



## Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавров включает в себя проект реконструкции электрической части подстанции «Аскура» 35/6 кВ Тюменская область.

Представленная работа содержит в себе следующие существенные разделы:

- анализ оперативной схемы понизительной трансформаторной подстанции «Аскура»;
- определение величин токов КЗ;
- выбор типа устанавливаемого оборудования на подстанции.

Представленная работа содержит:

- текстовую записку на 54 листах;
- 12 информативных таблиц;
- 12 информативных рисунков;
- чертежи в формате А1 в количестве 6 шт.

## Содержание

Введение.....	4
1 Обзор оперативной схемы ПС 35/6 кВ «Аскура».....	6
1.1 Географическое расположение ПС 35/6кВ «Аскура» .....	6
1.2 Технические показатели ПС 35/6 кВ «Аскура» .....	6
1.3 Необходимость рассмотрения вопросов реконструкции подстанции «Аскура».....	7
2 Определение значений токов КЗ .....	9
2.1 Определение расчетной схемы понизительной подстанции и ее схемы замещения .....	9
2.2 Нахождение элементов схемы .....	11
2.3 Определение ТКЗ в К1 .....	11
2.4 Определение ТКЗ в К2.....	12
3 Выбор электротехнического оборудования .....	16
3.1 Силовые выключатели ПС «Аскура».....	16
3.2 Разъединители ПС «Аскура» .....	19
3.3 Измерительные ТТ ПС «Аскура» .....	20
3.4 Измерительные ТН ПС «Аскура» на стороне 35 кВ.....	24
3.5 Электротехническое оборудование – 6кВ .....	26
3.6 Измерительные ТТ ПС «Аскура» .....	30
3.7 Измерительные ТН ПС «Аскура».....	33
4 Релейная защита и автоматика.....	35
4.1 Выбор типа РЗА.....	35
4.2 Защита понизительных трансформатора «Аскура».....	36
4.3 Расчет уставок защит .....	37
4.4 Определение уставок дифференциального органа с торможением.....	41
4.5 Выбор уставок дифференциальной токовой отсечки.....	45
Заключение .....	50
Список использованных источников .....	51

## **Введение**

Электроэнергетическая система страны влияет на развитие: экономики, промышленности, агрокомплекса и т.д.

Износ энергетического оборудования на подстанциях в энергетической отрасли является глобальной проблемой в данное время. Сегодня многие крупные государственные и частные компании обновляют свое энергетическое хозяйство через ремонтные программы, тарифные дела и инвестиционные проекты. Статистика на сегодняшний день говорит, что износ энергетического оборудования находится в диапазоне 75-80%, в зависимости от муниципального региона РФ.

Современная тенденция в энергетике – масштабное обновление структуры электрооборудования на подстанциях. Тенденция связана с физическими износами. Физические износы это процессы устаревания структуры систем электроснабжения в результате долгой эксплуатации.

Основной целью представленной работы является увеличение надежности электроснабжения электрической энергией потребителей понизительной подстанции «Аскура» 35/6 кВ, которая находится в Тюменской области, г. Тобольск. Модернизация вызвана тем, что находящиеся на территории подстанции «Аскура» оборудование устарело и изнашивается.

Проделанная работа в рамках модернизации позволит увеличить работоспособность ПС «Аскура» в целом, а также увеличить современные показатели надежности снабжения и качества электрической энергии, потребителей Тюменской области.

Чтобы достичь обозначенную цель в проделанной работе, пришлось решить ряд сложных, но в тоже время необходим задач:

1. Определение значений токов короткого замыкания для установленных уровней напряжения данной подстанции «Аскура».

2. Заменить используемое коммутационное оборудование которые до сегодняшнего дня эксплуатируются на территории ОРУ-35 кВ (короткозамыкатели, отделители, разъединители и т.д.).
3. Заменить используемое коммутационное и измерительное оборудование используемое в КРУНах 6 кВ.
4. Выбор усовершенствованных средств РЗА, расчет основных уставок защит.

## **1 Обзор оперативной схемы ПС 35/6 кВ «Аскура»**

### **1.1 Географическое расположение ПС 35/6кВ «Аскура»**

ПС 35/6кВ «Аскура» построена и эксплуатируется с 1968 года. Сегодня ПС 35/6кВ «Аскура» входит в структура АО «Тюменьэнерго» - Тюменские распределительные сети.

Подстанция «Аскура» 35/6 кВ расположена в черте города Тобольск. Представленная подстанция, согласно внешней электрической схеме питания, является тупиковой и прежде всего необходима снабжения ЭЭ городского населения Тобольска Тюменской области, а также для питания приближенных промышленных заводов, типовая оперативная схема ПС 35/6кВ «Аскура» отображена на рисунке 1.

### **1.2 Технические показатели ПС 35/6 кВ «Аскура»**

ПС 35/6кВ «Аскура», согласно схеме питания Тюменской области, запитывается от ВЛ 35 кВ – двухцепная. Сейчас работает следующее оборудование:

- масляные выключатели типа ВМ–35 – 2 шт;
- ТДНС – 16000/35/6 –У-1 – 2 шт;
- разрядники вентильные РВС–35;
- разрядники РВП–6.

Основной перечень заводов и компаний питающихся от подстанции «Аскура» отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень заводов питающихся от ПС «Аскура» 35/6 кВ

Номер питающей линии	Юридическое лицо
6,17,28,29	ООО «Тобольск-хлеб»
16	ООО «Кристалл»
3,15	ОАО «УМК»
1,2,4,11,12,21,23,24,25,26	Городские ТП
5	ООО «Поршень»
22	Тобольский водоканал

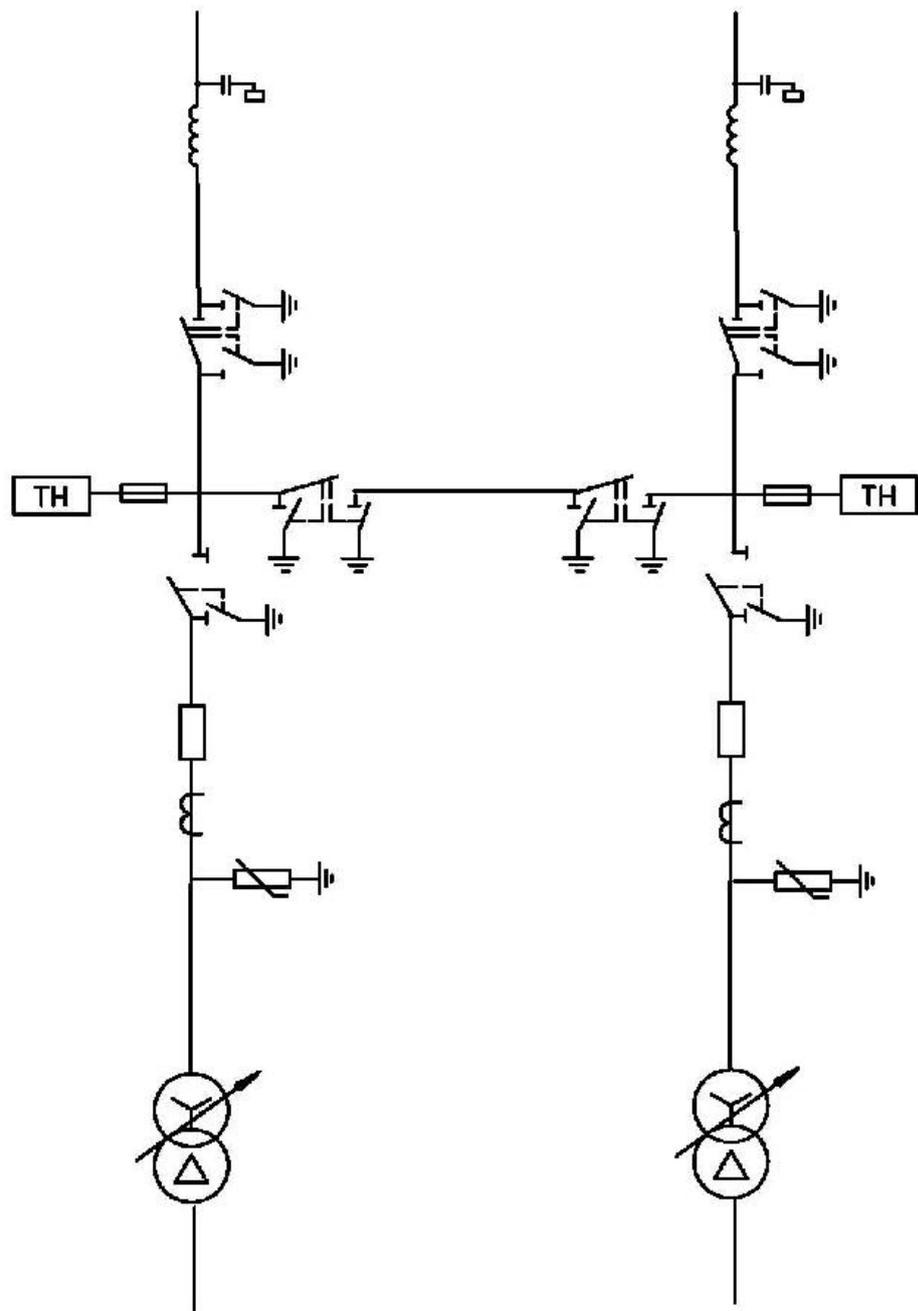


Рисунок 1 – Оперативная электрическая схема подстанции ПС «Аскура»

### 1.3 Необходимость рассмотрения вопросов реконструкции подстанции «Аскура»

ПС «Аскура» введена в конце 60 – годов прошлого столетия. На подстанции с установленными интервалами выполнялись ремонтные работы.

