

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2021 г.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПС 500 КВ ЗЛАТОУСТ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности
доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2021 г.

Руководитель работы
доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2021 г.

Автор работы
студент группы ФТТ-403

_____ А.С. Качев
_____ 2021 г.

Нормоконтролер
ст. преподаватель

_____ О.В. Терентьев
_____ 2021 г.

Златоуст 2021

АННОТАЦИЯ

Качев А.С. Модернизация системы компенсации реактивной мощности ПС 500 кВ Златоуст – Златоуст: Филиал ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) филиал в г. Златоусте, кафедра «ЭАПП»; 2021, 72 с., библиогр. список – 26 наим., 8 листов чертежей ф. А4.

В работе рассмотрен вопрос модернизации системы компенсации реактивной мощности ПС 500 кВ Златоуст. Целью данной работы является снижение технических потерь электроэнергии компенсирующих устройств подстанции Златоуст 500 кВ в линии электропередач.

В данной работе произведён расчёт необходимого уровня компенсации реактивной мощности. Выбрано современное электрооборудование, которое соответствует необходимым требованиям. Рассчитаны потери электрической энергии.

В разделе безопасности жизнедеятельности произведен анализ производственных и экологических опасностей. Предусмотрены меры по охране труда и определены требования производственной санитарии. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Модернизация системы компенсации реактивной мощности ПС 500 кВ Златоуст Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Качев А.С.					д	4	72
Пров.	Трофимова С.Н.					Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоуст Кафедра ЭАПП		
Т. Контр.	Сандалов В.М.							
Н. Контр.	Терентьев О.В.							
Утв.	Сергеев Ю.С.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	8
1.1 Системы компенсации реактивной мощности.....	8
2 ЗАМЕНА СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА НА СТАТИЧЕСКИЙ ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР.....	11
2.1 Краткая характеристика оборудования.....	11
2.2 Расчет статического тиристорного компенсатора для регулирования напряжения на шинах подстанции в длительных режимах.....	12
3 СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА.....	19
3.1 Основное электротехническое оборудование.....	19
3.2 Компенсирующий реактор.....	20
3.3 Конденсаторная батарея.....	20
3.4 Фильтрокомпенсирующее устройство.....	22
3.5 Компоновка тиристорного вентиля СТК.....	23
3.6 Выбор токоограничивающих реакторов.....	26
3.7 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ.....	29
4 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО.....	32
КОМПЕНСАТОРА.....	32
4.1 Релейная защита статического тиристорного компенсатора.....	32
4.2 Небалансная защита.....	34
4.3 Защита от дуговых замыканий.....	35
4.4 Расчет уставок устройств релейной защиты статического тиристорного компенсатора.....	35
5 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА.....	40
5.1 Структурная схема статического тиристорного компенсатора и состав оборудования.....	41
5.2. Шкаф управления и контроля высоковольтных вентилях.....	42
5.3 Панель измерения и управления.....	47
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	57
6.1 Краткая характеристика объекта.....	57
6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	57
6.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды и трудового процесса	57
6.4 Охрана труда.....	58
6.5 Производственная санитария.....	60
6.6 Эргономика и производственная эстетика.....	65
6.7 Противопожарная и взрывобезопасность.....	67

6.8 Охрана окружающей среды	67
6.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	71

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Подстанция Златоуст 500 кВ – электрическая подстанция в Челябинской области. Подстанция является одной из крупнейших и старейших на Урале (в 2020 году объект отпраздновал 62 года эксплуатации). Она питает Златоустовскую горнозаводскую зону: третий по величине город на Южном Урале – Златоуст, с населением около 160 тысяч человек и близлежащие населённые пункты. Подстанция Златоуст 500 кВ обеспечивает работу Златоустовского металлургического и машиностроительного заводов» и десятков других предприятий, участок Южно-Уральской железной дороги. Кроме этого, подстанция является важнейшим звеном транзита электроэнергии между Уралом и Центральной Россией. Подстанция «Златоуст 500кВ» размещается в западной части Челябинской области. Первоначально подстанция была построена на номинальное напряжение 400 кВ, а в 1962 году была одной из первых подстанций в нашей стране, переведенных на напряжение 500 кВ.

Объект - подстанция Златоуст 500 кВ расположена на транзите 500 кВ, соединяющим ОЭС Урала и ОЭС Средней Волги, переток мощности по которому может изменяться от максимальных значений до нулевой разгрузки. Напряжение на рассматриваемой подстанции 500кВ в максимальных режимах превышает наибольшее рабочее напряжение 525 кВ, а в минимальных - приближается к минимально-допустимым значениям по устойчивости нагрузки.

Электрические нагрузки как потребляют так и генерируют реактивную мощность. Так как мощность потребляемая из сети изменяется на протяжении суток, соответственно изменяется баланс реактивной мощности в сети. Результатом являются неприемлемые изменения амплитуды напряжения.

На подстанции «Златоуст 500 кВ» для регулирования реактивной мощности сети к стороне низкого напряжения автотрансформатора АТ, подключен синхронный компенсатор (СК), марки КСВБО 100 – 1 У1, 1983г. выпуска, установленной мощностью ± 100 МВАр. В настоящее время мощность синхронного компенсатора снижена по причине изношенности оборудования. Рабочая мощность синхронного компенсатора находится в диапазоне от плюс 25 до минус 40 МВАр.

Целью выпускной квалификационной работы является снижение технических потерь электроэнергии в линии электропередач 500 кВ.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- заменить синхронный компенсатор на статический тиристорный компенсатор;
- выбрать оборудование статического тиристорного компенсатора;
- выбрать релейную защиту и систему управления оборудованием;
- проанализировать безопасность жизнедеятельности на предприятии.

Объект - подстанция Златоуст 500 кВ.

Предмет проекта - система компенсации реактивной мощности.

									Лист
									7
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ				

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

1.1 Системы компенсации реактивной мощности

Для регулирования потребления реактивной мощности используется синхронные машины, конденсаторные батареи и реакторы [3].

Синхронные компенсаторы (СК) предназначены для работы в качестве генераторов реактивной мощности и служат для регулирования напряжения и улучшения коэффициента мощности в электрических сетях. Синхронный компенсатор представляет собой ненагруженный синхронный двигатель с широким диапазоном регулирования тока возбуждения. При токе возбуждения, равном току холостого хода, он потребляет из сети небольшую активную мощность, определяемую потерями в машине. Если ток возбуждения уменьшается (режим недовозбуждения), то в токе, потребляемом СК от сборных шин ПС, появится и будет увеличиваться индуктивная составляющая, что соответствует потреблению из сети реактивной мощности. В режиме перевозбуждения ток возбуждения превышает ток холостого хода, СК потребляет из сети опережающий ток, что соответствует выдаче реактивной мощности. Таким образом, по отношению к сети СК ведет себя в зависимости от значения тока возбуждения как индуктивность или емкость, выполняя роль потребителя или источника реактивной мощности [12].

Синхронный компенсатор имеет ряд недостатков: наличие вращающихся частей и как следствие, при больших мощностях компенсатора, необходимость установки его на отдельный фундамент. Большая инерционность синхронного компенсатора. Большая занимаемая производственная площадь. Шум, производимый при работе. Возможность пуска только от источников питания большой мощности [14].

Статические тиристорные компенсаторы (СТК), имеют возможность в непрерывном режиме и практически мгновенно в соответствии с запросами сети вводить емкостную или индуктивную составляющую, таким образом регулируя напряжение сети и поддерживая необходимый уровень генерации реактивной мощности.

Существует два основных типа статических тиристорных компенсаторов: управляемый тиристорами реактор TCR, и управляемые тиристорами конденсаторы TSC.

Схема TCR – наиболее часто используется. Она включает в себя постоянно включенные конденсаторные батареи с реакторами настроенные на 3, 5, 7 гармоники и генерирующие емкостную реактивную мощность (увеличение напряжения) а также управляемую тиристорами индуктивность (ТРГ), вводимый в работу полностью или частично для снижения емкостной части реактивной мощности. Постоянно включенные конденсаторы с реакторами образуют фильтры для снижения искажений питающей сети создаваемых тиристорами, которые управляют реактором. Стабилизация напряжения осуществляется путем подключения конденсаторной батареи СТК (для генерации реактивной

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					8

мощности и повышения напряжения) и плавным управлением тока ТРГ (для потребления реактивной мощности и снижения напряжения).

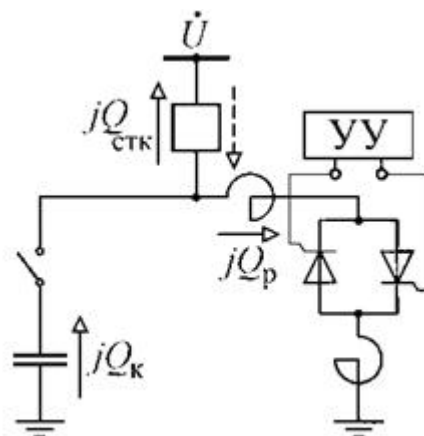


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема TCR

Схема TSC – используется реже. В этой схеме реактор (индуктивность) включен постоянно, а регулирование реактивной мощности происходит включением, отключением ступеней конденсаторов. Момент включения конденсаторов выбирается из условия минимума разницы потенциалов в сети и на выводах конденсатора, момент отключения при переходе тока через ноль.

Регулирование конденсаторами реактивной мощности может вестись только ступенями, путем деления батарей на части. Чем больше число таких ступеней, тем совершеннее регулирование, но тем больше затраты на установку переключателей и защитной аппаратуры. Включение ступеней конденсаторов, после их отключения, разрешается производить не менее, чем через 10 минут. Это время необходимо для разряда конденсаторов с помощью встроенных резисторов.

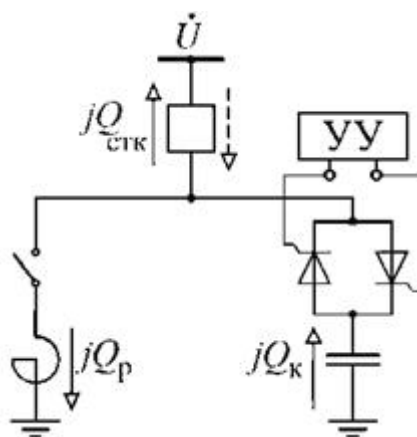


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема TSC

Вывод по первому разделу

Установка статического тиристорного компенсатора со схемой TCR позволит стабилизировать напряжение на шинах подстанции путем подключения

конденсаторной батареи СТК и плавным управлением тока ТРГ.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

2 ЗАМЕНА СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА НА СТАТИЧЕСКИЙ ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР

2.1 Краткая характеристика оборудования

Параметры синхронного компенсатора установленного на ПС 500 кВ Златоуст приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Основные параметры синхронного компенсатора

Техническая характеристика	КСВБО 100 - 11У1 (СК)
Мощность, кВА	100000
Напряжение, кВ	11
Номинальный ток статора, А	5250
Частота вращения, об/мин	750
Частота сети, Гц	50
Потери, кВт	1350
Напряжение положительного возбуждения, В	195 +10
Ток положительного возбуждения, А	1500 + 50
Напряжение отрицательного возбуждения, В	260 + 10
Ток отрицательного возбуждения, А	290 + 10
Кратность форсирования	2
Длительность форсирования, с	50
Пуск компенсатора	реакторный
Масса компенсатора, т	230,0
Тип возбудителей	
положительного возбуждения	ВБД100-450 У1
отрицательного возбуждения	ВБД0160-145 У1

Синхронный компенсатор подключен к стороне 10 кВ автотрансформатора типа АДЦТН 250 МВА 500/110/10. Технические данные автотрансформатора приведены в таблице 2.2 [7].

Таблица 2.2 - Технические данные автотрансформатора

Параметр	Значение
Тип автотрансформатора	АДЦТН 250000/500/110
Номинальная мощность, кВА	
обмотка ВН, (S_{ϕ})	250000
обмотка СН, (S_c)	250000
обмотка НН, (S_H).	100000
Число фаз	3

Окончание таблицы 2.2

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	
обмотка ВН, (U_{ϕ})	500
обмотка СН, (U_c)	121
обмотка НН, (U_n)	10,5
Номинальный ток, А	
обмотка ВН, ($I_{нв}$)	288,7
обмотка СН, ($I_{нс}$)	1192,9
обмотка НН, ($I_{нн}$)	5498,6
Наибольший длительно допустимый ток в общей обмотке, ($I_{\max об}$), А.	983
Регулирование напряжения	РПН в нейтрали ± 8 ступеней (+11 -11,8%)
Схема и группа соединения обмоток	Y_n авто/ Δ -0-11
Напряжение короткого замыкания (гарантированные/измеренные), %	
ВН-СН, ($U_{внс}$)	9,99/9,64
ВН-НН, ($U_{внн}$)	23,8/24,61
СН-НН, ($U_{всн}$)	12,8/13,51
Потери короткого замыкания (гарантированные/измеренные), кВт	
ВН-СН	524,0/492,79
ВН-НН	158,0/151,89
СН-НН	137,0/142,83
Потери холостого хода (гарантированные/измеренные), кВт	129/110,2
Полная масса, кг	263000
Масса масла, кг	60500
Масса активной части, кг	143000

2.2 Расчет статического тиристорного компенсатора для регулирования напряжения на шинах подстанции в длительных режимах

На шинах 110кВ ПС Златоуст 500 кВ, Челябинским районным диспетчерским управлением заданы уровни напряжения 119 – 123 кВ. Желательный уровень напряжения, который необходимо поддерживать на шинах подстанции 121кВ. Поэтому расчёт СТК будем производить для стороны 110 кВ.

