

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 «Электроснабжение производства сварки на платформе ПАП В-О»

Студент(ка)

И.С. Гимадеев

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

О.В. Самолина

(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**

Бакалаврская работа включает в себя расчет электрических нагрузок, выбор мощности и числа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций, выбор схемы внутрицехового электроснабжения, расчёт токов короткого замыкания, выбор мощности и числа трансформаторов на ГПП, расчёт короткого замыкания трансформаторов ГПП, выбор оборудования для главной понизительной подстанций, расчёт заземления и молниезащиты проектируемого производства.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объемом 53 листов, шести чертежей формата А1.

## Содержание

Введение.....	3
1 Краткая характеристика объекта проектирования .....	5
2 Расчет электрических нагрузок по цеху.....	6
2.1 Расчёт электрических нагрузок от потребителя.....	6
2.2 Расчет суммарной нагрузки для цеха без учёта освещения.....	7
3 Светотехнический расчет .....	9
3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения.....	9
3.2 Определение суммарных нагрузок по цеху.....	10
4 Выбор числа и мощности трансформаторов.....	15
5 Расчёт токов короткого замыкания. ....	23
6 Расчёт ГПП.....	26
7 Расчет токов короткого замыкания для ГПП .....	29
8 Выбор оборудования.....	32
8.1 Выбор высоковольтных выключателей.....	32
8.2 Выбор трансформаторов тока.....	35
8.3 Выбор измерительного трансформатора напряжения.....	36
8.4 Выбор жёстких шин на стороне 10 кВ.....	37
8.5 Выбор опорных и проходных изоляторов 10 кВ.....	40
9 релейная защита.....	42
10 Заземление подстанции.....	44
11 Молниезащита подстанции.....	48
Заключение.....	51
Список используемых источников.....	52

## Введение

При проектировании системы электроснабжения любого современного предприятия предъявляются множество различных требований такие как:

- Экономичность;
- Надежность электроснабжения;
- Безопасность и удобство эксплуатации;
- Качество электрической энергии;
- Гибкость системы (возможность дальнейшего развития);
- Максимальное приближение источников питания к электроустановкам потребителей;

При соблюдении всех вышеперечисленных требований, в теории мы можем получить недорогую, но в тоже время энергоэффективную и удобную систему электроснабжения.

На любом производстве, из-за проблем в экономике, вопрос о экономической составляющей системы электроснабжения встает особенно остро.

Так как процесс сварки крайне отрицательно влияет на электроэнергию, то следует принимать меры для достижения более высокого качества электроэнергии. Повысить качество электроэнергии можно следующими путями:

- применения повышенных напряжений в питающих и распределительных сетях и приближением источников питания к электроприемникам;
- уменьшением реактивного сопротивления элементов схемы от источников питания до электроприемников с резкопеременной нагрузкой; включением на параллельную работу вторичных обмоток трансформаторов питающих резкопеременную нагрузку;
- применением глубоких вводов напряжением 35 кВ и выше для питания крупных дуговых электропечей, главных электроприводов

прокатных станов, преобразовательных установок большой мощности или питания таких электроприемников от отдельных линий непосредственно от энергосистемы, ГПП или ПГВ;

- применением симметрирующих устройств, фильтров высших гармоник, быстродействующих синхронных компенсаторов для выравнивания графиков электрических нагрузок и осуществлением других мероприятий, уменьшающих вредное воздействие электроприемников на системы электроснабжения.

Цель: Проектирование надёжной системы электроснабжения проектируемого производства.

Для достижение данной цели необходимо выполнить следующие задачи.

Задачи:

- 1) Выполнить расчёт электрических нагрузок;
- 2) Выбрать подходящие светильники;
- 3) Выполнить расчёт и выбор цеховой трансформаторной подстанций;
- 4) Выполнить расчёт короткого замыкания для цеховой трансформаторной подстанций;
- 5) Выполнить расчёт и выбор трансформаторов для ГПП;
- 6) Выполнить расчёт короткого замыкания для трансформаторной подстанций ГПП;
- 7) Выполнить выбор необходимого оборудования для трансформаторов ГПП;
- 8) Выполнить выбор релейной защиты;
- 9) Выполнить расчёт заземления подстанций;
- 10) Выполнить расчёт молниезащиты подстанций.

## 1 Краткая характеристика объекта проектирования

Производство сварки автомобилей на платформе В0 предназначено для сваривания мелких деталей кузова и непосредственно самого кузова автомобилей альянса Renault – Nissan и Lada.

В производстве сварки предусматривается наличие производственных, учебных, служебных и бытовых помещений.

Электроснабжение оборудования производства осуществляется от трансформаторной подстанции, которая находится внутри производственного корпуса. ТП подключена к ГПП установленной в 4 км. от неё, напряжение 10 кВ. Потребители цехов производства сварки относятся к 2 категории надежности электроснабжения. Режим работы основного производства сварки двухсменный. Основные потребители – сварочные клещи.

Размеры здания А x В x Н=48 x 30 x 9м.

Перечень электрооборудования производства сварки представлен в таблице 1.

Мощность электропотребления ( $P_{\text{пасп}}$ ) указана для одного электроприёмника.

Таблица 1- Перечень электрооборудования производства сварки

Количество шт.	Наименование электрооборудования	$P_{\text{пасп}}$ Мощность, кВт	Примечания
175	Сварочные Клещи ХЛА	25	ПВ = 50%
225	Сварочные Клещи ХМА	36	ПВ = 50%
55	Сварочные Клещи ХРА	45	ПВ = 50%
12	Стационарные сварочные машины Теспа	16	ПВ = 50%
3	Вентилятор приточной	5,50	
3	Вентилятор вытяжной	5	

4	Галь	0,5	

## 2 Расчёт электрических нагрузок по производству

### 2.1 Расчёт электрических нагрузок от потребителя

- Все электроприемники приводим к ПВ = 100%
- Номинальная мощность групп электроприёмников  $P_{НОМ}$ , кВт:

$$P_H = S_p \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{ПВ};$$

$$P_H = 25 \cdot 0,35 \cdot \sqrt{0,5} = 6,18 \text{ кВт.}$$

- Номинальная мощность групп электроприёмников  $P_{НОМ}$ , кВт:

$$P_{НОМ} = P_{пасп} \cdot n, \text{ кВт};$$

$$P_{НОМ} = 6,18 \cdot 175 = 1081,5 \text{ кВт.}$$

- Среднесменная активная мощность  $P_{см}$ , кВт:

$$P_{см} = P_{НОМ} \cdot K_u, \text{ кВт.}$$

- Коэффициент использования  $K_u$  :

$$K_u = 0,3;$$

$$P_{см} = 1081,5 \cdot 0,3 = 324,45 \text{ кВт.}$$

- Среднесменная реактивная мощность  $Q_{см}$ , кВар:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \text{ кВар.}$$

- Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  :

$$\cos\varphi = 0,35.$$

- Тангенс потерь  $\operatorname{tg} \varphi$  :

$$\operatorname{tg}\varphi = 2,58;$$

$$Q_{см} = 324,45 \cdot 2,58 = 837,08 \text{ кВар.}$$

Остальные электрические нагрузки рассчитываются по примеру Расчет сварочных клещей модели XLA.

### 2.2 Расчет суммарной нагрузки для производства без учёта освещения

- Номинальная установленная мощность:

$$m = P_{НОМ \text{ макс}} / P_{НОМ \text{ мин}};$$

$$m = 45 / 16 = 2,81.$$

- Среднесменная активная мощность  $P_{см}$ , кВт:

$$P_{см} = 525 + 972 + 297 + 6,23 = 1800,23 \text{ кВт.}$$

- Среднесменная реактивная мощность  $Q_{см}$ , кВар:

$$Q_{см} = 908,25 + 1681,56 + 513,81 + 10,77 = 3114,39 \text{ кВар.}$$

- Коэффициент использования  $K_u$ :

$$K_u = P_{см} / P_{ном};$$

$$K_u = 1800,23 / 110,33 = 16,31.$$

- Средневзвешенный коэффициент потерь (тангенс потерь)  $\text{tg}\varphi$ :

$$\text{tg}\varphi = Q_{см} / P_{см} = 2783,52 / 1078,9 = 2,58.$$

- Средневзвешенный коэффициент мощности соответствующий  $\text{tg}\varphi$ :

$$\cos = 0,35.$$

- Эффективное число электроприёмников:

$$n_э = (\sum P_n)^2 / \sum P_n = 12933517,5 / 28637,46 = 452.$$

- Коэффициент максимума  $K_{\text{макс}}$ :

$$K_p = 0,9.$$

- Максимальная активная мощность  $P_{\text{макс}}$ , кВт:

$$P_p = P_{см} \cdot K_p, \text{ кВт};$$

$$P_p = 1078,9 \cdot 0,9 = 971,01 \text{ кВт.}$$

- Максимальная реактивная мощность  $Q_p$ , кВар:

Так как  $n_э > 10$ , то

$$Q_p = Q_{см};$$

$$Q_p = 2783,52 \text{ кВар.}$$

- Максимальная полная мощность  $S_p$ , кВа:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2};$$

$$S_p = \sqrt{971,01^2 + 2783,52^2} = 2948,02 \text{ кВа.}$$

- Максимальный ток  $I_p$ , А:

$$I_p = S_{\text{макс}} / (\sqrt{3} \cdot 380);$$

$$I_p = 2948,02 / (\sqrt{3} \cdot 380) = 4535,41 \text{ А.}$$



Все полученные значения вносим в таблицу 2.

### 3 Светотехнический расчёт

#### 3.1 Расчёт электрических нагрузок освещения

В учебных мастерских высота 9 метров. Выбираем светильники LZ 236.  
Для данного цеха нормируемая освещенность принимается 200 лк.

- Определяем площадь помещения:

$$S = a \cdot b = 300 \cdot 100 = 30000 \text{ м}^2.$$

где а-длина помещения, b- ширина помещения.

- Определяем коэффициент запаса:

Принимаем  $K_3 = 1,5$  при внутреннем и наружном освещении при сильном загрязнении.

- Определяем коэффициент отражения потолка, стен и пола.

потолок 50%          стены 30%          пол 10%

- Определяем индекс помещения:

$$I = S / ((H_1 - H_2) \cdot (a + b)) = 3000 / ((12-1) \cdot (300+100)) = 6,81.$$

- Находим количество светильников:

$$N = (E \cdot S \cdot K_3) / (n \cdot \eta \cdot \Phi_{л});$$

$$N = 200 \cdot 30000 \cdot 1,5 / 0,91 \cdot 2 \cdot 3250 = 2270 \text{ шт.}$$

- Активная нагрузка освещения  $P_{осв}$ , кВт:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л};$$

$$P_{осв} = 2270 \cdot 2 \cdot 0,036 = 163,44 \text{ кВт};$$

где  $P_{л}$  – мощность одной лампы.