Из общего количества установленного оборудования на подстанции, самым дорогим элементом, как всегда являются силовые трансформаторы. При

систематических перегрузках данных элементов происходит разрушение обмоток.

На ПС «Аскура» с регулярной периодичностью осуществлялись осмотры силовых трансформаторов с помощью тепловизиционного контроля, который помогает узнать распределение температурных показателей по металлическому баку трансформатора. Согласно данным, полученных при тепловизиционном обследовании, не установлено увеличение температур металлического бака. Учитывая выше представленное, а также отсутствия роста электрических нагрузок, в замене трансформаторов нет необходимости.

В КРУ-6 кВ ПС «Аскура» находятся выключатели масляные (ВМП – 10). Эти выключатели имеют пониженные характеристики пожаробезопасности, а тем более давно не производятся. Поэтому эксплуатирующие и ремонтные службы «Тюменьэнерго» не могут приобретать запасные части к данным выключателям.

Необходимо выполнить следующие мероприятия при реконструкции:

- установить на РУ-6кВ вакуумные выключатели;
- в распределительном устройстве 35 кВ к установке применить выключатели вакуумные;
- установить новые измерительные трансформаторы тока и измерительные ТН.

## 2 Определение значений токов КЗ

В данной главе нужно посчитать значения ТКЗ на шинах сборных ПС 35/6кВ «Аскура». Полученные данные данной главы помогут оценить правильность выбора оборудования подстанции. Обязательным условием правильного расчета токов КЗ является составление расчетной схемы (рисунок 2), и схемы замещения КЗ (рисунок 3).

### 2.1 Определение расчетной схемы понизительной подстанции и ее схемы замещения

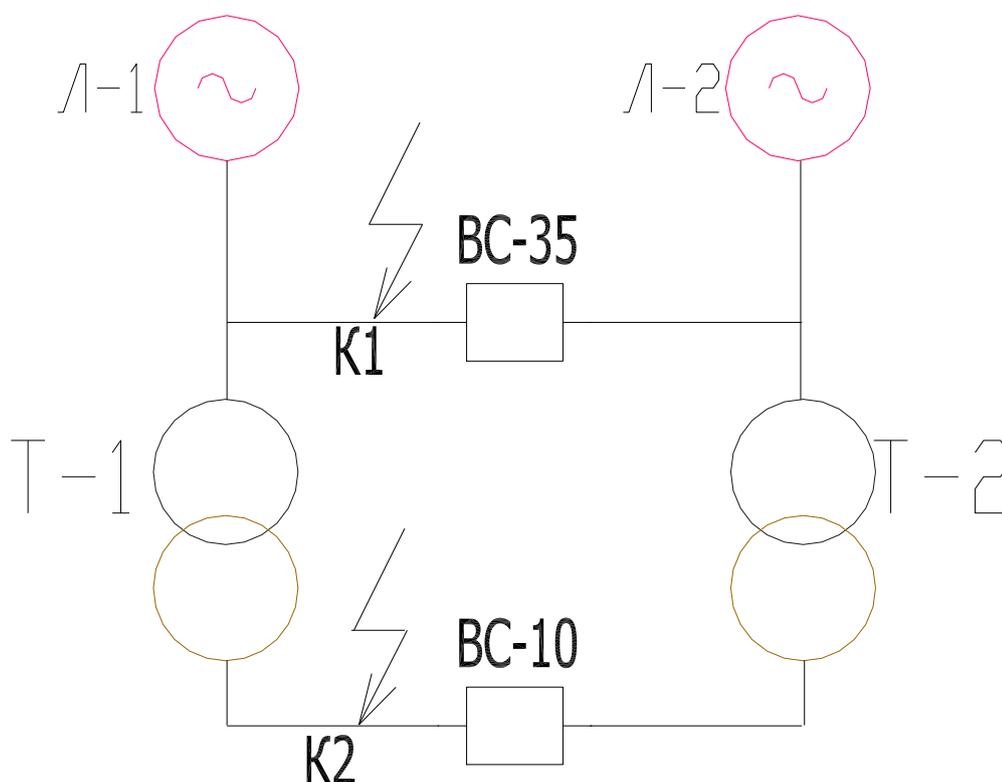


Рисунок 2 – Схема для определения значений ТКЗ

Ток базисные для расчета величины ТКЗ, находится по следующей формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}, \quad (1)$$

где  $S_{\sigma}$  – мощность КЗ (базисное значение), МВА;  $U_{\sigma}$  – напряжение (базисное значение), кВ.

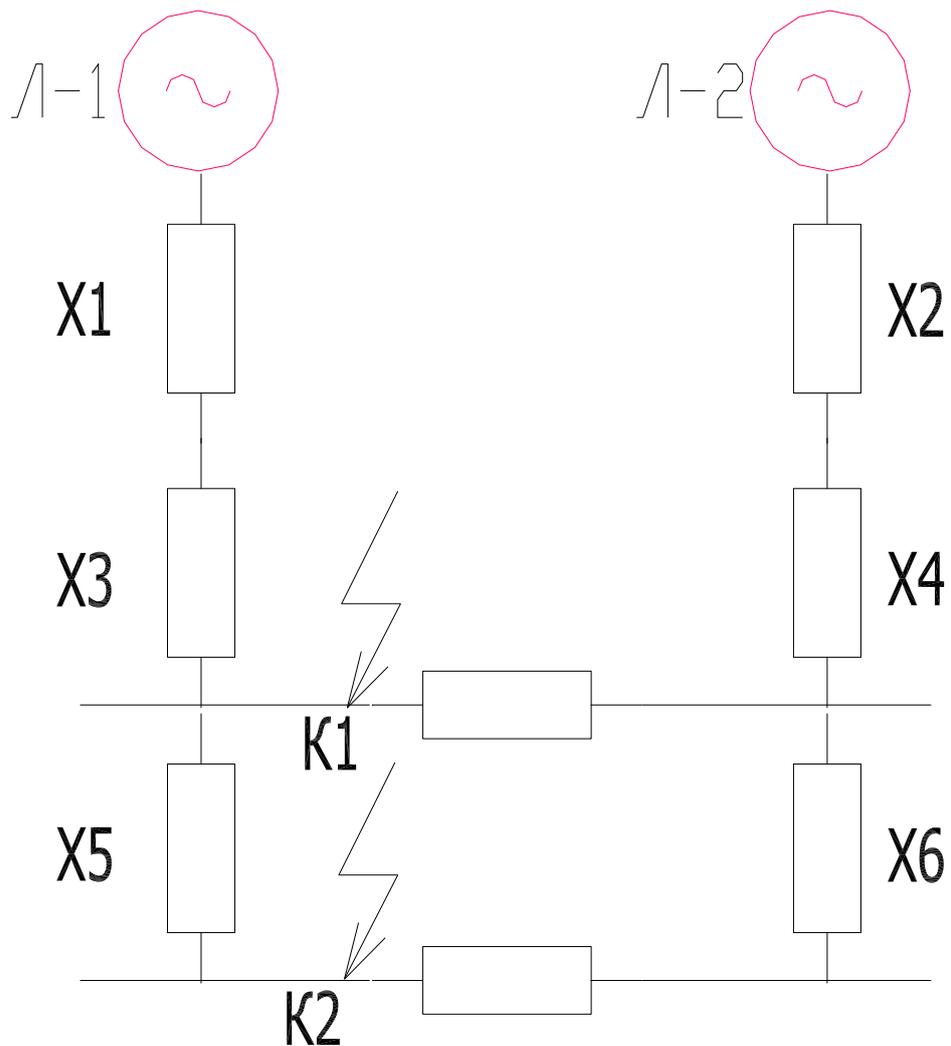


Рисунок 3 – Преобразованная схема для определения значений ТКЗ

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 15 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 91,6 \text{ кА}.$$

## 2.2 Нахождение элементов схемы

Формула для определения сопротивления энергетической системы:

$$X_c = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\text{кз}}}, \quad (2)$$