Однофазная схема автотрансформатора представлена на рисунке 2.2 [9].

Составляем схему замещения автотрансформатора с СТК, рисунок 2.3.

Расчет токов короткого замыкания на шинах подстанции Златоуст 500 кВ выполнен на основе [10]. Максимальные значения расчетных токов короткого замыкания для шин 500 кВ, 110 кВ и 10 кВ приведены в таблице 2.3.

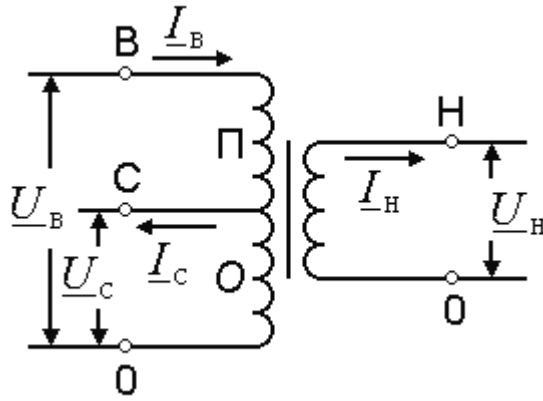


Рисунок 2.2 – Однофазная схема автотрансформатора

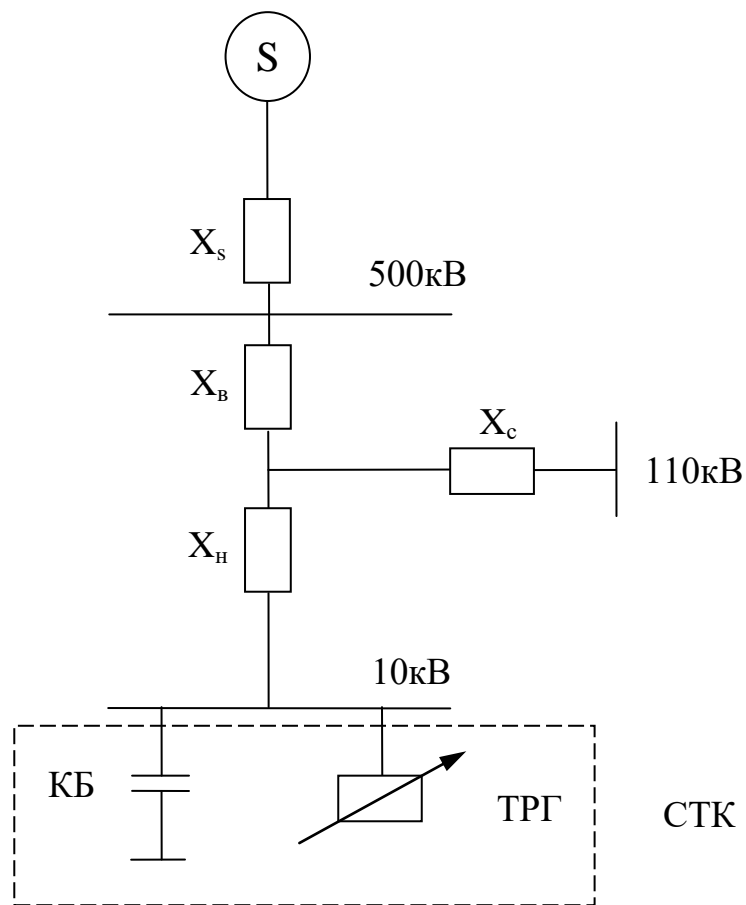


Рисунок 2.3 - Схема замещения автотрансформатора с СТК

Таблица 2.3 – Токи КЗ на шинах подстанции «Златоуст 500кВ»

Наименование	Максимальные токи КЗ, кА
Сторона 500 кВ, ($I_{кз в}$)	10,7
Сторона 110 кВ, ($I_{кз с}$)	16,1
Сторона 10кВ, ($I_{кз н}$)	29

Определяем мощность короткого замыкания системы 110кВ [4]:

$$S_{кз} = I_{кзн} \cdot U_c ; \quad (2.1)$$

$$S_{кз} = 29 \cdot 121 = 3509 \text{ МВт.}$$

Определим сопротивление системы:

$$x_s = \frac{U_c^2}{S_{кз}} ; \quad (2.2)$$

$$x_s = \frac{121^2}{3509} = 4,17 \text{ Ом.}$$

Для расчета индуктивных сопротивлений используются напряжения короткого замыкания, заданные в каталожных данных. Нам необходимо сопротивление пары обмоток ВН-НН.

Реактивное сопротивление пары обмоток рассчитываем по формуле:

$$x_{в-н} = \frac{U_{вн} \cdot U_n^2}{100S_n} ; \quad (2.3)$$

$$x_{в-н} = \frac{24,61 \cdot 11^2}{100 \cdot 100} = 0,3 \text{ Ом.}$$

Результирующее сопротивление системы определим по формуле:

$$x_c = x_s - x_{в-н} \quad (2.4)$$

$$x_c = 4,17 - 0,3 = 3,87 \text{ Ом.}$$

Определим границы диапазона регулирования напряжения:

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

1) нижняя граница диапазона регулирования напряжения:

$$\Delta u_{s-} = 1 - \frac{U_{\min}}{U_{\delta}}; \quad (2.5)$$

где U_{\min} - нижний уровень напряжения, $U_{\min} = 119$ кВ;
 U_{δ} - необходимый уровень напряжения, $U_{\delta} = 121$ кВ.

$$\Delta u_{s-} = 1 - \frac{119}{121} = 0,017$$

2) верхняя граница диапазона регулирования напряжения:

$$\Delta u_{s+} = 1 - \frac{U_{\max}}{U_{\delta}}; \quad (2.6)$$

где U_{\max} - верхний уровень напряжения, $U_{\max} = 123$ кВ;

$$\Delta u_{s+} = 1 - \frac{U_{\max}}{U_{\delta}} = 1 - \frac{123}{121} = -0,017.$$

Определяется реактивная мощность СТК, необходимая для поддержания заданного диапазона напряжения на шинах 110 кВ подстанции 119 – 123 кВ, в режиме потребления и выдачи реактивной мощности:

1) в режиме потребления реактивной мощности:

$$Q_{\text{стк-}} = \Delta u_{s+} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{x_s}; \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{стк-}} = -0,017 \cdot \frac{121^2}{4,17} = -59,668 \text{ МВАр.}$$

2) в режиме выдачи реактивной мощности:

$$Q_{\text{стк+}} = \Delta u_{s-} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{x_s}; \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{стк+}} = 0,017 \cdot \frac{121^2}{4,17} = 59,668 \text{ МВАр.}$$

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

Отсюда:

$$Q_C = Q_{\text{СТК}+} = + 60 \text{ МВАр}; \quad (2.9)$$

$$Q_L = Q_{\text{СТК}-} = - 60 \text{ МВАр}. \quad (2.10)$$

Определим токи СТК в режиме выдачи и потребления реактивной мощности:

$$I_{\text{стк}-} = \Delta u_{\text{стк}+} \cdot \frac{U_{\phi}}{x_c \cdot \sqrt{3}}; \quad (2.11)$$

$$I_{\text{стк}-} = 0,017 \cdot \frac{121}{3,87 \cdot \sqrt{3}} = 789 \text{ А},$$

$$I_{\text{стк}+} = \Delta u_{\text{стк}-} \cdot \frac{U_c}{x_c \cdot \sqrt{3}} \quad (2.12)$$

$$I_{\text{стк}+} = 0,017 \cdot \frac{121}{3,87 \cdot \sqrt{3}} = 789 \text{ А}.$$

По проведённым расчётам строим расчетную характеристику регулирования напряжения (рисунок 2.4).

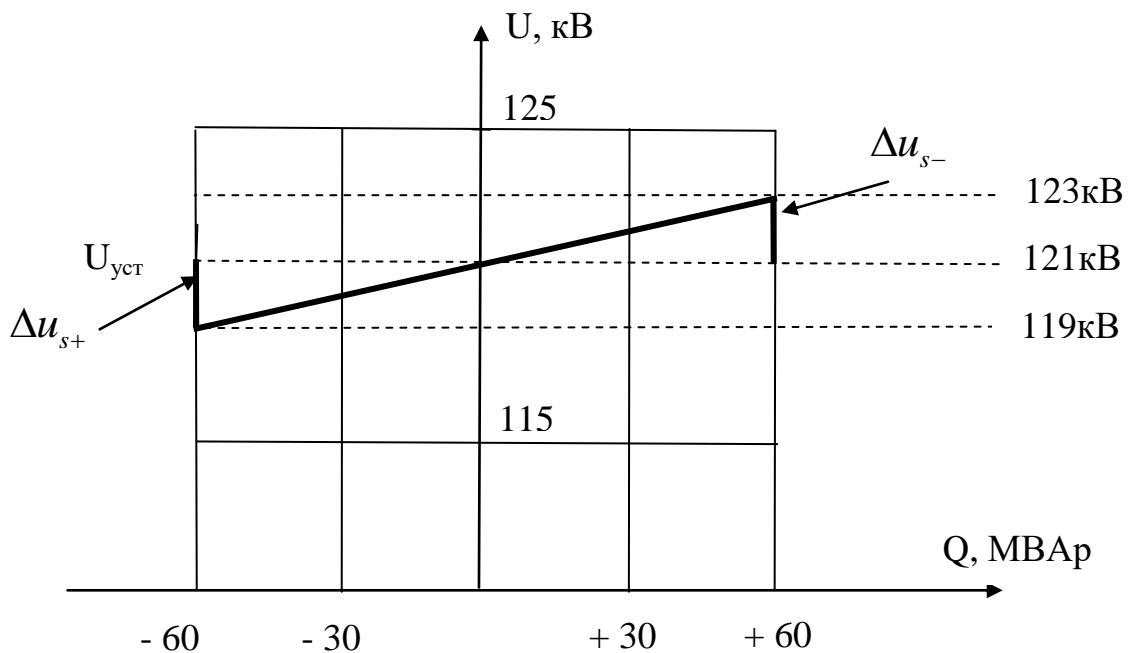


Рисунок 2.4 – Расчетная характеристика регулирования напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

Для автотрансформаторов существует ограничение по току, протекающему в общей обмотке [7].

Ток СТК в режиме максимальной выдачи реактивной и потребления мощности ($I_{стк}$) меньше максимально допустимого тока общей обмотки автотрансформатора ($I_{max об}$).

$$789 \text{ A} < 983 \text{ A}.$$

2.3 Расчет потерь электроэнергии в компенсирующих устройствах

Потери электроэнергии в СК определяются по формуле:

$$\Delta W_{ск} = (0,4 + 0,1\beta_Q^2) \cdot \Delta P_{ном} \cdot T_p; \quad (2.13)$$

где β_Q - коэффициент максимальной нагрузки СК, $\beta_Q = 1,04$;

$\Delta P_{ном}$ - потери мощности в режиме номинальной загрузки СК в соответствии с паспортными данными, кВт;

T_p - продолжительность работы СК на полную мощность в год, $T_p = (1740 \dots 1760)$ ч;

$$\Delta W_{ск} = (0,4 + 0,1 \cdot 1,04^2) \cdot 1350 \cdot 1750 = 3645 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}$$

Потери электроэнергии в СТК определяются по формуле:

$$\Delta W_{стк} = \Delta P_{стк} \cdot S_{стк} \cdot T_p; \quad (2.14)$$

где $\Delta P_{стк}$ - удельные потери мощности, $\Delta P_{стк} = 0,006$;

$S_{стк}$ - мощность СТК по емкостной составляющей, кВАр;

T_p - продолжительность работы СТК на полную мощность в год, $T_p = (4340 \dots 4380)$ ч;

$$\Delta W_{стк} = 0,006 \cdot 60000 \cdot 4360 = 1570 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}$$

В соответствии с таблицей 2.4 [11], потери электроэнергии при синхронном компенсаторе, мощностью 100 МВА составляли 3645 тыс. кВт·ч в год. При его замене на статический тиристорный компенсатор, мощностью 60 МВА, потери будут составлять 1570 тыс. кВт·ч в год.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						17

Таблица 2.4 – Потери электроэнергии в компенсирующих устройствах подстанции «Златоуст 500кВ»

Вид оборудования	Потери энергии, тыс. кВт·ч в год, при номинально мощности КУ, МВА								
	5	7,5	10	15	30	60	100	160	320
СК	400	540	675	970	1570	2160	3645	4725	10260
СТК	120	180	240	360	720	1570	2400	3840	7680

Вывод по разделу два

По результатам расчетов, для поддержания необходимых уровней напряжения (119 кВ – 123 кВ), принимается СТК мощностью ± 60 МВАр, подключенный к обмоткам стороны 10кВ автотрансформатора. Изменение напряжения в различных режимах работы, на шинах 110 кВ «ПС Златоуст 500 кВ» составит порядка 2 кВ, так же будут снижены потери электрической энергии на 43% и составят 1570 тыс. кВт·ч в год.

