегонки от нефти отделяют светлые продукты - бензиновую, керосиновую и дизельную фракции. В процессе вакуумной разгонки получают дистилляты, используемые при производстве

дополнительного количества топлив - бензина, керосина и дизельного топлива в процессе каталитического крекинга. Образующийся остаток вакуумной перегонки - гудрон, используется для получения битума. После разгонки нефти ее отдельные фракции поступают на дальнейшую переработку с целью получения товарных продуктов.

2. Расчет силовой и осветительной нагрузки установки ЛГ - 35 -11/300

В качестве исходных данных для определения нагрузок необходимо иметь спецификацию на технологическое оборудование в которой должны быть указаны номинальные мощности электроприемников. Расчет производится для технологической насосной станции установки каталитического реформинга ЛГ - 35 -11/300. Сама установка предназначена для переработки сырья прямогонных бензиновых фракций с целью получения высокооктанового бензина.

Методы расчета электрических нагрузок зависят от характеров графиков нагрузок отдельных групп электроприемников. Расчет силовых нагрузок цеха производится по методу коэффициента максимума [2].

Для j - той подгруппы из n электроприемников определяют суммарную номинальную мощность:

$$P_{НОМ.j} = \sum_{i=1}^n P_{ном.i} \quad (2.1)$$

Средние нагрузки j - той подгруппы за максимально загруженную смену определяют по формулам:

$$P_{СР.МАХ.j} = K_{И} \cdot P_{НОМ.j} \quad (2.2)$$

$$Q_{СР.МАХ.j} = P_{СР.МАХ.j} \cdot tg\varphi \quad (2.3)$$

Далее определяем эффективное число электроприемников:

$$n_{Э} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{НОМ}}{P_{НОМ.МАХ}} \quad (2.4)$$

В зависимости от средневзвешенного $K_{И}$ и $n_{Э}$ по графику или таблице

находят значения коэффициента максимума K_{MAX} с помощью которого определяю расчетные максимумы нагрузок:

$$P_{MAX} = K_{MAX} \cdot P_{CP.MAX} \quad (2.5)$$

$$Q_{MAX} = K_{MAX} \cdot Q_{CP.MAX} \quad (2.6)$$

Исходные данные для расчета средних и максимальных нагрузок сводим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Наименование	Кол-во	$\frac{P_{НОМ.МАХ}}{P_{НОМ.МИН}}$, кВт	$P_{ОБЩ}$, кВт	$K_{И}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Насосы	21	72/1,8	462,3	0,7	0,75	0,882
Вентиляторы	8	13/7,5	87,5	0,65	0,7	1
Освещение	1	27,52	27,52	0,85	1	-
Всего по установке	30	72/1,8	577,32	0,7	0,762	0,85

Расчет средних и максимальных нагрузок сводим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Наименование	$P_{CP.MAX}$, кВт	$Q_{CP.MAX}$, квар	P_{MAX} , кВт	Q_{MAX} , квар	S_{MAX} , кВА
Насосы	323,61	285,424			
Вентиляторы	56,875	58,013			
Освещение	23,392	0			
Всего по установке	404,124	343,505	404,124	343,505	530,39

В нефтеперерабатывающей промышленности большинство потребителей относятся к первой категории, кроме того, наличие взрывоопасных установок требует выполнения сетей с повышенной степенью надежности. Поэтому применяют прокладку кабелей с подключением потребителей к распределительным устройствам, имеющим автоматическое включение резервного питания.

С учетом вышеизложенного выбираем схему сети радиального исполнения с напряжением 380/220 В.

3. Выбор числа, мощности и места расположения трансформаторных подстанций установки ЛГ - 35 -11/300

Правильное определение числа и мощности трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов.

Ориентировочный выбор числа и мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки:

$$\delta = \frac{S_{CP.MAX}}{F} = \frac{530,39}{1980} = 0,27 \text{ кВА/м}^2 \quad (3.1)$$

где S_{MAX} - максимальная нагрузка цеха, кВА,

F – площадь установки, м².

При плотности нагрузок до 0,2кВА/м и при напряжении 380В целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1000кВА [4].

Минимальное число цеховых трансформаторов N_{MIN} – одинаковой мощности $S_{НОМ.Т}$, предназначенных для технологических связанных нагрузок, определяют по формуле:

$$N_{MIN} = \frac{P_{CP.MAX}}{K_3 \cdot S_{НОМ.Т}} + \Delta N = \frac{404,124}{0,55 \cdot 400} + 0,163 = 2 \quad (3.2)$$

где $P_{CP.MAX}$ - активная средняя мощность, технологически связанных нагрузок за наиболее загруженную смену;

K_3 – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора;

ΔN - добавка до ближайшего целого числа.

Экономически оптимальное число трансформаторов:

$$N_{ОПТ} = N_{MIN} + m = 2 + 0 = 2 \quad (3.3)$$

где m – дополнительно установленные трансформаторы по рис. 4,6 [4].

Выбираем мощность трансформатора по средней активной мощности за наиболее загруженную смену $P_{CP.MAX}$:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{P_{CP.MAX}}{K_3 \cdot N_{ОПТ}} = \frac{404,124}{0,55 \cdot 2} = 367,39 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

Принимаем к установке один трансформатор ТМ-400/10.

Наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформатор в сеть с напряжением до 1кВ определяем по формуле

$$\begin{aligned} Q_{MAX.T} &= \sqrt{(N_{ОПТ} \cdot K_3 \cdot S_{НОМ.Т})^2 - P_{СР.МАХ}^2} = \\ &= \sqrt{(2 \cdot 0,55 \cdot 400)^2 - 404,124^2} = 174,02 \quad \text{квар} \quad (3.5) \end{aligned}$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение до 1 кВ составит:

$$Q_{НК1} = Q_{СР.МАХ} - Q_{MAX.T} = 343,505 - 174,02 = 169,485 \quad (3.6)$$

Дополнительная мощность НБК для трансформатора определяется по формуле:

$$\begin{aligned} Q_{НК2} &= Q_{СР.МАХ} - Q_{НК1} - \gamma \cdot N_{ОПТ} \cdot S_{НОМ.Т} = \\ &= 343,505 - 169,485 - 0,5 \cdot 2 \cdot 400 = -225,98 \quad (3.7) \end{aligned}$$

где γ - расчетный коэффициент зависящий от расчетных параметров K_{P1} и K_{P2} и схемы питания ТП. Значения K_{P1} зависят от удельных приведенных затрат на НБК и потерь активной мощности:

$$K_{P1} = 19 \text{ по таблице 4.6 [2]}$$

$$K_{P2} = 2 \text{ по таблице 4.7 [2]}$$

$$\gamma = 0,72 \text{ по рисунку 4.9 [2]}$$

Суммарная мощность НБК для установки составит:

$$Q_{НК} = Q_{НК1} + Q_{НК2} = 169,485 + 0 = 169,485 \text{ квар} \quad (3.8)$$

Выбираем две конденсаторные установки типа УКЛН - 0,38 - 108 - 36УЗ общей мощностью 216 квар.

Действительный K_3 определяем по формуле:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P_{СР.МАХ}^2 + (Q_{СР.МАХ} - Q_{КУ})^2}}{S_{НОМ.Т} \cdot N} = \frac{423,76}{400 \cdot 2} = 0,53 \quad (3.9)$$

Для питания установок, опасных в отношении пожара, взрыва или коррозии применяют отдельно стоящие ТП. Окончательно принимаем к установке два трансформатора ТМ 400/10/0,4.

4. Расчёт освещения установки

Расчёт освещения цеха выполняем методом коэффициента использования по [3].

Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i , который определяется по формуле:

$$i = \frac{L_y \cdot B_y}{h \cdot (L_y + B_y)} = \frac{66 \cdot 30}{5 \cdot (66 + 30)} = 4,125 \quad (4.1)$$

где L_y - длина установки, м;

B_y - ширина установки, м;

h - расчётная высота, м.

$$h = H - h_p - h_c = 6 - 0,8 - 0,2 = 5 \text{ м} \quad (4.2)$$

По таблице 5-6 [3] находим коэффициент использования светового потока для светильников с лампами накаливания НЧБ-300М $\eta = 0,66$.

Световой поток ламп в каждом светильнике определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{ЗАП} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 1,3 \cdot 1980 \cdot 1,15}{78 \cdot 0,66} = 4312,5 \text{ лм} \quad (4.3)$$

где E_H - норма освещённости, лк [3];

$K_{ЗАП}$ - коэффициент запаса;

F - площадь цеха, м²;

Z - коэффициент минимальной освещённости ($Z = 1,15$ для ламп накаливания);

N - число светильников.

По Φ в таблице 2-2 [3] выбираем лампу накаливания мощностью 300Вт с $\Phi_{НОМ} = 4600$ лм.

Осветительную сеть выполняем на напряжение 380/220 В переменного тока при заземлённой нейтрали.

Питание источников света осуществляется по перекрёстной схеме от двух щитков типа ЩОВ – 10Б.

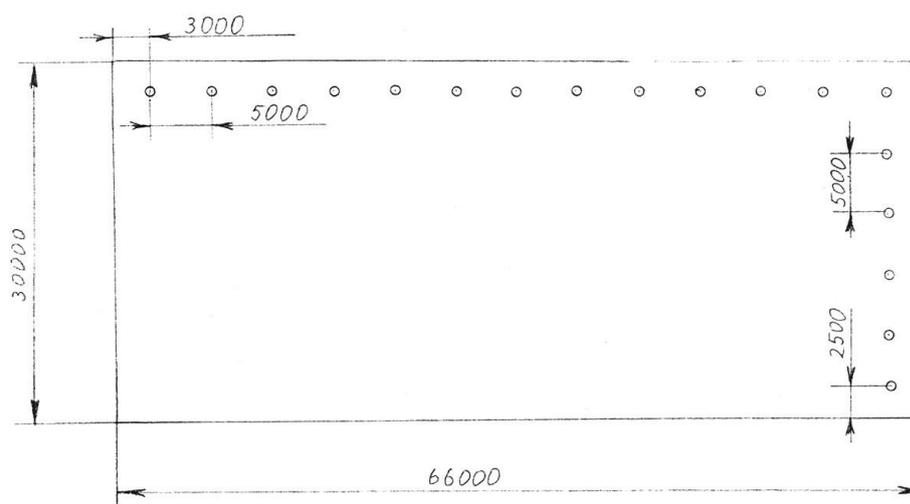


Рисунок 4.1. План расположения светильников

Сечения проводников осветительной сети должны обеспечивать достаточную механическую прочность, прохождение тока нагрузки без перегрева сверх допустимых температур, необходимые уровни напряжений у источников света, срабатывание защитных аппаратов при К.З.