где  $S_{\text{кз}}$  – величина мощности КЗ, которая находится:

$$S_{\text{кз}} = I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{cp}} \cdot \sqrt{3}; \quad (3)$$

$$S_{\text{кз}} = 10 \cdot 38,5 \cdot \sqrt{3} = 667 \text{ МВА};$$

$$X_1 = X_2 = \frac{1000}{667} = 1,5.$$

Расчет значения сопротивления воздушной линии:

$$X_l = x_{\text{уд}} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\text{cp}}^2}; \quad (4)$$

$$X_3 = X_4 = 0,4 \cdot 15 \cdot \frac{1000}{38,5^2} = 4.$$

Расчет значения сопротивления силовых трансформаторов:

$$X_{\text{mp}} = \frac{U_{\text{кз}\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\text{mp}}}; \quad (5)$$

$$X_5 = X_6 = \frac{8}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 5.$$

## 2.3 Определение ТКЗ в К1

Расчет общего сопротивления:

$$X_7 = X_1 + X_3 = 1,5 + 4 = 5,5;$$

$$X_8 = X_2 + X_4 = 1,5 + 4 = 5,5;$$

$$X_{рез} = \frac{X_7 \cdot X_8}{X_7 + X_8} = \frac{5,5 \cdot 5,5}{5,5 + 5,5} = 2,75.$$

Трехфазный ТКЗ в установленной точке К1, находим, как:

$$I_{n0K1}^{(3)} = \frac{1}{2,75} \cdot 15 = 5 \text{ кА}.$$

Величина тока короткого замыкания (ударный ток) в точке К-1 находится:

$$i_{y0K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_{y0} \cdot I_{n0K1}^{(3)}, \quad (6)$$

где  $k_{y0}$  – ударный показатель из книги.

$$i_{y0K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 5 = 13 \text{ кА};$$

$$I_{нTK1} = I_{n0K1}^{(3)} = 5 \text{ кА};$$

$$i_{arK1} = \sqrt{2} \cdot I_{n0K1}^3 \cdot e^{-\tau/Ta},$$

где  $i_{arK1} = \sqrt{2} \cdot 5 \cdot 1,09 = 8 \text{ кА}.$

## 2.4 Определение ТКЗ в К2

$$X_{10} = X_7 + X_5 = 5,5 + 5 = 10,5;$$

$$X_{11} = X_8 + X_6 = 5,5 + 5 = 10,5.$$

Теперь сворачиваем показатели схемы:

$$X_{рез} = \frac{X_{10} \cdot X_{11}}{X_{10} + X_{11}} = \frac{10,5 \cdot 10,5}{10,5 + 10,5} = 5,25.$$

Трехфазный ТКЗ в установленной точке К2, находим, как:

$$I_{n0K2}^{(3)} = \frac{1}{5,25} \cdot 91,6 = 17 \text{ кА}.$$

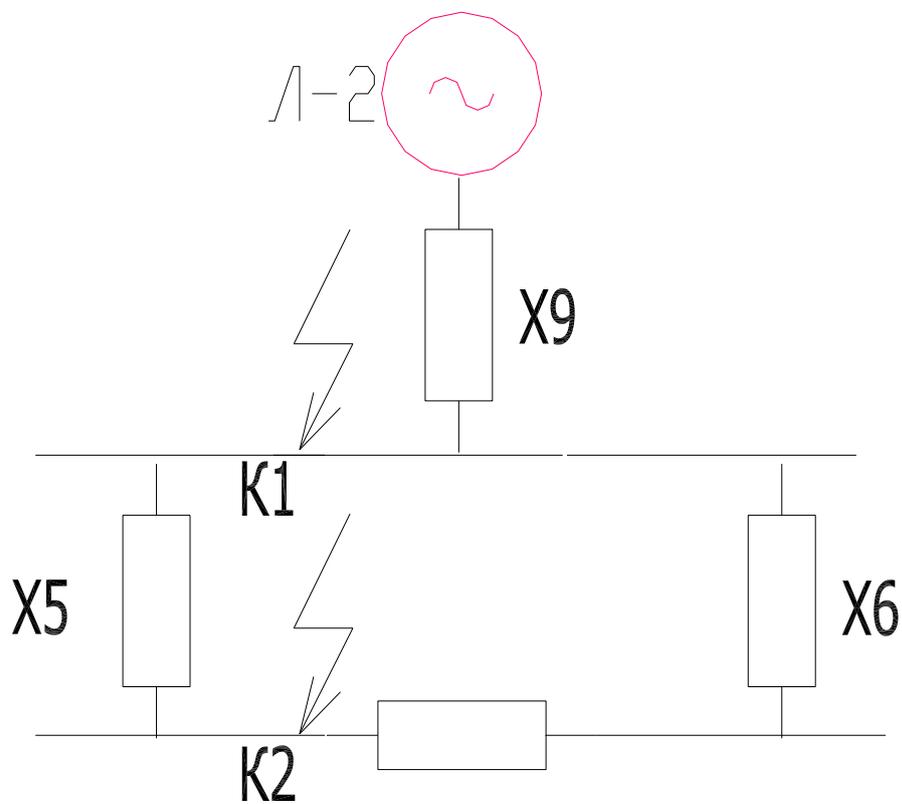


Рисунок 4 – Упрощенная схема

Найдем ток КЗ (ударное значение) в расчетной точке К-2:

$$i_{удK2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot 17 = 46 \text{ кА};$$

$$I_{нрK2} = I_{n0K2}^{(3)} = 17 \text{ кА};$$

$$i_{атK2} = \sqrt{2} \cdot 17 \cdot 1,09 = 26 \text{ кА}.$$

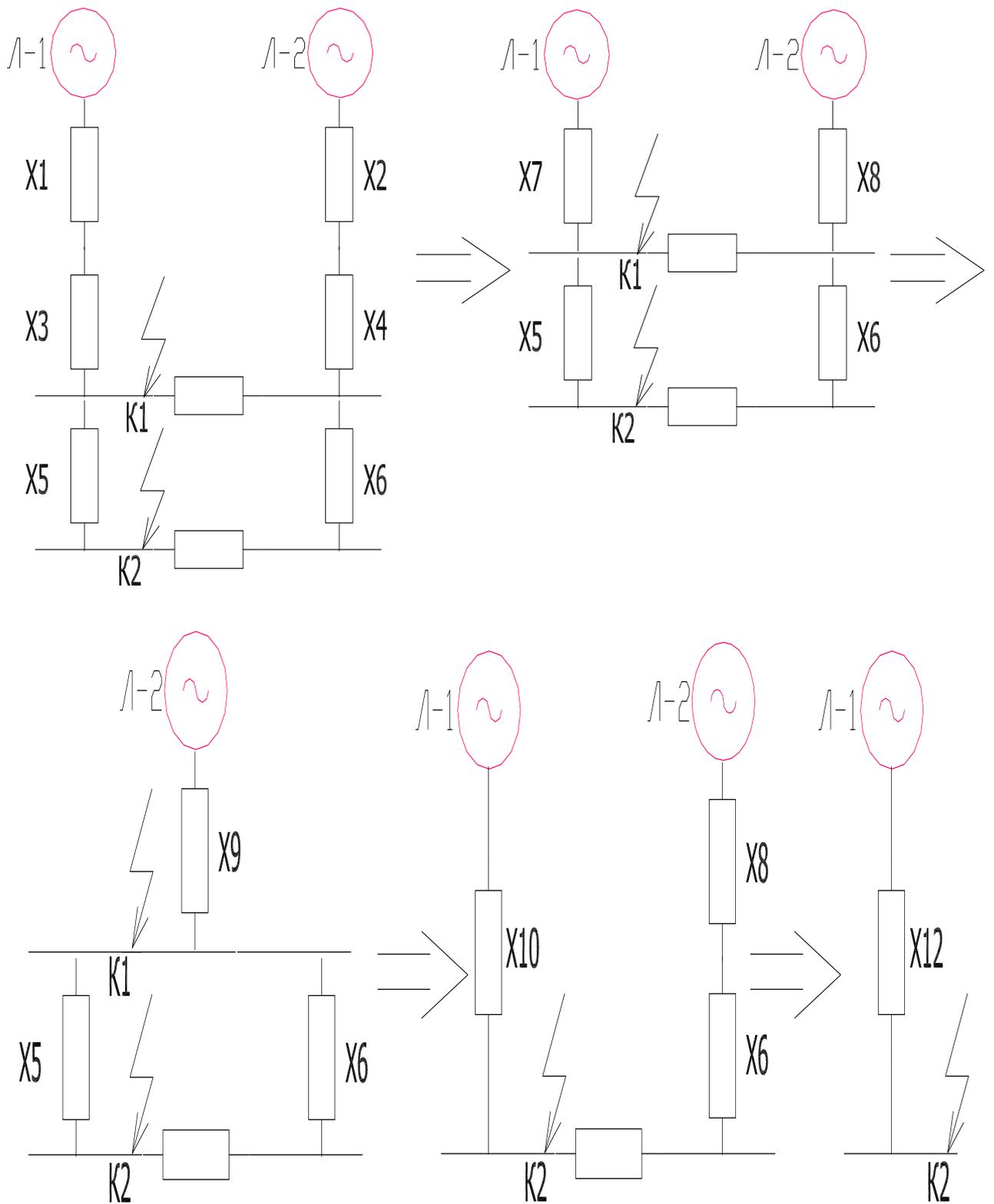


Рисунок 5 – Преобразование расчетной схемы

Полученные данные величин ТКЗ в точках K1; K2 отразим в таблице 2.

