

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Модернизация системы постоянного оперативного тока ПС 220/35/6 кВ «УГПЗ»

Обучающийся

И.М. Мусин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

руководитель

д.т.н., доцент, А.А. Кувшинов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ системы собственных нужд подстанции «УГПЗ».....	11
1.1 Характеристика потребителей СН подстанции	11
1.2 Расчёт токов КЗ в сети СН 0,4 кВ.....	11
1.2.1 Принимаемые допущения.....	12
1.2.2 Расчетные условия.....	12
«Эквивалентный источник питания.....	12
1.2.3 Расчетная схема.....	15
1.2.4 Расчёт параметров схемы замещения	18
1.2.5 Расчет токов короткого замыкания для точки К1	20
1.3 Выполнение защиты сети СН 0,4 кВ.....	25
1.4 Проверка кабелей на термическую стойкость и на невозгораемость....	33
2 Определение параметров и требований к системе оперативного постоянного тока на подстанции «УГПЗ» после модернизации	37
2.1 Требования к системе оперативного постоянного тока.....	37
2.2 Расчет системы оперативного постоянного тока.....	38
2.3 Расчет и выбор аккумуляторной батареи	39
2.3.1 Расчет числа элементов аккумуляторной батареи	39
2.3.2 Построение диаграммы нагрузки.....	41
2.3.3 Предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов .	42
2.3.4 Выбор предварительного значения емкости АБ.....	43
2.3.5 Расчет уточненного значения емкости АБ	43
2.3.6 Расчет итогового значения емкости АБ.....	44
2.4 Расчет и выбор зарядного устройства.....	45
2.4.1 Выбор номинального выходного тока зарядного устройства.....	46
2.4.2 Режим подзаряда	47
2.4.3 Режим заряда	47
2.4.4 Мощность ЗПУ	48

2.4.5	Проверка зарядно-подзарядных устройств	49
2.4.6	Проверка ЗУ по пульсациям тока.....	50
2.5	Состав новых шкафов СОПТ ПС 220/35/6 кВ «УГПЗ»	51
2.6	Порядок выбора проводников	53
2.6.1	Выбор сечений проводников по условиям рабочего режима	54
2.6.2	Проверка сечения проводников по потере напряжения	58
2.7	Расчет токов КЗ	61
2.7.1	Расчёт тока КЗ в ШОТ-МТ.....	61
2.7.2	Расчёт тока КЗ на шинах ШРОТ-МТ (от ES1, ES2)	63
2.7.3	Расчёт тока КЗ в конце кабеля питающего терминал ТОР ЛОК ВЛ-45 (P23)	65
2.7.4	Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего ЭМО1/ЭМВ СМВ 35кВ (P27)	66
2.7.5	Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего терминалы КСЗ и АУВ ВЛ-44 (P29)	67
2.7.6	Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего ЭМО1/ЭМВ ВЛ-44 (P29).....	68
2.8	Выбор аппаратов защиты	71
2.8.1	Выбор автоматических выключателей нижнего уровня защиты .	71
2.8.2	Выбор аппаратов среднего уровня защиты.....	80
2.8.3	Выбор автоматических выключателей высшего уровня защиты .	84
3	Разработка требований по организации системы контроля изоляции и интеграции в ПТК ССПИ подстанции «УГПЗ»	87
3.1	Система контроля изоляции СОПТ	87
3.1.1	Назначение и цели системы	87
3.1.2	Общая информация о СКИ	87
3.1.3	Управление и режим работы устройства СКИ	93
3.1.4	Контроль изоляции и поиск места повреждения	95
3.1.5	Особенности подключения и настройки СКИ для СОПТ	96
3.2	Подключения СОПТ к ПТК ССПИ ПС 220/35/6кВ «УГПЗ»	98

3.2.1 Схема ПТК ССПИ.....	98
3.2.2 Перечень измеряемых и контролируемых параметров.....	98
Заключение	104
Список используемых источников.....	107

Введение

Подстанция 220/35/6кВ «УГПЗ» располагается в республике Коми в Усинском районе, ее местоположение изображено на рисунке 1.