- Реактивная мощность осветительной нагрузки  $Q_{осв}$ , кВар:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg}\varphi;$$

при  $\cos\varphi = 0,85$ ,  $\text{tg}\varphi = 0,63$ ;

$$Q_{осв} = 163,44 \cdot 0,63 = 102,94 \text{ кВар.}$$

### 3.2 Определяем суммарную электрическую нагрузку по цеху

- Активная мощность  $P$ , кВт:

$$P = \sum P_{\text{см}} + P_{\text{осв}}, \text{ кВт};$$

$$P = 1078,9 + 163,44 = 1242,34 \text{ кВт.}$$

- Реактивная мощность  $Q$ , кВар:

$$Q = \sum Q_{\text{см}} + Q_{\text{осв}}, \text{ кВт};$$

$$Q = 2783,52 + 102,94 = 2886,46 \text{ кВт.}$$

- Определяем полную суммарную нагрузку по цеху:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{п}\Sigma}^2 + Q_{\text{q}\Sigma}^2};$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{1242,34^2 + 2886,46^2} = 3142,46 \text{ кВА.}$$

- Суммарный расчётный ток:

$$I_{\text{р}\Sigma} = S_{\text{р}\Sigma} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{n}});$$

$$I_{\text{р}\Sigma} = 3142,46 / \sqrt{3} \cdot 380 = 4,78 \text{ А.}$$

Таблица 2 - Расчёт электрических нагрузок ЭП напряжением до 1 кВ

Наименование ЭП	$P_{ном}$	Кол -во	$P_{из}$	$K_u$	$\cos \varphi$	$tg\varphi$	$m$	$P_{срсм}$	$Q_{срсм}$	$N_3$	$K_{ма}/K_{мп}$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
ШР 1 ССМ Теспа	3,95	6	27,3	0,3	0,35	2,58	< 3	8,19	21,13	22	1,28/1	10,48	21,13	23,58	34,17
Сварочные клещи ХМА	11,13	16	178,08	0,3	0,35	2,58		53,42	137,82			68,37	137,82	153,84	222,95
Итого по ШР1	15,08	23	205,38					61,61	158,95			78,85	158,95	177,42	258,12
ШР 2 Сварочные клещи ХМА	11,13	23	255,99	0,3	0,35	2,58	< 3	76,8	198,14	23	1,28/1	98,3	198,14	221,18	320,55
ШР 3 Сварочные клещи ХМА	11,13	23	255,99	0,3	0,35	2,58	< 3	76,8	198,14	23	1,28/1	98,3	198,14	221,18	320,55
ШР4 Сварочные клещи ХРА	3,95	5	19,75	0,3	0,35	2,58	> 3	5,9	15,22	35	1,19/1	7,02	15,22	16,76	24,28
Сварочные клещи ХЛА	6,18	32	197,76	0,3	0,35	2,58		59,32	153,06			70,6	153,06	168,55	244,27
Тельфер	0,5	2	1	0,15	0,8	0,75		0,15	0,11			0,17	0,11	0,2	0,28

Продолжение таблицы 2

Итого по ШР4	10,63	39	218,51					65,37	168,39			77,79	168,39	185,51	268,83
ШР5 Сварочные клещи ХРА	3,95	15	59,25	0,3	0,35	2,58	< 3	17,77	45,84	46	1,16/1	20,61	45,84	50,26	72,84
Сварочные клещи ХМА	11,13	20	222,6	0,3	0,35	2,58		66,78	172,3			77,46	172,3	188,91	273,78
Сварочные клещи ХЛА	6,18	11	67,88	0,3	0,35	2,58		20,36	52,54			23,62	52,54	57,6	83,47
Итого по ШР5	21,26	46	349,73					104,9 1	270,68			121,6	270,68	296,77	430,09
ШР6 Сварочные клещи ХЛА	6,18	21	129,78	0,3	0,35	2,58	< 3	38,93	100,45	21	1,28/1	49,83	100,45	112,13	177
ШР 7 ССМ Теспа	3,95	6	27,3	0,3	0,35	2,58	< 3	8,19	21,13	22	1,28/1	10,48	21,13	23,58	34,17
Сварочные клещи ХМА	11,13	16	178,08	0,3	0,35	2,58		53,42	137,82			68,37	137,82	153,84	222,95
Итого по ШР7	15,08	23	205,38					61,61	158,95			78,85	158,95	177,42	258,12
ШР 8 Сварочные клещи ХМА	11,13	23	255,99	0,3	0,35	2,58	< 3	76,8	198,14	23	1,28/1	98,3	198,14	221,18	320,55

Продолжение таблицы 2

ШР 9 Сварочные клещи ХМА	11,13	23	255,99	0,3	0,35	2,58	< 3	76,8	198,14	23	1,28/1	98,3	198,14	221,18	320,55
ШР10 Сварочные клещи ХРА	3,95	5	19,75	0,3	0,35	2,58	> 3	5,9	15,22	35	1,19/1	7,02	15,22	16,76	24,28
Сварочные клещи ХЛА	6,18	32	197,76	0,3	0,35	2,58		59,32	153,06			70,6	153,06	168,55	244,27
Тельфер	0,5	2	1	0,15	0,8	0,75		0,15	0,11			0,17	0,11	0,2	0,28
Итого по ШР10	10,63	39	218,51					65,37	168,39			77,79	168,39	185,51	268,83
ШР11 Сварочные клещи ХРА	3,95	15	59,25	0,3	0,35	2,58	< 3	17,77	45,84	46	1,16/1	20,61	45,84	50,26	72,84
Сварочные клещи ХМА	11,13	20	222,6	0,3	0,35	2,58		66,78	172,3			77,46	172,3	188,91	273,78
Сварочные клещи ХЛА	6,18	11	67,88	0,3	0,35	2,58		20,36	52,54			23,62	52,54	57,6	83,47
Итого по ШР11	21,26	46	349,73					104,9 1	270,68			121,6	270,68	296,77	430,09
ШР12 Сварочные клещи ХЛА	6,18	21	129,78	0,3	0,35	2,58	< 3	38,93	100,45	21	1,28/1	49,83	100,45	112,13	177
ШР13 Вентилятор приточной	5,5	3	16,5	0,65	0,8	0,75	< 3	10,7	8,04	6	1,23/1,1	13,16	8,84	11,94	17,3
Вентилятор вытяжной	5	3	15	0,65	0,8	0,75		9,75	7,31			11,99	8,04	14,43	20,92
Итого по ШР13	10,5	6	31,5					20,45	15,35			25,15	16,88	26,37	38,22

Продолжение таблицы 2

ШР 14 Сварочные клещи XLA	6,18	11	67,98	0,3	0,35	2,58	< 3	20,39	52,61	37	1,19/1	24,26	52,61	57,93	83,95
Сварочные клещи ХМА	11,13	20	222,6	0,3	0,35	2,58		66,78	172,29			79,46	172,29	187,73	272,07
Сварочные клещи ХРА	3,95	6	23,4	0,3	0,35	2,58		7,02	18,11			8,35	18,11	19,93	28,88
Итого по ШР 14	21,26	37	313,98					94,19	243,01			112,07	244,71	265,59	384,9
ШР 15 Сварочные клещи ХРА	3,95	9	35,55	0,3	0,35	2,58	< 3	10,66	27,51	44	1,16/1	12,36	27,51	30,1	43,62
Сварочные клещи ХМА	11,13	15	166,95	0,3	0,35	2,58		50,08	129,21			58,09	129,21	141,67	205,31
Сварочные клещи XLA	6,18	20	123,6	0,3	0,35	2,58		37,08	95,66			44,12	95,66	105,34	152,66
Итого по ШР 15	21,26	44	326,1					97,82	252,38			114,57	252,38	277,11	401,59
ШР 16 Сварочные клещи ХМА	11,13	25	278,25	0,3	0,35	2,58	< 3	83,47	215,36	41	1,19/1	99,32	215,36	237,18	343,73
Сварочные клещи XLA	6,18	16	98,88	0,3	0,35	2,58		29,66	76,53			35,29	76,53	84,27	122,13
Итого по ШР 16	17,31	41	377,13					113,1 3	291,89			134,61	291,89	321,45	465,86
Освещение								163,4 4	102,94			163,44	102,94	193,12	279,88
Итого по КТП			3879,4					1337, 84	3095,0 7			1599,2 9	3098,3	3515,02	5120,73

## **4 Выбор числа и мощности трансформаторных подстанций с учётом компенсации реактивной мощности**

### **4.1 Предварительный расчет мощности и числа трансформаторов**

Предварительный выбор трансформатора осуществляется по суммарной расчетной активной мощности цеха  $P_{\Sigma}=1599,29\text{кВт}$ .

Потребители относятся ко 2 и 3 категории надежности электроснабжения. Установка одного трансформатора возможна только при наличии резервной линий питания. Исходя из данных условий принимаем два варианта установки цеховых трансформаторов.

Исходные данные:

$$P_{\Sigma} = 1599,29\text{кВт}, Q_{\Sigma} = 3098,3 \text{ кВар}, S_{\Sigma} = 3515,02\text{кВА}.$$

Принимаем количество трансформаторов равным 1, а также коэффициент загрузки принимаем равным 0,7.

Рассчитаем мощность трансформатора:

$$S = P_{p\Sigma} / (K_3 \cdot N_T) = 1599,29 / (0,7 \cdot 1) = 1776,98 \text{ кВА}.$$

Выбираем трансформатор ТМЗ – 2500/10/0,4 + резервный кабель.

Характеристики трансформатора:

$$U_K = 6\%, P_{K3} = 26 \text{ кВт}, \Delta P_{xx} = 3,75 \text{ кВт}, I_{xx} = 0,8\%, S_H = 2500\text{кВа}, K_3 = 0,7.$$

Рассчитаем мощность трансформатора:

$$S = P_{p\Sigma} / (K_3 \cdot N_T) = 1599,29 / (0,7 \cdot 2) = 860,46 \text{ кВА}.$$

В рассматриваемом производстве преобладают электропотребители 2 группы, значит выбираем к рассмотрению трансформаторную подстанцию с двумя трансформаторами ТМЗ – 1000/10/0,4

Характеристики трансформатора:

$$U_K = 5,5\%, P_{K3} = 12,2 \text{ кВт}, \Delta P_{xx} = 1,9 \text{ кВт}, I_{xx} = 1,7\%, S_H = 1000\text{кВа}, K_3 = 0,7.$$

**Рассмотрим вариант с двумя трансформаторами ТМЗ – 1000/10/0,4**

- Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}) = 2 \cdot (1,9 + 0,7^2 \cdot 12,2) = 19,41 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (I_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}) \cdot \frac{S_n}{100} = 2 \cdot (1,7 + 0,7^2 \cdot 12,2) \cdot \frac{1000}{100} = 190,2 \text{ кВар.}$$

где,  $N_T$  - количество трансформаторов;

$\Delta P_T$  - потери активной мощности одного трансформатора, кВт;

$\Delta Q_T$  - потери реактивной мощности одного трансформатора, кВар.

- Расчетная нагрузка цеха с учётом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T;$$

$$P_p = 1599,29 + 19,41 = 1618,41 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T;$$

$$Q_p = 3098,3 + 190,2 = 3288,5 \text{ кВар.}$$

- Реактивная мощность в часы минимума нагрузки для предприятия:

$$Q_{\min} = Q_p \cdot 0,5 = 3288,5 \cdot 0,5 = 1644,25 \text{ кВар.}$$

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q_{\text{э1}}' = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}};$$

$$Q_{\text{э1}}'' = \alpha \cdot P_p;$$

$$\alpha = 0,28; Q_{\text{сд}} = 0;$$

$$Q_{\text{э1}}' = 3288,5 - 0,7 \cdot 0 = 3288,5 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{э1}}'' = 0,28 \cdot 1618,41 = 453,15 \text{ кВар.}$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений:  $Q_{\text{э1}} = 453,15 \text{ кВар.}$

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q_{\text{э2}}' = Q_{\min} + Q_k;$$

$$Q_{\text{э2}}'' = Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}});$$

$$Q_k = 0;$$

$$Q_{\text{э2}}' = 1644,25 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{э2}}'' = 1644,25 - (3288,5 - 453,15) = -1191,1 \text{ кВар.}$$



Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений:  $Q_{\varepsilon 2} = 1644,25$  кВар.

- Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку макс}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1};$$

$$Q_{\text{ку мин}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\varepsilon 2};$$

$$Q_{\text{ку макс}} = 1,1 \cdot 3288,5 - 453,15 = 3164,2 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{ку мин}} = 3288,5 - 3288,5 = 0 \text{ кВар}.$$

Все КУ должны быть регулируемы. Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{ЭН}} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma});$$

$$Q_{\text{ЭН}} = 453,15 - (3288,5 - 3098,3) = 262,95 \text{ кВар}.$$

- Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_{\text{HT}}^2)^2 - P_{p\Sigma}^2};$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 1599,29^2} = 47,65 \text{ кВар}.$$

- Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{\text{кун}} = Q_{p\Sigma} - Q_T;$$

$$Q_{\text{кун}} = 3098,3 - 47,65 = 3050,65 \text{ кВар}.$$

- Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10кВ:

$$Q_{\text{кув}} = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{кун}};$$

$$Q_{\text{кув}} = 3164,2 - 3050,65 = 113,55 \text{ кВт}.$$

Затраты:

Затраты на установку КТП с трансформатором ТМЗ – 1000/10/0,4;

$$Z_{\text{кТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{T}};$$

где,  $E$  – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП;

$K_{\text{ТП}}$  = стоимость одного трансформатора = 630 тыс.руб.

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = C_0 \cdot \Delta P_{\text{хх}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}};$$

где,  $C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь;

$C_0$  – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора;

$$C_0 = \left( \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_{\text{р}};$$

$$C = \left( \frac{\alpha}{T_{\text{М}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau.$$

$\alpha$  – основная ставка двухставочного тарифа.  $\alpha = 36$  руб/кВт;

$\beta$  – дополнительная плата за один кВт час потребляемой электроэнергии;

$\beta = 0,9$  руб/кВт час;  $T_{\text{р}}$  – время работы трансформатора в году;  $T_{\text{р}} = 8760$ ч;

$T_{\text{М}}$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год;

$T_{\text{М}} = 4500$ ч;  $\tau$  – время максимальных потерь.

$$\tau = (0,124 + (4500/10000))^2 \cdot T_{\text{р}} ;$$

$$\tau = (0,124 + (4500/10000))^2 \cdot 8760 = 2,886 \cdot 10^3 ;$$

$$C_0 = (36/4500 + 0,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 8760 = 148,92 \text{ руб/кВт год};$$

$$C = (36/4500 + 0,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 49,066 \text{ руб/кВт год} ;$$

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = 148,52 \cdot 1,9 + 49,066 \cdot 0,7^2 \cdot 12,2 = 282,18 + 383,1 = 665,28 \text{ тыс. руб};$$

$$Z_{\text{кТ}} = 0,223 \cdot 630 \cdot 2 + 665,28 \cdot 2 = 280,98 + 1330,56 = 1611,54 \text{ тыс.руб.}$$

### **Рассмотрим вариант с одним трансформатором ТМЗ – 2500/10/0,4**

- Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{T}} = N_{\text{T}} \cdot (\Delta P_{\text{хх}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}}) = 1 \cdot (3,75 + 0,7^2 \cdot 26) = 24,81 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = N \cdot I_{\text{хх}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{S_n}{100} = 1 \cdot 0,8 + 0,7^2 \cdot 26 \cdot \frac{2500}{100} = 546,5$$

квар.

- Расчетная нагрузка цеха с учётом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T;$$

$$P_p = 1599,29 + 24,81 = 1624,1 \text{ кВт};$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T;$$

$$Q_p = 3098,3 + 546,5 = 3644,8 \text{ кВар}.$$

- Реактивная мощность в часы минимума нагрузки для предприятия:

$$Q_{\min} = Q_p \cdot 0,5 = 3644,8 \cdot 0,5 = 1822,4 \text{ кВар};$$

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q_{\text{э1}}' = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}};$$

$$Q_{\text{э1}}'' = \alpha \cdot P_p;$$

$$\alpha = 0,28; Q_{\text{сд}} = 0;$$

$$Q_{\text{э1}}' = 3644,8 - 0,7 \cdot 0 = 3644,8 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{э1}}'' = 0,28 \cdot 1599,29 = 447,8 \text{ кВар}.$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений:  $Q_{\text{э1}} = 447,8 \text{ кВар}$ .

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q_{\text{э2}}' = Q_{\text{мин}} + Q_{\text{к}};$$

$$Q_{\text{э2}}'' = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{мин}} - (Q_p - Q_{\text{э1}});$$

$$Q_{\text{к}} = 0;$$

$$Q_{\text{э2}}' = 1822,4 + 0 = 1822,4 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{э2}}'' = 1822,4 - (3078,86 - 454,74) = -801,72 \text{ кВар}.$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений:  $Q_{\text{э2}} = 1822,4 \text{ кВар}$ .

- Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку макс}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}};$$

$$Q_{\text{ку мин}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{э2}};$$

$$Q_{\text{ку макс}} = 1,1 \cdot 3644,8 - 447,8 = 3554,54 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{ку мин}} = 1822,4 - 1822,4 = 0 \text{ кВар.}$$

Все КУ должны быть регулируемы.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_{\text{р}} - Q_{\text{р}\Sigma});$$

$$Q_{\text{эн}} = 454,74 - (3644,8 - 3098,3) = 91,76 \text{ кВар.}$$

- Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 10кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(N_{\text{т}} \cdot K_{\text{з}} \cdot S_{\text{нт}}^2) - P_{\text{р}\Sigma}^2};$$

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 2500)^2 - 1599,29} = 1582,64 \text{ кВар.}$$

- Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{\text{кун}} = Q_{\text{р}\Sigma} - Q_{\text{т}};$$

$$Q_{\text{кун}} = 3098,3 - 1582,64 = 1515,66 \text{ кВар.}$$

$Q_{\text{кун}} > 100\text{кВар}$  , установка компенсирующих установок на стороне до 1 кВ не целесообразна.

- Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10кВ:

$$Q_{\text{кув}} = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{кун}} ;$$

$$Q_{\text{кув}} = 3554,54 - 1515,66 = 1393 \text{ кВар.}$$

Так как  $Q_{\text{кув}} > 800 \text{ кВар}$ , установка компенсирующих устройств на стороне 10кВ целесообразна.

Затраты:

Затраты на установку КТП с трансформатором ТМЗ –2500/10/0,4:

$$Z_{\text{кТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{т}};$$

где , E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП;

$K_{\text{ТП}}$  – стоимость одного трансформатора;

$K_{\text{ТП}} = 1124 \text{ тыс.руб.}$

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз};$$

где ,  $C$  – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь;  
 $C_0$  – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора;

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_p;$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau.$$

$\alpha$  – основная ставка двухставочного тарифа.  $\alpha = 36$  руб/кВт;

$\beta$  – дополнительная плата за один кВт час потребляемой электроэнергии;

$\beta = 0,9$  руб/кВт час;  $T_p$  – время работы трансформатора в году;  $T_p = 8760$ ч;

$T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия в год;

$T_M = 4500$ ч;  $\tau$  – время максимальных потерь.

$$\tau = (0,124 + (4500/10000))^2 \cdot T_p ;$$

$$\tau = (0,124 + (4500/10000))^2 \cdot 8760 = 2,886 \cdot 10^3 ;$$

$$C_0 = (36/4500 + 0,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 8760 = 148,92 \text{ руб/кВт год};$$

$$C = (36/4500 + 0,9 \cdot 10^{-2}) \cdot 2,886 \cdot 10^3 = 49,066 \text{ руб/кВт год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 148,92 \cdot 3,75 + 49,066 \cdot 0,7^2 \cdot 26 = 558,45 + 1033,20 = 1591,65 \text{ тыс.руб};$$

$$Z_{кп} = 0,223 \cdot 1124 + 1591,65 = 250,65 + 1591,65 = 1842,2 \text{ тыс.руб.}$$

Результаты расчетов записываем в таблицу 3.

Таблица 3 - Результаты расчетов

	$\Delta P_T$	$\Delta Q_T$	$P_p$	$P_p$	$Z_{кп}$
ТМЗ-1000×2	19,41	190,2	1618,41	3288,9	1611,54
ТМЗ-2500	24,81	546,5	1624,1	3644,8	1842,2

По результатам расчётов принимаем к установке трансформаторную подстанцию с двумя трансформаторами ТМЗ – 1000/10/0,4.

## 5 Расчет короткого замыкания

Составляем расчетную схему короткого замыкания и схему замещения.

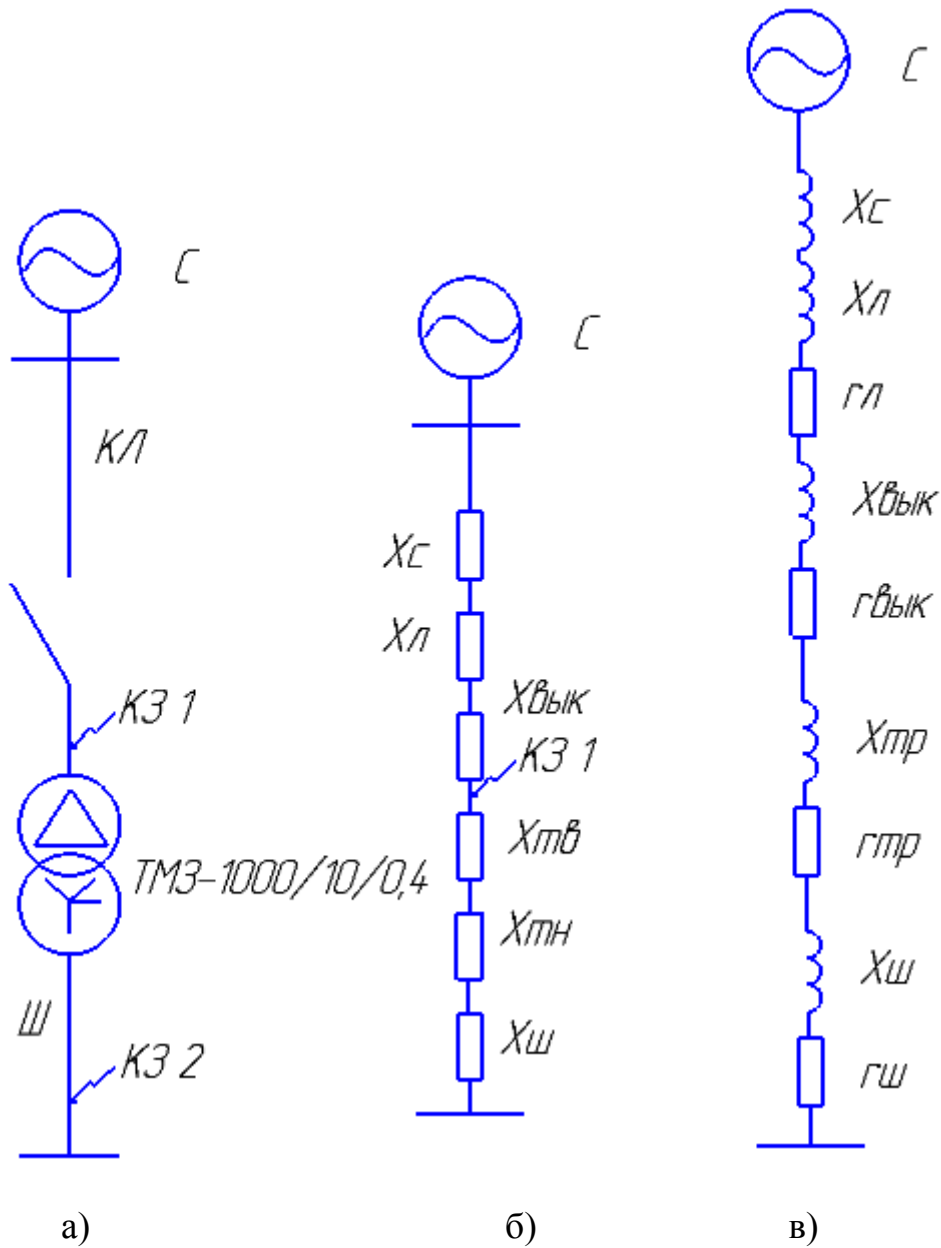


Рисунок 1 - а) расчетная схема; б), в) схемы замещения

Расчёт сопротивления схемы замещения:

$$X_c = S_6 / S_K;$$

$$X_c = 0,2;$$

$$U_{KB} = 0,125 \cdot 10,5 = 1,31;$$

$$U_{KH} = 1,75 \cdot 10,5 = 18,38;$$

$$X_{TB} = (U_{K.B} / 100) \cdot (S_6 / S_{НОМТ});$$

$$X_{ТВ} = (1,31/100) \cdot (1000/1000) = 0,014;$$

$$X_{ТН} = (U_{к.н} / 100) \cdot (S_{\sigma} / S_{НОМТ});$$

$$X_{ТН} = (18,37/100) \cdot (1000/1000) = 0,018;$$

$$X_{Л} = X_{уд} \cdot (S_{\sigma} / U_{cp}^2);$$

$$X_{Л} = 0,4 \cdot 2 \cdot (1000 / 10,5^2) = 7,2.$$

Короткое замыкание в точке КЗ 1. Результирующее сопротивление до токи

КЗ 1:

$$X_{рез(б)} = X_{бс} + X_{бл} = 0,1 + 7,2 = 7,3.$$

Базисный ток:

$$I_{б} = S_{\sigma} / (\sqrt{3} \cdot U_{б}) = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5) = 55,06 \text{ кА}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{по}^3 = E_{\sigma}'' / X_{рез(б)} \cdot I_{б} = 1 / 7,3 \cdot 55,06 = 7,54.$$

Ударный ток КЗ:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_{уд} = \sqrt{2} \cdot 7,54 \cdot 1,5 = 16 \text{ кА}.$$

Где  $k_{уд} = 1,5$  – ударный коэффициент.

Короткое замыкание в точке КЗ 2.

Система:  $S_k = 5000 \text{ МВА}$ ,  $U_{ср.вн} = 10 \text{ кВ}$ .

Трансформатор:

$$S_H = 1000 \text{ кВА};$$

$$U_{ВН} = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_{НН} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$P_k = 10,8, u_k = 5,5\%.$$

Шинопровод:

$$r_{ш} = 0,03 \text{ мОм/м};$$

$$r_{ип} = 0,037 \text{ мОм/м};$$

$$x_{ш} = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$x_{ип} = 0,042 \text{ мОм/м}; l = 15 \text{ м}.$$

Болтовые контактных соединения:

$$r_k = 0,003 \text{ мОм};$$

$$n = 4.$$

Находим сопротивление системы  $X_c$ .

$$X_c = (U_{стнн}^2 / S_k) \cdot 10^{-3} = (400^2 / 5000) \cdot 10^{-3} = 0,032 \text{ мОм.}$$

Рассчитываем активное и индуктивное сопротивления трансформатора:

$$r_T = (P_k \cdot U_{нн}^2 / S_H^2) \cdot 10^6 = (10,8 \cdot 0,4^2 / 1000^2) \cdot 10^6 = 1,72 \text{ мОм.}$$

$$x_T = \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_k}{S_H}\right)^2} \cdot \frac{U_{нн,ном}^2}{S_{ТН}} \cdot 10^4 = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1000}\right)^2} \cdot \frac{5,5^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,51 \text{ мОм}$$

Рассчитываем активное и индуктивное сопротивления шинпровода:

$$r_{ш} = 0,03 \cdot 15 = 0,45 \text{ мОм;}$$

$$x_{ш} = 0,014 \cdot 15 = 0,21 \text{ мОм.}$$

Находим активное сопротивление болтовых контактных соединений:

$$r_k = 0,003 \cdot 4 = 0,012 \text{ мОм.}$$

Активное сопротивление дуги  $r_d = 5,6 \text{ мОм.}$

Параметры схемы замещения нулевой последовательности:

$$r_{от} = 19,1 \text{ мОм; } r_{шп} = 0,037 \cdot 15 = 0,55 \text{ мОм;}$$

$$x_{от} = 60,6 \text{ мОм; } x_{шп} = 0,042 \cdot 15 = 0,63 \text{ мОм;}$$

Расчитаем токи трехфазного короткого замыкания:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_{ш} + r_k = 1,72 + 0,45 + 0,012 = 2,18 \text{ мОм;}$$

$$x_{1\Sigma} = x_T + x_{ш} + x_c = 0,032 + 0,21 + 8,51 = 8,75 \text{ мОм;}$$

$$r_{\Sigma} = r_{1\Sigma} + x_{1\Sigma} = 2,18 + 5,6 = 7,78 \text{ мОм;}$$

$$I_{ПОмакс} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{2,18^2 + 8,75^2}} = 25,61 \text{ кА;}$$

$$I_{ПОмин} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{7,78^2 + 8,75^2}} = 19,72 \text{ кА;}$$

$$i_{уд.макс} = \sqrt{2} \cdot I_{ПОмакс} \cdot K_{уд} = \sqrt{2} \cdot 25,61 \cdot 1,45 = 52,51 \text{ кА;}$$

$$i_{уд.мин} = \sqrt{2} \cdot I_{ПОмакс} \cdot K_{уд} = \sqrt{2} \cdot 19,72 \cdot 1,08 = 30,11 \text{ кА;}$$

$$i_{аомакс} = \sqrt{2} \cdot I_{ПОмакс} = \sqrt{2} \cdot 25,61 = 36,22 \text{ кА;}$$

$$i_{аомин} = \sqrt{2} \cdot I_{ПОмакс} = \sqrt{2} \cdot 19,72 = 27,88 \text{ кА.}$$

Расчёт токов однофазного короткого замыкания:

$$r_{o\Sigma} = r_{от} + r_{ощ} + r_k = 19,1 + 1,41 + 0,012 = 20,52 \text{ мОм;}$$

$$\text{где } r_{ощ} = r_{1ш} + 3 \cdot r_{шп} = 0,3 + 3 \cdot 0,37 = 1,41 \text{ мОм;}$$



$$x_{0\Sigma} = x_{от} + x_{ош} = 60,06 + 1,34 = 61,4$$

$$\text{где } x_{ош} = x_{1ш} + 3 \cdot x_{нш} = 0,14 + 3 \cdot 0,4 = 1,34 \text{ МОм};$$

$$r'_{о\Sigma} = r_{о\Sigma} + r_d = 20,52 + 8,5 = 29,02 \text{ МОм};$$

$$I_{по}^1 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{стнн}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{о\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{о\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{2 \cdot 2,18 + 20,52)^2 + (2 \cdot 8,75 + 61,4)^2}}$$
$$= 9,75 \text{ кА};$$

Расчёт токов двухфазного короткого замыкания:

$$I_{по}^2 = \frac{U_{стнн}}{2 \cdot \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}} = \frac{400}{2 \cdot \sqrt{2,18^2 + 8,75^2}} = 22,17 \text{ кА.}$$

## 6 Расчет ГПП

Для питания потребителей 2-ой категории выбирается двухтрансформаторная подстанция, для которой допустимая номинальная мощность каждого  $S_{\text{НОМТ}}$  с учетом допустимой 40% перегрузки в аварийном режиме, в общем виде определяется по:

$$S_{\text{НОМТ}} = 0,7 \cdot S_{\text{макс}};$$

$$S_{\text{НОМТ}} = 0,7 \cdot 15,8 = 11,06 \text{ МВА};$$

Для дальнейшего рассмотрения выбираем трансформаторы:

ТРДН 25000/110/10/10;

ТДН 16000/110/10.

Таблица 4 - Характеристики трансформатора

Тип тр-ра	$S_{\text{НОМ}}$ , МВА	Каталожные данные						
		$U_{\text{НОМ}}$ обмоток, КВ		$U_{\text{к}}, \%$	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}, \%$	Цена, руб.
		В	Н					
ТДН – 16000/110/10	16	115	10,5	10,5	83	12	0,3	6000000

Рассмотрим вариант с ТДН 16000/110/10.

Находим приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$\Delta P_{\text{х}}' = \Delta P_{\text{х}} + K_{\text{ип}} \cdot Q_{\text{х}} = 12 + 0,05 \cdot 48 = 14,44 \text{ кВт};$$

$$\text{где, } \Delta Q_{\text{х}} = I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{НОМТ}} / 100 = 0,3 \cdot 16000 / 100 = 48 \text{ кВт}.$$

$$K_{\text{ип}} = 0,05 \text{ кВт/квар};$$

$$U_{\text{кв}} = 1,31;$$

$$U_{\text{кн}} = 18,37;$$

$$\Delta Q_{\text{кв}\%} = U_{\text{кв}\%} \cdot S_{\text{НОМТ}} / 100 = 1,3 \cdot 16000 / 100 = 210 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{\text{кн}1} = \Delta Q_{\text{кн}2} = U_{\text{кн}\%} \cdot S_{\text{НОМТ}} / 100 = 18,37 \cdot 16000 / 100 = 2940 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{кн}} = 2 \cdot \Delta P_{\text{к}} = 2 \cdot 83 = 166 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{кв}}' = \Delta P_{\text{кв}} + K_{\text{ип}} \cdot \Delta Q_{\text{кв}} = 0 + 0,05 \cdot 210 = 10,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{кн} = \Delta P_{кн} + K_{ип.} \cdot \Delta Q_{кн} = 166 + 0,05 \cdot 2940 = 313 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_к = \Delta P'_{кв} + \Delta P'_{кн} = 10,5 + 313 = 323,5 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = S_{нагр} / S_{номт} = 0,49.$$

Приведенные потери мощности:

$$P'_т = \Delta P'_x + k_3^2 \cdot \Delta P_к = 14,44 + 0,49^2 \cdot 323,5 = 92,11 \text{ кВт}.$$

Экономический расчет.

Расчет капитальных затрат на оборудование:

$$K_2 = 2 \cdot K_{1б} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ тыс.руб.}$$

где  $K_{1б}$  - стоимость трансформатора.