Выбор сечений проводников осветительной сети производим по нагреву.

Расчётный ток осветительной сети:

$$I_{P.O.} = \frac{P_{P.O.}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{уст} \cdot K_C}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{23,4 \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 1} = 58,34 \text{ А} \quad (4.4)$$

где $P_{P.O.}$ – расчётная нагрузка обоих щитков, кВт.

Расчётный ток одного щитка:

$$I_{P.щ.} = \frac{I_{P.O.}}{2} = \frac{58,34}{2} = 29,17 \text{ А} \quad (4.5)$$

Для питания ЩОВ выбираем кабель марки СБГ сечением (3x10) + (1x6) мм. Согласно [23], в помещениях, где установлено автоматически действующее оборудование и где нет постоянного обслуживающего персонала, аварийное освещение не предусматривается в случае, если пол расположен не ниже уровня земли. Таким образом, аварийное освещение не предусматриваем, но во время ремонта помещение должно освещаться взрывозащищёнными переносными светильниками.

5. Расчёт токов короткого замыкания в сети низшего напряжения

Сети промышленных предприятий напряжением до 1 кВ характеризуются большой протяжённостью и наличием большого количества коммутационно - защитной аппаратуры. При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток короткого замыкания. Поэтому в расчётах учитывают все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитывают активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи.

Сопротивлением системы можно пренебречь, когда её мощность не менее, чем в 50 раз больше мощности цехового трансформатора.

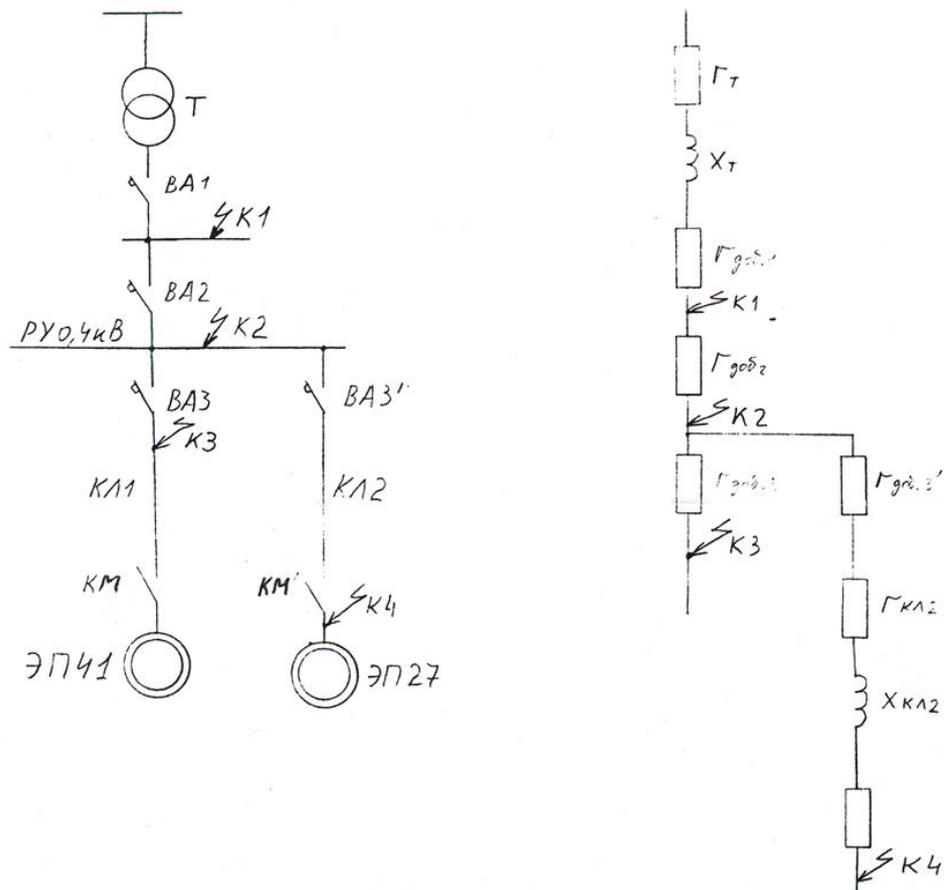


Рисунок 5.1. Расчётная схема и схема замещения для определения токов К.З. в сети до 1 кВ

Основную часть общего сопротивления цепи К.З. составляет

сопротивление трансформаторов $r_T = 5,5$ мОм, $x_T = 17,1$ мОм (табл.8,10. [6]) для трансформатора мощностью 400кВА.

Точка К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_T = 17,1 \text{ мОм} \quad (5.1)$$

$$r_{\Sigma K1} = r_T + r_{\text{ДОБ.1}} = 5,5 + 15 = 20,5 \text{ мОм} \quad (5.2)$$

Определяем ток трёхфазного К.З:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} \quad (5.3)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{20,5^2 + 17,1^2}} = 8,65 \text{ кА} \quad (5.4)$$

$$i_{\text{УД1}} = K_Y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,65 = 14,67 \text{ кА} \quad (5.5)$$

где $K_Y = 1,2$ - ударный коэффициент [5, с.83].

Точка К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_T = 17,1 \text{ мОм} \quad (5.6)$$

$$r_{\Sigma K2} = r_T + r_{\text{ДОБ.1}} + r_{\text{ДОБ.2}} = 5,5 + 15 + 15 = 35,5 \text{ мОм} \quad (5.7)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{35,5^2 + 17,1^2}} = 5,86 \text{ кА} \quad (5.8)$$

$$i_{\text{УД2}} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,86 = 9,94 \text{ кА} \quad (5.9)$$

Точка К3:

$$x_{\Sigma K3} = x_T = 17,1 \text{ мОм} \quad (5.10)$$

$$r_{\Sigma K3} = r_T + r_{\text{ДОБ1}} + r_{\text{ДОБ.2}} + r_{\text{ДОБ.3}} = 5,5 + 15 + 15 + 15 = 50,5 \text{ мОм} \quad (5.11)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{50,5^2 + 17,1^2}} = 4,33 \text{ кА} \quad (5.12)$$

$$i_{\text{УД3}} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,33 = 7,35 \text{ кА} \quad (5.13)$$

Рассчитаем ток однофазного К.З. для точки К4.

$$I_{K4}^{(1)} = \frac{U_{\Phi}}{Z_n + Z'_T / 3} \quad (5.14)$$

U_{ϕ} - номинальное фазовое напряжение сети, В;

Z_n - полное сопротивление петли фаза-ноль, Ом;

Z'_T - полное сопротивление трансформатора току К.З. на корпус, Ом.

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2} \quad (5.15)$$

где $R_n = R_{\phi} + R_N$ - суммарное активное сопротивление фазного R_{ϕ} и нулевого R_N проводов, Ом.

$$R_n = R_N = r_0 \cdot l = 7,55 \cdot 0,138 = 1,04 \text{ Ом} \quad (5.16)$$

$r_0 = 7,55$ Ом/км для медного проводника сечением $2,5 \text{ мм}^2$;

$l = 0,138$ км – длина кабеля;

$X_n = 0,5 \cdot 0,138 = 0,07$ Ом – индуктивно сопротивление петли жил кабеля, Ом;

$$Z'_T / 3 = 0,02 \text{ Ом} \quad (5.17)$$

$$Z_n = \sqrt{2,08^2 + 0,07^2} = 2,081 \text{ Ом} \quad (5.18)$$

$$I_{K4}^{(1)} = \frac{220}{2,081 + 0,02} = 104,71 \text{ А} \quad (5.19)$$

Для проверки коммутационно-защитной аппаратуры на устойчивость к действию токов К.З. рассчитали ток трёхфазного К.З. непосредственно за аппаратом защиты.

Для проверки надёжности срабатывания защитной аппаратуры определили ток однофазного К.З. в конце защищаемого участка.

Для примера проверяем коммутационно-защитный аппарат к электроприемнику №41 на динамическую стойкость к току К.З. Тип аппарата ВА51-25, $i_{y.ПАСП} = 15$ кА.

Расчётное значение ударного тока К.З. за этим аппаратом $i_y = 7,35$ кА.

Получаем $i_{y.ПАСП} > i_y$. Условие выполняется. Аналогично проверяются на динамическую стойкость аппараты к другим электроприемникам.

6. Расчет электрических нагрузок остальных установок

Расчетные мощности определяются по формулам:

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{УСТ} \quad (6.1)$$

$$Q_{CP.MAX} = P_{CP.MAX} \cdot tg\varphi \quad (6.2)$$

Результаты расчета для электроприемников 0,4 кВ сводим в таблицу 6.1, электроприемников 10 кВ - в таблицу 6.2.

Таблица 6.1

№ п/п	Наименование	$P_{УСТ}$, кВт	K_{II}	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{CP.MAX}$, кВт	$Q_{CP.MAX}$, квар	$S_{CP.MAX}$, кВ*А
1	35-11/300	606,3	0,65	0,77	0,95	423,77	361,7	557,1
2	35-11/600	1195	0,69	0,81	0,724	596,97	824,55	1018
3	КАС	826	0,68	0,757	0,863	562,0	485,0	742,3
4	43/102-1	1587	0,71	0,768	0,834	1127,0	939,92	1467,5
5	43/102-2	1439	0,69	0,751	0,879	992,91	872,77	1322
6	24/6	1272	0,73	0,78	0,802	928,56	744,71	1190,3
7	Водоблок	2014	0,73	0,77	0,829	1470,22	1218,81	1909,7
8	ЭЛОУ-АВТ 1	1929	0,72	0,79	0,776	1388,88	1077,77	1758
9	ЭЛОУ-АВТ 2	1893	0,67	0,78	0,802	1268,31	1017,18	1625,8
10	ЭЛОУ-АВТ 3	1708	0,73	0,80	0,75	1246,84	935,13	1558,6
11	ЦВК	577,32	0,7	0,762	0,85	404,124	343,505	530,4

Установка ЭЛОУ - АВТ представляет собой сложный комплекс, для питания которого предусмотрены три отдельно стоящих РП.