Таблица 2 – По итогу значения токов КЗ

Расчетная точка	U, В	$I_{кз(3)}, A$	$i_{уд}, A$
35 кВ - т.К1	38500	5000	13000
6 кВ - т.К1	6300	17000	46000

### 3 Выбор электротехнического оборудования

#### 3.1 Силовые выключатели ПС «Аскура»

Для выбора выключателя, выберем для сравнения два разных выключателя, и сравним их между собой (таблица 3).

Таблица 3 – Технические данные из паспорта

№п/п	Технические показатели	ВВСТ-35	ВБН-35
1	$U_{ном}$ , кВ	35	35
2	$U_{раб}$ , кВ	40,5	40,5
3	$I_n$ , А	1600	1600
4	$i_{уд}$ , кА	25	20

Согласно данным (таблица 3) к установке используем силовой выключатель ВВСТ-35 (рисунок 6), т.к. токи отключения у данного выключателя выше чем у аналога.

Условия выбора выключателя представлены в ГОСТ Р 52565-2006. Выбор выключателя осуществляется по следующим критерием:

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (7)$$

$$35кВ \geq 35кВ.$$

2. Рассмотрение по установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (8)$$

$$I_{раб} = 240А;$$

$$I_{раб} = 1600А;$$

$$1600 \geq 240.$$



Рисунок 5 – Выключатель вакуумный ВВСТ-35

3. По коммутационной способности:

а) способность отключения симметричного тока:

$$I_{ПТ} \leq I_{откл.ном.}; \quad (9)$$

$$I_{П\tau} = 5 \text{ кА};$$

$$I_{откл.ном.} = 25 \text{ кА};$$

$$5 \leq 25.$$

б) возможность отсечения апериодической величины КЗ:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном.} \cdot I_{откл.ном.}, \quad (10)$$

где  $i_{a,\tau}$  - номинально возможное значение апериодической составляющей в токе для промежутка времени  $\tau$ ;  $\beta_{ном.}$  - показатель (относительный) содержания апериодической составляющей в отключаемом токе:

$$\tau = t_{P3} + t_{CB}, \quad (11)$$

$$\tau = 0,015 + 0,04 = 0,065 \text{ сек},$$

где 0,015 - время реагирования РЗА; 0,04 - интервал отключения выключателя.

$$i_{a.ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном.} \cdot I_{откл.ном.} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 25 = 12,4 \text{ кА};$$

$$\beta_{a.ном.} = \frac{i_{a,\tau}}{\sqrt{2} \cdot I_{н.\tau}} \Rightarrow i_{a,\tau} = \beta_{ном.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{н.\tau} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 5 = 2,47 \text{ кА};$$

$$i_{a,\tau} = 2,47 \leq i_{a.ном.} = 12,4 \text{ (кА)}.$$

3. способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_{п.о.} \leq I_{нр.с.}; \quad (12)$$

$$I_{уу} \leq I_{нр.с.}; \quad (13)$$

где  $I_{нр.с.} = 62,5 \text{ кА}$  – ток сквозной ток берется из каталога;  $I_{п.о.} = 4,3$  – большее значение периодической ТКЗ.

$$4,3 \leq 62,5.$$

4. По тепловому импульсу – на «термику»:

$$B_K \leq B_{ном}; \quad (14)$$

$$B_K = I_n^2 \cdot t;$$

$$B_K = 5^2 \cdot 0,065 = 2,625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{ном} = I_{тер}^2 \cdot t_m; \quad (15)$$

$$B_{ном} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_m$  – ток термической устойчивости берется из каталога;  $t_m$  – промежуток времени протекания тока.

$$2,625 \leq 1875.$$

### 3.2 Разъединители ПС «Аскура»

В таблице 4 представлен сравнительный анализ двух типов разъединителей.

Таблица 4 – Сравнение двух аналогов

Технические показатели	РДЗ.2	РГП – СЭЩ
$U_{ном}$ , кВ	35	35
$U_{раб}$ , кВ	40,5	40,5
$I_n$ , А	1000	1000
$i_{тер}$ , кА	16	20
$i_{уд}$ , А	40000	50000

Разъединитель выбирается по следующим параметрам:

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (16)$$

$$35кВ \geq 35кВ.$$

2. Рассмотрение по установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (17)$$

$$I_{раб} = 240А;$$

$$I_{раб} = 630А;$$

$$630 \geq 240.$$

3. Способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_{п.о.} \geq I_{Прс}; \quad (18)$$

$$I_{уд} \leq I_{Прс}; \quad (19)$$

$$I_{уд} = 4,5кА;$$

$$I_{уд} \leq I_{Прс} = 4,3 \leq 64кА.$$

К установке беру разъединитель РГП – СЭЩ – 35 кВ (рисунок 7).

### 3.3 Измерительные ТТ ПС «Аскура»

В таблице 5 представлен анализ двух аналогов измерительных трансформаторов тока.

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (20)$$

$$35кВ \geq 35кВ.$$

Таблица 5 – Сравнение двух аналогов

Технические показатели	ТФЗМ	ТОЛ
$U_{ном}$ , кВ	35	35
$U_{раб}$ , кВ	40,5	40,5
$I_n$ , А	300	300
$f_n^{50}$ , Гц	50	50



Рисунок 7 – Разъединитель РГП – СЭЩ – 35 кВ

2. Рассмотрение по установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (21)$$

$$I_{раб} = 240A;$$

$$I_{раб} = 300A;$$

$$300 \geq 240.$$

3. способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_y \geq I_{эд}; \quad (22)$$

$$I_y = 17,5 \text{ кА};$$

$$I_{эд} = 42 \text{ А};$$

$$42 \geq 17,5.$$

4. По тепловому импульсу – на «термику»:

$$B_K \leq B_{мер}; \quad (23)$$

$$B_K = I_n^2 \cdot t;$$

$$B_K = 6^2 \cdot 1 = 36 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{мер} = K_m^2 \cdot I_{ном}^2 \cdot t_m; \quad (24)$$

$$B_{мер} = 120^2 \cdot 0,3^2 \cdot 4 = 5184 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_m$  – ток термической устойчивости берется из каталога;  $t_m$  – промежуток времени протекания тока.

$$B_K \leq B_{мер} = 36 \leq 5184.$$

Сопротивление измерительных аппаратов:

$$r_{приб} = \frac{S_{\Sigma пр.}}{I_2^2};$$

$$r_{приб} = \frac{5,3}{5^2} = 0,212 \text{ Ом}, \quad (25)$$

где  $I_2$  – номинальный ток измерительного аппарата;  $S_{\Sigma пр}$  – мощность, потребляемая приборами.

Полное сопротивление всех аппаратов:

$$r_2 = 0,212 + 0,1 + 0,056 = 0,370 \text{ Ом};$$

$$R_{пр} = 0,37 - 0,212 + 0,1 = 0,056 \text{ Ом};$$

$$S_{пров} = I \cdot \frac{\rho}{R_{пр}}; \quad (26)$$

$$S_{пров} = \frac{0,283}{0,056} = 5,1 \text{ мм}^2,$$

где  $R_k = 0,1$  – переходное сопротивление контактов;  $R_{пр}$  – сопротивление проводов.

Выберу измерительный трансформатор тока ТОЛ-СВЭЛ 35 УХЛ1 (рисунок 8). Производства компании АО «Группа «СВЭЛ».