3 СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

3.1 Основное электротехническое оборудование

В состав оборудования СТК входят:

- тиристорно-реакторная группа (ТРГ) с однофазными компенсирующими реакторами (РК), и тремя однофазными высоковольтными тиристорно-вентильными устройствами (ВТВ) с жидкостным охлаждением,
- трехфазная конденсаторная батарея (КБ);
- фильтро-компенсирующее устройство (ФКУ), для фильтрации токов пятой гармоники;
- автоматическая вентиляционная система охлаждения антифриза (АВОА) наружной установки для отвода тепловых потерь ВТВ в атмосферу;
- насосная установка, включающая шкаф управления системой охлаждения;
- шкаф системы управления, регулирования защиты и автоматики (СУРЗА);
- панель измерения и управления (ПИУ);
- шкаф управления ВТВ.

На открытой части ОРУ 500 кВ Златоуст предусматривается установка ТРГ, КБ с однофазными реакторами, ФКУ, токоограничивающего реактора, АВОА.

Размещение оборудования СТК внутренней установки предлагается осуществить в здании вспомогательных устройств синхронных компенсаторов вместо демонтируемого силового оборудования СК на первом этаже здания вспомогательных устройств синхронных компенсаторов в ЗРУ 10кВ СК. Также в данном помещении предусматривается установка 4 ячеек КРУ 10кВ для присоединения оборудования СТК к электрической сети.

На рисунке 3.1 показана компоновка подстанции в масштабе 1:1000 [9].

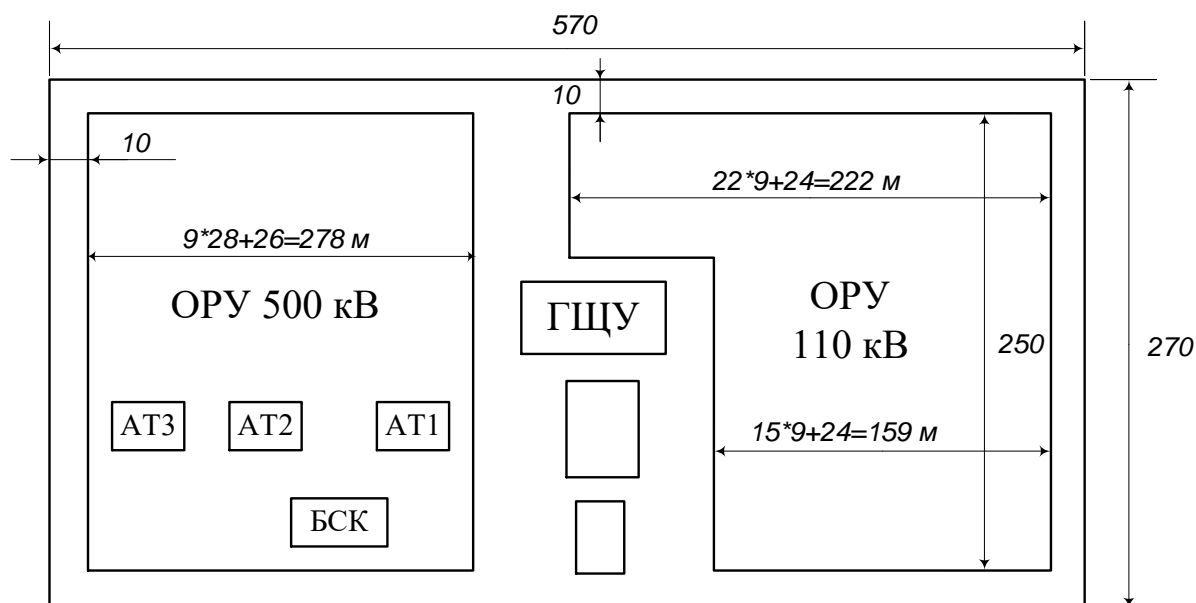


Рисунок 3.1 – Компоновка подстанции:

АТ1, АТ2, АТ3 – автотрансформаторы;

БСК – блок синхронных компенсаторов;

ГЩУ – главный щит управления.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

Лист

19

3.2 Компенсирующий реактор

В режиме компенсации «зарядной» реактивной мощности, номинальная мощность СТК, согласно (2.10), должна быть 60МВАр.

Для установки выбирается тиристорно-реакторную группу (ТРГ) с однофазными компенсирующими реакторами (РК), типа РКОС-20500/11- УХЛ1, суммарной мощностью 60 МВАр, со схемой соединения компенсирующих реакторов в треугольник [2].

Реактор используется в качестве фазы индуктивной нагрузки в составе тиристорно-реакторной группы статических компенсаторов. Предназначен для компенсации «зарядной» реактивной мощности.

Реактор соответствует климатическому исполнению «УХЛ» категории размещения 1 по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1

- рабочее значение температуры окружающего воздуха, °С от - 60 до + 40;
- среднее значение относительной влажности воздуха при температуре 20°С, не более 80%.

- в части механических воздействий реактор соответствует группе условий М13 по ГОСТ 17516-76.

- уровень акустических шумов при работе реактора не превышает значений ГОСТ 12.1003-76.

Рабочее положение реактора в пространстве - вертикальное. Технические параметры компенсирующего реактора приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технические параметры компенсирующего реактора

Наименование параметра	Значение параметра
Номинальное напряжение, кВ	11
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальная индуктивность, мГн	20,1
Допуск на номинальную индуктивность, %	±3
Номинальная мощность, МВАр	20,5
Номинальный ток, А	1660
Наибольший рабочий ток, А	1750
Ток термической устойчивости, А	3500
Ток динамической устойчивости, А	9000

3.3 Конденсаторная батарея

Выбирается конденсаторная батарея (КБ) КБ-10-60000 УХЛ1, мощностью 60 МВАр. КБ предназначена для компенсирующего устройства, входящего в состав СТК-1, используемого для компенсации реактивной мощности и снижения

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		20

Конденсаторы пропитаны экологически безопасной жидкостью, физико-химические свойства которой приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 физико-химические свойства конденсаторов

Наименование характеристики	Фенилксилэтан
Температура вспышки, °С	139
Температура воспламенения, °С	150
Испаряемость при температуре 125°С, см/с	0,75

3.4 Фильтрокомпенсирующее устройство

Фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ) предназначено для работы в составе СТК для компенсации реактивной мощности. Выбирается ФКУ настроенное на частоту 250 Гц, для компенсации 5 гармоники синусоидального напряжения. В состав ФКУ входит конденсаторная батарея с конденсаторами типа КЭПФ-7.3-300 2У1 и реакторы типа РФОС-150/10-5У3 [3]. Технические параметры фильтрокомпенсирующего устройства приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Технические параметры фильтрокомпенсирующего устройства

Наименование параметра	Значение параметра
Номер гармоники частоты настройки	5
Номинальное напряжение ФКУ, кВ	10,5
Мощность номинальная установленная ФКУ, МВАр	7,2
Мощность номинальная генерируемая ФКУ, МВАр	4,4
Частота номинальная, Гц	50,0
Частота настройки фильтра, Гц	250
Номинальная индуктивность реактора, мГн	3,55
Допуск на номинальную индуктивность, %	±2
Номинальный ток основной гармоники, А	240
Ток частоты настройки (250Гц), А	131
Наибольший рабочий ток, А	300
Допустимый ток перегрузки, А	350
Длительность тока перегрузки, сек	20
Число конденсаторов в фазе батареи, шт.	4+4
Число конденсаторов в батарее ФКУ, шт.	24
Номинальная емкость фазы батареи, мкФ	119,4

Конструктивно фильтрокомпенсирующее устройство выполнено в виде стеллажа с конденсаторами, фильтровые реакторы установлены сверху на опорных изоляторах.

Конденсаторная батарея собрана по схеме двойной звезды по четыре конденсатора типа КЭПФ-7.3-300 2УХЛ1 в плече фазы. Между нейтралями звезд подключается трансформатор тока для организации небалансной защиты конденсаторов. Последовательно с конденсаторами включены фильтровые реакторы типа РФОС-120/10-5 УХЛ1 ($L_{ном} = 3,55$ мГн).

Конденсаторы снабжены внутренними плавкими вставками и разрядными резисторами. При снятии напряжения разрядные резисторы обеспечивают снижение амплитудного значения номинального напряжения до величины не выше 0,075кВ за время не более 10 мин. Корпуса конденсаторов находятся под напряжением фазы. Конденсаторы заполнены экологически безопасной жидкостью. Фильтрокомпенсирующее устройство допускает работу в течение 12 часов в сутки:

- при повышении действующего значения напряжения между выводами до 1,1 наибольшего рабочего, связанного с изменением напряжения в сети;
- при действующем значении тока до 1,3 от тока, получаемого при номинальном напряжении и номинальной частоте, как за счет повышения напряжения, так и за счет высших гармоник или за счет того и другого вместе независимо от гармонического состава тока.

В ФКУ необходимо предусмотреть применение небалансной защиты от повреждения единичного конденсатора, которая обеспечивает подачу сигнала при снижении емкости одного конденсатора одной ветви любой из фаз конденсаторной батареи ФКУ на 30% и подает сигнал на отключение устройства при изменении емкости одного конденсатора одной ветви любой из фаз конденсаторной батареи на 100%.

ФКУ должно быть снабжено защитой, обеспечивающей ее повторное включение не ранее, чем через 10 мин после отключения и снижения амплитудного значения номинального напряжения на зажимах конденсаторов до уровня 0,075кВ за счет встроенных в конденсаторы разрядных резисторов.

Изоляция каркаса конденсаторной батареи выдерживает приложение одноминутного напряжения между «землей» и каркасом 42 кВ.

3.5 Компоновка тиристорного вентиля СТК

Выбирается двунаправленный модуль тиристоров (МТ) типа 5STB 18N4200. Вентиль тиристорный (ВТВ) является основным элементом СТК. Он предназначен для плавного регулирования тока в реакторах тиристорно-реакторных групп (ТРГ) статических тиристорных компенсаторов, обеспечивающих компенсацию реактивной мощности с целью поддержания в сети заданного уровня напряжения, ограничения колебательных процессов и снижения несимметрии напряжения [4].

Основным элементом вентиля является тиристор (рисунок 3.4), с помощью которого, исходя из расчетных значений допустимых напряжений и токов, формируются последовательные цепи. При построении тиристорного вентиля особое внимание уделяется мерам безопасности, надежности и сроку службы.

ВТВ состоит из 3-х блоков (каждой блок на одну фазу). Блок состоит из 11 встречно параллельных оптических тиристоров, RC-цепочек, устройств сигнализации включения тиристоров.

Для правильного включения всех необходимых тиристоров регулятор посылает электрические включающие импульсы в оптоэлектронику, где эти импульсы переводятся в оптический сигнал. Этот сигнал далее идет по оптическому кабелю непосредственно в тиристоры. Таким образом

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					23

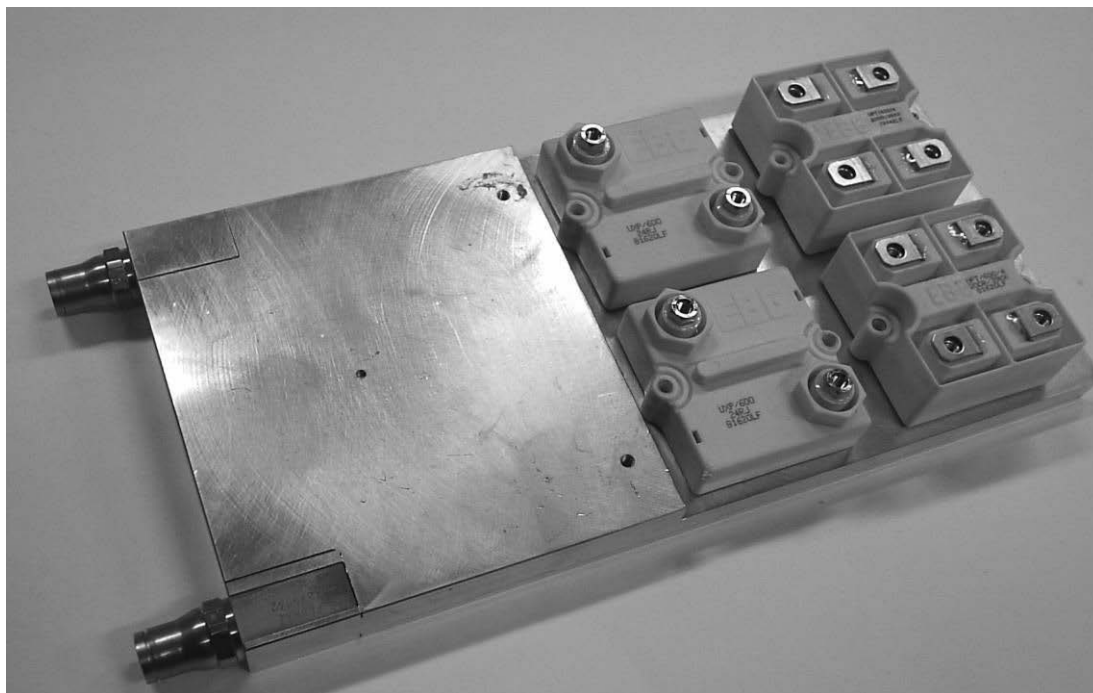


Рисунок 3.5 - Охладитель с силовыми резисторами R-C и R цепей

В схему тиристорной ячейки (ТЯ) входят 4 модуля силовых резисторов, по два на каждом охладителе. Активные части внутри резисторных модулей изолированы от контактной поверхности, через которую выделяемая мощность передаётся на охладитель. Два модуля (имеют по два внешних контакта) с резисторами по 24 Ома (R3-1 и R3-2) на разных охладителях образуют R-C цепь. Два резисторных модуля, установленные на разных охладителях, с двумя резисторами в каждом модуле (имеют по четыре внешних контакта) имеют пары резисторов R1-1, R2-1 и R1-2, R2-2 внутри модулей, которые изолированы между собой, поскольку в схеме работают под разными потенциалами. Последовательная цепь резисторов R2-1, R2-2 образует R цепь демпфирования. Резисторы R1-1 и R1-2 ограничивают ток в цепи БОД - схемы при работе защитного включения. Цепи демпфирования R-C и R подключены в ТЯ к силовым контактам тиристоров через входные цепи питания драйверов. Основное питание собственных нужд драйвера обеспечивается через R-C цепь, дополнительное питание через R цепь. Кроме этого, через R цепь в драйверах контролируется анодное напряжение на тиристорах.