Однотрансформаторные ПС применяют в цехах с преобладанием нагрузок второй и третьей категории надежности. Двухтрансформаторные ПС применяют при преобладании потребителей первой категории или при наличии потребителей особой группы в компрессорных, в цехах с удельной плотностью нагрузок выше 0,5/0,7 кВ*А/м² [2, 9]. В настоящее время цеховые ТП выполняют комплектными (КТП) и, если это, возможно, устанавливаются открыто.

Типы установок для компенсации реактивной мощности по отдельным цеховым трансформаторным подстанциям приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3

№ п/п	Наименование	Количество и тип компенсирующих устройств	$Q_{КУС}$, квар
1	35-11/300	2*(УКЛН - 0,38 - 108 - 36УЗ)	216
2	35-11/600	—	—
3	КАС	2*(УКЛН - 0,38 - 108 - 36УЗ)	216
4	43/102-1	2*(УКЛН - 0,38 - 300 - 50УЗ)	600
5	43/102-2	2*(УКЛН - 0,38 - 300 - 50УЗ), 2*(УКЛН- 0,38-75УЗ)	750
6	24/6	2*(УКЛН - 0,38 - 108 - 36УЗ), 2*(УКЛН - 0,38 -75УЗ)	366
7	Водоблок	2*(УКЛН - 0,38 - 300 - 50УЗ)	600
8	ЭЛОУ-АВТ(1)	2*(УКЛН - 0,38 - 150 - 50УЗ)	300
9	ЭЛОУ-АВТ (2)	—	—
10	ЭЛОУ- АВТ (3)	—	—
11	ЦВК	2*(УКЛН- 0,38-75УЗ)	150

Окончательный выбор числа и мощности трансформаторов установок сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3

№ п/п	Наименование	№ ТП	SCP.M , кВА	Количество и мощность трансформаторов	КЗ. действ.
1	35-11/300	1	423,76	2*400	0,53
2	35-11/600	2	1017,97	2*1000	0,51
3	КАС	3	623,06	2*630	0,5
4	43/102-1	4	117,15	2*1000	0,59
5	43/102-2	5	1000,47	2*1000	0,5
6	24/6	6	1002,82	2*1000	0,5
7	Водоблок	7	1595,14	2*1600	0,5
8	ЭЛОУ-АВТ 1	8	1591,83	2*1600	0,5
9	ЭЛОУ-АВТ 2	9	1625,81	2*1600	0,51
10	ЭЛОУ-АВТ 3	10	1558,55	2*1600	0,49
11	ЦВК	11	400,83	2*400	0,5

Для питания установок, опасных в отношении пожара, взрыва или коррозии применяют отдельно стоящие ТП.

С учетом того, что на проектируемом предприятии практически все электроприемники относятся к 1 категории надежности, принимаем

радиальную схему внутривозводской сети. В связи с наличием на каждой технологической установке электроприемников с напряжением 10 кВ и 0,4 кВ, выполняем цеховые ТП совмещенными с РП 10 кВ. Резервирование предусматриваем на сторонах 10 кВ и 0,4 кВ. Выбор кабелей от ГПП до каждого РП осуществляем с учетом передаваемой по ним мощности которая определяется по формуле:

$$S_{РП} = \sqrt{(P_{P,0,4кВ} + \Delta P_T + P_{P,10кВ})^2 + (Q_{P,0,4кВ} + \Delta Q_T + Q_{P,10кВ})^2} \quad (6.1)$$

ГДЕ ΔP_T , ΔQ_T - потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах, определяемые по формулам:

$$\Delta P_T = (\Delta P_{X.X} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K.3}) \cdot N_{ОПТ} \quad (6.2)$$

$$\Delta Q_T = (S_{НОМ.Т} \cdot \frac{I_{XX}}{100} + K_3^2 \cdot S_{НОМ.Т} \cdot \frac{U_{K\%}}{1000}) \cdot N_{ОПТ} \quad (6.3)$$

где $\Delta P_{X.X}$ - потери холостого хода,

K_3 - коэффициент загрузки,

$\Delta P_{K.3}$ - потери короткого замыкания.

$I_{X.X}$ - ток холостого хода,

$U_{K\%}$ - напряжение короткого замыкания.

$S_{НОМ.Т}$ - номинальная мощность трансформатора

Для проектируемой установки 35-11/300 приведем расчет полностью:

$$\Delta P_T = (\Delta P_{X.X} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K.3}) \cdot N_{ОПТ} = (0,95 + 0,53^2 \cdot 5,5) \cdot 2 = 4,98 \text{ кВт} \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_T &= (S_{НОМ.Т} \cdot \frac{I_{XX}}{100} + K_3^2 \cdot S_{НОМ.Т} \cdot \frac{U_{K\%}}{1000}) \cdot N_{ОПТ} = \\ &= (400 \cdot \frac{2,1}{100} + 0,53^2 \cdot 400 \cdot \frac{4,5}{1000}) \cdot 2 = 26,92 \text{ квар} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Результаты расчета потерей мощности в цеховых трансформаторах ΔP_T и ΔQ_T остальных сводим в таблицу 6.1.

Таблица 6.4

№ п/п	Наименование	Число и мощность	$\Delta P_{K.3}$ кВт	$\Delta P_{X.X}$ кВт	$U_{K\%}$ %	$I_{X.X}$ %	ΔP_T кВт	ΔQ_T квар
-------	--------------	------------------	-------------------------	-------------------------	----------------	----------------	---------------------	----------------------

		тр - ров						
1	35-11/300	2*400	5,5	0,95	4,5	2,1	4,98	26,92
2	35-11/600	2*1000	12,2	2,42	5,5	1,4	11,18	56,62
3	КАС	2*630	7,6	1,31	5,5	2	6,42	40
4	43/102-1	2*1000	12,2	2,42	5,5	1,4	13,34	66,28
5	43/102-2	2*1000	12,2	2,42	5,5	1,4	10,94	56
6	24/6	2*1000	12,2	2,42	5,5	1,4	10,94	56
7	Водоблок	2*1600	18	3,3	5,5	1,3	15,6	84
8	ЭЛОУ-АВТ (1)	2*1600	18	3,3	5,5	1,3	15,6	84
9	ЭЛОУ-АВТ (2)	2*1600	18	3,3	5,5	1,3	15,96	86
10	ЭЛОУ-АВТ(3)	2*1600	18	3,3	5,5	1,3	15,24	84
11	ЦБК	2*400	5,5	0,95	4,5	2Д	4,66	26

За стандартное термически стойкое сечение принимается ближайшее меньшее стандартное сечение. Это обусловлено ошибкой в сторону завышения заложенной в методе расчета. Принимаем $S_T = 70 \text{ мм}^2$.

Таблица 6.5

№ п/п	Наименование	$I_{НОРМ}, \text{А}$	$I_{МАХ}, \text{А}$	$S_{ЭК}, \text{мм}^2$	Число и сечение жил	$I_{ДЛДОП}, \text{А}$
1	35-11/300	59,05	118,09	49,2	3*70	135
2	35-11/600	85,97	171,94	71,64	3*120	190
3	КАС	68,88	137,77	57,40	3*95	165
4	43/102-1	81,53	163,06	67,94	3*95	165
5	43/102-2	71,90	143,80	59,92	3*95	165
6	24/6	136,31	272,62	113,59	3*240	290
7	Водоблок	139,85	279,71	116,54	3*240	290
8	ЭЛОУ-АВТ 1	206,43	412,86	172,0	2*(3*150)	450
9	ЭЛОУ-АВТ 2	171,06	342,12	142,55	2*(3*120)	380
10	ЭЛОУ-АВТ 3	151,73	303,48	126,45	2*(3*95)	330
11	ЦБК	207,28	414,56	172,73	2*(3*150)	450

Выбираем кабели марки ААБЛГУ (ГОСТ 18410-73) - с алюминиевыми жилами, алюминиевой оболочкой, бумажной пропитанной изоляцией жил, с броней из стальных лент, с усиленной подушкой у защитного покрова, без джутовой оплетки поверх брони, усиленный.

Прокладку кабелей осуществляем на эстакадах.

7. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

ГПП выполняется двухтрансформаторной. Мощность трансформаторов рекомендуется определять активной нагрузкой объекта и реактивной мощностью, передаваемой от системы в период максимума нагрузок [4].

Расчётную активную мощность определяем по формуле:

$$P_{РАСЧ.Σ} = \left(\sum_{i=1}^n P_{РАСЧ.i} \right) \cdot K_{Р.М.} \quad (7.1)$$

где $P_{РАСЧ.i}$ - расчётная активная мощность i -того РП, кВт определяется путем сложения $P_{РАСЧ.0,4кВ} + P_{РАСЧ.10кВ}$;

$K_{Р.М.}$ - коэффициент разновременности максимума, равен 0,98 для средней Волги.

$$P_{РАСЧ.Σ} = 25067,87 \cdot 0,98 = 24566,51 \text{ кВт} \quad (7.2)$$

Оптимальная реактивная мощность $Q_{Э1}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{Э1} = a \cdot P_{РАСЧ.Σ} = 0,28 \cdot 24566,51 = 6878,62 \text{ квар} \quad (7.3)$$

где $a = 0,28$ – расчётный коэффициент, определяемый по [7] для Среднего Поволжья.

Номинальная мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{S_{РАСЧ.}}{N \cdot K_3} \geq \frac{25511,35}{2 \cdot 0,6} = 21259,46 \text{ кВА} \quad (7.4)$$

где

$$S_{РАСЧ.} = \sqrt{P_{РАСЧ.Σ}^2 + Q_{Э1}^2} = \sqrt{24566,51^2 + 6878,62^2} = 25511,35 \text{ кВА} \quad (7.5)$$

Коэффициент загрузки K_3 трансформаторов принимаем равным 0,6 с учётом преобладания на заводе нагрузок 1 категории надёжности.

Принимаем к установке два трансформатора типа ТРДН – 25000/110 с $S_{НОМ.Т} = 25000$ кВА.

Действительный коэффициент загрузки трансформаторов составит:

$$K_{\text{ЭДЕЙСТВ}} = \frac{S_{\text{РАСЧ.}}}{N \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{25511,35}{2 \cdot 25000} = 0,51 \quad (7.6)$$

Выбор местоположения, типа, мощности и других параметров ГПП обуславливается величиной и характером электрических нагрузок предприятия и размещением их на Генплане.