Расчет годовых отчислений:

$$И_{а1б} = p_a \cdot K_2 = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ тыс.руб.}$$

Расчёт стоимости потерь электроэнергии.

$$C_3 = 1,3 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}.$$

$$И_3 = C_3 \cdot \Delta C_{п1б} = 1,3 \cdot 806883,6 = 1048,9 \text{ тыс. руб.}$$

$$\text{Где } \Delta C_{п1б} = P'_м = 92,11 \cdot 8760 = 806883,6 \text{ тыс. руб.}$$

Расчёт суммарных годовых расходов:

$$З_{пр1} = E_n \cdot K + И_{а1б} + И_3 = 0,15 \cdot 12 + 1,2 + 1048,9 = 1051,9 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 5 - Характеристики трансформатора

Тип тр-ра	$S_{ном},$ МВА	Каталожные данные						
		$U_{ном}$ обмоток, КВ		$U_{к},\%$	$\Delta P_{к},$ кВт	$\Delta P_{x},$ кВт	$I_x, \%$	Цена, руб.
		В	Н					
ТРДН – 25000/110	25	115	10,5	10,5	120	19	0,23	13500000

Рассмотрим вариант с ТРДН 25000/110/10.

Находим приведенные потери активной мощности трансформатора в режиме холостого хода:

$$\Delta P'_x = \Delta P_x + K_{ип.} \cdot Q_x = 19 + 0,05 \cdot 57,5 = 21,87 \text{ кВт};$$

$$\text{где, } \Delta Q_x = I_{xx} \cdot S_{номт} / 100 = 0,23 \cdot 25000 / 100 = 57,5 \text{ кВт};$$

$$K_{\text{ип}} = 0,05 \text{ кВт/квар};$$

$$U_{\text{кв}} = 1,31;$$

$$U_{\text{кн}} = 18,37;$$

$$\Delta Q_{\text{кв}\%} = U_{\text{кв}\%} \cdot S_{\text{номт}} / 100 = 1,3 \cdot 25\,000 / 100 = 327,5 \text{ квар};$$

$$\Delta Q_{\text{кн1}} = \Delta Q_{\text{кн2}} = U_{\text{кн}\%} \cdot S_{\text{номт}} / 100 = 18,37 \cdot 125\,000 / 100 = 4592,5 \text{ квар};$$

$$\Delta P_{\text{кн}} = 2 \cdot \Delta P_{\text{к}} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{кв}} + K_{\text{ип}} \cdot \Delta Q_{\text{кв}} = 0 + 0,05 \cdot 327,5 = 16,37 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{\text{кн}} = \Delta P_{\text{кн}} + K_{\text{ип}} \cdot \Delta Q_{\text{кн}} = 240 + 0,05 \cdot 4592,5 = 469,62 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{\text{к}} = \Delta P'_{\text{кв}} + \Delta P'_{\text{кн}} = 16,37 + 469,62 = 485,99 \text{ кВт}.$$

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = S_{\text{нагр}} / S_{\text{номт}} = 0,3.$$

Приведенные потери мощности:

$$P'_T = \Delta P'_x + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{к}} = 21,87 + 0,3^2 \cdot 485,99 = 65,6 \text{ кВт}.$$

Расчет капитальных затрат на оборудование:

$$K_2 = 2 \cdot K_{16} = 2 \cdot 13,5 = 27 \text{ тыс.руб.}$$

где  $K_{16}$  - стоимость трансформатора.

Расчет годовых отчислений:

$$И_{a16} = p_a \cdot K_2 = 0,1 \cdot 27 = 2,7 \text{ тыс.руб.}$$

Расчёт стоимости потерь электроэнергии.

$$C_3 = 1,3 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}.$$

$$И_3 = C_3 \cdot \Delta C_{\text{п16}} - 1,3 \cdot 574656 = 747,05 \text{ тыс. руб.}$$

$$\text{Где } \Delta C_{\text{п16}} - P_M = 65,6 \cdot 8760 = 574656 \text{ тыс. руб.}$$

Расчёт суммарных годовых расходов:

$$Z_{\text{пр1}} = E_H \cdot K + И_{a16} + И_3 = 0,15 \cdot 27 + 2,7 + 747,05 = 753,8 \text{ тыс. руб.}$$

## 7 Расчет токов короткого замыкания

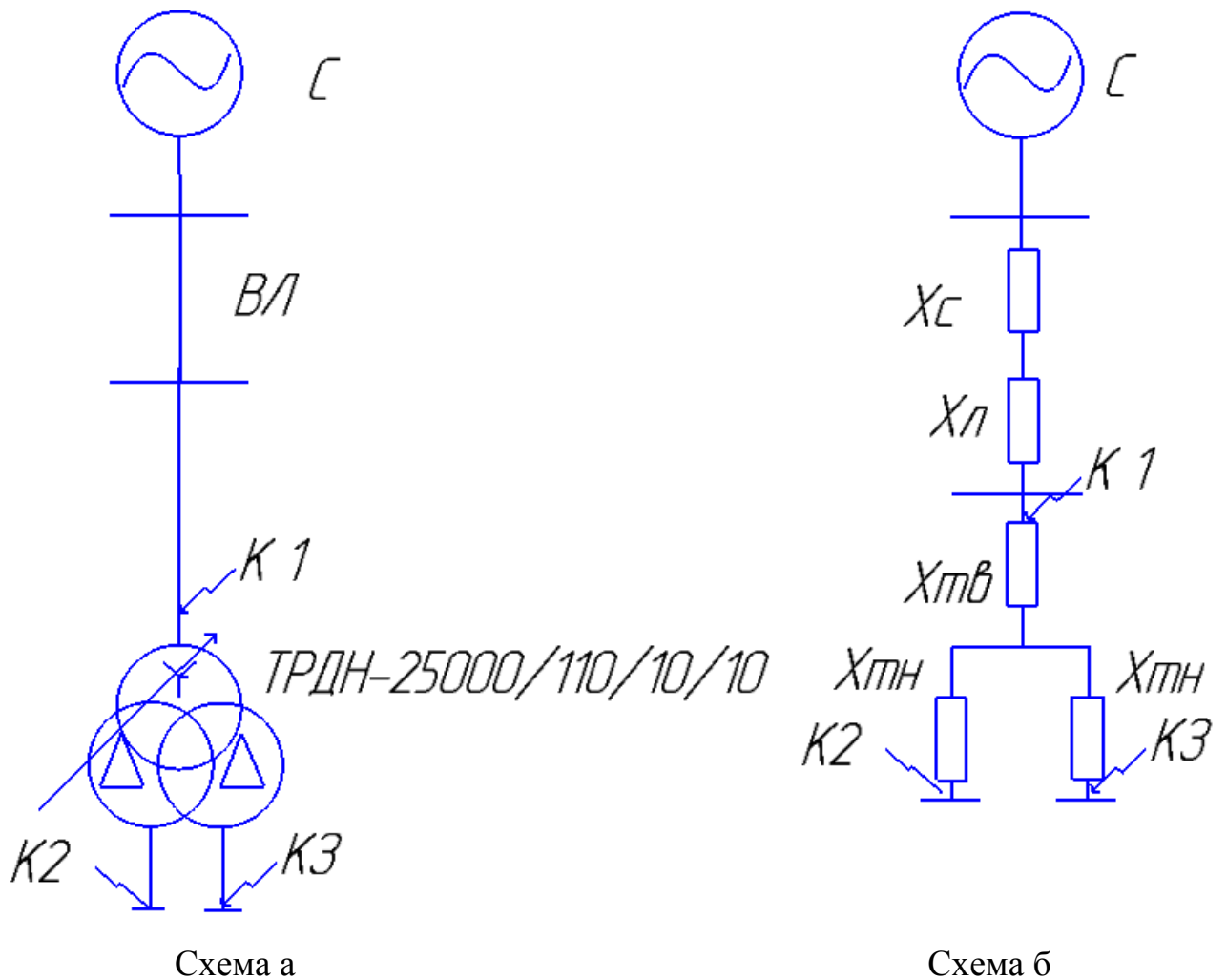


Рисунок 2 - Расчетная схема (а) и схема замещения (б)

Расчет сопротивления схемы замещения:

$$X_{бс} = S_б / S_к;$$

$$X_{бс} = 0,3;$$

$$X_{бТВ} = (U_{кв} / 100) \cdot (S_б / S_{номТ});$$

$$X_{бТВ} = (1,31 / 100) \cdot (1000 / 25) = 0,52;$$

$$X_{бТН} = (U_{кн} / 100) \cdot (S_б / S_{номТ});$$

$$X_{бТН} = (18,37 / 100) \cdot (1000 / 25) = 7,3;$$

$$X_{бл} = X_{уд} \cdot l \cdot (S_б / U_{ср}^2);$$

$$X_{бл} = 0,4 \cdot (4/2) \cdot (1000 / 115^2) = 0,06;$$

Короткое замыкание в точке К 1.

$$X_{рез(б)} = X_{бс} \cdot X_{бл};$$

$$X_{рез(б)} = 0,3 + 0,06 = 0,36.$$

Базисный ток:

$$I_б = S_б / (\sqrt{3} \cdot U_б);$$

$$I_б = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 115) = 5,02 \text{ кА}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ 1:

$$I_{по}^3 = E''_б / X_{рез(б)} \cdot I_б;$$

$$I_{по}^3 = 1 / 0,36 \cdot 5,02 = 13,94 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_{уд};$$

Где  $k_{уд} = 1,8$  – ударный коэффициент;

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 13,94 \cdot 1,8 = 35,48 \text{ кА}.$$

Короткое замыкание в точке КЗ 2.

Результирующее сопротивление до точки КЗ 2 – 3:

$$X_{рез(б)} = X_{бс} + X_{бл} + X_{бТН} + X_{бТВ} = 0,3 + 0,06 + 0,52 + 7,3 = 8,18.$$

Базисный ток:

$$I_б = S_б / (\sqrt{3} \cdot U_б);$$

$$I_б = 1000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5) = 55 \text{ кА}.$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ:

$$I_{по}^3 = E''_б / X_{рез(б)} \cdot I_б;$$

$$I_{по}^3 = (1 / 8,18) \cdot 55 = 6,72 \text{ кА}.$$

Ударный ток КЗ:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_{уд}$$

Где  $k_{уд} = 1,9$  – ударный коэффициент;

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot 6,72 \cdot 1,9 = 17,25 \text{ кА}.$$

Результирующее сопротивление прямой последовательности до точки К1.

$$x_{\Sigma 1} = x_c + x_{\Sigma n} = 0,33 + 0,47 = 0,8;$$

$$x_{\bar{\sigma},c} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_H} = \frac{1000}{3000} = 0,33;$$

$$x_{\Sigma 1} = 0,8.$$

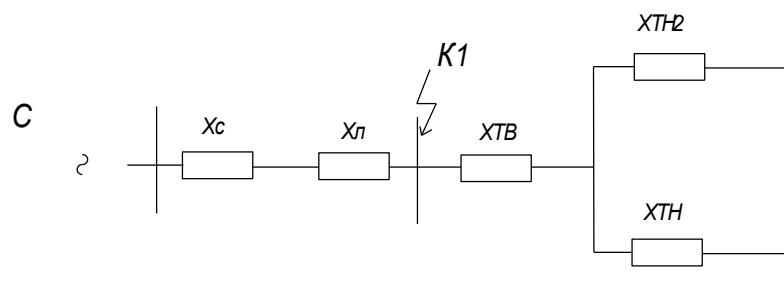


Рисунок 3 - Схема замещения прямой последовательности

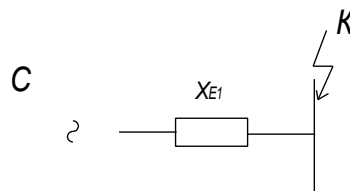


Рисунок 4 - Свёрнутая схема замещения прямой последовательности

Схема обратной последовательности соответствует схеме прямой последовательности, в которой отсутствуют источники ЭДС.