Силовая схема фазы тиристорного вентиля состоит из 11 тиристорных ячеек (ТЯ). В случае отказа одного из тиристоров одного направления ВТВ может продолжать работу без ограничений режима нагрузки и длительности. В каждой ТЯ двунаправленный модуль тиристоров (МТ) типа 5STB 18N4200 производства компании ABB Semiconductor ltd. Два тиристора в составе МТ выполнены на одной кремниевой пластине, имеют отдельные цепи управления. Контактные поверхности МТ обеспечивают двустороннее охлаждение через охладители. Конструкция силового стека представляет собой чередование модулей тиристоров и охладителей, которых в вентиле на единицу больше (всего 12) чем МТ.

Утилизация потерь в тиристорах обеспечивается одноконтурной системой охлаждения, единой для всех вентилях. Конечная среда утилизации – воздушная

											Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата							25

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

наружная среда. Перенос тепла в контуре системы охлаждения через 52% раствор этиленгликоля в деионизованной воде. Внутри вентиля поток жидкости распределяется между охладителями по параллельным каналам. Равномерность распределения потока между охладителями обеспечивается параметрами охладителей, гидравлическое сопротивление которых отличается не более 3%, и составляет более 80% от гидравлического сопротивления вентильной части контура системы охлаждения.

3.6 Выбор токоограничивающих реакторов

Секция ЗРУ 10 кВ СТК1 подключается к обмотке низкого напряжения автотрансформатора АТ2. Максимальные значения токов КЗ на стороне 10 кВ автотрансформатора 500/110/10кВ составляют 122кА. Для уменьшения габаритов и стоимости оборудования требуется снизить ток короткого замыкания на шинах 10кВ, это позволит установить выключатели с меньшей отключающей способностью.

Для снижения токов КЗ в сети 10кВ необходимо установить токоограничивающие реакторы.

Реактор следует выбирать [5]:

1) По номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (3.1)$$

где $U_{уст} = 10\text{кВ}$;

$$U_{ном} = 10,5 \text{ кВ}.$$

$$10\text{кВ} \leq 10,5\text{кВ}.$$

2) По номинальному току:

Номинальный ток реактора должен быть меньше максимального длительного тока нагрузки цепи, в которой он включен. Для простого одинарного реактора при резервированной схеме питания потребителей утяжеленный режим возникает при отключении резервной цепи (при отключении одного из АТ):

$$I_{раб.мах} \leq I_{нн}, \quad (3.2)$$

где $I_{нн}$ – номинальный ток стороны 10кВ АТ, $I_{нн} = 5498 \text{ А}$;

$$I_{раб.мах} = \frac{Q_{раб.мах}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (3.3)$$

$$I_{раб.мах} = \frac{60000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3299 \text{ А}.$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					26

$$3299 \text{ A} \leq 5498 \text{ A}.$$

3) По индуктивному сопротивлению:

Индуктивное сопротивление линейного реактора определяют, исходя из условий ограничения тока короткого замыкания до заданного уровня. В большинстве случаев допустимое значение тока короткого замыкания при повреждении за реактором определяется по коммутационной способности выключателей, намечаемых к установке. Наметим к установке вакуумные выключатели с током отключения 20 кА.

Начальное значение периодического тока короткого замыкания:

$$I_{n0} = 122,0 \text{ кА}.$$

Требуется ограничить I_{n0} до значения $I_{n0}^{\text{треб}}$, чтобы можно было в данной цепи установить выключатель с номинальным током отключения $I_{\text{отк.ном}}$.

Примем:

$$I_{n0}^{\text{треб}} = 16,1 \text{ кА}.$$

Результирующее сопротивление, Ом, цепи короткого замыкания до установки реактора определяется по выражению:

$$x_{\text{рез}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{n0}}, \quad (3.4)$$

$$x_{\text{рез}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 122,0} = 0,05 \text{ Ом}.$$

Требуемое сопротивление цепи короткого замыкания для обеспечения $I_{n0}^{\text{треб}}$:

$$x_{\text{рез}}^{\text{треб}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot I_{n0}^{\text{треб}}}, \quad (3.5)$$

$$x_{\text{рез}}^{\text{треб}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 16,1} = 0,38 \text{ Ом}.$$

Требуемое сопротивление реактора:

$$x_p^{\text{треб}} = x_{\text{рез}}^{\text{треб}} - x_{\text{рез}}, \quad (3.6)$$

$$x_p^{\text{треб}} = 0,38 - 0,05 = 0,33 \text{ Ом}.$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	27

Согласно [2] выбираем тип реактора с ближайшим большим индуктивным сопротивлением типа РТСТ – 10 – 4000 - 0,35, $x_{\delta}=0,35$ Ом, $I_H=4000$ А.

Проверяется выбранный реактор.

Вычисляется значение результирующего сопротивления цепи короткого замыкания с учетом реактора:

$$x'_{рез} = x_{рез} + x_p^{треб}, \quad (3.7)$$

$$x'_{рез} = 0,05 + 0,33 = 0,38 \text{ Ом.}$$

Определяется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания:

$$I_{n.0} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot x'_{рез}}, \quad (3.8)$$

$$I_{n.0} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 15,2 \text{ кА.}$$

Выбранный реактор проверяется на электродинамическую стойкость по условию:

$$I_{n.0}^{треб} \geq I_{n.0}, \quad (3.9)$$

$$16,1 \text{ кА} \geq 15,2 \text{ кА}.$$

Термическая стойкости реактора характеризуется током термической стойкости $I_{тер}$ и временем термической стойкости $t_{тер}$ [2].

Определим уровень остаточного напряжения на шинах при коротком замыкании за реактором (по условиям работы потребителей $U_{ост}$ должно быть не менее 65...70%):

$$U_{ост} \% = x_p \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{n.0}}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

$$U_{ост} \% = 0,33 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 15,2}{10,5} \cdot 100 = 83\%.$$

Данный тип реактора РБГ10-550-0,35 У1 полностью соответствует требованиям.

После установки токоограничивающих реакторов, ток короткого замыкания на секции 10кВ СТК1 составляет 15,2 кА.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						28

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

3.7 Выбор комплектного распределительного устройства 10 кВ

3.7.1 Состав оборудования статического тиристорного компенсатора

В состав оборудования СТК входят:

- тиристорно-реакторная группа (ТРГ) с однофазными компенсирующими реакторами (РК), суммарной мощностью 60 МВАр и 3 однофазными высоковольтными тиристорно-вентильными устройствами (ВТВ) с жидкостным охлаждением;
- трехфазная конденсаторная батарея (КБ), суммарной мощностью 60 МВАр, с 3 однофазными реакторами;
- фильтро-компенсирующая устройство (ФКУ) для фильтрации токов пятой гармоники, мощностью 7,2 МВАр.

Технические характеристики устанавливаемого оборудования СТК представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Технические характеристики устанавливаемого оборудования СТК

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Номинальное напряжение	кВ	10,5
Номинальный ток тиристорно – реакторной группы	А	3062
Номинальный ток конденсаторной батареи	А	2570
Номинальный ток фильтро – компенсирующего устройства	А	300
Частота	Гц	50

3.7.2 КРУ 10кВ статического тиристорного компенсатора

Комплектное распределительное устройство (КРУ) выбирается из 4 стыкуемых между собой ячеек КРУ. Оно предназначено для приёма и распределения электрической энергии трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 10 кВ, и используется во внутренних электроустановках для сети с изолированной нейтралью [5].

В качестве коммутационных аппаратов используются выкатные силовые вакуумные выключатели на выдвижных элементах производства АВВ. Производитель гарантирует технические характеристики оборудования.

Ячейки изготавливаются в металлическом корпусе с разделением на отсеки с помощью металлических перегородок.

Для установки выбирается устройство комплектное 10 кВ типа КРУ СЭЩ-61М, производства ЗАО ГК «Электроцит»- Самара», состоящее из:

- шкафа ввода с секционным выключателем, $I_H=3150$ А и трансформатором напряжения;
- шкафа отходящей линии ФКУ с выключателем, $I_K=880$ А;
- шкафа отходящей линии КБ, с выключателем, $I_H=3150$ А;
- шкафа отходящей линии ТРГ, с выключателем, $I_H=3150$.

Выбираются силовые вакуумные выключатели VD4M 1212 G220 P15, с расцепителем рабочего тока 220 В, с 6-ю втычными розеточными контактами,

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					

номинальным током 3150А/880А. Технические характеристики выключателей 10кВ представлены в таблице 3.10.

Таблица № 3.10 - Технические данные выключателей 10кВ

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Номинальный ток	А	3150
Ток отключения короткого замыкания	кА	20
Ток включения короткого замыкания	кА	50
Упит электродвигательного привода	В	220

Технические характеристики КРУ 10кВ представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Технические характеристики КРУ 10кВ

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
1	2	3
Номинальное напряжение	кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение	кВ	12
Номинальный ток главных цепей шкафа	А	3150
Номинальный ток сборных шин, А	А	3150
Номинальный ток выключателей, встроенных в КРУ	кА	40
Номинальный ток отключения выключателя, встроенного в КРУ	кА	40
Ток электродинамической стойкости главных цепей шкафов КРУ	кА	128
Время протекания тока термической стойкости для главных цепей	с	3
Время протекания тока термической стойкости для заземляющих ножей	с	1

Для подключения терминалов защит выбирается встроенный измерительный трансформатор тока типа ТОЛ 10 – 1. Технические характеристики измерительного трансформатора тока приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Технические характеристики трансформатора тока

Тип	Класс точности	Нагрузка, ВА	Коэффициент трансформации, А
ТОЛ 10-1	0,5	10	3000/5

Вывод по разделу три

Выполнен расчёт и выбрано основное электротехническое оборудование

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					

статического тиристорного компенсатора мощности. Выбран измерительный трансформатор тока с классом точности 0,5, тиристорно-реакторная группа и конденсаторная батарея мощностью 60 МВАр.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

4 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

4.1 Релейная защита статического тиристорного компенсатора.

Управление выключателями 10 кВ должно выполняться от АСУ ТП. При выводе из работы АСУ ТП управление выключателями 10 кВ должно осуществляться от ключей управления, установленных на шкафу управления СТК.

Согласно ПУЭ [1]:

На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий следует устанавливать ступенчатые токовые защиты или ступенчатые защиты тока и напряжения. Если такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности или скорости отключения повреждения, например на головных участках, или если это целесообразно по условию согласования защит смежных участков с защитой рассматриваемого участка, должна быть предусмотрена, в качестве дополнительной защиты, токовая отсечка без выдержки времени.

Релейная защита СТК должна быть укомплектована многофункциональными цифровыми программируемыми реле, реализующими следующие виды защит [6]:

- защита конденсаторов от повышения напряжения;
- защита от небаланса токов при соединении конденсаторов в конфигурации «двойная звезда»;
- защита от замыкания на землю;
- защита конденсаторной батареи от повторного включения (При отключении батареи требуется время для разряда конденсаторов порядка 10 минут. В течение этого времени операции с выключателем КБ блокируются).

Для установки выбираются комплектные устройства защиты и автоматики серии Seram 1000+ (терминалы), выполненные на микропроцессорной элементной базе и предназначенные для защиты и автоматики присоединений комплектных распределительных устройств (КРУ). Устройства применяются в схемах вторичной коммутации в качестве основных и резервных защит энергообъектов напряжением 6-10-35 кВ.