Важно, чтобы ГПП располагалось как можно ближе к центру питаемых нагрузок. Намеченное место расположения ГПП уточняется по условиям планировки предприятия, ориентировочных габаритов и типа подстанции, а также возможности подвода высоковольтных линий от места ввода ЛЭП от энергосистемы к ГПП.

Допускается смещение подстанций на некоторое расстояние от геометрического центра питаемых его нагрузок в сторону ввода от энергосистемы.

8. Расчёт и выбор типов и мощностей компенсирующих устройств и обоснование их рационального распределения

Для каждой цеховой ТП определяем некомпенсированную реактивную нагрузку $Q_{\text{НС.Т}}$ на стороне 6 кВ каждого трансформатора

$$Q_{\text{НС.Т}} = Q_{\text{Р.Т}} - Q_{\text{НК.Ф}} + \Delta Q_{\text{Т}}$$

где $Q_{\text{Р.Т}}$ - наибольшая расчётная реактивная нагрузка трансформатора;

$Q_{\text{НК.Ф}}$ - фактически принятая мощность НБК;

$\Delta Q_{\text{Т}}$ - суммарные реактивные потери в трансформаторе.

Далее определяем расчётную реактивную нагрузку на шинах каждого РП 6 кВ:

$$Q_{\text{Р.В}} = Q_{\text{НС.Т}} \pm Q_{\text{ЭД.Р}},$$

где $Q_{\text{ЭД.Р}}$ - расчётная реактивная нагрузка высоковольтных электродвигателей.

Результаты расчёта сводим в таблицу 14.1.

№	Наименование	$Q_{\text{Р.Т}}$,	$Q_{\text{НК.Ф}}$,	$\Delta Q_{\text{Т}}$,	$Q_{\text{НС.Т}}$,	$Q_{\text{ЭД.Р}}$,	$Q_{\text{Р.В}}$,
---	--------------	--------------------	---------------------	-------------------------	---------------------	---------------------	--------------------

РП	установки	кВар	кВар	кВар	кВар	кВар	кВар
1	35-11/300	343,505	216	26,92	154,425	371	525,425
2	35-11/600	596,97	0	56,62	653,59	336	989,59
3	КАС	485,00	216	40	325,00	339	664,00
4	ЧЗ/102-1	939,92	600	66,28	406,20	202,86	609,06
5	ЧЗ/102-2	872,77	750	56	178,77	202,86	381,63
6	24/6	744,71	366	56	434,71	897,26	1331,97
7	Водоблок	1218,81	600	84	702,81	541,86	1244,67
8	ЭЛОУ-АВТ (1)	1077,77	300	84	861,77	1333,5	2195,27
9	ЭЛОУ-АВТ (2)	1017,18	0	86	1103,18	1000,5	2103,68
10	ЭЛОУ-АВТ (3)	935,13	0	84	1019,13	672	1691,13
11	ЦВК	306,07	150	26	373,86	-1747,2	-1373,34

Определяем суммарную расчётную мощность высоковольтных компенсирующих устройств (ВКУ):

$$Q_{\text{ВКУ}} = \sum_1^n Q_{\text{Р.В}} - Q_{\text{Э1}}$$

где $Q_{\text{Э1}} = 6878,62$ кВар (из раздела 13 пояснительной записки).

$$Q_{\text{ВКУ}} = 10363,085 - 6878,62 = 3484,465 \text{ кВар.}$$

Принимаем к установке на ГПП четыре конденсаторных ВКУ типа УК-6/10Н-900ЛУЗ с суммарной мощностью $Q_{\text{ВКУ ном}} = 3600$ кВар.

9. Выбор схемы распределительного устройства ГПП, коммутирующей аппаратуры, трансформаторов тока, напряжения и собственных нужд

При небольшом количестве присоединений на стороне 35-220 кВ применяют упрощённые схемы, в которых обычно отсутствуют сборные шины, число выключателей уменьшенное.

Упрощённые схемы позволяют уменьшить расход электрооборудования, строительных материалов, снизить стоимость распределительного устройства, ускорить его монтаж.

Такие схемы получили наибольшее распространение на подстанциях.

Одной из упрощённых схем является схема блока трансформатор – линия (рис. 15.1.).

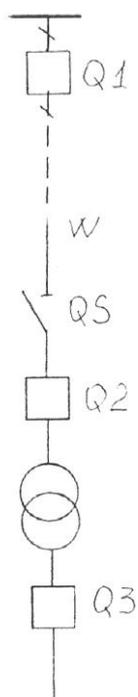


Рис. 9.1. Схема: блок трансформатор – линия с выключателем ВН

В рассматриваемой схеме трансформатор соединён с линией W выключателем Q2. При аварии в линии отключаются выключатель Q1 в начале линии и Q2 со стороны ВН трансформатора, при КЗ в трансформаторе отключаются Q2 и Q3.

Из соображений надёжности принимаем схему распределительного устройства ГПП с выключателями на стороне 110 кВ.

Для РУ 6 кВ используем схему с одной секционированной системной шин. Каждая секция работает отдельно. В нормальном режиме секционный выключатель отключен. Применение секционного выключателя обеспечивает автоматическое выключение резерва (АВР), что позволяет использовать такую схему для потребителей любой категории по надёжности.

Распределительное устройство высокого напряжения (110кВ) выполняем закрытого типа, так как среда на предприятии химически агрессивная. Силовые трансформаторы ГПП всегда устанавливают открыто, на предприятиях с загрязнённой атмосферой – с усиленной изоляцией.

Для РУ 6 кВ используем комплектные распределительные устройства серии КМ-1Ф.

10. Расчёт токов короткого замыкания в высоковольтной сети

Вычисление токов К.З. производится для определения условий работы потребителей при аварийных режимах; выбора электрических аппаратов, шин, изоляторов, силовых кабелей.

Для расчёта составляем схему замещения цепи К.З. (рис.10.1). Исходной схемой является принципиальная однолинейная схема предприятия. Схема замещения представляет собой последовательно соединённые элементы схемы до точки К.З.

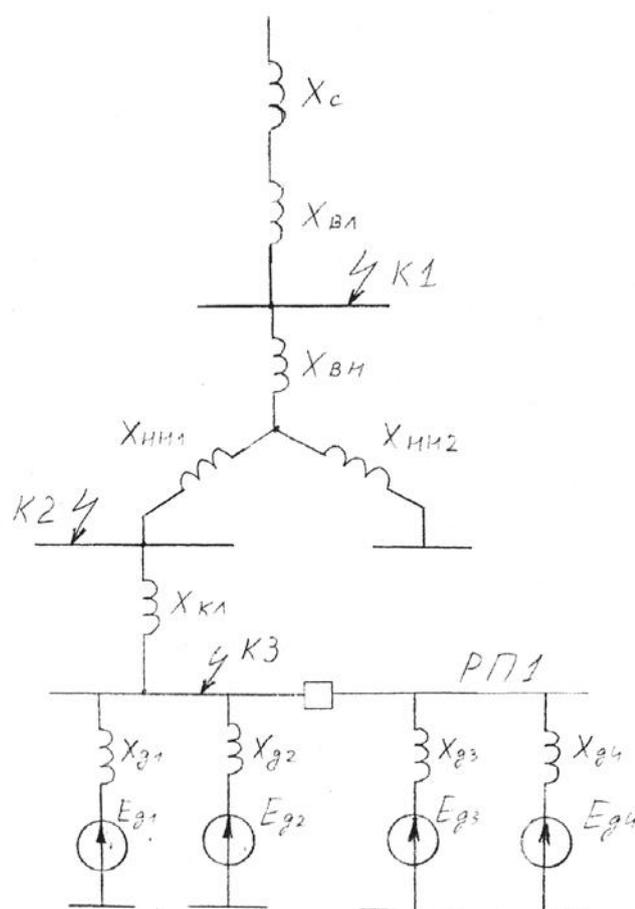


Рис. 10.1. Схема замещения для расчёта токов К.З. в сети 6 кВ (110 кВ)

Производим расчёт сопротивлений схемы замещения в относительных единицах, приведённых к базисным условиям.

В качестве базисных принимаем:

$$S_{\bar{6}} = 100 \text{ М·ВА};$$

$$U_{\bar{61}} = 115 \text{ кВ}, U_{\bar{62}} = 6,3 \text{ кВ}.$$

Сопротивление системы:

$$x_{*л} = x_0 \cdot L_B \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_K} = \frac{100}{2500} = 0,04 \text{ о.е.},$$

где S_K - мощность К.З. системы, М·ВА.

Сопротивление воздушной ЛЭП:

$$x_{*л} = x_0 \cdot L_B \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{61}}^2} = 0,4 \cdot 5 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,015 \text{ о.е.},$$

где $x_0 = 0,4$ Ом/км – удельное реактивное сопротивление воздушной линии;

L_B - длина линии.

Сопротивления схемы замещения трансформатора:

$$x_{*вн} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{кв-н \%}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{0,125 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,053$$

$$x_{*нн} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{кв-н \%}}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{1,75 \cdot 10,5}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0,735 \text{ о.е.},$$

где $U_{\text{кв-н \%}}$ - напряжение короткого замыкания, %.

Сопротивление кабельной линии:

$$x_{*кл} = x'_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{62}}^2} = 0,08 \cdot 0,1 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

где x'_0 - реактивное сопротивление линии, Ом/км;

L – длина кабельной линии, км.

Сопротивление асинхронного двигателя:

$$x_{*д1} = x_{*д}''' \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{\text{ном.д.}}} = 0,2 \cdot \frac{100}{0,284} = 70,42 \text{ о.е.},$$

$$S_{\text{ном.д.}} = \frac{P_{\text{ном.д.}}}{\cos \varphi} = \frac{250}{0,88} = 284 \text{ кВА (0,284 МВА)},$$

где $x_{*д}'''$ - сверхпереходное сопротивление двигателя;

$$x_{*д1} = x_{*д2} = x_{*д3} = x_{*д4} = 70,42$$

о.е.