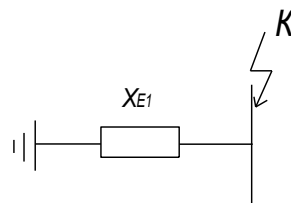


Рисунок 5 - Свёрнутая схема обратной последовательности

Результирующее сопротивление обратной последовательности до точки К2:

$$x_{\Sigma 2} = 0,8$$

Результирующее сопротивление нулевой последовательности:

$$x_{\bar{\sigma},\lambda 0} = x_{\lambda} \cdot 4,5 = 0,47 \cdot 4,5 = 2,12;$$

$$x_{\Sigma 0} = x_C + x_{\bar{\sigma},\lambda 0} = 0,33 + 2,12 = 2,45;$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{E_{\bar{\sigma}}}{x_{\Sigma 1} + \Delta x^{(n)}};$$

$$\Delta x^{(1)} = x_{\Sigma 2} + x_{\Sigma 0} = 0,8 + 2,45 = 3,25;$$

$$I^{(1)}_{K1} = \frac{1}{0,8 + 3,25} = 0,25;$$

$$I^{(1)}_n = m^{(1)} \cdot I^{(1)}_{K1} = 3 \cdot 0,25 = 0,75.$$

Однофазный ток К.З. в именованных единицах в точке К1

$$I^{(1)}_{KA} = I^{(1)}_K \cdot \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0,75 \cdot \frac{1000}{1,73 \cdot 115} = 3,77 \text{ кА}.$$



## 8 Выбор основного оборудования

### 8.1 Выбор высоковольтных выключателей

Выключатели высокого напряжения предназначены для оперативной и аварийной коммутаций в энергосистемах, для выполнения операций включения и отключения отдельных цепей при ручном или автоматическом управлении. Во включенном положении должен длительно пропускать токи нагрузки и кратковременно - аварийные.

Для предварительного выбора выключателя рассчитываем токи продолжительного режима с учётом 40% перегрузки:

$$I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot (S_{\text{тном}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2) = 1,4 \cdot (25000 / \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2) = 963,39$$

Так как  $I_{\text{макс}} = 963,39 \leq I_{\text{ном}} = 1000$  (А), то предварительно выбираем выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000.

Выключатель проверяется по следующим параметрам:

- 1) По номинальному напряжению:

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

$$U_{\text{уст}} = 10 \leq U_{\text{ном}} = 10.$$

- 2) По номинальному току:

$$I_{\text{макс}} = 1,4 \cdot (S_{\text{тном}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2) = 1,4 \cdot (25000 / \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2) = 963,39;$$

$$I_{\text{макс}} = 963,39 \leq I_{\text{ном}} = 1000.$$

- 3) По отключающей способности:

А) на симметричный ток отключения;

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}};$$

$$I_{\text{пт}} = 6,72 \leq I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ (кА)}.$$

Б) на отключение апериодической составляющей тока к.з.

$$i_{\text{а.т}} \leq i_{\text{аном}} = (\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{нор}} / 100) \cdot I_{\text{откл.ном}};$$

где  $i_{\text{а.т}}$  – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени  $\tau$ :

$$\tau = t_{pz} + t_{cb} = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с};$$

где,  $t_{p.z.} = 0,01 \text{ с.}$  – время действия релейной защиты;

$t_{c.b.} = 0,03 \text{ с.}$  – собственное время отключения выключателя;

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot e^{-\tau/Ta} = \sqrt{2} \cdot 6,72 \cdot e^{-0,04/0,12} = 6,83 \text{ кА};$$

где  $Ta = 0,12$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ.

$$i_{аном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{нор} \cdot I_{откл.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,41 \cdot 20 = 11,59 \text{ кА};$$

где  $\beta_{ном} = 0,41$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе.

$$i_{a.\tau} = 6,83 \text{ кА} \leq i_{a.ном} = 11,59 \text{ кА}.$$

4) По предельному сквозному току к.з. – на электродинамическую стойкость:

$$I_{п.о} \leq I_{пр.с};$$

$$i_{уд} \leq i_{пр.с};$$

где,  $I_{пр.с} = 20 \text{ кА}$  – предельный сквозной;

$I_{п.о} = 6,72$  – наибольшее начальное действующее значение периодической составляющей тока к.з.

$$I_{п.о} = 6,72 \leq I_{пр.с} = 20 \text{ (кА)};$$

$$i_{уд} = 17,25 \leq i_{пр.с} = 52 \text{ (кА)}.$$

5) По тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$V_k \leq V_{ном};$$

$$V_k = I_{по}^2 (\tau + T_a) = 6,72^2 \cdot 0,12 = 5,41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$V_{ном} = I_{пер}^2 \cdot t_{откл} = 20^2 \cdot 0,05 = 20 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

где  $I_T$  – предельный ток термической устойчивости (по справочнику);

$t_T$  – длительность протекания тока термической устойчивости (по справочнику).

$$V_k = 5,41 \leq V_{ном} = 20 .$$

По результатам расчётов принимаем к установки выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000.

## 8.2 Выбор трансформатора тока

Трансформатор тока предназначен для пропорционального изменения силы тока для последующего его измерения и установки токовой защиты, и питания схем защиты.

Для предварительного выбора трансформатора тока рассчитываем максимальный ток:

$$I_{\text{макс}} = S_{\text{HT}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2) = 25000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2) = 688,14;$$

Так как  $I_{\text{макс}} = 688,14 \leq I_{\text{ном}} = 1000$  (А), то предварительно трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ- 10/1000.

Выключатель проверяется по следующим параметрам:

- 1) По номинальному напряжению:

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

$$U_{\text{уст}} = 10 \leq U_{\text{ном}} = 10.$$

- 2) По номинальному току:

$$I_p = S_{\text{HT}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 2) = 25000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2) = 688,14;$$

$$I_{\text{макс}} = 688,14 \leq I_{\text{ном}} = 1000.$$

- 3) На электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{эд}};$$

$$i_y = 52 \text{ кА};$$

$$i_{\text{эд}} = K_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 = 141,42 \text{ кА};$$

$$i_y = 52 \leq i_{\text{эд}} = 141,42;$$

- 4) По тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{тер}};$$

$$I_{\text{тер}} = K_T^2 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 1^2 \cdot 1 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k = I_{\text{по}}^2 (\tau + T_a) = 6,72^2 \cdot 0,12 = 5,41 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_k = 5,41 \leq I_{\text{тер}} = 1600.$$

- 5) По вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}};$$

$$Z_{2\text{ном}} \approx R_2;$$

$$R_2 = R_{\text{приб}} \cdot R_{\text{пр}} \cdot R_{\text{к}};$$

Находим сопротивление приборов подключенных к трансформатору тока:

$$R_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_2^2 = 5,5 / 5^2 = 0,22 \text{ Ом};$$

где  $I_2$  - вторичный номинальный ток прибора;

$S_{\text{приб}}$  – мощность, потребляемая приборами.

Находим сопротивление проводов:

$$R_{\text{пр}} = \rho \cdot l / S_{\text{пр}} = 0,028 \cdot 8 / 2,5 = 0,09 \text{ мм}^2.$$

Принятое сечение алюминиевых проводов  $2,5 \text{ мм}^2$ , материал алюминий.

$$R_2 = 0,22 + 0,09 + 0,1 = 0,41;$$

$$0,41 \leq 0,66.$$

Выбираем трансформатор тока ТОЛ-СЭЩ- 10/1000.

Конструкция:

Измерительные трансформаторы ТОЛ-СЭЩ-10 изготавливаются на металлическом основании, на которой расположена клеммная коробка выводов вторичных обмоток. В целях безопасности предусмотрена возможность заземления одного из выводов вторичных обмоток непосредственно на основание.

Номинальный класс точности:

Для обмотки измерений - 0,2;

Для обмотки защиты – 5Р.

### 8.3 Выбор измерительного трансформатора напряжения

Трансформатор напряжения выбирается по следующим параметрам:

1) По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}};$$

$$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.НОМ}} = 10 \text{ кВ}.$$

2) По вторичной нагрузке:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{\text{НОМ}};$$

где  $S_{2\Sigma}$  – нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения.

$$S_{\text{НОМ}} = 400 \text{ ВА};$$

$$S_{2\Sigma} = 50 \text{ ВА};$$

$$S_{2\Sigma} = 50 \text{ ВА} \leq S_{\text{НОМ}} = 100 \text{ ВА}.$$

По результатам расчётов выбираем трансформатор напряжения ЗНОЛ - СЭЩ 10. Трансформатор напряжения ЗНОЛ -СЭЩ 10 заземляемые, предназначены для установки в комплектные распределительные устройства (КРУ) внутренней и наружной установки, в камеры одностороннего обслуживания (КСО), являются комплектующими изделиями. Трансформаторы обеспечивают питание приборов учета электроэнергии, контрольно-измерительной аппаратуры, релейных (микропроцессорных) защит.

#### **8.4 Выбор жестких шин на стороне 10 кВ**

Выбор шин на стороне 10 кВ производится по экономической плотности тока.

Проверка шин на стороне 10 кВ производится по:

нагрева в продолжительном режиме;

- термической стойкости;

- электродинамической прочности.

Определяем расчётные токи продолжительных режимов:

$$I_{\text{НОМ}} = S_{\text{ТНОМ}} / 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} = 25000 / (2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5) = 688,13 \text{ А};$$

$$I_{\text{МАКС}} = 1,4 \cdot (S_{\text{ТНОМ}} / \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot 2) = 1,4 \cdot (25000 / (\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2)) = 963,39 \text{ А}.$$

Выбираем сечение алюминиевых шин по экономической плотности тока:

$$S = I_{\text{НОМ}} / j_{\text{ЭК}} = 688,13 / 1 = 688,13 \text{ мм}^2.$$

Выбираем алюминиевые шины прямоугольного сечения 80x10 мм, расположенные горизонтально, допустимый ток  $I_{доп} = 1480$  А.

Условие нагрева в продолжительном режиме:

$$I_{\max} = 96,39 < I_{доп} = 1480$$

Данное условие выполняется значит шины проходят по нагреву в продолжительном режиме.

Минимальное сечение по условию термической стойкости:

$$S_{\min} = \sqrt{W_k / C_T};$$

Где  $W_k$  - тепловой импульс квадратичного тока,  $W_k = 6,59$  кА<sup>2</sup> · сек;

$C$  - коэффициент учитывающий материал проводника, для алюминия  $C = 90$ .

$$S_{\min} = \sqrt{6,59 / 90} = 285 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\min} = 285 \leq S = 800.$$

Данное условие выполняется значит выбранные шины проходят по термической стойкости.