Устройства обеспечивают:

- местное или дистанционное управление выключателем;
- защитные функции;
- регистрацию аварийных параметров;
- блокировку от многократных включений;
- формирование сигнала УРОВ при отказе выключателя;
- контроль исправности цепей управления выключателем;
- самоконтроль аппаратной и программной части устройства;
- прием сигналов с внешних защит с последующим действием на отключение и (или) сигнализацию;
- сигнализацию действия защит и автоматики.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					32

Устройства серии Seram 1000+ выполнены в виде алюминиевой двухъярусной 19" кассеты европейского стандарта. На задней стороне кассеты располагаются клеммы входных и выходных цепей, а также порт для последовательной передачи данных по протоколу SPA-BUS.

В состав устройства входят следующие блоки:

- блок входных трансформаторов;
- блок питания;
- блок измерительный;
- блок управления;
- блоки входных сигналов;
- блоки выходных сигналов.

Устройство включается в систему АСУ ТП верхнего уровня благодаря наличию соответствующего программного обеспечения и порта последовательной передачи данных. Схема подключения терминалов защит Seram 1000+ показана на рисунке 4.1

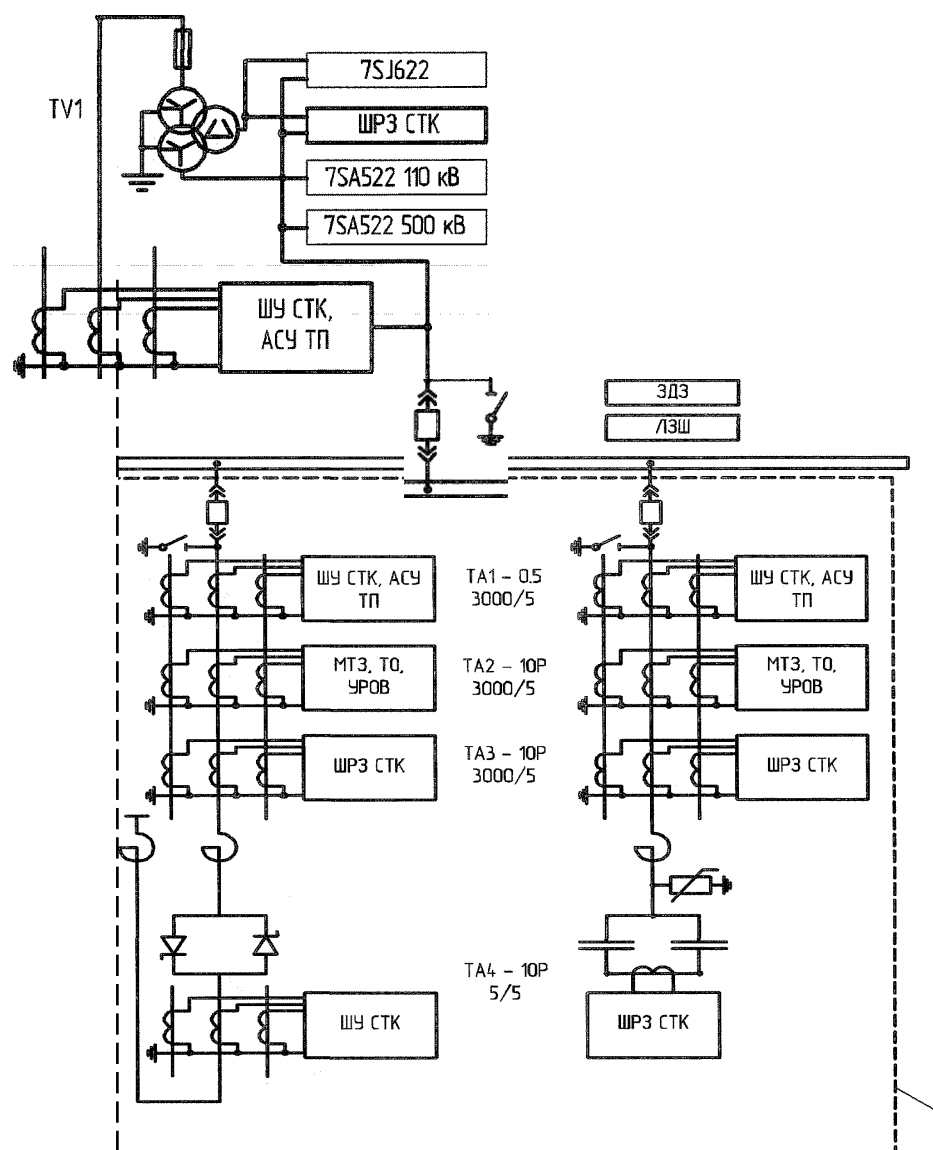


Рисунок 4.1 - Схема подключения терминалов защит Seram 1000+

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

Лист

33

Терминалы содержат до трех измерительных блоков, принимают до 16 дискретных сигналов и формируют до 16 контактных выходных сигналов.

Электрическая связь блока, устанавливаемого в кассету, осуществляется с помощью разъема. Межблочный монтаж внутри кассеты выполнен с помощью объединительной печатной платы и экранированных жгутов.

Система самодиагностики каждого микропроцессорного блока периодически проверяет исправность аппаратной и программной части устройства. При обнаружении устойчивой неисправности загорается светодиод на передней панели и срабатывает выходное реле "Неисправность". Сообщение о неисправности передается также через порт последовательной связи в систему верхнего уровня.

Эксплуатация устройства разрешается при температурах от -40 до +70°C.

Конструкция устройств обеспечивает безопасность обслуживания в соответствии с ГОСТ 22789-94.

Выходные цепи терминалов выполнены на реле с различным количеством и типом контактов. Контакты реле в цепях электромагнитов включения и отключения, допускают коммутацию нагрузки с постоянным током до 1А.

Для вводного выключателя СТК должны быть предусмотрены следующие защиты:

- максимальная токовая защита в трехфазном исполнении с независимой выдержкой времени с комбинированным пуском по напряжению;
- токовая отсечка;
- дуговая защита;
- защита минимального напряжения;
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ);
- контроль исправности цепей управления выключателя.

Для ТРГ должны быть предусмотрены следующие защиты:

- двухступенчатая максимальная токовая защита в трехфазном исполнении;
- токовая отсечка;
- дуговая защита;
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ);
- контроль исправности цепей управления выключателя.

Для КБ и ФКУ должны быть предусмотрены следующие защиты:

- двухступенчатая максимальная токовая защита в трехфазном исполнении;
- токовая отсечка;
- дуговая защита;
- устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ);
- контроль исправности цепей управления выключателя;
- небалансная защита.

4.2 Небалансная защита

Для защиты конденсаторов СТК предусматриваем небалансную защиту. Принцип действия небалансной защиты основан на измерении тока небаланса, протекающего через трансформатор тока, включенного между двумя половинами конденсаторной батареи.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					34

В нормальном режиме ток небаланса равен нулю. При пробое даже одного конденсатора в одной из ветвей проявляется ток небаланса, который и регистрируется РЗА.

4.3 Защита от дуговых замыканий

Для защиты секции 10кВ необходима защита от дуговых замыканий. При срабатывании в ячейке 10кВ фототиристора или путевого выключателя при отбросе крышки отсеков (ввода, вывода, сборных шин, выключателя 10 кВ) и наличии тока КЗ происходит отключение соответствующих выключателей 10кВ, с выпадением блинкера. После установки токоограничивающих реакторов, ток короткого замыкания на секции 10кВ СТК1 составляет 15,2 кА.

4.4 Расчет уставок устройств релейной защиты статического тиристорного компенсатора

4.4.1 Расчет токовой отсечки (ТО)

1) Для КБ:

Уставка ТО должна с одной стороны превышать ток включения КБ, с другой стороны удовлетворять требованиям чувствительности [11].

Амплитуда тока включения КБ рассчитывается по формуле:

$$I_{вкл} = \frac{U_n \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot \rho}, \quad (4.1)$$

где ρ - волновое сопротивление контура включения, рассчитываемое по формуле:

$$\rho = \sqrt{\frac{L_{c\Sigma} + L_\phi}{C_\phi}}, \quad (4.2)$$

где L_ϕ - индуктивность сети, равная 0,32мГн;

C_ϕ - емкостная составляющая, равная 1,2537 мкФ;

$L_{c\Sigma}$ - суммарная индуктивность сети, приведенная к номинальному напряжению в точке подключения фильтра.

$$L_{c\Sigma} = \frac{x_{c\Sigma}}{\omega}, \quad (4.3)$$

где ω - круговая частота сети, равная $2\pi f$;

$x_{c\Sigma}$ - реактивное сопротивление сети, равное 0,22Ом.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	35

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с,}$$

$$L_{c\Sigma} = \frac{0,22}{314} = 0,69,$$

$$\rho = \sqrt{\frac{0,69 + 0,32}{1,2537}} = 0,876,$$

$$I_{\text{вкл}} = \frac{10,5 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3} \cdot 0,876} = 9,79 \text{ кА.}$$

Защита удовлетворяет требованиям чувствительности, если коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ не менее 2:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K3^2 \text{ min}}}{I_{\text{ТО}}} \quad (4.4)$$

где $I_{K3^2 \text{ min}}$ - наименьшее значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ на линейных выводах КБ.

$$I_{K3^2 \text{ min}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (x_{c\Sigma} + x_{\phi})}, \quad (4.5)$$

где x_{ϕ} - реактанс, реактивное сопротивление, не вызывающее потерь энергии в цепи.

$$x_{\phi} = \omega \cdot L_{\phi}, \quad (4.6)$$

$$x_{\phi} = 314 \cdot 0,32 = 0,1 \text{ Ом,}$$

$$I_{K3^2 \text{ min}} = \frac{10,5 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot (0,22 + 0,1)} = 23,2 \text{ кА.}$$

Таким образом, уставка срабатывания ТО должна быть выбрана из диапазона:

$$I_{\text{вкл}} < I_{\text{ТО}} < I_{K3^2 \text{ min}}, \quad (4.7)$$

$$9,79 \text{ кА} < I_{\text{ТО}} < 23,2 \text{ кА.}$$

Принимается $I_{\text{ТО}} = 10500 \text{ А.}$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						36

$$K_{\text{ч}} = \frac{23,2}{10,5} = 2,21.$$

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ больше 2, следовательно защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

2) Для ФКУ расчёт проводится аналогично расчет токовой отсечки КБ

$$\rho = \sqrt{\frac{0,69 + 0,32}{0,1194}} = 2,908,$$

$$I_{\text{вкл}} = \frac{10,5 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3 \cdot 2,908}} = 5,027 \text{ кА}.$$

Уставка срабатывания ТО должна быть выбрана из диапазона:

$$I_{\text{вкл}} < I_{\text{ТО}} < I_{\text{КЗ}^2 \text{ min}}, \quad (4.8)$$

$$5,027 \text{ кА} < I_{\text{ТО}} < 23,2 \text{ кА}.$$

Принимается $I_{\text{ТО}} = 6500 \text{ А}$.

$$K_{\text{ч}} = \frac{23,2}{6,5} = 3,6.$$

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ больше 2, следовательно защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

3) Для ТРГ:

$$I_{\text{ТОТРГ}} = \kappa_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{2}, \quad (4.9)$$

где $\kappa_{\text{отс}} = 1,5$ – коэффициент отстройки

$$I_{\text{ТОТРГ}} = 1,5 \cdot 3062 \cdot \sqrt{2} = 6495 \text{ А},$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{23,2}{6,5} = 3,5.$$

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ больше 2, следовательно защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

4) Для ввода СТК:

$$I_{\text{ТОВ}} = \kappa_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}} \cdot \sqrt{2}, \quad (4.10)$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					37

$$I_{TOB} = 1,5 \cdot 3150 \cdot \sqrt{2} = 6682 \text{ A}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{23,2}{6,7} = 3,4$$

Коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$ больше 2, следовательно защита удовлетворяет требованиям чувствительности.

4.4.2 Расчет максимальной токовой защиты (МТЗ).

Уставка срабатывания защиты МТЗ определяется условием:

$$I_{\text{МТЗ}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ном}} \quad (4.11)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки

1) Для КБ:

$$I_{\text{МТЗКБ}} = 1,2 \cdot 2570 = 3084 \text{ A.}$$

2) Для ФКУ:

$$I_{\text{МТЗФКУ}} = 1,2 \cdot 300 = 360 \text{ A.}$$

3) Для ТРГ:

$$I_{\text{МТЗТРГ}} = 1,2 \cdot 3062 = 3674 \text{ A.}$$

4) Для ввода СТК:

$$I_{\text{МТЗВ}} = 1,2 \cdot 3150 = 3780 \text{ A.}$$

Для максимальной токовой защиты выдержка времени устанавливается достаточной, чтобы не было ложного срабатывания, 0,1с – 60 с. Для КБ, ФКУ и ТРГ выбирается 2с, для ввода СТК 3с [8].