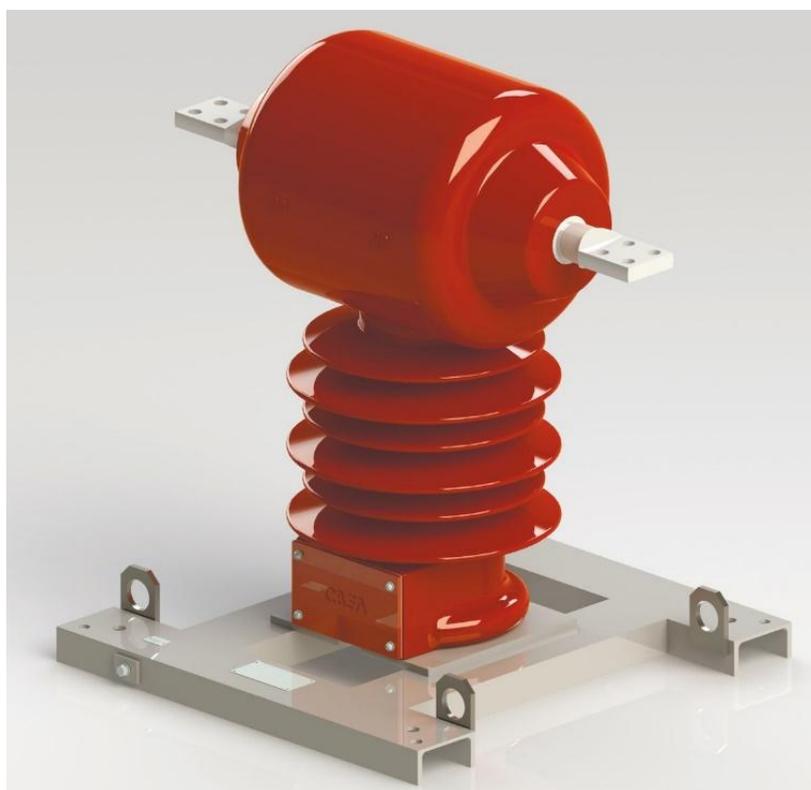


Рисунок 7 – Измерительный ТТ тип ТОЛ-СВЭЛ

Таблица 6 - Нагрузка ТТ на вторичной обмотке

Измерительный аппарат	Кол-во	Паспортные значения		
		А	В	С
Амперметр для измерения тока	1	0,1		
Ваттметр для измерения мощности активной	1	0,1		
Варметр для измерения реактивной мощности	1	0,1		
Счетчик ЭЭ – активная энергия	3	2,5	2,5	2,5
Счетчик ЭЭ – реактивная энергия	3	2,5	2,5	2,5
$S_{\Sigma ПР} = 5,3ВА$				

### 3.4 Измерительные ТН ПС «Аскура» на стороне 35 кВ

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (27)$$

$$35кВ \geq 35кВ.$$

2. По нагрузке подключенной к 2-ой обмотке ТН:

$$S_{\Sigma ПР} \leq S_{Ном}, \quad (28)$$

где  $S_{\Sigma ПР}$  – установленная нагрузка всех измерительных аппаратов, присоединенных к измерительному ТН.

$$S_{Ном} = 6,2ВА;$$

$$S_{\Sigma ПР} \leq S_{Ном}; \quad (29)$$

$$6,2 \leq 150ВА.$$

Беру к установке измерительный ТН ЗНОЛ.П на 35 кВ (рисунок 8).

Таблица 7 - Нагрузка ТН на вторичной обмотке

Прибор	Кол-во	Паспортные значения
Ваттметр для измерения мощности активной	1	0,5
Варметр для измерения реактивной мощности	1	0,5
Счетчик ЭЭ – активная энергия	1	2,5
Счетчик ЭЭ – реактивная энергия	1	2,5
Вольтметр межфазный	1	0,1
Вольтметр для измерения напряжения	1	0,1
		$S_{\Sigma ПР} = 6,2ВА$



Рисунок 8 – ЗНОЛП На 35 кВ

### 3.5 Электротехническое оборудование – 6кВ

Беру к использованию модульное КРУ для наружных установок типа К – 59УХЛ1 (рисунок 9) производства компании «Самарский электрощит».

При разработке проекта реконструкции рассматриваются к установке только выключатели вакуумные, т.к. они хорошо себя зарекомендовали при эксплуатации на особо важных.

Сравнительные характеристики вакуумных выключателей представлена в таблице 8.



Рисунок 9 – КРУН типа К-59

Таблица 8 – Параметры выключателей

Технические показатели	ВВ/TEL-10	ВБКЭ
$U_{ном}, В$	10000	10000
$I_n, А$	1000	1000
$I_{токоотключения}, А$	12500	20000
Коммутационные данные	150000	50000
Возможный срок жизни оборудования, лет	30	30

Беру к использованию выключатель типа ВВ/TEL (рисунок 10), т.к. он имеет привлекательную стоимость при сохранении технических параметров.



Рисунок 10 – Выключатель на 10 кВ

Выключатель выбирается по следующим параметрам:

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (30)$$

$$10кВ \geq 10кВ.$$

2. Рассмотрение по установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (31)$$

$$I_{раб} = 840А;$$

$$I_{раб} = 1000А;$$

$$1000 \geq 840.$$

3. По отключающей способности:

а) способность отключения симметричного тока:

$$I_{П\tau} \leq I_{откл.ном.}; \quad (32)$$

$$I_{П\tau} = 7кА;$$

$$I_{откл.ном.} = 20кА;$$

$$7 \leq 20.$$

б) возможность отсечения апериодической величины КЗ:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a.ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном.} \cdot I_{откл.ном.}, \quad (33)$$

где  $i_{a,\tau}$  - номинально возможное значение апериодической составляющей в токе для промежутка времени  $\tau$ ;  $\beta_{ном.}$  - показатель (относительный) содержания апериодической составляющей в отключаемом токе:

$$\tau = t_{P3} + t_{CB} = 0,01 + 0,05 = 0,06.$$

Рассчитаем возможность отсечения:

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном.} \cdot I_{откл.ном.}; \quad (34)$$

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 20 = 9,9 \text{ кА};$$

$$\beta_{a.ном} = \frac{i_{a.\tau}}{\sqrt{2} \cdot I_{п.\tau}} \Rightarrow i_{a.\tau} = \beta_{ном.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п.\tau}; \quad (35)$$

$$\beta_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot 0,35 \cdot 7 = 3,5 \text{ кА};$$

$$i_{a.\tau} = 3,5 \leq i_{a.ном.} = 9,9 \text{ (кА)}.$$

4. Способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_{п.о.} \leq I_{пр.с.}; \quad (36)$$

$$I_{уд} \leq I_{пр.с.}; \quad (37)$$

где  $I_{пр.с.} = 20 \text{ кА}$  – ток сквозной ток берется из каталога;  $I_{п.о.} = 11,1$  – большее значение периодической ТКЗ.

$$11,1 \leq 20.$$

5. По тепловому импульсу – на «термику»:

$$B_{\kappa} = I_n^2 \cdot t; \quad (38)$$

$$B_{\kappa} = 7^2 \cdot 0,06 = 2,45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{ном} = I_{мер}^2 \cdot t_m; \quad (39)$$

$$B_{ном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где  $I_m$  – ток термической устойчивости берется из каталога;  $t_m$  – промежуток времени протекания тока.

$$B_K \leq B_{тер} = 2,45 \leq 1200.$$

### 3.6 Измерительные ТТ ПС «Аскура»

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (40)$$

$$10кВ \geq 10кВ.$$

2. Рассмотрение по установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{раб}; \quad (41)$$

$$I_{раб} = 840А;$$

$$I_{раб} = 1500А;$$

$$1500 \geq 840.$$

3. Способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_y \geq I_{эд}; \quad (42)$$

$$I_y = 40кА;$$

$$I_{эд} = 100кА;$$

$$100 \geq 40.$$

4. По тепловому импульсу – на «термику»:

$$B_K \leq B_{тер}; \quad (43)$$

$$\begin{aligned}
B_{\kappa} &= I_n^2 \cdot t; \\
B_{\kappa} &= 40^2 \cdot 1 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}; \\
B_{\text{мер}} &= K_m^2 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot t_m; \\
B_{\text{мер}} &= 120^2 \cdot 3^2 \cdot 3 = 388800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},
\end{aligned} \tag{44}$$

где  $I_m$  – ток термической устойчивости берется из каталога;  $t_m$  – промежуток времени протекания тока.

$$B_{\kappa} \leq B_{\text{мер}} = 1600 \leq 388800$$

Сопротивление измерительных аппаратов:

$$\begin{aligned}
r_{\text{приб}} &= \frac{S_{\Sigma \text{пр}}}{I_2^2}; \\
r_{\text{приб}} &= \frac{5,3}{5^2} = 0,212 \text{ Ом},
\end{aligned} \tag{45}$$

где  $I_2$  – номинальный ток измерительного аппарата;  $S_{\Sigma \text{пр}}$  – мощность, потребляемая приборами.

Номинальное полное сопротивление нагрузки:

$$\begin{aligned}
r_2 &= 0,212 + 0,1 + 0,056 = 0,37 \text{ Ом}; \\
R_{\text{пр}} &= 0,37 - 0,212 + 0,1 = 0,056 \text{ Ом};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{\text{пров}} &= l \cdot \frac{\rho}{R_{\text{пр}}}; \\
S_{\text{пров}} &= \frac{0,283}{0,056} = 5,1 \text{ мм}^2,
\end{aligned} \tag{46}$$

где  $R_k = 0,1$  – переходное сопротивление контактов;  $R_{пр}$  – сопротивление проводов.

Беру к использованию измерительный трансформатор типа ТЛМ-10 (рисунок 11) производства «Самарский электроцит».