Результирующие сопротивления цепи тока К.З. от системы и цепи подпитки от двигателей для каждой точки К.З. определяются суммированием.

$$x_{*ΣК1} = x_{*C} + x_{*ВЛ} = 0,04 + 0,015 = 0,055 \quad \text{о.е.}$$

$$x_{*ΣК2} = x_{*C} + x_{*ВЛ} + x_{*ВН} + x_{*НН1} = 0,04 + 0,015 + 0,053 + 0,735 = 0,843 \quad \text{о.е.}$$

$$x_{*ΣК3} = x_{*C} + x_{*ВЛ} + x_{*ВН} + x_{*НН1} + x_{*КЛ} = 0,04 + 0,015 + 0,053 + 0,735 + 0,02 = 0,863 \quad \text{о.е.}$$

Определяем базисные токи для каждой ступени трансформации:

$$I_{6i} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{6i}}, \text{ кА.}$$

$$I_{61} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \quad \text{кА.}$$

$$I_{62} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \quad \text{кА.}$$

Действующее значение периодической составляющей тока К.З. от системы

$$I_{nc} = \frac{I_{6i}}{x_{cΣ}^*}.$$

Ударный ток:

$$i_{yc} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{nc}$$

Для точки К1:

$$I_{nc1} = \frac{0,502}{0,055} = 9,127 \quad \text{кА,}$$

$$i_{yc1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,127 = 23,234 \quad \text{кА.}$$

Здесь принимается $K_u=1,8$ – ударный коэффициент [2].

Для точки К2:

$$I_{nc2} = \frac{9,164}{0,843} = 10,871 \quad \text{кА,}$$

$$i_{yc2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 10,871 = 27,673 \quad \text{кА.}$$

Для точки КЗ:

$$I_{нсз} = \frac{9,164}{0,863} = 10,619 \text{ кА,}$$

$$i_{усз} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 10,619 = 27,032 \text{ кА.}$$

Для точки КЗ необходимо определить ток подпитки от двигателей.

Сопротивление цепи подпитки от двигателя:

$$x_{*д\Sigma} = x_{*д1} = 70,42 \text{ о.е.}$$

Действующее значение периодической составляющей тока подпитки КЗ, посылаемого к месту К.З. двигателем:

$$I_{п.д.о.} = I_{д.}'' = \frac{E_*''}{x_{*д\Sigma}} \cdot I_{бi}, \text{ кА,}$$

где E_*'' - сверхпереходная ЭДС;

для асинхронного двигателя $E_*'' = 0,9$.

$$I_{п.д.о.} = \frac{0,9}{70,42} \cdot 9,164 = 0,117 \text{ кА,}$$

Ударный ток подпитки К.З. от двигателя:

$$i_{уд} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п.д.о.},$$

где K_y - ударный коэффициент;

принимаяем $K_y = 1,49$ [2].

$$i_{уд} = 1,49 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,117 = 0,246 \text{ кА.}$$

Периодическая составляющая тока К.З. от системы и двигателей:

$$I_{нз} = I_{нсз} + N \cdot I_{п.д.о.} = 10,619 + 4 \cdot 0,117 = 11,087 \text{ кА,}$$

$$i_{уз} = i_{усз} + N \cdot i_{уд} = 27,032 + 4 \cdot 0,246 = 28,016 \text{ кА.}$$

11. Проверка выбранной аппаратуры на воздействие токов КЗ

Трансформаторы тока выбираются по номинальному току, напряжению установки и номинальной нагрузки вторичной цепи:

$$I_{НОМ.Т.Т.} \geq I_{НОМ} \quad (11.3)$$

$$U_{НОМ.Т.Т.} \geq U_{НОМ} \quad (11.4)$$

$$S_{НОМ.Т.Т.} \geq S_{2P} \quad (11.5)$$

Трансформаторы напряжения выбираются по напряжению первичной цепи, классу точности и схеме соединения обмоток. Соответствие классу точности проверяют по нагрузке от подключенных измерительных приборов и РЗ. Должны выполняться неравенства:

$$U_{НОМ.Т.Н.} \geq U_{НОМ.УСТ} \quad (11.6)$$

$$S_{НОМ.Т.Н.} \geq S_{2P} \quad (11.7)$$

Выбираем разъединители на стороне ВН.

Таблица 11.1

Параметры	Условия	Расчетные данные
РНДЗ-110/1000У1		
$U_{ном}=110 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 110 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т.} \cdot K_3 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 132,8$ А

Выбираем выключатели на стороне ВН.

Таблица 11.2

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/1000 У2		
$U_{ном}=110 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 110 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т.} \cdot K_3 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 132,8$

		А
ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ III	III = 9,127 кА

Выбираем вводные выключатели.

Таблица 11.3

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/1600 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
ИНОМ = 1600 А	ИНОМ. ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 1226$ А
ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ III	III = 10,871 кА

Выбираем секционные выключатели.

Таблица 11.4

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
ИНОМ = 630 А	ИНОМ. ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 613$ А
ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ III	III = 10,871 кА

Выбираем выключатели на отходящих линиях к РП11.

Таблица 11.5

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
ИНОМ = 630 А	ИНОМ. ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 414,16$ А

ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ ИП	ИП = 10,871 кА
-----------------	----------------	----------------

Аналогично производим выбор выключателей к двигателям на других РП, устанавливаем выключатели ВВЭ-10-20/630УЗ для унификации проекта.

Выбираем выключатели к цеховым трансформаторам.

Таблица 11.6

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
ИНОМ = 630 А	ИНОМ. ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Г} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 157$ А
ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ ИП	ИП = 10,871 кА

Выбираем выключатели к двигателям на РП1.

Таблица 11.7

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
ИНОМ = 630 А	ИНОМ. ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = I_P = \frac{P_{НОМ.ДВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ} \cdot \cos \varphi} = 27,34$ А
ИНОМ.ОТК= 20 кА	ИНОМ. ОТК ≥ ИП	ИП = 10,871 кА

Аналогично производим выбор выключателей к двигателям на других РП, устанавливаем выключатели ВВЭ-10-20/630УЗ для унификации проекта.

Выбираем выключатели к цеховым трансформаторам.

Таблица 11.8

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630 У2		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
I _{НОМ} = 630 А	I _{НОМ.} ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Г} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 207,08$ А
I _{НОМ.ОТК} = 20 кА	I _{НОМ.} ОТК ≥ I _П	I _П = 10,871 кА

Выбираем трансформаторы тока на стороне 110 кВ.

Таблица 11.9

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТФЗМ 110-У1		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =110 кВ
I _{НОМ} = 300 А	I _{НОМ.} ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Г} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 133,84$ А
S _{2НОМ.} = 30 ВА	S _{2НОМ.} ≥ S _{2Р}	S _{2Р} = 30 ВА

В каждой цепи НН трансформатора ГГШ устанавливаем приборы.

Таблица 11.10

Прибор	Тип	Потребляемая мощность обмотки, В*А		Клас с точн ости
		тока	напряжен ия	
Амперметр	СА3 020	0,5	-	0,5

Ваттметр	CB3020	0,5	1,5	0,5
Счетчик активной и реактивной энергии	230 ART-00 CN	2,5	3,0	0,5

Учитывая данные таблицы 11.10 производим выбор трансформаторов тока на стороне НН трансформаторов ГПП. Результаты сводим в Таблицу 11.11.

Таблица 12.1

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТПЛК- 10-УЗ		
$U_{ном}=10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 1500 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 1226 \text{ А}$
$S_{2НОМ.} = 10 \text{ ВА}$	$S_{2НОМ.} \geq S_{2P}$	$S_{2P} = 3 \text{ ВА}$

Разъединители проверяются по всем вышеуказанным параметрам, кроме ИОТК и СОТК. Результат сравнения каталожных и расчетных данных сводим в таблицы:

Проверим разъединители на стороне ВН.

Таблица 12.1

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL – 10-20/1000 У2		
$U_{ном}=110 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 110 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 1000 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 132,8 \text{ А}$

кА I _{НОМ.ОТК} = 20	I _{НОМ.ОТК} ≥ I _П .	I _П =9,127 кА.
кА i _{ДИН} = 51 кА	i _{ДИН} ≥ i _У	i _У = 23,234 кА
кА I _{НОМ.Т.С} = 31,5	I _{НОМ.Т.С} ≥ I _П $\cdot \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{Т.С}}}$	I _П = 9,127 кА
кА ² *с I _{НОМ.Т.С} ² · t =2976,75	I _{НОМ.Т.С} ² · t ≥ I _П ² · t	I _П ² · t = 9,127 ² · 3,05 = 254,07 кА ² · с
t _{НОМ.Т.С} = 3с		t _П = t _{ПА} + t _{ПП} = 0,05 + 3 = 3,05с t _{ПП} = t _{ОТК} + t _{ЗАЩ} = 0 + 3 = 3с

Проверим выключатели на стороне ВН.

Таблица 12.2

Параметры	Условия	Расчетные данные
РНДЗ-110/1000У1		
U _{ном} =110 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} = 110 кВ
I _{НОМ} = 1000 А	I _{НОМ.} ≥ I _{МАХ}	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3 \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 132,8$ А
I _{НОМ.ОТК} = 20 кА	I _{НОМ.ОТК} ≥ I _П	I _П = 9,127 кА
кА i _{ДИН} = 51 кА	i _{ДИН} ≥ i _У	i _У = 23,234 кА
кА ² *с I _{НОМ.Т.С} ² · t =1200 кА ² · с	I _{НОМ.Т.С} ² · t ≥ I _П ² · t	I _П ² · t = 9,127 ² · 3,05 = 254,07 кА ² · с
t _{НОМ.Т.С} = 3с		t _П = t _{ПА} + t _{ПП} = 0,05 + 3 = 3,05с t _{ПП} = t _{ОТК} + t

		ЗАЩ = 0,08+3,5=3,58 с
--	--	-----------------------

Аналогично производим проверку выключателей к другим РП. На отходящих линиях к РП устанавливаем выключатели ВВЭ-10-20/630УЗ для унификации проекта.

Проверим выключатели отходящих линий

Таблица 12.6

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630У2		
$U_{ном}=10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} * U_{УСТ}} = 157$ А
$I_{НОМ.ОТК} = 20 \text{ кА}$	$I_{НОМ.ОТК} \geq I_{П}$	$I_{П} = 10,871 \text{ кА}$
$i_{ДИН} = 52 \text{ кА}$	$i_{ДИН} \geq i_{У}$	$i_{У} = 27,673 \text{ кА}$
$I_{НОМ.Т.С} \cdot t$ $НОМ.Т.С = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{НОМ.Т.С} \cdot t$ $НОМ.Т.С \geq I_{П} \cdot t_{П}$	$I_{П} \cdot t_{П} = 76,8$ кА ² ·с
$t_{НОМ.Т.С} = 3 \text{ с}$		$t_{П} = t_{ПА} + t_{ПП}$ $= 0,05 + 0,6 = 0,65 \text{ с}$

Проверим выключатели к двигателям на РП1.