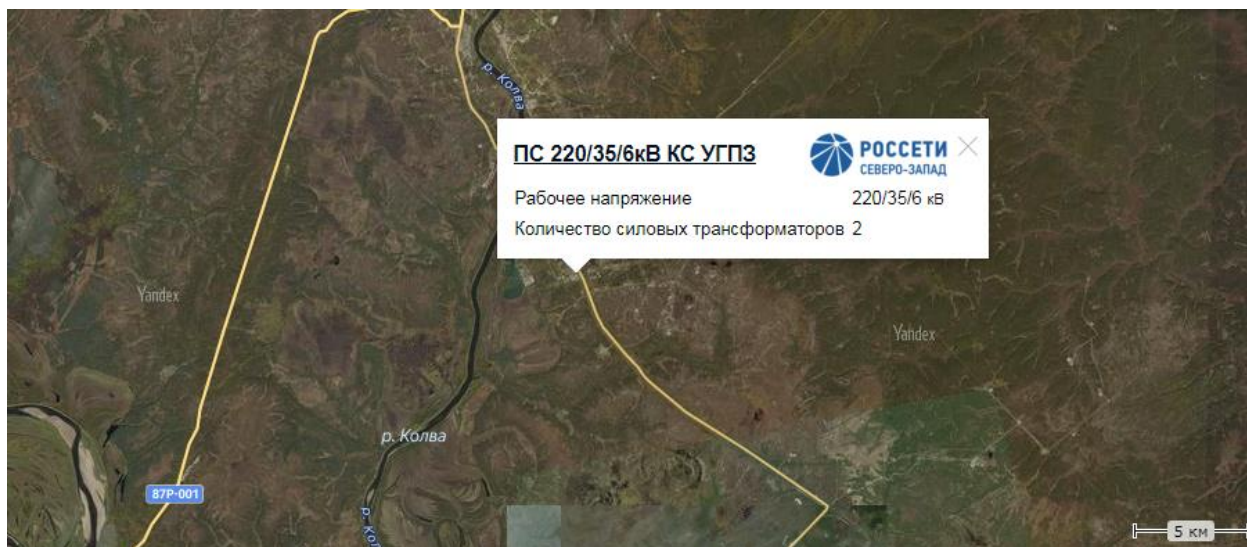


Рисунок 1 – Местоположение подстанции 220/35/6кВ «УГПЗ»

На данный момент на ПС 220 кВ «УГПЗ» установлено:

- а) два трансформатора СН внутренней установки мощностью 400 кВА;
- б) щит собственных нужд (из 5 панелей);
- в) шкаф управления оперативным током типа ШУОТ – 2405, состоящий из:
 - 1) шкафа АБ из 17 батарей типа 12V92F «PowerSafe»;
 - 2) шкафа с ПЗУ (два зарядно-подзарядных устройства);
 - 3) шкафа распределения (ШРОТ).

Трансформаторы СН подключаются до ввода к разным секциям КРУ 6 кВ, через выключатели.

На рисунке 2 приведена структурная схема ПС «УГПЗ».