Определим частоту собственных колебаний шины:

$$f_0 = (r_1^2 / 2 \cdot \pi \cdot l^2) \cdot (\sqrt{E} \cdot J / m) = (4,73^2 / 2 \cdot 3,14 \cdot 1^2) \cdot (\sqrt{7 \cdot 10^{10}} \cdot 0,67 \cdot 10^{-8} / 2,16) = 52,52 \text{ Гц.}$$

Где  $l$  – длина пролета между изоляторами (1 м.);

$J$  – момент инерций поперечного сечения шины;

$$J = h \cdot b^3 / 12 = 8 \cdot 1^3 / 12 = 0,67 \text{ см}^4 = 0,67 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$E = 7 \cdot 10^{10}$  – модуль упругости материала шины, Па;

$r_1 = 4,73$  – параметр основной собственной частоты шины;

$m$  – масса шины на единицу длины.

Так как частота свободных колебаний получилась меньше 200 Гц, то возникает механический резонанс, поэтому, изменяя длину, добиваются того, чтобы резонанс был исключён, т. е. выполнялось условия  $f_0 > 200$  Гц.

$$200 \geq (r_1^2 / 2 \cdot \pi \cdot l^2) \cdot (\sqrt{E} \cdot J / m); \text{ отсюда:}$$

$$l \geq (r_1^2 / 2 \cdot \pi \cdot 200) \cdot (\sqrt{E} \cdot J / m); l = 0,5 \text{ м.}$$

$$f_0 = (r_1^2 / 2 \cdot \pi \cdot 200) \cdot (\sqrt{E} \cdot J / m) = (4,73^2 / 2 \cdot 3,14 \cdot 200) \cdot (\sqrt{7 \cdot 10^{10}} \cdot 0,67 \cdot 10^{-8} / 2,16) = 210 \text{ Гц.}$$

$f_0 > 200$  Гц, следовательно условие выполняется.

Проверка шин на электродинамическую стойкость – напряжение в материале шин при взаимодействии фаз:

$$\sigma = (\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot I_{из}^2 \cdot i_{уд}^2 \cdot k_{\phi} \cdot k_{расп}) / (\lambda \cdot W \cdot a);$$

$l$  - расстояние между опорными изоляторами,  $l = 0,5$  м;

$a$  - расстояние между фазами,  $a = 0,3$  м;

$i_{уд}$  - ударный ток короткого замыкания,  $i_{уд} = 17,41$  кА;

$W$  - момент сопротивления поперечного сечения шины;

$\lambda$  - коэффициент, зависящий от условия закрепления шины;

$$W = h \cdot b^3 / 6 = 8 \cdot 1^3 / 6 = 1,33 \text{ см}^3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_{\max} = (\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 0,5^2 \cdot 17,41^2 \cdot 1 \cdot 1) / (12 \cdot 1,33 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3) = 27,8 \text{ МПа.}$$

Для алюминиевых шин, допустимое нормируемое напряжение :

$$\sigma_{\text{доп}} = 82,3 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\max} = 27,8 \leq \sigma_{\text{доп}} = 82,3;$$

Так как условие выполняется значит шины механически прочны.

К установке окончательно выбираем алюминиевые шины прямоугольного сечения 80x10 мм.

## 8.5 Выбор опорных и проходных изоляторов на стороне 10 кВ

Предварительно выбираем в качестве опорных изоляторы С4-80 УХЛ.

Паспортные данные:

Номинальное напряжение 10 кВ;

Минимальная разрушающая сила на изгиб 4 кН;

Испытательное напряжение грозового импульса 80кВ.

Жесткие шины крепятся на опорных изоляторах, выбор которых производится по следующим параметрам:

1) По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}};$$

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}$$

Максимальная сила, действующая на изгиб:

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot (i_{\text{уд}}^2 / \alpha) \cdot k_{\text{ф}} \cdot k_{\text{расп}} \cdot l_{\text{из}} \cdot 10^{-7};$$

Где  $l$  – расстояние между опорными изоляторами,  $l = 0,5$  м;

$i_{\text{уд}}$  – ударный ток КЗ,  $i_{\text{уд}} = 17410$  А;

$\alpha$  – расстояние между осями соседних фаз,  $\alpha = 0,3$  м.

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot (17410^2 / 0,3) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-7} = 89 \text{ Н};$$

2) По допустимой нагрузке на головку опорного изолятора:

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} \cdot (H_{\text{из}} / H);$$

Где  $F_{\text{разр}}$  – разрушающая сила на изгиб, берется из паспортных данных;

$H_{\text{из}}$  – высота изолятора,  $H_{\text{из}} = 0,19$  м

$$H = H_{\text{из}} + b + h/2$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 4000 \cdot 0,190 / (0,190 + 0,04 + 0,01) = 1900 \text{ Н};$$

$$F_{\text{расч}} = 89 \leq F_{\text{доп}} = 1900.$$

Условия выбора изолятора выполняются, следовательно окончательным к установки изолятора выбираем С4-80 УХЛ.

Предварительно выбираем проходными изоляторы ИП-10/1000-750УХЛ1.

Паспортные данные:

Ном. Напряжение – 10кВ;



Ном. Ток – 1000А;

Минимальное усилие на изгиб – 750 Н;

Условия выбора проходных изоляторов:

1) По номинальному напряжению:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{сет.ном}};$$

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ} \leq U_{\text{сет.ном}} = 10 \text{ кВ}.$$

2) По номинальному току:

$$I_{\text{прод.раб}} = 688,14 \leq I_{\text{ном}} = 1000.$$

3) По допустимой нагрузке на головку проходного изолятора:

$$F_{\text{расч}} = 0,5 \cdot (i_{\text{уд}}^2 / \alpha) \cdot l_{\text{из}} \cdot 10^{-7};$$

$$F_{\text{расч}} = 0,5 \cdot (17410^2 / 0,3) \cdot 0,5 \cdot 10^{-7} = 25,29 \text{ Н};$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ Н};$$

$$F_{\text{расч}} = 25,29 \leq F_{\text{доп}} = 450.$$

По результатам проверки все условия соблюдаются, значит предварительный выбор проходного изолятора ИП-10/1000-750УХЛ1 подтверждается.

## 9 Релейная защита

В качестве релейной защиты на подстанцию выбираем микропроцессорное устройства релейной защиты и автоматики серии РС 83 выпускаемое компанией «РЗА Системс». микропроцессорное устройство РС 83 предназначено для использования на подстанциях 6 – 110 кВ. Состав данной серий позволяет обеспечить комплексное выполнение функций релейной защиты практически без использования дополнительной аппаратуры. Также устройство достаточно выгодно отличается от зарубежных, а также отечественных аналогов малыми габаритами, низким потреблением, точностью контроля параметров, удобством использования, к тому же данной устройстве превосходит множество аналогов в соотношений функциональность / стоимость.

В РС 83 применяется принцип использования блок – каркаса с функционально завершенными «Типовыми элементами замены»(ТЕЗ).

Серия устройств РС 83 состоит из:

- 1) Базового устройства направленной максимальной токовой защиты РС 83-АВ2. Основные функции устройства:
  - четырехступенчатая 3-х фазная направленная максимальная токовая защита (МТЗ) с независимой и различными видами зависимых ампер-секундных

характеристик, блокировкой от броска намагничивающего тока (БНТ), ускорением при включении выключателя и возможностью переключения групп уставок по направлению мощности;

- двухступенчатая направленная ЗНЗ с выбором отдельно для каждой ступени режима работы по расчетному или измеренному току  $3I_o$  и пуском по  $3U_o$ ;

- двухступенчатая защита от несимметричной нагрузки или обрыва фаз по току обратной последовательности;

- программируемые функции ЛЗШ, УРОВ, АПВ;

- трехфазная двухступенчатая защита минимального напряжения (ЗМН) с возможностью работы как по фазным, так и по линейным напряжениям и выбором логики «И»/«ИЛИ»;

- дополнительная функция контроля исправности цепей напряжения; 8/13/18 дискретных входов; 8/12/16 выходных реле.

- определение расстояния до места повреждения на линии (ОМП);

2) Упрощенное устройство токовой защиты РС83-А20 для линий 6-10 кВ отличается уменьшенным числом дискретных входов и выходных реле, отсутствием направленности и пуска по  $3U_o$ . ЗНЗ, двухфазным исполнением МТЗ или отсутствием ЗНЗ по измеренному току  $3I_o$  при трехфазной МТЗ.

3) Устройство дифференциальной защиты трансформатора (РС83-ДТ2). Устройство имеет две ступени дифференциальной защиты с торможением. Также каждая ступень максимальной токовой защиты независимо от других может назначаться на работу по току стороны высшего или низшего напряжения защищаемого трансформатора.

4) Устройство защиты по напряжению РС83-И1. Оно обеспечивает полный комплекс защит по напряжению, имеет 2 дискретных входа и 8 выходных реле.

5) Устройство управления РПН РС83-В4. Данное устройство обеспечивает автоматическое управление приводом РПН трансформатора.

6) Устройство центральной сигнализации РС83-С обеспечивает работу центральной сигнализации с контролем приращения тока по двух шинкам

сигнализаций.

## **10 Заземление подстанции**

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетокопроводящих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

Заземление делится на естественное и искусственное.

В зависимости от места расположения заземлителей относительно заземляемого оборудования заземляющие устройства делятся на два вида: выносное и контурное.

При выносном заземляющем устройстве заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование.

При контурном заземляющем устройстве электроды заземлителя размещают по контуру площадки, на которой находится заземляемое оборудование.

В открытых электроустановках корпуса присоединяют непосредственно к заземлителю проводами. В зданиях прокладывается магистраль заземления, к которой присоединяют заземляющие провода. Магистраль заземления соединяют с заземлителем не менее чем в двух местах.

В качестве естественных заземлителей подстанций и распределительных устройств рекомендуется использовать заземлители опор отходящих воздушных линий электропередачи, соединённых с заземляющим устройством подстанции или распределительным устройством с помощью грозозащитных тросов линий.

Если сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет требуемым нормам, то устройство искусственных заземлителей не требуется.

Заземлители забивают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остаётся 0,5-0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть не менее 2,5-3 м.

Заземляющее устройство для установок 110 кВ и выше выполняется из:

1. вертикальных заземлителей (стальных прутков круглого сечения);
2. соединительных полос;
3. полос, расположенных вдоль рядов оборудования;
4. выравнивающих полос, проложенных в поперечном направлении и создающих заземляющую сетку с переменным шагом.

Принимаем к расчёту квадратную модель заземления с площадью 40х40 м.

Находим длительность воздействия электрического тока на человека

$$\tau = t_{pz} + t_{ov} = 0,12 + 0,03 = 0,15.$$

где  $t_{pz}$  – время действия релейной защиты,  $t_{pz} = 0,12$ ;

$t_{ov}$  - полное время отключения выключателя,  $t_{ov} = 0,03$ .

Следовательно наибольшее допустимое напряжение прикосновения равно  $U_{пр.доп} = 500$  В.

Определяем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = U_{пр.доп} / k_n ;$$

Где  $k_n$  – коэффициент напряжения прикосновения;

Находим коэффициент напряжения прикосновения:

$$k_n = M \cdot \beta / (l_b \cdot L_r / (\alpha \cdot \sqrt{S}))^{0,45};$$

где -  $l_b = 5$  м - длина вертикального заземлителя

$L_r = 640$  м - длина горизонтальных заземлителей;

$\alpha = 5$  м - расстояние между вертикальными заземлителями;

$S = 800$  м - площадь заземленного устройства;

$M = 0,5$ .