Таблица 12.7

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630У2		
$U_{ном}=10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} \geq U_{УСТ}$	$U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$	$I_{НОМ.} \geq I_{МАХ}$	$I_{МАХ} = I_{П} = \frac{P_{НОМ.ДВ}}{\sqrt{3} * U_{УСТ} * \cos \varphi} = 27,34$ А
$I_{НОМ.ОТК} = 20$	$I_{НОМ.ОТК} \geq I_{П}$	$I_{П} = 10,871 \text{ кА}$

кА	III	
$i_{\text{ДИН}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У}}$	$i_{\text{У}} = 27,673 \text{ кА}$
$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ НОМ.Т.С = 1200 кА ² *с	$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ НОМ.Т.С $\geq I_{\text{П}} \cdot t$ П	$I_{\text{П}} \cdot t \text{ П} = 76,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$t \text{ НОМ.Т.С} = 3 \text{ с}$		$t \text{ П} = t \text{ ПА} + t \text{ ПП}$ $= 0,05 + 0,6 = 0,65 \text{ с}$

Аналогично производим выбор выключателей к двигателям на других РП, устанавливаем выключатели ВВЭ-10-20/630У3 для унификации проекта.

Проверим выключатели к цеховым трансформаторам.

Таблица 12.8

Параметры	Условия	Расчетные данные
ВВ/TEL-10-20/630У2		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}}} = 207,08$ А
$I_{\text{НОМ.ОТК}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.ОТК}} \geq \text{III}$	$\text{III} = 10,871 \text{ кА}$
$i_{\text{ДИН}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У}}$	$i_{\text{У}} = 27,673 \text{ кА}$
$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ НОМ.Т.С = 1200 кА ² *с	$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ НОМ.Т.С $\geq I_{\text{П}} \cdot t$ П	$I_{\text{П}} \cdot t \text{ П} = 76,8$ кА ² *с
$t \text{ НОМ.Т.С} = 3 \text{ с}$		$t \text{ П} = t \text{ ПА} + t \text{ ПП}$ $= 0,05 + 0,6 = 0,65 \text{ с}$

Проверим трансформаторы тока на стороне 110 кВ.

Таблица 12.9

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТФЗМ 110-У1		
$U_{\text{НОМ}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$U_{\text{УСТ}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} = 300 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}}} = 133,84$

		A
$i_{\text{ДИН}} = 62 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У}}$	$i_{\text{У}} = 23,234 \text{ кА}$
$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} = 432 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} \geq I_{\text{П}} \cdot t$	$I_{\text{П}} \cdot t$ П = 254 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$S_{2\text{НОМ.}} = 30 \text{ ВА}$	$S_{2\text{НОМ}} \geq S_{2\text{П}}$	$S_{2\text{П}} = 30 \text{ ВА}$

Проверим трансформаторы тока на стороне НН трансформаторов ГПП.

Таблица 12.10

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТПЛК- 10-УЗ		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} = 1500 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}}} = 1226$ А
$i_{\text{ДИН}} = 74,5 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У}}$	$i_{\text{У}} = 27,673 \text{ кА}$
$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} = 2187 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} \geq I_{\text{П}} \cdot t$	$I_{\text{П}} \cdot t$ П = 195 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$S_{2\text{НОМ.}} = 10 \text{ ВА}$	$S_{2\text{НОМ}} \geq S_{2\text{П}}$	$S_{2\text{П}} = 3 \text{ ВА}$

Проверим трансформаторы тока на отходящих линиях

Таблица 12.11

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТПЛК- 10-УЗ		
$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	$U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} = 200 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ.}} \geq I_{\text{МАХ}}$	$I_{\text{МАХ}} = \frac{S_{\text{НОМ.Т}} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{УСТ}}} = 118,09$ А
$i_{\text{ДИН}} = 74,5 \text{ кА}$	$i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{У}}$	$i_{\text{У}} = 27,673 \text{ кА}$
$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} = 268 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{НОМ.Т.С}} \cdot t$ $\text{НОМ.Т.С} \geq I_{\text{П}} \cdot t$	$I_{\text{П}} \cdot t$ П = 171 $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

S 2НОМ. =10 ВА	S 2НОМ ≥ S 2P	S 2P = 3 ВА
----------------	---------------	-------------

Проверим трансформатора тока в цепи секционного выключателя.

Таблица 12.12

Параметры	Условия	Расчетные данные
ТПЛК- 10-УЗ		
U _{ном} =10 кВ	U _{НОМ} ≥ U _{УСТ}	U _{УСТ} =10 кВ
I _{НОМ} = 800 А	I _{НОМ.} ≥ I _{МАХ}	$I_{MAX} = \frac{S_{НОМ.Т} \cdot K_3}{\sqrt{3} \cdot U_{УСТ}} = 613$ А
i _{ДИН} = 74,5 кА	i _{ДИН} ≥ i _У	i _У = 27,673 кА
I _{2НОМ.Т.С} · t НОМ.Т.С =4286,5 кА ² *с	I _{2НОМ.Т.С} · t НОМ.Т.С ≥ I _{2П} ·t П	I _{2П} ·t П = 195 кА ² *с
S 2НОМ. =10 ВА	S 2НОМ ≥ S 2P	S 2P = 0,5 ВА

Производим проверку на термическую стойкость к токам короткого замыкания сборных шин РУ 10 кВ:

$$B_K = I_K^2 \cdot (t_{отк} + T_a) = 10,871^2 \cdot (1,6 + 0,05) = 195 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \quad (12.6)$$

$$q_{MIN} = \frac{\sqrt{195 \cdot 10^6}}{91} = 153,5 \text{ мм}^2 \quad (12.7)$$

$$q_{РАСЧ} = 100 \cdot 6 = 600 \text{ мм}^2 \quad (12.8)$$

Получаем q_{MIN} ≥ q_{РАСЧ}.

Проверка однополосных шин сводится к расчету силы и напряжения в металле шин. Наибольшая расчетная сила действует на шину средней фазы при трехфазном коротком замыкании:

$$F_p = 1,76 \cdot i_y \cdot \frac{l}{a} \cdot 10^{-7} = 1,76 \cdot 27673^2 \cdot \frac{1,5}{0,2} \cdot 10^{-7} = 1010,8 \text{ Н} \quad (12.9)$$

l - длина пролета, м;

a - расстояние между осями фаз, м;

i_U - ударный ток короткого замыкания, А.

Максимальное расчетное механическое напряжение в металле шин:

$$\delta_{доп} = \frac{F_p \cdot L}{10 \cdot W} = \frac{1010,8 \cdot 1,5}{10 \cdot 10} = 15,16 \text{ Па} \quad (12.10)$$

где

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,6 \cdot 10^2}{6} = 10 \text{ см}^2 \quad (12.11)$$

момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной действию усилия.

Полученное сечение должно удовлетворить условию электродинамической стойкости шин:

$$\delta_P \leq \delta_{доп} \rightarrow 41 > 15,16 \quad (12.12)$$

Выбираем материал шин алюминиевый сплав АД0, $\delta_{доп} = 41$ Мпа.

Жесткие шины крепятся на опорных и проходных изоляторах, которые проверяются на разрушающее действие тока КЗ по условию:

$$F_P \leq F_{доп} = 0,6 F_{РАЗ} \quad (12.13)$$

где $F_{РАЗ}$ - разрушающая нагрузка на изгиб Н;

0,6 - коэффициент запаса.

Выбираем опорный изолятор типа ИО-10-УЗ, $F_{РАЗ} = 2000$ Н.

$$1010,8 < 0,6 \cdot 2000 = 1200 \quad (12.14)$$

Условие выполняется.

13. Расчёт релейной защиты и автоматики системы электроснабжения

13.1. Повреждения и нормальные режимы работы трансформаторов

К повреждениям трансформаторов относятся: междуфазные К.З. на выводах и в обмотках; однофазные К.З. (на землю и между ветками обмотки);

«пожар стали» сердечника.

К ненормальным режимам относятся:

- перегрузки, вызванные отключением, например, одного из параллельно работающих трансформаторов. Токи перегрузки относительно невелики, и поэтому допускается перегрузка в течение времени, определённого кратностью тока перегрузки по отношению к номинальному;

- возникновение токов при внешних К.З., представляющих собой опасность в основном из-за теплового действия на обмотки трансформатора, поскольку эти токи могут существенно превосходить номинальные. Длительное прохождение тока внешнего К.З. может возникнуть при неотключившемся повреждении на отходящем от трансформатора присоединении;

- недопустимое понижение уровня масла, вызываемое значительным понижением температуры и другими причинами.

Повреждения и ненормальные режимы предъявляют определённые требования к устройствам автоматического управления трансформаторами.