Таблица 10 - Нагрузка ТТ на вторичной обмотке

Измерительный аппарат	Кол-во	Данные из паспорта		
		А	В	С
Амперметр для измерения тока	1	0,1		
Ваттметр для измерения мощности активной	1	0,05		
Варметр для измерения реактивной мощности	1	0,05		
Счетчик ЭЭ – активная энергия	3	2	2	2
Счетчик ЭЭ – реактивная энергия	3	2	2	2
				$S_{\Sigma TP} = 5,3 VA$



## Рисунок 11- Измерительный трансформатор тока

### 3.7 Измерительные ТН ПС «Аскура»

1. Рассмотрение по рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{уст}; \quad (47)$$

$$10кВ \geq 10кВ.$$

2. По нагрузке подключенной к 2-ой обмотке ТН:

$$S_{\Sigma ПР} \leq S_{Ном}, \quad (48)$$

где  $S_{\Sigma ПР}$  – установленная нагрузка всех измерительных аппаратов, присоединенных к измерительному ТН.

$$S_{Ном} = 6,2ВА;$$

$$S_{\Sigma ПР} \leq S_{Ном}; \quad (49)$$

$$6,2 \leq 120ВА.$$

Беру к установке измерительный ТН НАМИ на 10 кВ (рисунок 12).

Таблица 7 - Нагрузка ТН на вторичной обмотке

Измерительный аппарат	Кол-во	Мощность из паспорта (В·А)
Ваттметр для измерения мощности активной	1	0,5
Варметр для измерения реактивной мощности	1	0,5
Счетчик ЭЭ – активная энергия	1	2,5
Счетчик ЭЭ – реактивная энергия	1	2,5
Вольтметр межфазный	1	0,1
Вольтметр для измерения напряжения	1	0,1
		$S_{\Sigma ПР} = 6,2ВА$



Рисунок 12 – Измерительный трансформатор ТН

## 4 Релейная защита и автоматика

Раздел ПУЭ, регламентирует виды защиты силовых трансформаторов. В таблице 8 представлен результат анализа ПУЭ, в части РЗА.

Таблица 8 – Защита ПС 35/6 кВ «Аскура»

Тип РЗА	Исполнение	Пояснения
Диф.защита	3-х фазная	
ГЗ		
Максимальная токовая защита		
Защита от перегрузки	3-х фазная	на сигнал
ТНЗНП		

### 4.1 Выбор типа РЗА

Для надежной защиты ПС 35/6 кВ «Аскура» буду выбирать цифровые терминалы компании «Бреслер» г. Чебоксары.

Визуально терминал TOP 200 продемонстрирован на рисунке 13.

Выбранное устройство TOP-200 выполняется на элементарной микропроцессорной элементной базе.

TOP 200 должны получать питания от источников постоянного тока. Возможно также питание осуществить с помощью источников переменного или выпрямленного тока. Диапазон напряжений, согласно паспорту изделия равен от 24 до 220 В.

Завод-изготовитель позиционирует свое изделие, как изделие которое может полностью удовлетворять потребностям заказчика.



Рисунок 13 –TOP 200

#### **4.2 Защита понизительных трансформатора «Аскура»**

К установке примену шкафчик для защиты понизительных трансформаторов 35 кВ компании Бреслер типа ШТ2108.

Выбранный шкаф ШТ2108 включает в себя главную защиту трансформаторов с абсолютной селективностью. Согласно ПУЭ необходимо реализовать не только основные но и резервные защиты трансформаторов. Комплект основных и резервных защит, буду реализовывать на терминалах типа ШТ2108. По специальным требованиям от заказчика, выбранное устройство может быть дополнено набором управления автоматики - выключатель на стороне ВН.

### 4.3 Расчет уставок защит

Показатель возврата измерительных органов в микропроцессорной РЗА принимают равными 0,95, а в минимальных – 1,05.

Показатель возврата дифференциальной защиты приму в районе 0,8.

Номинальные значения токов для всех возможных сторон трансформаторов находятся по выражению:

$$I_{\text{НОМ},n} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ},n}}, \quad (50)$$

где  $S_{\text{НОМ}}$  – паспортная мощность трансформатора, беру из каталога;  $U_{\text{НОМ}}$  номинальное напряжение одной из сторон трансформатора.

$$I_{\text{НОМВН}} = \frac{16 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 168,07 \text{ А} = 1,68 \text{ кА};$$

$$I_{\text{НОМНН}} = \frac{16 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 980,4 \text{ А} = 0,98 \text{ кА}.$$

Выбор показателей уставок дифференциальной защиты и проверка ее чувствительности.

Дифференциальная защита с функцией торможения предназначена для отсечения всех возможных видов коротких замыканий и повреждений внутри зоны, в том числе в тех случаях когда при КЗ протекают малые величины токов замыкания.

В дифференциальной защите обязательно на каждой фазе предусматриваются органы дифференциальной токовой отсечки и дифференциальный орган с торможением, которые обеспечивают хорошие показатели защиты.

Определение рабочих диапазонов дифференциальных органов с функциями торможений (дифференциальных тормозных токов) происходит следующим образом:

Ток дифференциальный отсечки находится, как арифметическая сумма всех токов плеч, основных гармоник соответствующих каналов дифференциальной ТЗ:

$$I_{\text{диф}} = I_1 + I_3, \quad (51)$$

где  $I_1$  и  $I_3$  - главные гармоники токов в плечах рассматриваемых каналов дифференциальной токовой защиты в фазах А, В и С, которые необходимо привести к номинальному значению току обмотки с наибольшей установленной мощностью (базисному току).

Ток который именуется, как входной, равен току плеча с максимальным модулем. Значения выходного и тормозного токов определяются согласно установленным математическим выражениям:

$$I_{\text{вых}} = I_{\text{вх}} - I_{\text{диф}}; \quad (52)$$

$$I_{\text{торм}} = \begin{cases} 0, & \text{при } 90^0 \leq \varphi \leq 270^0 \\ \sqrt{I_{\text{вх}} \cdot I_{\text{вых}} \cos \varphi}, & \text{при } -90^0 \leq \varphi \leq 90^0 \end{cases}, \quad (53)$$

где  $\varphi$  это значение угла между входным  $I_{\text{вх}}$  током и выходным  $I_{\text{вых}}$  током.

Разберем основные принципы формирования дифференциальных и тормозных токов на примере понизительного трансформатора, который получает питание со стороны ВН, при внешнем и внутренним КЗ (рисунок 14).

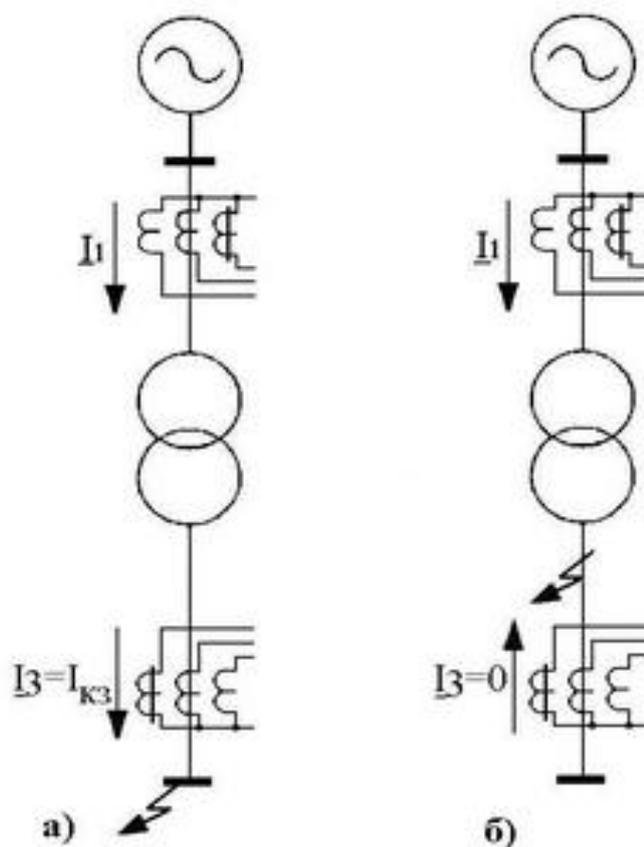


Рисунок 14 – Распределение токов в понижающем трансформаторе при КЗ:  
внешнем- а; внутреннем - б

Разберем функционал защиты при внешнем КЗ. Согласно основным принципам функционирования защиты, ток дифференциальный, определяется:

$$I_{\text{диф}} = I_1 - I_3. \quad (54)$$

Величина входного тока  $I_{\text{ВХ}}$  равна максимальному значению из токов следующих токов:  $I_1$  и  $I_3$ , в нашем случае току  $I_3 = I_{\text{кз}}$ .

Величина тока выходного  $I_{\text{ВЫХ}}$  равна:

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВХ}} - I_{\text{диф}} = I_3 - 0 = I_{\text{кз}}. \quad (55)$$

Сравниваемые токи равны, следовательно угол сдвига между токами равна  $\varphi = 0$ . Следовательно величина тормозного тока находится по формуле:

$$I_{\text{Торм}} = \sqrt{I_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}} \cos \varphi} = \sqrt{I_{\text{КЗ}} I_{\text{КЗ}} \cos 0} = I_{\text{КЗ}}. \quad (56)$$

При КЗ происходящее в зоне действия защиты (рисунок 14б). В данном конкретном случае принимается, что со стороны низкого напряжения - 6 кВ, подпитки от двигателей нет, т.е.  $I_3 = 0$ . Поэтому дифференциальный ток можно будет определить, как:

$$I_{\text{диф}} = I_1 = I_{\text{КЗ}}. \quad (57)$$

Из представленных расчетов, входной ток  $I_{\text{ВХ}}$ , как видно равен току максимальному -  $I_1$ .