4.4.3 Расчёт резервирования отказа выключателя (УРОВ)

УРОВ запускается одновременно с действием любой защиты на отключение выключателя и команда отключения дублируется через цепи УРОВ без выдержки времени (действие “на себя”). Отказ выключателя определяется по сохранению через него первичного тока и с выдержкой времени 0,3с. происходит действие на отключение смежных выключателей.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		38

Уставку срабатывания УРОВ $I_{УРОВ}$ $k_{ср}$ (согласно ПУЭ), рекомендуется взять в пределах от 0,04 - 0,2 I_n , соответствующего присоединения. Выбирается $k_{ср} = 0,1I_n$.

$$I_{УРОВ} = k_{ср} \cdot I_n . \quad (4.12)$$

1) Для КБ:

$$I_{УРОВКБ} = 0,1 \cdot 2570 = 257 \text{ А.}$$

2) Для ФКУ:

$$I_{УРОВФКУ} = 0,1 \cdot 300 = 30 \text{ А.}$$

3) Для ТРГ:

$$I_{УРОВТРГ} = 0,1 \cdot 3062 = 306 \text{ А.}$$

4) Для ввода СТК:

$$I_{УРОВВ} = 0,1 \cdot 3150 = 315 \text{ А.}$$

Результаты расчета уставок представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Уставки РЗА

Присоединение	Максимальная токовая защита		Уставка ТО, А	Уставка УРОВ, А
	Уставка, А	Время, с		
ввод СТК 10кВ	3780	3	6682	315
ввод ТРГ	33674	2	6495	306
ввод КБ	3084	2	10500	257
ввод ФКУ	360	2	6500	30

Вывод по разделу четыре

Произведён выбор защит и расчёт уставок РЗА для оборудования СТК. Выбранные защиты СТК удовлетворяют требованиям чувствительности и скорости отключения повреждения, согласно ПУЭ.

5 СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

Система управления СТК должна содержать сервисное программное обеспечение, организованное в виде иерархического меню [4], которое выводится на жидкокристаллический графический дисплей. Главные ветви меню должны включать:

- регулирование реактивной мощности СТК по заданным алгоритмам;
- контроль состояния тиристорного вентиля;
- автоматический вывод событий, приводящих к изменению режима системы (срабатывание защит, действия оператора и т.п.) и ведение протокола событий;
- просмотр параметров объекта и системы управления;
- изменение параметров системы управления и защиты;
- блокировка от излишнего включения, выключения выключателей 10 кВ СТК должна быть организована с помощью блок контактов соответствующих выключателей и программно в шкафу управления СТК;
- встроенный аварийный осциллограф.

В объеме интеграции системы управления СТК, необходимо выполнить установку АРМ СТК позволяющего удаленно управлять и контролировать технологическими параметрами СТК.

С АРМ СТК должно осуществляются:

- изменение параметров управления и защиты;
- индикация режимов работы СТК и уставок регулирования;
- индикация аварийных событий и ведение журнала аварийных событий.

Система управления, регулирования, защиты и автоматики (сокращенно СУРЗА) осуществляет управление всем комплексом СТК. Комплекс СТК состоит из:

- тиристорно-реакторной группы (ТРГ);
- нескольких блоков конденсаторных батарей (КБ) и/или фильтро-компенсирующих цепей (ФКУ);
- ячеек КРУ и разъединителей;
- измерительных трансформаторов напряжения и токов;
- шкафов системы управления (СУРЗА), измерений и релейной защиты (ПИУ), управления и контроля высоковольтных вентилях (ШУ);
- системы охлаждения (СО) высоковольтных вентилях;
- автоматизированного рабочего места (АРМ) дежурного для удаленного управления и контроля функционирования оборудования СТК.

Оборудование СТК подключается к высокому напряжению главным выключателем:

- главный выключатель подключает к линии ТРГ и контур КБ;
- выключатели в ячейках КРУ подключают конкретные КБ/ФКУ.

Основное назначение СТК – стабилизации напряжения на линии ПС за счет регулирования реактивной мощности в точке подключения. Стабилизация осуществляется путем подключения КБ/ФКУ (для генерации реактивной мощности и повышения напряжения на линии) и управления током ТРГ (для потребления реактивной мощности и снижения напряжения на линии).

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Включение КБ обеспечивает ступенчатое изменение реактивной мощности, а управления ТРГ – плавное. Таким образом, комбинируя состояния КБ и управляя током ТРГ можно стабилизировать напряжение в точке подключения СТК или в одной из ветвей узловой ПС.

Система управления СТК предназначена для осуществления следующих функций: управления током ТРГ, коммутацией выключателей КБ/ФКУ в автоматическом и ручном режиме, контроль за состоянием высоковольтных вентилях, защиты оборудования от аварийных режимов с возможностью снимать импульсы управления и выключать главный выключатель.

5.1 Структурная схема статического тиристорного компенсатора и состав оборудования

Управление и защита оборудования СТК осуществляется взаимодействием между шкафами панели измерения и управления (ПИУ), шкафом управления тиристорными вентилями (ШУ), шкафом системы управления РЗА (СУРЗА) и системой охлаждения (СО). Все шкафы имеют выходные клемные колодки для подключения внешних сигналов. Общая структурная схема СТК приведена на рисунке 5.1 [14].

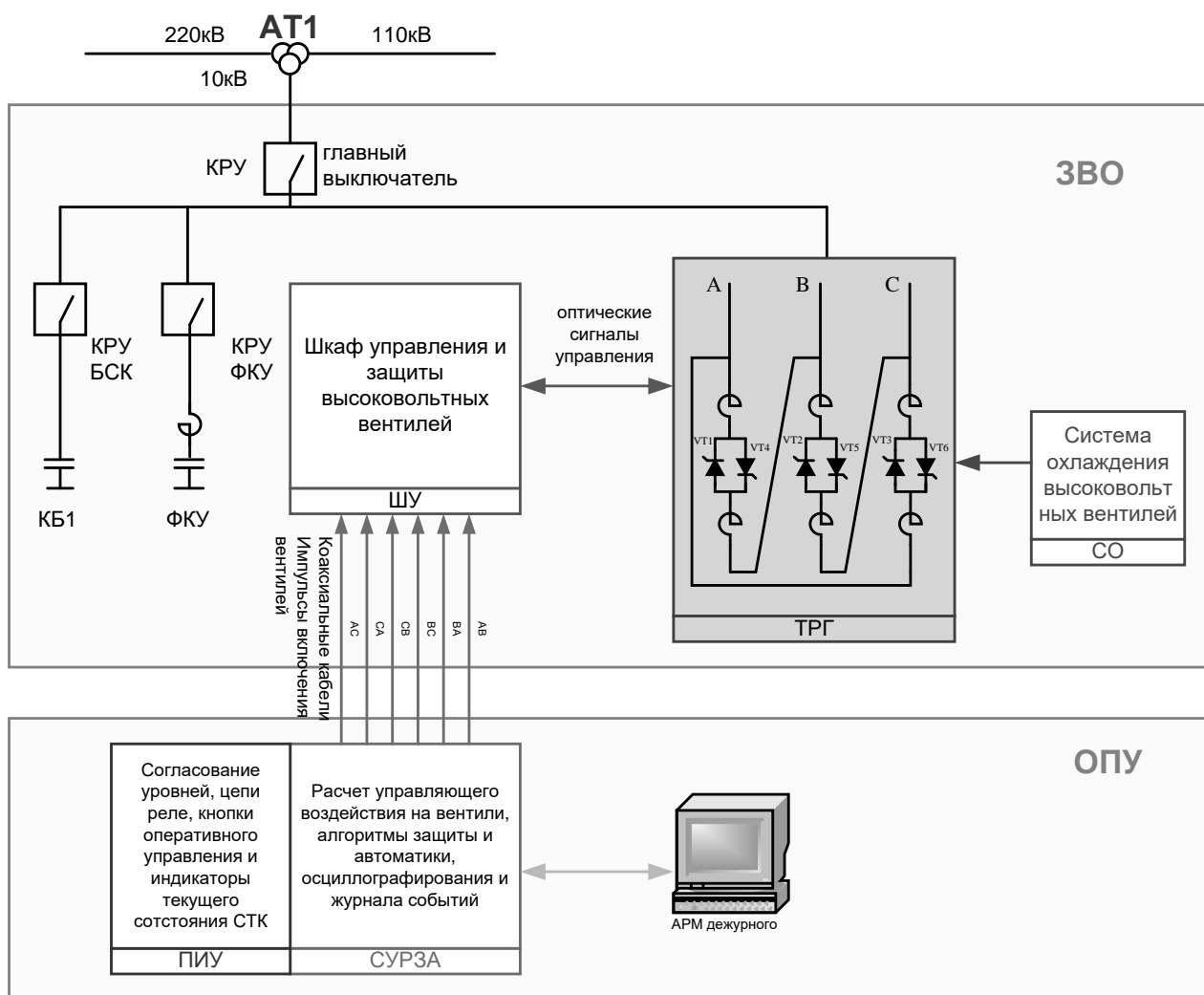


Рисунок 5.1.- Общая структурная схема СТК

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

5.2. Шкаф управления и контроля высоковольтных вентиляей

Выбираем шкаф управления (ШУ) ЮПИН.674791.600-002 РЭ, предназначенный для:

-запуска тиристоров прямого и обратного направлений каждого из 3-х вентиляей ВТСВ 1600/11 тиристорно-реакторной группы СТК (УШРТ) при поступлении импульсов управления от СУРЗА и появлении на тиристорах положительного напряжения;

-контроля исправности тиристорных ячеек вентиляей, подаче предупредительного сигнала и команды на отключение при исчерпывании избыточности тиристорных ячеек;

-контроля исправности блоков управления тиристорных ячеек вентиляей, подаче предупредительного сигнала;

-контроля исправности избыточной части оборудования, подаче предупредительного сигнала.

Шкаф управления имеет оптические связи с оборудованием на высоком потенциале и электрические связи с СУРЗА.

Шкаф управления представляет собой конструкцию, в которой объединены блоки и модули, обеспечивающие:

- запуск тиристоров прямого и обратного направлений каждой из 3-х фаз вентиля ВТСВ при поступлении импульсов управления и появлении на тиристорах положительного напряжения;

- контроль исправности тиристорных ячеек вентиляей, подачу предупредительного сигнала и команды на отключение при исчерпывании избыточности тиристорных ячеек;

- контроль исправности блоков управления тиристорных ячеек вентиляей, подачу предупредительного сигнала;

- контроль исправности избыточной части оборудования ШУ, подачу предупредительного сигнала.

Шкаф управления имеет оптические связи с оборудованием на высоком потенциале и электрические связи с СУРЗА. Выполнен в виде 1-ой стойки (рисунок 5.2). Стойка состоит из следующих блоков, расположенных сверху в низ в следующем порядке: БУФ, вентилятор БП, вентилятор, БС, Блок розеток.

Функция контроля состояния вентиля заключается в непрерывном контроле напряжения на вентиле в целом и на каждой ТЯ и непрерывной передаче этой информации на потенциал земли в шкаф управления – ШУ. Система контроля ШУ по контрольным световым сигналам от обоих драйверов ТЯ выявляет следующие отклонения от нормального функционирования:

- полный отказ ТЯ;

- отказ одного (или обоих) драйверов ТЯ;

- отказ функции ДКЯ в одном (или обоих) драйверах;

Отсутствие световых контрольных импульсов от обоих драйверов в одной ячейке возможно в следующих случаях:

- Потеря одним из тиристоров (или обоими) класса в такой степени, что остаточного напряжения на ТЯ недостаточно для нормальной работы драйверов;

- обрыв контрольных оптоволоконных жгутов от обоих драйверов;

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					

5.2.1 Функции и параметры драйвера

Назначение драйвера:

- формирование импульсов управления в управляющий электрод тиристора по световому сигналу от шкафа управления (ШУ) через оптоволоконный жгут;
- формирование контрольных световых импульсов для передачи в ШУ информации о состоянии ТЯ, тиристора и драйвера;
- формирование импульса защитного включения при перенапряжении на тиристоре.

Основные узлы и функции драйвера: Входные узлы питания драйвера обеспечивают регулируемый отбор мощности от силовой R-C цепи. Входной ток в драйвер, в зависимости от режима работы вентиля, имеет различную форму и значение, и может достигать в амплитуде 75А. Емкостной накопитель заряжается входным током и, если уровень напряжения на нём превысит порог, задаваемый схемой ограничения входной мощности, входная цепь шунтируется ключом (ключевой стабилизатор напряжения). Пороговый уровень напряжения на накопителе, при котором шунтируется входная цепь питания драйвера – 35В. Шунтирование входа питания ограничивает отбираемую мощность в сотни раз, до уровня достаточного для нормальной работы.

На входы ШУ поступают:

- 6 импульсов управления от СУРЗА, сдвинутых относительно друг друга в установившемся режиме на 60 эл.градусов;
- 66 сигналов от датчиков наличия напряжения, установленных параллельно каждому тиристорному вентилю ВТСВ 1600/11.