13.2. Расчёт токов коротких замыканий

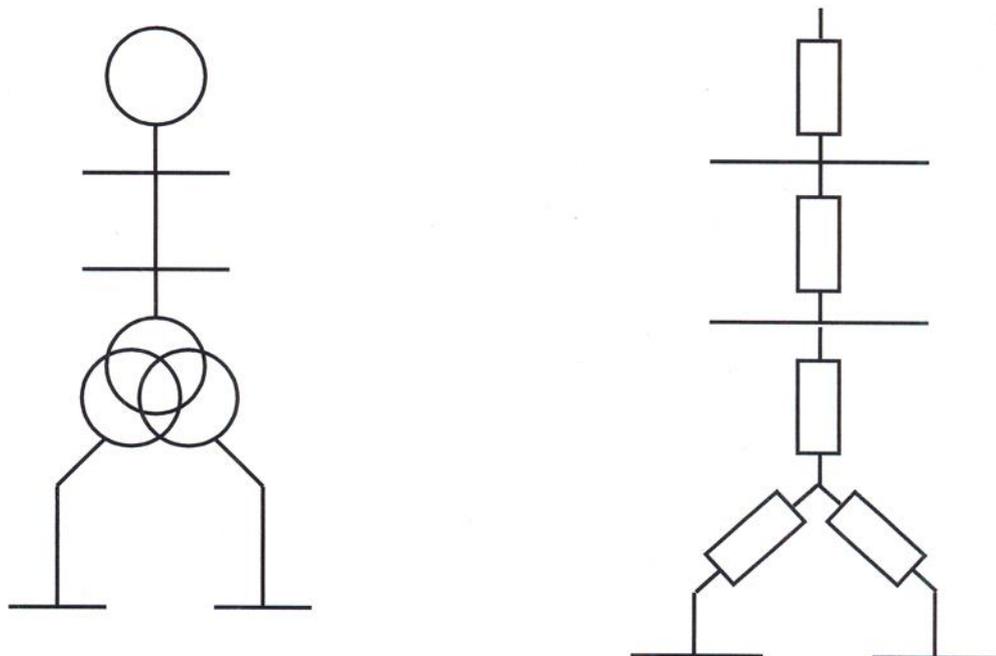


Рис. 13.2.1. Расчетная схема и схема замещения

Рассчитываем токи трехфазного КЗ при максимальном и минимальном режимах питающей системы для точек К1 и К2:

$$x_{с \text{ мах}} = 10 \text{ Ом}; x_{с \text{ мин}} = 20 \text{ Ом}; x_{с} = 15 \text{ Ом}; x_{в\text{л}} = 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ Ом},$$

где $x_{уд.вл} = 0,4 \text{ Ом/км}$; $L_{вл} = 5 \text{ км}$.

$$U_{к \text{ мах}} = 11,7\%; U_{к \text{ мин}} = 9,8\%; U_{к \text{ ср}} = 10,6 \%$$

Определяем сопротивления трансформатора:

$$x_{тр.мин} = \frac{U_{к \text{ мин}} \% \cdot U_{ср.вн} \cdot (-\Delta U_{рин} \%)}{100 \times S_{н.тр}} = \frac{9,8 \cdot 15 \cdot (-0,16)}{100 \times 25} = 36,58 \text{ Ом}$$

где $\Delta U_{рин} = \Delta U_{рин} \% / 100 = 16 / 100 = 0,16$ - диапазон регулирования напряжения на стороне ВН трансформатора (половина диапазона); $S_{н.тр}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА.

$$x_{тр.мак} = \frac{U_{к \text{ мах}} \% \cdot U_{ср.вн} \cdot (+\Delta U_{рин} \%)}{100 \times S_{н.тр}} = \frac{11,7 \cdot 15 \cdot (+0,16)}{100 \times 25} = 83,28 \text{ Ом},$$

$$x_{тр.ср} = \frac{U_{к \text{ ср}} \% \cdot U_{ср}^2}{100 \times S_{н.тр}} = \frac{10,6 \cdot 115^2}{100 \times 25} = 56,07 \text{ Ом.}$$

Определяем максимальный ток К.З.:

$$I_{\text{к max ВН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном ВН}}}{\sqrt{3}(x_{\text{с. max}} + x_{\text{тр. min}} + x_{\text{ВЛ}})} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(10 + 36,58 + 2)} = 1307 \text{ А.}$$

Приводим $I_{\text{к max ВН}}^{(3)}$ к стороне низкого напряжения:

$$I_{\text{к max НН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср ВН}}(1 - \Delta U_{\text{рин}})}{U_{\text{ср НН}}} \cdot I_{\text{к max ВН}}^{(3)} = \frac{115(1 - 0,16)}{6,3} \cdot 1307 = 20041 \text{ А.}$$

Определяем минимальные токи К.З.:

$$I_{\text{к min ВН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{max ВН}}}{\sqrt{3}(x_{\text{с min}} + x_{\text{ВЛ}} + x_{\text{тр. max}})} = \frac{126000}{\sqrt{3}(20 + 2 + 83,28)} = 691 \text{ А,}$$

где $U_{\text{max ВН}} = 126 \text{ кВ}$ [10, табл. В-1].

Приводим $I_{\text{к min ВН}}^{(3)}$ к стороне низкого напряжения:

$$I_{\text{к min НН}}^{(3)} = I_{\text{к min ВН}}^{(3)} \cdot \frac{U_{\text{max ВН}}}{U_{\text{НН}}} = 691 \cdot \frac{126}{6,3} = 13820 \text{ А.}$$

13.2. Дифференциальная токовая защита трансформатора

Дифференциальный принцип позволяет выполнить быстродействующую защиту трансформатора, реагирующую на повреждения в обмотках, на выводах и в соединениях с выключателями.

Дифференциальная (продольная) защита является основной для трансформаторов с напряжением высокой стороны не менее 3 кВ от междуфазных К.З.

По [22] Дифференциальная защита устанавливается на трансформаторах мощностью 6,3 МВА и выше, а также на трансформаторах 4 МВА при параллельной работе последних с целью селективного отключения повреждённого трансформатора. Защита действует на отключение всех выключателей трансформатора.

Результаты расчетов исходных величин для дифференциальной защиты

Таблица 13.3.1

Наименование величин	Численное значение для стороны	
	ВН	НН
Номинальный ток трансформатора, А $I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	125,5	1145,5
Коэффициент трансформации трансформаторов тока КТ	300/5	1500/5
Коэффициент схемы КСХ	$\sqrt{3}$	1
Схема соединения трансформаторов тока	Δ	Y
Вторичные токи в плечах защиты, А $I_H \cdot КСХ / КТ$	3,62	3,82

В качестве основной стороны выбираем сторону ВН.

Предварительный расчёт ведём для защиты с применением реле РНТ – 565.

1) Определяем первичный ток небаланса без учёта составляющей $I''_{нб}$:

$$I_{нб} = I'_{нб} + I'''_{нб},$$

$$I'_{нб} = K_{анер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)}_{кmax BH} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1307 = 130,7 \text{ А},$$

где Капер- коэффициент, учитывающий переходный режим; Капер = 1 для реле РНТ – 565;

Кодн- коэффициент однотипности; Кодн= 1;

$\varepsilon = 0,1$ - относительное значение тока намагничивания трансформаторов тока.

$$I''_{нб} = \Delta U \cdot I^{(3)}_{к max BH} = 0,16 \cdot 1307 = 209,12 \text{ А},$$

$$I_{нб} = 130,7 + 209,12 = 339,82 \text{ А}.$$

Первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от $I_{нб}$:

$$I_{с.з.} \geq K_{отс} \cdot I_{нб} = 1,3 \cdot 339,82 = 441,77 \text{ А},$$

где $K_{отс} = 1,3$ – коэффициент отстройки [10].

2) Определяем первичный ток срабатывания защиты по условию отстройки от броска тока намагничивания при включении ненагруженного трансформатора:

$$I_{с.з.} \geq K_{н} \cdot I_{ном.т} = 1,3 \cdot 125,5 = 163,2 \text{ А},$$

где $K_{н} = 1,3$ [11].

По расчётам п.1 и п.2, наибольший ток срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} \geq 441,77 \text{ А}.$$

$$K_{ч} = \frac{I^{(2)}_{к.з.}}{I_{с.з.}} = \frac{0,87 \cdot 1307}{441,77} = 2,57,$$

но так как $I_{с.з.} > 1,5 I_{ном.т.}$, то согласно [22], п.3.2.21.4 следует выполнять защиту реле ДЗТ-11.

Тормозную обмотку реле ДЗТ-11 включаем в плечо защиты со стороны низшего напряжения трансформатора для исключения влияния тормозной обмотки при К.З. в зоне действия защиты.

Ток срабатывания защиты выбирается только по условию отстройки от броска тока намагничивания. При этом коэффициент $K_{н} = 1,5$.

$$I_{с.з.} \geq 1,5 \cdot 131 = 197 \text{ А},$$

где 131 А соответствует $1,05 I_{ном.т.}$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{197 \cdot \sqrt{3}}{K_I} = \frac{197 \cdot \sqrt{3}}{60} = 5,7 \text{ А.}$$

$$I_{р.мин} = \frac{1,5 \cdot 691}{60} = 17,3 \text{ А.}$$

Проверяем чувствительность защиты:

$$K_{\chi} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.р.}} = \frac{17,3}{5,7} = 3,04$$

$K_{\chi} > 2$, значит, выполняем защиту на реле ДЗТ-11.

Определяем ток срабатывания основной стороны:

$$I_{ср.осн.} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{сх.}}{K_I} = \frac{197 \cdot \sqrt{3}}{60} = 5,7 \text{ А.}$$

Определяем расчётное число витков обмотки основной стороны:

$$\varpi_{осн.расч.} = \frac{F_{ср.}}{I_{ср.осн.}} = \frac{100}{5,7} = 17,5.$$

Округляем: $\varpi_{осн.} = 17$.

Расчётное число витков обмотки для неосновной стороны:

$$\varpi_{неосн.расч.} = \varpi_{осн.} \cdot \frac{I_{осн.}}{I_{ср.осн.}} = 17 \cdot \frac{3,62}{3,82} = 16,1.$$

округляем $\varpi_{неосн.} = 16$.

Определяем число витков тормозной обмотки:

$$\varpi_m \geq \frac{K_{отс} \cdot I_{нб.расч.} \cdot \varpi_{раб.расч.}}{I_{К.З.мах} \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

где $I_{нб.расч.} = I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб} = 339,82 + 8,12 + 209,12 = 557,06 \text{ А,}$

$$I'''_{нб} = \frac{\varpi_{неосн.расч.} - \varpi_{неосн.}}{\varpi_{неосн.расч.}} \cdot I_{К.З.мах} = \frac{16,1 - 16}{16,1} \cdot 1307 = 8,12 \text{ А,}$$

ω раб.расч. – расчётное число витков рабочей обмотки реле на стороне, где включена тормозная обмотка;

$I_{К.З.мах}$ – ток переходного К.З. в точке К2 (рис.18.2.1),

$\operatorname{tg} \alpha = 0,8$ – тангенс угла наклона к оси абсцисс касательной, проведённой

из начала координат к характеристике срабатывания реле, соответствующей минимальному торможению [11].

$$\varpi_m \geq \frac{1,3 \cdot 557,06 \cdot 16}{20041 \cdot 0,8} = 0,72.$$

Принимаем $\omega_T = 1$.