Выходной ток  $I_{\text{ВЫХ}}$  найду, как:

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВХ}} - I_{\text{диф}} = I_1 - I_1 = 0. \quad (58)$$

Все значения токов, необходимы для установки уставок средств защиты. Сами уставки необходимо определять в относительных единицах. Для забивания уставок в терминал, полученные значения необходимо изначально умножать на 100%.

Согласно инструкции, в выбранном терминале возможна защита для понижающих трансформаторов с разнообразными группами обмоток. Схемы и группы трансформатор, вносятся в программу терминала в виде отдельной вкладки «Группа».

Существует возможность использования данной защиты в схеме с измерительными ТТ на стороне ВН и СН, которые соединяются в группу

«треугольник». Для этого необходимо на первом этапе задавать уставку группы соединения обмоток трансформатора. Есть возможность использовать ДЗТ в схеме с измерительными трансформаторами тока на сторонах СН и/или НН. В таком случае основная защита выполняется как двухканальная.

#### 4.4 Определение уставок ДЗТ с функцией торможения

Для создания торможения при протекании КЗ, которые могут привести к насыщению измерительных ТТ, у которых область тормозной характеристики  $I_{\text{торм}} > I_{\text{блок}}$  определяются по показателям: входной и/или выходной токи меньше задаваемой уставки.

Согласно нормативным документам для органа с функцией торможения должны задаваться следующие величины:

- Блокировка по 2-ой гармонике;
- Величина тока запуска блокировки по 2-ой гармонике в случае возникновения внешнего короткого замыкания.

Уставки задаются по следующим формулам:

$$I_{\text{нб.расч}*} = I'_{\text{нб.расч}*} + I''_{\text{нб.расч}*} + I'''_{\text{нб.расч}*}; \quad (60)$$

$$I'_{\text{нб.расч}*} = k_{\text{пер}} \cdot k_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{расч}*}; \quad (61)$$

$$I''_{\text{нб.расч}*} = \Delta U_{\text{рег}} \cdot I_{\text{расч}*}; \quad (62)$$

$$I'''_{\text{нб.расч}*} = f_{\text{выр}} \cdot I_{\text{расч}*}, \quad (63)$$

где  $I'_{\text{нб.расч}}$  - значение тока небаланса, характеризующееся погрешностью измерительного трансформатора тока;  $k_{\text{пер}}$  - показатель который характеризует переходный режим, в расчетах приму 1;  $k_{\text{одн}}$  - показатель характеризующий однотипность измерительных ТТ;  $\varepsilon$  - относительный показатель полной погрешности измерительных ТТ, в расчётах приму равным

0,1;  $I''_{\text{нб.расч}}$  - значение тока небаланса, характеризующиеся регулированием напряжения понизительного трансформатора;  $\Delta U_{\text{рег}}$  - погрешность, которая появляется при регулировании величины напряжения под нагрузкой;  $I'''_{\text{нб.расч}}$  - значение тока небаланса, которая характеризует погрешность выравнивания токов плеч в цифровом терминале;  $f_{\text{выпр}}$  - показатель выравнивания токов плеч в цифровом терминале.

$$I'_{\text{нб.расч}*} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot I_{\text{расч}*} = 0,1 \cdot I_{\text{расч}*}; \quad (64)$$

$$I''_{\text{нб.расч}*} = 0;$$

$$I'''_{\text{нб.расч}*} = 0,03 \cdot I_{\text{расч}*}; \quad (65)$$

$$I_{\text{нб.расч}*} = 0,1 \cdot I_{\text{расч}*} + 0 + 0,03 \cdot I_{\text{расч}*} = 0,13.$$

Начальное значение дифференциального тока срабатывания защиты определяется как величина, которую необходимо отстроить от токов небаланса в нормальном режиме работы трансформатора:

$$I_{\text{диф.нач}} \geq k_{\text{отс}} \geq I_{\text{нб.расч}*}, \quad (66)$$

где  $k_{\text{отс}}$  принимаю, равным 1,2, и данный показатель отстройки, учитывает ошибки расчетов и необходимый запас.

$$I_{\text{диф.нач}} = 1,2 \cdot 0,13 = 0,16.$$

Уставка в термине будет задаваться в процентом соотношении от величины тока наиболее мощной обмотки понизительного трансформатора. Для этого расчетное значение уставки необходимо будет умножить на 100%.

Значение начального тормозного тока буду определять, как:

$$I_{\text{торм}} = 0,6 \div 1. \quad (67)$$

Приму к дальнейшим расчетам значение равной 1.

Величину тока блокировки необходимо отстроить от величины максимального тока электрической нагрузки. Данную уставку, согласно нормативным документам, необходимо выбрать из следующего диапазона:

$$I_{\text{блок}} = 1 \div 2. \quad (68)$$

Приму к дальнейшим расчетам значение равным 1,5.

Показатель торможения необходимо рассчитать, как:

$$K_{\text{торм}} = \frac{I_{\text{диф.расч}} - I_{\text{диф.нач}}}{I_{\text{торм.расч}} - I_{\text{торм}}}, \quad (69)$$

где  $I_{\text{диф.расч}}$  - относительная величина расчетного тока при внешнем коротком замыкании;

$$I_{\text{диф.расч}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч}*}, \quad (70)$$

где  $k_{\text{отс}}$  принимаю, равным 1,2, и данный показатель отстройки, учитывает ошибки расчетов и необходимый запас;  $I_{\text{нб.расч}*}$  - величина тока, определяемая при внешнем КЗ. Показатели переходных режимов –  $k_{\text{пер}}$ ; значение  $I_{\text{расч}*}$ , согласно нормативным документам, необходимо принять

равным максимальному току при внешнем коротком замыкании.

$$I_{\text{расч}^*} = \frac{I_{\text{КЗmax}}}{I_{\text{номВН}}} = \frac{1510}{168,07} = 8,98;$$

$$I'_{\text{нб.расч}^*} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot I_{\text{расч}^*} = 0,2 \cdot I_{\text{расч}^*};$$

$$I_{\text{нб.расч}^*} = 0,2 \cdot I_{\text{расч}^*} + 0 + 0,03 \cdot I_{\text{расч}^*} = 0,23 \cdot I_{\text{расч}^*} = 0,23 \cdot 9 = 2,07;$$

$$I_{\text{диф.расч}} = 1,2 \cdot 2,07 = 2,484,$$

где  $I_{\text{торм.расч}}$  – величина тормозного тока в режиме КЗ.

$$I_{\text{торм.расч}} = 9;$$

$$K_{\text{торм}} = \frac{2,484 - 0,16}{9 - 1} = 0,29.$$

Приму в работе уставку равную 0,3.

Уставку  $I_{\text{актт}2}$ , согласно инструкции, необходимо выбрать из условия отстройки показателя от сквозного тока в режиме нагрузки:

$$I_{\text{актт}2} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нагр.макс}^*}, \quad (71)$$

где  $k_{\text{отс}}$  принимаю, равным 1,2, и данный показатель отстройки, учитывает ошибки расчетов и необходимый запас;  $I_{\text{нагр.макс}^*}$  - относительная величина нагрузочного тока, в своей работе принял, что нагрузка в линии 35 кВ равна номинальному току СТ;

$$I_{\text{нагр.макс}^*} = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{номВН}}} = \frac{168,07}{168,07} = 1,$$

где  $I_{\text{нагр}}$  – максимальный нагрузочный ток, приведенный к стороне ВН защищаемого трансформатора;  $I_{\text{ном.ВН}}$  – номинальный ток защищаемого трансформатора со стороны ВН.

Уставка ( $I_{\text{актг2}}$ ) в термине будет задаваться в процентом соотношении от величины тока наиболее мощной обмотки понизительного трансформатора. Для этого расчетное значение уставки необходимо будет умножить на 100%.

Для устанавливаемой защиты Бреслер типа ШТ2108 проверку чувствительности рассчитывать нет необходимости, т.к. данный показатель выполняется всегда.

#### 4.5 Определение уставок ДТО

На практике установлено, что наиболее эффективно использовать данную отсечку на силовых трансформаторах средней мощности.

Необходимая отстройка от броска тока намагничивания обеспечивается при выполнении следующего условия:

$$I_{\text{дто}} \geq 6.$$

Согласно условиям отстройки от максимальной величины тока небаланса при внешних коротких замыканиях, уставку лучше находить по следующей формуле:

$$I_{\text{дто}} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб.расч*}}, \quad (72)$$

$$I'_{\text{нб.расч*}} = 0,35 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot I_{\text{расч*}} = 0,35 \cdot I_{\text{расч*}};$$

$$I_{\text{нб.расч*}} = 0,35 \cdot I_{\text{расч*}} + 0 + 0,03 \cdot I_{\text{расч*}} = 0,38 \cdot 9 = 3,42;$$

$$I_{\text{дто}} = 1,5 \cdot 3,42 = 5,13.$$

Уставка ДТО необходимо выбрать из наибольших расчетных значений полученных выше. Согласно этому, в работе приму уставку равной 5,2.