Импульсы управления СУРЗА на входе ШУ имеют следующие параметры на нагрузке 75 Ом:

- амплитуда, 30 ± 5 В;
- длительность на уровне 0,5, 25 ± 5 мкс;
- фронт (0,1 - 0,9), не более 2 мкс.

Ответные (контрольные) сигналы от датчиков наличия токов управления тиристорных поступают по контрольным волоконным световодам и имеют следующие параметры при появлении импульсов управления СУРЗА на входе ШУ и наличии напряжения на тиристорной ячейке:

- форма сигнала - последовательность импульсов но не более 5;
- период следования импульсов в пачке, мкс., не менее 60 ± 1 ;
- длительность импульсов, мкс, не менее 40;

Входными сигналами управления ШУ от соответствующих тиристорных ячеек вентиля являются импульсы Feedback (FB), вырабатываемые лазерными диодами типа HFBR 1414T, установленные в драйвере-управления и контроля на каждой ТЯ ВТСВ 1600/11.

При наличии напряжения на ВТВ и исправности ТЯ и при отсутствии на них импульсов управления (CMD), к ШУ от 66 драйверов ТЯ по контрольным световодам должны поступать импульсы Feedback (FB):

- форма сигнала - последовательность импульсов,
- частота следования импульсов, кГц 50 ± 5 ;
- длительность импульсов, мкс, не менее 2;

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					44

- мощность светового импульса излучения не менее - 8 дБм (HFBR 1414Т);
- энергия импульсов излучения на выходе световодов (200 мкм HCS fiber) контроля не менее -15 дБм;
- преобразование светового импульса в электрический осуществляется в ШУ с помощью приемника HFBR 2412Т;

- допустимый разброс параметров электрических импульсов на выходе приемника HFBR 2412Т для соответствующего вентиля:

- фронт (0,1÷0,9) 150нс ± 10нс;

- спад (0,9÷0,1) 175нс ± 10нс;

ШУ формирует сигнал управления ВТВ только при наличии суммарного сигнала от ДКЯ для каждого направления ВТСВ (следающий принцип управления).

Управление осуществляется в каждом направлении ВТСВ (А-В, В-А, В-С, С-В, С-А, А-С) в ШУ с помощью 11-ти лазерных диодов(HFBR 1414Т).

Выходными сигналами управления ШУ должны быть импульсы (СМД) излучения 11*6=66 лазерных диодов типа HFBR 1414Т и импульсы излучения на выходе световодов управления. Энергия импульсов излучения лазерных диодов не менее -8 дБм, длина волны излучения 820 нм, Энергия импульсов излучения на выходе световодов 200мкм HCS не менее -15дБм.

Задержка формирования импульсов (СМД) на выходе ШУ в режиме следающего канала (по уровню 0,5) соответствующего ВТВ не превышает 5 мкс.

Допустимый разброс параметров электрических импульсов на входе передатчиков HFBR 1414Т для соответствующего вентиля:

- фронт (0,1÷0,9) 50 нс±10нс;

- спад (0,9÷0,1) 75 нс±10нс;

- длительность импульсов излучения, 20 ± 2 мкс.

Задержки формирования импульсов на выходе лазерных диодов:

- по отношению к фронту импульса СУРЗА по уровню 0,5 не превышают 10 мкс.;

- по отношению к фронту суммарного канала слежения по уровню 0,5 не должна превышать 5 мкс.;

С выходов ШУ выдаются сигналы:

- сигнализации;

- защиты;

- неисправности;

- готовности.

Эти сигналы создаются путем замыкания контактов реле способных коммутировать напряжение 220 В и ток 0,15 А.

Система контроля и диагностики ШУ выявляет неисправные тиристорные ячейки.

Неисправной считается тиристорная ячейка, если от датчиков напряжений обоих направлений этой ТЯ перестают поступать на ШУ световые сигналы.

Выдается сигнал «Сигнализация», если от двух и более датчиков напряжений ТЯ одного направления вентиля ВТСВ перестают поступать на ШУ световые сигналы.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						45

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

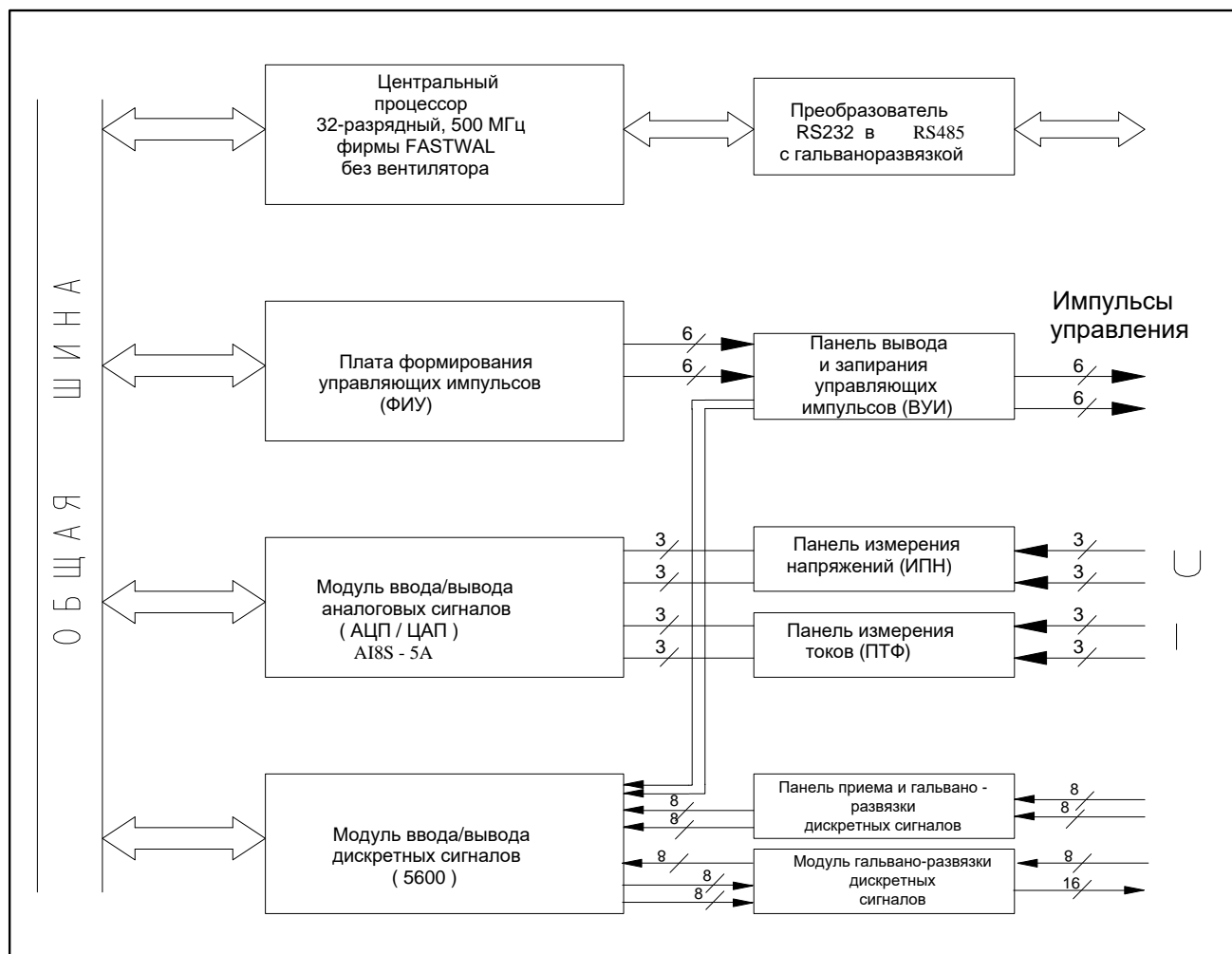


Рисунок 5.3 - Структурная схема СУРЗА

Промышленный компьютер MicroPC состоит из источника питания и объединяющей панели с шиной ISA, на которую установлены: плата CPC108 фСТКы Fastwell с тактовой частотой 500 МГц, плата AIC8S-5A для приема и выдачи аналоговых, плата UNIO96-1 для цифровых и сигналов. Сигналы с платы ФИУ через разъем на лицевой панели поступают на плату ВУИ.

На вход шкафа СУРЗА СТК поступают аналоговые сигналы:

- 3 фазы напряжений от измерительного трансформатора напряжения ТН1 шин ВН или от измерительного трансформатора напряжения ТН2 шин СН (через переключатель);
- 3 фазы напряжений от измерительного трансформатора напряжения ТН3 шин НН.

Эти сигналы (цепи UA-UB-UC) подключаются к шкафу СУРЗА СТК с помощью клемника. Затем напряжения ТН поступают в панели токов фаз и напряжений. В панели ПТФин формируются выходные аналоговые сигналы UAB и UCA. Выходные сигналы имеют гальваническую развязку от входных сигналов с уровнем изоляции не менее 1,5 кВ, сигналы нормализованы по амплитуде для ввода после мультиплексирования на входы АЦП модуля ИАВ (AI8S-5A).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

Лист

48

Защита от появления постоянной составляющей в токе фазы ТРГ. Если среднее текущее значение постоянной составляющей тока каждой фазы ТРГ превышает уставку, то производится запираение импульсов ТРГ.

Алгоритм защиты от повышения напряжения

Ограничение перенапряжения на шинах 10 кВ. При увеличении напряжения на шинах СТК выше 1,1 от номинального значения ТРГ переводят в режим максимального потребления. После снижения напряжения осуществляется переход на автоматическое регулирование напряжения.

Алгоритм защиты от понижения напряжения

Защита от снижения напряжения на шинах 10кВ. При снижении напряжения более чем на 20% от номинального на шинах 10кВ происходит разгрузка ТРГ.

При снижении напряжения ниже уровня 0,2 от номинального подается команда на отключение КБ.

Внешние защиты.

При отсутствии сигнала «ГОТОВНОСТЬ» от ШУ запираются импульсы управления ТРГ и фиксируется соответствующая защита.

При поступлении сигнала «АВАРИЯ» от системы охлаждения запираются импульсы управления ТРГ и фиксируется соответствующая защита.

При поступлении сигнала «ЗАЩИТА» от ШУ запираются импульсы управления ТРГ и выдается команда на отключения выключателя СТК.

При поступлении сигнала «Выключатель СТК отключен» запираются импульсы управления ТРГ и подается команда на отключение КБ.

Защиты реализуемые программой автоматики.

Программа автоматики, помимо управления контакторной аппаратурой СТК и логикой ее работы, реализует также защиты от неправильного функционирования релейно-контакторной аппаратуры. Реакция на неисправности различается:

Предупреждения о несоответствии б/к выходных реле СУЗРА командам коммутации. Эти предупреждения отображаются на панели предупреждения и сигнализации АРМ дежурного «Монитор СУРЗА» и не являются критическими, однако требуют исправления в ходе следующей плановой проверки;

Защиты о несоответствии тока КБ и команды управления КБ. При подаче команды включить/отключить КБ программа автоматики контролирует появление/прекращение тока КБ и, если такое соответствие в течение заданного промежутка времени не зафиксировано (200мс), фиксируется защита – «нет тока при включении КБ» / «наличие тока при выключенном КБ». Данные защиты сигнализируют о неисправности в коммутационной аппаратуре, поэтому СТК продолжает работать дальше, однако в течение заданного промежутка времени может произойти новая попытка включить/выключить КБ, если этого потребует режим регулирования. В таблице 5.1 приведен список защит.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						54

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

Таблица 5.1 - Список защит

Название	Описание	Торможение, с
1	2	3
Понижение линейного напряжения Усети < 0.8Uном. (порог 1)	Провал вызванный изменением нагрузки, несимметричной нагрузкой, при котором регулятор не смог обеспечить поддержание напряжение. Разгрузка ТРГ.	0
Понижение линейного напряжения Усети < 0.25Uном. (порог 2)	Провал напряжения вызванный межфазным коротким замыканием, несимметричной нагрузкой, и пр. Отключается КБ.	0
Повышение линейного напряжение Усети > 1.1Uном. (порог 1)	Вне зависимости от регулятора полная загрузка ТРГ с целью сбить напряжение. Удерживается полная загрузка ТРГ до выхода в нормальное напряжение.	0
Повышение линейного напряжение Усети > 1.2Uном. (порог 2)	Вне зависимости от регулятора полная загрузка ТРГ с целью сбить напряжение. Если это не удастся в течении 5сек, то отключение КБ, при сохранении загрузки ТРГ, и через 2.5. сек второй. Режим работы КБ (ручной/автоматический) игнорируется, т.о. даже если КБ была в ручном режиме и СУРЗА не управляла КБ, произойдет отключение по защите.	52.5
Повышение линейного напряжение Усети > 1.3Uном. (порог 1)	Если в течении 2 периодов сети напряжение в этой зоне, то отключается КБ, разгружается ТРГ и выключается вводной выключатель.	0.04
Защита от постоянной составляющей в токе фаз ТРГ.	Контролирует ток каждой фазы ТРГ в отдельности. Защита пропускает значения тока каждой фазы через инерционное звено с T=30сек и сравнивает его с уставкой. Если вычисленное значение тока больше уставки производится запираение импульсов ТРГ	0
Защита от недопустимо большого тока в фазах ТРГ (действующее значение - порог1)	Если действующее значение тока ТРГ больше уставки, то появляется предупреждение о перегрузке ТРГ, и запускается таймер. Если напряжения меньше уставки, то таймер уменьшается. Если таймер достиг 10 секунд, то происходит запираение ТРГ по защите	0
Защита от недопустимо большого тока в фазах ТРГ (мгновенное значение - порог2)	Контролирует ток каждой фазы ТРГ в отдельности. Если мгновенное измеренное значение тока больше уставки (120%) более 1мс, производится запираение импульсов ТРГ, т.к. есть неисправности либо в вентилях СТК, либо в системе управления вентилями либо напряжение на линии высокое .	0.04

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ

Лист

55

6.5 Производственная санитария

6.5.1 Защита от шума

На подстанции 500/110кВ источником шума являются силовые трансформаторы.