Проверяем чувствительность защиты при К.З. за трансформатором в зоне действия защиты, когда ток повреждения проходит только через трансформаторы тока стороны 110 кВ.

$$I_{p.\min} = \frac{1,5 \cdot I_{k.\min \text{ ВН}}^{(3)}}{K_I} = \frac{1,5 \cdot 691}{60} = 17,3 \text{ А}$$

$$I_{c.p.} = \frac{197 \cdot \sqrt{3}}{60} = 5,7 \text{ А}$$

$$K_v = \frac{17,3}{5,7} = 3,04 > 2.$$

13.4. Максимальная токовая защита трансформаторов ГПП с пуском по напряжению

Сначала определяем ток срабатывания для максимальной токовой защиты без пуска по напряжению и проверяем коэффициент чувствительности защиты.

$$I_{с.з.} = \frac{K_{отс.} \cdot K_{с.з.п.}}{K_B} \cdot I_{раб.мах}$$

где $K_{отс.} = 1,2$ – коэффициент отстройки;

$K_{с.з.п.} = 3$ – коэффициент самозапуска;

$K_B = 0,8$ – коэффициент возврата;

$I_{раб.мах}$ – максимальный рабочий ток трансформатора с учётом перегрузки.

$$I_{с.з.} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,8} \cdot 133,8 = 602,3 \text{ А.}$$

$$I_{с.р.} = \frac{602,3 \cdot \sqrt{3}}{60} = 17,4 \text{ А.}$$

$$I_{р.мин} = \frac{1,5 \cdot 691}{60} = 17,3 \text{ А.}$$

$$K_{\eta} = \frac{17,3}{17,4} = 0,99 < 1,5,$$

значит необходимо применить защиту с пуском по напряжению.

Для повышения чувствительности максимальной токовой защиты, устанавливаем типовой пусковой орган напряжения.

Ток срабатывания этой защиты:

$$I_{с.з.} = \frac{K_{отс.}}{K_B} \cdot I_{ном.} = \frac{1,2}{0,8} \cdot 131,2 = 196,8 \text{ А.}$$

По условию согласования с защитой секционного выключателя:

$$I_{с.з.} = K_{н.с.} \cdot I_{с.з.св} = 1,3 \cdot 98,4 = 127,92 \text{ А.}$$

$I_{с.з.св} = 98,4 \text{ А}$ – ток срабатывания максимальной токовой защиты с комбинированным пуском по напряжению на секционном выключателе 6 кВ.

Максимальное значение рабочего тока СВ принято равным $0,5 I_{ном.т.} = 65,6$ А (ток приведён к напряжению 110 кВ).

Выбираем $I_{с.з.} = 196,8$ А (большой).

$$I_{с.р.} = \frac{196,8 \cdot \sqrt{3}}{60} = 5,7 \text{ А.}$$

$$K_{\eta} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.р.}} = \frac{17,3}{5,7} = 3,04 > 1,5.$$

Выбираем напряжение срабатывания комбинированного пускового органа напряжения:

$$U_{с.з.} = \frac{0,8 \cdot U_{ном}}{(1,1 \cdot 1,2)} = 0,58 \cdot U_{ном} = 0,58 \cdot 6000 = 3480 \text{ В.}$$

Напряжение срабатывания реле РН-54/160:

$$U_{с.р.} = \frac{U_{с.з.}}{n_{\eta}} = \frac{3480}{(6000 / 100)} = 58 \text{ В,}$$

где n_{η} – коэффициент трансформации трансформатора напряжения, установленного на шинах 6 кВ.

Напряжение срабатывания фильтра реле: $U_{с.р.} = 0,06 \cdot U_{2ном.} = 6 \text{ В.}$

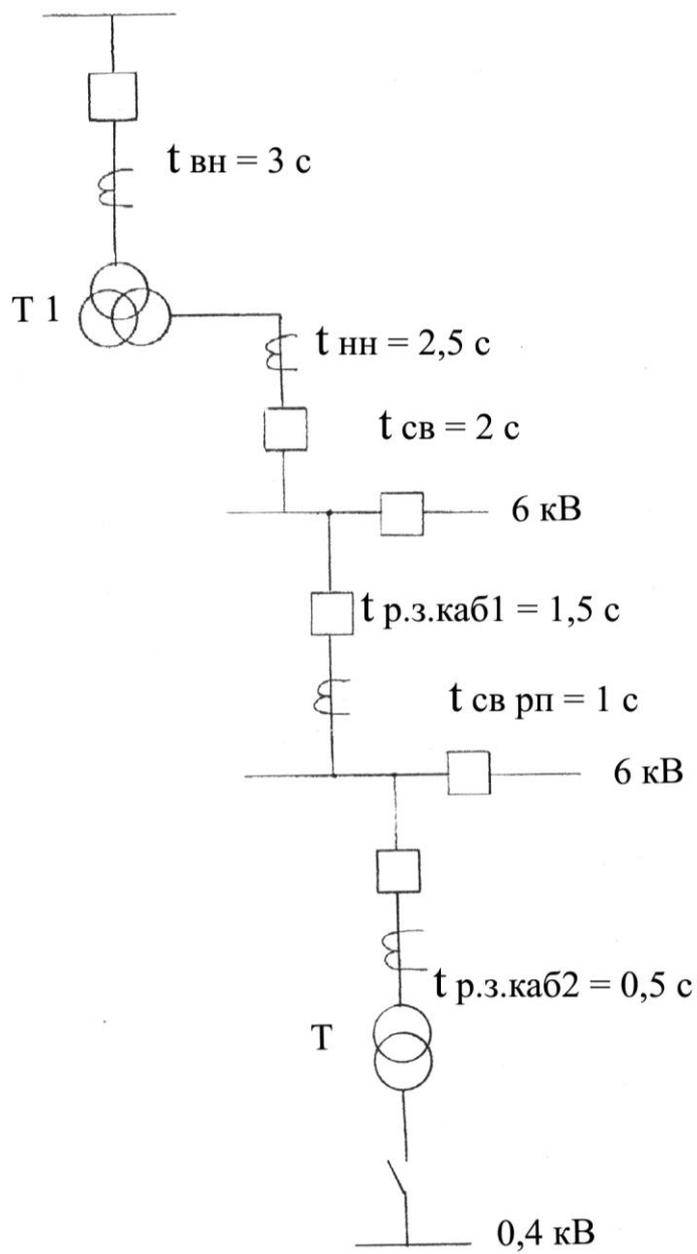


Рис. 13.4.1. Расчет времени срабатывания МТЗ

13.4. Защита от перегрузки трансформаторов ГПП

Силовые трансформаторы независимо от системы охлаждения допускают аварийную перегрузку. Защита от перегрузки выполняется с действием на сигнал.

Ток срабатывания защиты отстраивается от номинального тока трансформатора и определяется по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{K_{отс.}}{K_B} \cdot I_{ном.т.} = \frac{1,05}{0,8} \cdot 131,2 = 172,2 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.} \cdot \sqrt{3}}{K_I} = \frac{172,2 \cdot \sqrt{3}}{60} = 4,97 \text{ А.}$$

Время срабатывания защиты принимаем равным 9с [11].

18.6. Газовая защита трансформаторов

Для защиты от внутренних повреждений (витковых замыканий в обмотках, сопровождающихся выделением газа) и понижения уровня масла на трансформаторах мощностью 6300 кВ·А и выше. Применение газовой защиты является обязательным на внутрицеховых трансформаторах мощностью 630 кВ·А и выше независимо от наличия других быстродействующих защит.

Газовую защиту осуществляют с помощью поплавковых, лопастых и чашечных газовых реле. Газовая защита является единственно защитой трансформаторов от «пожара стали» магнитопровода, возникающего при нарушении изоляции между листами стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе успешно решена задача проектирования системы электроснабжения установок по переработке нефти.

Рассчитаны токи короткого замыкания, выбрано и проверено силовое

оборудование и коммутационная аппаратура, произведен расчет релейной защиты.

Библиографический список

1. В.И. Бенерман, Н.Н. Ловицкий Проектирование силового электрооборудования промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1967.
2. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «электрические станции и подстанции систем электроснабжения» для студентов специальности 100400 / сост. В.Д. Самсонов, А.Ф. Засоркин и др. - Куйбышев: Куйбышевский политехнический институт, 1988.
3. Справочная книга для проектирования электроосвещения под ред. Г.М. Кнорринга – Л.: Энергия, 1976.
4. А.Л. Федоров, Л.Е. Старкова. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Б.А. Князевский, Б.Ю.Липкин. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая Школа, 1979.
6. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т., Т1 Электроснабжение. под общ.ред. А.А. Фёдорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
7. Ю.Л. Мукосеев. Электроснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1973.
8. Л.Д.Рожкова, В.С.Козулин. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
9. Б. Н. Неклепаев. Электрическая часть электростанций и подстанций: Учебник для ВУЗов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

- 10.М. А. Шабад. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. 3-е изд. перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отд-ние, 1985.
- 11.Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Метод. указ. к курс. проект. / Самар.гос.техн.университет; Сост. Е.А. Задкова.
- 12.В.Н. Вавин. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор.-М.: Энергоатомиздат, 1982.
- 13.Методические указания по экономической части дипломного проекта для студентов специальности 0303/сост. П.С. Уханов, Л.Д. Маслов. – Куйбышев.: КПТИ, 1985.
- 14.П.А. Долин. Справочник по технике безопасности.-М.: Энергия, 1973.
- 15.Светотехника 4-84 Э.Л. Гиндин, Ю.Б. Оболенцев. Освещение электротехнических помещений.
- 16.Указания по проектированию компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий. – М.: Тяжпромэлектропроект, 1984.
- 17.В.В. Кривенков, В.Н. Новелла. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения.-М.: Энергоатомиздат, 1985.
- 18.Методические указания к курсовому проекту по электроснабжению промышленных предприятий по специальности 0303/сост. Ю.В. Калмыков, А.ф. Засоркин. – Куйбышев.: КПТИ, 1987.
- 19.Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. под общ. ред. А.А. Фёдорова, Т2 Электрооборудование. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
- 20.Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 21.Чтение схем и чертежей электроустановок: практическое пособие для ПТУ – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990.

22.Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд.; перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

23.А.Н. Глазков, А.Н. Парфёнов. Электрооборудование нефтеперерабатывающих заводов.- М.: Машиностроение, 1971.