Уставка ( $I_{\text{дто}}$ ) в терминале будет задаваться в процентом соотношении от величины тока наиболее мощной обмотки понизительного трансформатора. Для этого расчетное значение уставки необходимо будет умножить на 100%.

## 5 Выбор трансформаторов СН ГПП «Аскура»

Для питания нагрузок СН ПС «Аскура», в том числе устройств оперативного тока, расчет нагрузок собственных нужд представлен в таблице 9, предусмотрена установка трансформаторов собственных нужд мощностью 160 кВА каждый на напряжение 10/0,4 кВ.

Система рабочего заземления источника питания принята глухозаземленная типов TN-C и TN-S.

Таблица 9 – Мощность потребителей СН ПС «Аскура»

Тип монтажной единицы	Тип оборудования	Количество оборудования, шт.	Постоянная нагрузка, кВт	Кратковременная нагрузка, кВт
Силовой трансформатор «1Т 35/6кВ»	Вентилятор дутья	28	0,37x28=10	
	Двигатель переключателя РПН			1x1=1
Силовой трансформатор «2Т 35/6кВ»	Вентилятор дутья	28	0,37x28=10	
	Двигатель переключателя РПН			1x1=1
Шкаф СОПТ	Зарядное устройство	2	5x2=10	
Разъединитель 35кВ	Двигательный привод (для каждого ножа)	4		1x0,25=0,25
	Обогрев привода (для каждого ножа)	10	0,225x10=2,25	
Выключатель 35кВ	Пружинный привод	2		1,1x2=2,2
	Обогрев шкафа	8	0,5x8=4	
Шкафы Зажимов ОРУ-35кВ (ШЗВ+ЯЗН+ШУ)	Обогрев шкафа	5	0,2x5=1	
Шкафы Зажимов ОРУ-35кВ (ШЗВ+ЯЗН+ШУ)	Освещение шкафа	5		0,06x1

Наружное освещение ОРУ-35кВ			5,4	
Вентиляция БМЗ Обогрев БМЗ, Рабочее освещение БМЗ			45	
Шкаф ТМ			0,55	
Шкаф связи			0,55	
Сварочная сеть				4,5
<b>Итого, кВт</b>			88,75	9
<b>Итого, А</b>			136,5	14

Конструктивное выполнение шкафов собственных нужд:

- выполняются в виде сборных шкафов из оцинкованной стали одностороннего обслуживания;
- ЩСН-0,4 кВ изготавливаются шкафного типа стационарными автоматическими выключателями производства;

По способам подвода шин или кабелей реализуются все варианты. В щите реализуется система автоматического ввода резерва (АВР). При нарушении питания ТСН одной из секций (снижении или превышении установленного уровня напряжения, обрыве одной или нескольких фаз, обрыве нейтрального проводника) автоматика ЩСН осуществляет автоматический ввод резервного питания (АВР) по схеме явного или неявного резервирования.

В качестве дополнительной защиты от однофазных замыканий на землю в сети 0,4кВ предусматривается организация токовой защиты на трансформаторе тока нейтрального проводника ЩСН.

ЩСН имеет локальную микропроцессорную систему мониторинга и контроля, позволяющую производить интеграцию ЩСН по стандартному протоколу в АСУ ТП. Система позволяет считывать значения токов и напряжений на вводах и секциях ЩСН, положения автоматических

выключателей, сигналы аварии и неисправности, а также управлять выключателями по командам АСУ.

Мощность при 3-ф повреждении на шинах 0,38 кВ равна:

$$S_{кз} = 0,001 \cdot S_H / (U_k / 100), \quad (73)$$
$$S_{кз} = 0,001 \cdot 160 / (4 / 100) = 4,$$

где  $S_H$  – номинальная мощность трансформатора 160 кВА;  $U_k$  – напряжение короткого замыкания 4 %.

Тогда 3-х фазный ток КЗ будет равен:

$$I_{кз} = \frac{S_{кз}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ (кА)} \quad (74)$$
$$I_{кз} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 5,78 \text{ (кА)},$$

где  $S_{кз}$  - мощность короткого замыкания;  $U_H$  - номинальное расчетное напряжение, 0,4.

Токи тепловых расцепителей автоматов ЩСН выбираются на 25-30% больше расчетного, в соответствии с стандартным рядом номинальных токов автоматов. Отключающая способность автоматов допускает протекание токов до 6кА.

## **Заключение**

В работе проделана большая работа в рамках анализа понизительной подстанции «Аскура», и проделана работа по выбору электротехнического оборудования, которое будет использовано в замен старого.

Согласно представленной информации, было принято не делать замену силовых понизительных трансформаторов установленных на подстанции «Аскура». При выборе электротехнического оборудования в работе были рассмотрены разнообразные типы оборудования и к применению было выбрано такое, которое способно удовлетворить всем требованиям как в номинальных, так и в аварийных режимах.

В разделе РЗА были выбраны защиты и рассчитаны уставки силовых трансформаторов. Защита будет выполнена с помощью шкафов Бреслер ШТ2108.

## Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 104 с.
2. Ополева, Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие/ Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. - 416 с.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования /ред. Б.Н. Неклепаев. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 144 с.
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2012.— 108 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22738.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита. Учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х Халилов. - Лань, 2016. – 224 с.
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции. Учебное пособие / Ю.Д Сибикин. – РадиоСофт, 2014. – 416 с.
7. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42262.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев. – Энергия, 2013. – 304 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. / Б.И. Кудрин. - М. : Academia, 2012. - 352 с.
10. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный

технический университет, 2013.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45148.html>.— ЭБС «IPRbooks»

11. Кузнецов С.М. Электронная защита от токов короткого замыкания и автоматика в распределительных устройствах 6-10 кВ тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45456.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 72 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ И.П. Крючков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2012.— 568 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33170.html>.— ЭБС «IPRbooks»

14. Электрические станции и сети [Электронный ресурс]: сборник нормативных документов/ — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2013.— 720 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17820.html>.— ЭБС «IPRbooks».

15. Электроснабжение. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: методические указания к практическим и курсовой работам/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 47 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55184.html>.— ЭБС «IPRbooks»

16. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник/ Филиппова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский

государственный технический университет, 2014.— 294 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>.— ЭБС «IPRbooks»

17. Коннов А.А. Электрооборудование жилых зданий [Электронный ресурс]/ Коннов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 254 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63811.html>.— ЭБС «IPRbooks»

18. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов/ Крючков И.П., Пираторов М.В., Старшинов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 142 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57019.html>.— ЭБС «IPRbooks»

19. Analysis of Power Transformer Insulation Design Using FEM [Электронный ресурс] / Tathagat Chakraborty, Akik Biswas, Sudha R. – Режим доступа : <http://www.ijscce.org/attachments/File/v2i3/C067305231..>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

20. Single phase AC-DC power factor corrected converter with high frequency isolation using buck converter [Электронный ресурс] / R. Ramesh, U. Subathra, M. Ananthi – Режим доступа: [http://www.ijera.com/papers/Vol4\\_issue3/Version%206/M43067982.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version%206/M43067982.pdf)., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

21. Wireless Power Transfer [Электронный ресурс] / Abhijeet Orke, Arvind Rathod, Monali Waghmare, Vishakha Sahane, Pravin Sagoriya, – Режим доступа : [http://www.ijera.com/papers/Vol4\\_issue3/Version%206/M43067982.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version%206/M43067982.pdf)., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

22. Improving Power System Transient Stability with Static Synchronous Series Compensator [Электронный ресурс] / Prechanon Kumkratug – Режим доступа : <http://thescipub.com/PDF/ajassp.2011.77.81.pdf>., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

23. High-Power Transformer-Less Wind Energy Conversion System with Permanent Magnet Wind Generator [Электронный ресурс] / M. Ranjith Kumar, D. Kumaraswamy – Режим доступа : <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2014/September-2014/35.pdf>., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).
24. Wadhva, C. L. Electrical power systems (7th ed.)/ C. L. Wadhva – 7th ed - New Age International Publishers, 2016. – 970 p.
25. Rajput, Er. R.K. A Textbook of Power System Engineering / Er. R.K. Rajput – 2 ed - Laxmi Publications, 2015. – 1174 p.
26. Gowda, H.N.S. Power Transformers Technology and Practice / H.N.S. Gowda, P. Ramachandran - HNS Gowda, 2014. – 826 p.
27. Padilla, E. Substation Automation Systems: Design and Implementation / E. Padilla - Wiley-Blackwell, 2015. – 304 p.
28. Koch, H. J. Gas Insulated Substations / H. J. Koch - Wiley-Blackwell, 2014. – 490 p.