Состав шумовых характеристик и методы их определения для машин, механизмов, средств транспорта и другого оборудования установлены ГОСТ 8.055–73, а значения их шумовых характеристик следует принимать в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.003–76.

Для снижения уровня шума на подстанции предусматриваются следующие меры:

- звукоизоляция ограждающих конструкций; звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями; установка звукопоглощающих конструкций и экранов;
- правильная планировка и застройка территории, использование зеленых насаждений.

Для снижения аэродинамического шума все вентиляционное оборудование устанавливается на виброизолирующих основаниях и снабжается мягкими вставками.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении шума.

6.5.2 Освещение

Нормы освещенности, ограничения слепящего действия светильников, пульсаций освещенности и другие качественные показатели осветительных установок приняты в соответствии с требованиями СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», утвержденными Госстроем России.

Проектом предусмотрены следующие виды освещения:

- рабочее с питанием от сети 380/220В собственных нужд;
- аварийное с питанием от аккумуляторных батарей;
- охранное освещение.

Для электрического освещения применяются газоразрядные, и лампы накаливания.

В качестве аварийного освещения используется одна из групп рабочего освещения, при этом обе группы подключаются к независимым источникам питания.

Для освещения производственных помещений применяется система комбинированного освещения.

Для освещения непроизводственных помещений применяется общее равномерное освещение.

В помещениях главного щита управления подстанции светильники аварийного освещения должны обеспечивать на фасадах панелей основного щита

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					

освещенность не менее 30лк; 1÷2 лампы присоединяются к шинам постоянного тока через автоматы и включены круглосуточно.

При отключении источника питания аварийное освещение автоматически переключается на аккумуляторную батарею.

У дежурного персонала должны быть схемы сети освещения и запас плавких калиброванных вставок и ламп всех напряжений осветительной сети. Дежурный оперативно-ремонтный персонал, даже при наличии аварийного освещения, должен быть снабжен переносными электрическими фонарями.

Естественное и искусственное освещение запроектировано в соответствии со СНиП 23-05-95.

Проектируемое оборудование будет располагаться на ОРУ 500кВ, поэтому делаем расчет освещения ОРУ 500кВ.

Согласно [17] суммарный световой поток

$$\Sigma\Phi = E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot K_\Gamma; \quad (6.1)$$

где E_H – нормируемая освещенность, согласно ГОСТ 12.1.046-85 – ССБТ принимаем $E_H = 20$ лк;

S – площадь ОРУ равная 62500 м²;

K_3 – коэффициент запаса, учитывающий потери света от загрязнения отражателей защитного стекла лампы, примем $K_3=1,5$;

K_Γ – коэффициент, учитывающий потери света в зависимости от конфигурации освещенной площади, примем $K_\Gamma=1,5$.

$$\Sigma\hat{O} = 20 \cdot 62500 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 2812500 \text{ лм.}$$

Для освещения ОРУ выбираем прожекторы ИСУ 01-5000 с галогеновыми лампами КГ-220-5000. Прожекторы дают хорошее освещение, что особенно важно для ОРУ.

Линейные кварцевые галогенные лампы типа КГ широко применяются в специальных прожекторах различного назначения.

Технические характеристики лампы типа КГ:

- Номинальное напряжение - 220 В
- Тип цоколя - К27s/96-1
- Мощность - 5000 Вт
- Световой поток - 110000 лм
- Максимальная сила света - 18000 кД
- Длина лампы - 520 мм
- Диаметр лампы - 20,5 мм
- КПД прожектора – 55%
- Средняя продолжительность горения - 3000 часов
- Число прожекторов для освещения такой площадки:

$$N_{np} = \frac{\Sigma\Phi}{\Phi_l \cdot \eta_{np}}; \quad (6.2)$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ				61

где Φ – световой поток лампы; $\eta_{пр}$ – КПД прожектора.

$$N_{пр} = \frac{2812500}{110000 \cdot 0,55} = 46 \text{ штук.}$$

Прожекторы типа ИСУ 01-5000 должны устанавливаться на опорную поверхность из несгораемого материала. Высота установки прожекторов от 8 до 12 м.

Для установки прожекторов используются порталы и пять мачт освещения.

6.5.3 Заземление и защитные меры электробезопасности

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения [21]:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ, при наличии требований других глав ПУЭ, следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

В электроустановках до 1 кВ выполнено зануление, а выше 1 кВ - заземление.

С целью уравнивания потенциалов в помещениях и наружных установках, в которых применяется заземление или зануление, все строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, воздухопроводы вентиляционных систем присоединены к сети заземления и зануления.

Согласно ПУЭ все металлические части электроустановок, нормально не находящиеся под напряжением, но могущие оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции, должны надежно соединяться с землей.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					62

Заземляющее устройство является составной частью электроустановки и предназначено для обеспечения необходимого уровня электробезопасности в зоне обслуживания электроустановки и за ее пределами, для отвода в землю импульсов токов с молниеотводов, для создания цепи при работе защиты от замыканий на землю и для стабилизации напряжения фаз электрической сети относительно земли. Для заземления электроустановок на подстанции применяется одно общее заземляющее устройство.

6.5.4 Защита от электромагнитных полей

Электрическое поле на ОРУ 500кВ и вблизи ВЛ 500 кВ может оказывать вредное воздействие на человека.

Кроме того, необходимо учитывать возможность воспламенения паров горючих материалов и смесей из-за электрических разрядов при соприкосновении предметов и людей с машинами и механизмами.

Степень непосредственного воздействия электрического поля на человека зависит от напряженности поля и длительности пребывания в нем.

Пространство, в котором напряженность электрического поля превышает значение 5 кВ/м, называется зоной влияния электрического поля, в которой необходимо применять защитные мероприятия. Пространство вблизи находящихся в электрическом поле зданий и сооружений, а также заземленных металлоконструкций, фундаментов под оборудование, силовых трансформаторов и крупногабаритных объектов, в котором напряженность электрического поля не превышает 5 кВ/м, называется зоной экранирования. В зоне экранирования защитные мероприятия могут не выполняться.

Согласно правилам и нормам СанПиН 2.2.4.1191–03, гигиенические нормативы рассчитываются следующим образом.

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП Т (час) рассчитывается по формуле:

$$T = (50/E) - 2. \quad (6.3)$$

где E - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

При напряженности свыше 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в ЭП составляет 10мин. Пребывание в ЭП с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Средствами защиты являются экранирующие устройства и комплекты экранирующей одежды.

Для открытых расщепленных устройств разработаны маршруты обхода для осмотра оборудования и следования к рабочим местам, расположенные по возможности в зоне экранирования или на участках территории ОРУ, где напряженность электрического поля не превышает 15 кВ/м.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63

Для защиты от вторичных проявлений молнии: металлические корпуса всего оборудования и аппаратов должны быть присоединены к заземляющему устройству;

Для защиты от заноса высоких потенциалов подземные и наземные коммуникации на вводе в здание или сооружение, а также ближайшая опора коммуникаций должны быть присоединены к заземляющему устройству.

Для защиты ОРУ (включая гибкие связи) от прямых ударов молнии применяют стержневые молниеотводы. Наиболее экономично устанавливать стержневые молниеотводы на конструкциях ОРУ, т.к. при этом можно уменьшить высоту молниеотвода и более полно использовать защитную зону. Условие защищенности площади ОРУ 500 кВ, при условии защите объекта с надежностью $RH = 1$ рассчитывается радиус зоны защиты r_x на уровне высоты объекта h_o :

$$r_x = \sqrt{r_o^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}; \quad (6.4)$$

где r_o – радиус защиты на уровне земли;

b – ширина объекта;

$$r_x = \sqrt{23^2 + 5^2} = 22,9 \text{ м.}$$

Затем определяется высота молниеотводов, обеспечивающая заданный уровень защиты:

$$h = r_o + h_o; \quad (6.5)$$

$$h = 22,9 + 7 = 29,9 \text{ м.}$$

Выбираем молниеотводы высотой 30м. расположенные на линейных порталах и покрывающие все оборудование, расположенное в ОРУ 500 кВ.

6.6 Эргономика и производственная эстетика

Основным рабочим местом оперативного персонала является главный щит управления.

Эргономика и производственная эстетика разрабатывается на основании:

- типовой инструкции по охране труда для пользователей ПЭВМ в электроэнергетике (РД 153-34.0-03.298-2001);

- гигиенических требований к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы (СанПин 2.2.2.542-96).

При организации рабочих мест необходимо учитывать то, что конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		65

психофизиологическим данным человека, а также характеру. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ;
- статические нагрузки рабочей позы;
- время пребывания.

Площадь на одно рабочее место с ВДТ или ПЭВМ для взрослых пользователей должна составлять не менее 6,0 кв. м, а объем - не менее 20,0 куб. м.

Для внутренней отделки интерьера помещений с ВДТ и ПЭВМ должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка - 0,7-0,8; для стен - 0,5-0,6; для пола 0,3-0,5 уровень шума не должен превышать 65 дБА [18].

В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп мощностью до 250 Вт. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения.

Схемы размещения рабочих мест с ВДТ и ПЭВМ должны учитывать расстояния между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), которое должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ВДТ и ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ					66

- своими силами и с помощью служб предприятия спрогнозировать возможные последствия в случае аварии и принять все меры к её недопущению или максимальному снижению последствий;

- организовать наблюдение за опасным участком, обеспечить вывод сотрудников из опасной зоны.

При угрозе возникновения стихийных бедствий (резком изменением температуры воздуха, сильном ветре, ливневых дождях, снегопадах и т.д.):

- организовать наблюдение за состоянием окружающей среды;

- организовать на ПС постоянное дежурство руководящего состава;

- оценить противопожарное состояние ПС, провести мероприятия по повышению уровня готовности пожарного расчёта, противопожарной защищённости ПС, подготовить мероприятия по безаварийной остановке работы, усилить контроль за состоянием коммунально-энергетических сетей;

- постоянно находится во взаимодействии со штабом ГОЧС предприятия, управлением (отделом) ГОЧС (ГЗ) района.

Вывод по разделу пять

Проведен анализ опасных и вредных факторов, возможных чрезвычайных ситуаций, возникающих при работе на ПС «Златоуст 500кВ», также проведен расчет уровня освещения, заземления, молниезащита. Рассмотрены основные требования к мерам безопасности и безвредности работы при монтаже СТК1. Рассмотрены эргономические требования и меры безопасности при работе оперативного персонала.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		69

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрен вопрос модернизации системы компенсации реактивной мощности на подстанции «Златоуст 500 кВ».

В результате модернизации, физически изношенный синхронный компенсатор был заменен на статический тиристорный, мощностью ± 60 МВАр. Произведён расчёт необходимого уровня компенсации реактивной мощности. Произведён выбор современного электрооборудования, релейной защиты, системы управления, которые отвечают всем необходимым требованиям. Так же в результате модернизации будут снижены потери электрической энергии на 43% и составят 1570 тыс. кВт·ч в год

В разделе безопасности жизнедеятельности произведен анализ производственных и экологических опасностей. Предусмотрены меры по охране труда и определены требования производственной санитарии. Рассмотрены вопросы охраны окружающей среды и безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		70

- 20 Порядок обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций. Совместное постановление Министерства труда и социального развития РФ № 1 и Министерства образования от 13.01.2003 № 29.
- 21 Техника безопасности в электроэнергетических установках. Справочное пособие / под ред. Долина П.А., 1988.
- 22 Правила эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор. Минтопэнерго РФ, Энергоатомиздат. 2002 г. (6-е издание).
- 23 Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С.В.Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. 3 – е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2001.
- 24 Охрана окружающей среды: Учебник для технич. спец. вузов/С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков и др. Под ред. С.В.Белова. – 2 – е изд., испр. и доп. М.: Высшая школа, 1991.
- 25 Атаманюк В.Г., Ширшев Л.Г., Акимов Н.И. Гражданская оборона: Учебник для вузов – М.: Высшая школа, 1986 – 207 с.
- 26 Трофимова, С.Н., Павлова, Т.В., Литвиненко, Т.Н. Экология. Курс лекций. Ч.1. Челябинск, 2002. – 68 с.

					13.03.02.2021.050.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		72