$\beta$  – коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека  $R_{ч}$  и сопротивлению растекания тока от ступеней  $R_{с}$ .

$$\beta = R_{ч} / (R_{ч} + R_{с});$$

где  $R_{ч} = 1000$ ;

$$R_{с} = 1,5 \cdot \rho_{вс} = 1,5 \cdot 300 = 450.$$

где  $\rho_{вс}$  - удельное сопротивление верхнего слоя земли – сопротивление супеска = 300 Ом.

$$\beta = 1000 / (1000 + 450) = 0,68;$$

$$k_{п} = 0,5 \cdot 0,68 / (5 \cdot 640 / (5 \cdot \sqrt{800}))^{0,45} = 0.084;$$

$U_3 = 500 / 0.084 = 5954,38$  В, значение в пределах допустимого, так как меньше 10 кВ.

Определяем допустимое сопротивление заземлителя:

$$R_{здоп} = U_3 / I_3 = 5954,38 / 3770 = 1,57 \text{ Ом.}$$

Расчётная модель заземления представляет собой квадрат со стороной:

$$\sqrt{S} = \sqrt{40 \cdot 40} = 40 \text{ м}$$

Число ячеек по стороне квадрата:

$$m = L_{г} / (2 \cdot \sqrt{S}) - 1 = 640 / (2 \cdot 40) - 1 = 7.$$

Принимаем  $m=7$ .

Длина полос в расчётной модели:

$$L_{г}' = 2 \cdot \sqrt{S} (m+1) = 2 \cdot 40 \cdot 11 = 640 \text{ м.}$$

Длина сторон ячейки:

$$B = \sqrt{S} / m = 40 / 7 = 5.7 \text{ м.}$$

Определяем число вертикальных заземлителей, расположенных по периметру контура при условии  $a / l_{в} = 1$ :

$$n_{в} = (\sqrt{S} \cdot 4) / (1 \cdot l_{в}) = (40 \cdot 4) / (1 \cdot 5) = 32 \text{ м.}$$

Общая длина вертикальных заземлителей:

$$L_{в} = l_{в} \cdot n_{в} = 5 \cdot 32 = 160 \text{ м.}$$

Определяем относительную глубину погружения вертикальных электродов:

$$(l_B + t) / \sqrt{S} = (5 + 0.7) / 40 = 0,14 > 0,1;$$

Исходя из этого условия определяем:

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot ((l_B + t) / \sqrt{S}) = 0,35.$$

Рассчитываем общее сопротивление сложного заземлителя

$$R_3 = A \cdot (\rho_3 / \sqrt{S}) + (\rho_3 / (L_T + L_B)) = 0,35 \cdot (300 / 40) + (300 / (640 + 160)) = 3$$

Ом.

Найдём напряжение прикосновения:

$U_{пр} = k_{П} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,084 \cdot 3770 \cdot 3 = 950,04$  В, что больше допустимого значения в 500 В.

Для того что снизить напряжение прикосновения, мы используем естественные заземлители системы трос – опора линий 110 кВ с общим сопротивлением 2 Ом. Тогда:

$$R_u = (R_{з.доп} \cdot R_e) / (R_e - R_{з.доп}) = (1,57 \cdot 2) / (2 - 1,57) = 7,3 \text{ Ом.}$$

Следовательно, сопротивление заземляющего контура подстанции удовлетворяет условию  $R_3 < R_u$ .

Определяем сопротивление заземляющего устройства подстанций с учётом естественных заземлителей:

$$R_3' = (R_3 \cdot R_e) / (R_3 + R_e) = (3 \cdot 2) / (3 + 2) = 1,2 \text{ Ом.}$$

Тогда напряжение прикосновения будет равно:

$$U_{пр} = k_{П} \cdot I_3 \cdot R_3' = 0,084 \cdot 3770 \cdot 1,2 = 380,01 \text{ В.}$$

Напряжение прикосновения теперь меньше допустимого значения в 500 В.

## **11 Молниезащита подстанции**

Молниезащита – это специальный комплекс технических решений и приспособлений, которые обеспечивают безопасность как людей так и само сооружение и оборудование от различных воздействий молний (возгораний , взрывов и т.д.)

Надежность работы электрической сети непосредственно связана с эффективностью молниезащиты ее элементов.

По типу молниезащита может быть следующий:

1. одностержневой;
2. двухстержневой одинаковой, а также разной высоты;
3. многократно стержневой;
4. одиночной тросовой
5. многократно тросовой

Наиболее распространенными типами молниеотводов являются стержневой, тросовой, сетка.



Защитное действие молниеотводов характеризуется «зоной защиты», или пространство защищенное молниеотводом от ударов молнии. Площадь подстанции составляет 100x80 м.

Для защиты подстанции необходимо установить шесть молниеотводов. Из которых 4 отдельно стоящих молниеотводов в виде металлической мачты с закреплённым металлическим стержнем вверху. Оставшиеся два молниеотвода устанавливаются на металлических порталах воздушной линии 110 кВ в центре подстанции и защищают трансформаторы и другое электрооборудование находящееся в центре подстанции от прямых ударов молнии.

Согласно ПУЭ, в земле, рядом с каждым молниеотводом устанавливаются по два металлических электрода длиной 3 метра и соединяются с магистралью заземления молниеотвода.

Молниеотводы М1, М2, М3 и М4 - молниеотводы на отдельно стоящих металлических опорах, молниеотводы М5 и М6 - молниеотводы на опорах ВЛ 110 кВ.

Расчетная высота молниеотводов М1, М2, М3 ,М4 определяется по формуле:

$$h = h_x + h_a$$

где  $h_x = 20$  м – высота металлической опоры , на которую ставится штырь;

$h_a = 5$  м – высота штыря

$$h = 20 + 5 = 25 \text{ м.}$$

Максимальное расстояние между молниеотводами

$$L_{\text{макс}} = 5,75 \cdot h = 143,75 \text{ м.}$$

Критерий сравнения:  $L_c = 2,25 \cdot h = 56,25$

Так как расстояние между молниеотводами меньше критерия сравнения  $L_c$ , то высота зоны защиты в средней точке между молниеотводами рассчитывается по формуле

$$h_c = (L_{\text{макс}} - L) / (L_{\text{макс}} - L_c) \cdot h_0 = (143,75 - 60) / (143,75 - 56,25) \cdot 20 = 20,4 \text{ м.}$$

Так как высота защищаемого объекта в средней точке между молниеотводами меньше  $h_c$

$$L_x = L / 2 = 60 / 2 = 30 \text{ м.}$$

Зона защиты молниеотводов на уровне земли.

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 25 = 30$$

Сужение зоны защиты в средней точке между молниеотводами.

$$r_x = r_0 / h_c \cdot (h_c - h_x) = 30 / 20,4 \cdot (20,4 - 20) = 0,58 \text{ м.}$$

Расчёт для молниеотводов находящихся на опорах ВЛ 110 кВ М5 , М6 производится аналогично.

Результаты заносятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта молниезащиты

Параметр	Значение
Для молниеотводов М1, М2, М3, М4	
Максимальное расстояние между молниеотводами $L_{\text{макс}}$	143,75 м
Высота молниеотводов, $h$ , м	25 м
Высота зоны защиты в средней точке, $h_c$ , м	20,4 м
Зона защиты молниеотводов на уровне земли, $r_0$ , м	30 м
Сужение зоны защиты в средней точке между молниеотводами $r_x$ , м	0,58 м
Для молниеотводов М5, М6	
Максимальное расстояние между молниеотводами $L_{\text{макс}}$	143,75
Высота молниеотводов, $h$ , м	15
Высота зоны защиты в средней точке, $h_c$ , м	13
Зона защиты молниеотводов на уровне	18

земли, $r_0, м$	
Сужение зоны защиты в средней точке между молниеотводами $r_x, м$	0,36

### Заключение

В процессе работы было произведено электроснабжение производства сварки сварки кузовов автомобилей. Все выбранные аппараты и устройства соответствуют требованиям.

В результате выполнение бакалаврской работы были выбраны трансформаторы для ГПП ТРДН - 25000/110/10/10 и трансформаторы для цеховой подстанций ТМЗ – 1000/10/0,4.

Также в ходе работы было выбрано электрооборудование на стороне 10 кВ:

ячейки КРУ СЭЩ-68 10 кВ, укомплектованные:

выключателем ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000,

трансформатором тока ТОЛ-СЭЩ- 10/1000,

трансформатор напряжения ЗНОЛ -СЭЩ 10.

В качестве релейной защиты на подстанцию выбираем микропроцессорное устройства релейной защиты и автоматики серии РС 83.



## Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) – М. : КРОНУС, 2007. – 488 с.
2. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий: учеб. пособие / В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Степкина. – Тольятти : ТГУ, 2004. – 67 с.
3. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие / В.В. Вахнина. – Тольятти : ТГУ, 2006. – 69 с.
4. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. - метод. пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 54 с.
5. Степкина, Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции: учеб. - метод. пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / Ю.В. Степкина, В.М. Салтыков. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 124 с.
6. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения – Санкт Петербург 2010.
7. Горина, Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учеб. пособие / Л.Н. Горина. – Тольятти : ТГУ, 2000. – 68 с.
8. Мукосеев, Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев. – М. : «Энергия», 2003.
9. Салтыкова О.А. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанций: учебное пособие М. : Тольятти 46 с.
10. Дорошев, К.И. Комплектные РУ 6 – 35 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 2002.
11. Дьяков А.Ф. Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем – М. : Институт Энергосетьпроект 2001.

12. Рожин А.Н. Внутрицеховое электроснабжение: учебное пособие - М.:Киров 2006.
13. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: методические указания к курсовому проектированию / Г.В. Воробьев. – Тольятти, 2003.
14. Ермилов, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Ермилов. – М. : «Энергия», 2003.
15. Двоскин, Л.И. Схемы и конструкции распределительных устройств / Л.И. Двоскин. – М. : «Энергоатомиздат», 2005.
16. Руководящие указания по релейной защите. Защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов. – М. : «Энергоатомиздат», 2005.
17. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под общ. ред. А.А. Фёдорова. – М. : «Энергоатомиздат», 2007. – 592 с.
18. Конюхова Е.А. Киреева Э.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – М. : «Энергопрогресс», 2007.
19. Киреева Э.А. Электрооборудование промышленных предприятий – М.: Кнорус, 2013.
20. Яшков. В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок М.: «Энергопрогресс», 2011.
21. Киреева Э.А. Орлов В.В. Старкова Л.Е. Электроснабжение цехов промышленных предприятий – М.: «Энергопрогресс», 2004.
22. Электрический справочник. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова [и др.]. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 964 с.
23. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ / Е.Ф. Макаров. – М. : ИД «ЭНЕРГИЯ», 2006. – 624 с.
24. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: ученик для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – М. : «Интермет Инжиниринг», 2007. – 672 с.

25. Basic Electricity: Complete Course / Van Valkenburgh – M.: «Prompt», 2004.
26. Concepts in Electric Circuits / W. Naeem - M.: «Watkins Books», 2002.
27. Electrical Safety/ J. Jonnes M.: «Orbit Books», 2008.
28. Introduction to Electronic Engineering/ T. Jons - M.: «Hutchinson», 2007.
29. Electrical Power / R. Pooler - M.: «Watkins Books» ,2003.