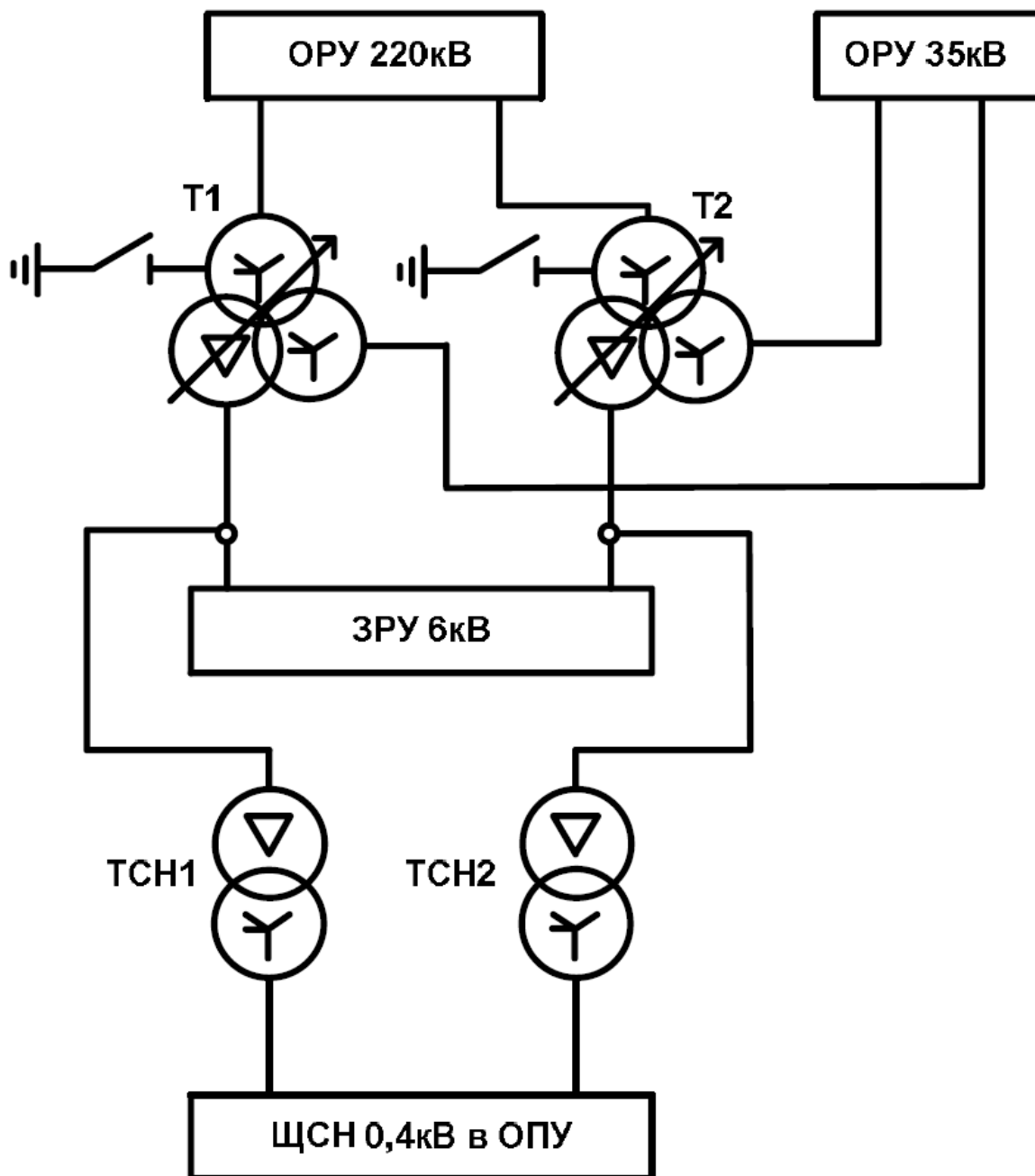


Рисунок 2 - Структурная схема ПС «УГПЗ»

Оборудование системы СН смонтировано в ОПУ ПС «УГПЗ». Для систем СН и ОПТ установлено:

- щит собственных нужд 0,4 кВ состоящий из 5 панелей;
- щит постоянного тока 220В (ШУОТ-2405, состоящий из шкафа подзарядных устройств, шкафа аккумуляторной батареи).

Контрольные и токоведущие кабели прокладываются в разных кабельных каналах в соответствии с требованиями ЭМС.

В помещении ОПУ, в непосредственной близости от панелей защиты располагается шкаф распределения оперативного тока с автоматическими выключателями для защиты цепей управления и питания устройств РЗА.

«Для ПС напряжением 220 кВ комплект СОПТ должен содержать следующие компоненты:

- две АБ;
- четыре ЗУ, по два на каждую АБ;
- два ЩПТ, при этом для каждой АБ предусматривается отдельный ЩПТ с числом секций не менее двух;
- шкафы распределения оперативного тока» [22].

В соответствии с вышеизложенным, для ПС «УГПЗ» требуется:

- 1 новый шкаф АБ;
- 1 новый шкаф ПЗУ (2 ЗУ на новую АБ);
- 1 новый шкаф ШРОТ.

В соответствии с требованиями нормативных документов для нового ШУОТ необходимо предусмотреть:

- дистанционный мониторинг;
- комплект ЗИП;
- автоматический пофидерный контроль сопротивления изоляции;
- обогрев шкафа оперативного тока и автоматику обогрева шкафа;
- возможность установки автоматического пофидерного контроля сопротивления изоляции в существующей СОПТ;
- исполнение по резервированию с двумя независимыми каналами питания, без АВР, по схеме параллельного питания от двух независимых источников, для обеспечения нормативных требований к надежности.

«Компоновка и схемные решения по подключению компонентов СОПТ должны обеспечивать:

- а) сохранение питания всех электроприемников при техническом обслуживании и выполнении восстановительных ремонтов оборудования;
- б) рациональное резервирование компонентов СОПТ;
- в) минимизацию объема технического обслуживания;
- г) учет требований по электромагнитной совместимости» [28];
- д) «питание устройств РЗА от отдельных секций шин или сборок на ЩПТ и от отдельных ШРОТ;
- е) раздельное электропитание от разных АБ через разные секции ЩПТ и через ШРОТы основных и резервных защит каждого присоединения;
- ж) цепи взаиморезервирования между сборками щитов постоянного тока и ШРОТами должна иметь два коммутационных и защитных аппарата, размещенных в разных шкафах;
- з) проводники СОПТ должны удовлетворять требованиям термической стойкости и невозгораемости;
- и) все компоненты и электроприемники системы оперативного постоянного тока должны быть защищены от токов короткого замыкания и перегрузки отключающими защитными аппаратами: плавкими предохранителями и автоматическими выключателями;
- к) защитные аппараты должны обеспечивать отключение коротких замыканий в любой точке СОПТ сопровождающихся снижением напряжения на сборках ЩПТ и ШРОТ глубиной более 50% со временем, не превышающим 50 мс;
- л) должно быть обеспечено дальнейшее резервирование автоматических выключателей действием плавких предохранителей 2-го уровня при трехуровневой системе защиты, действием плавких предохранителей 1-го уровня при двухуровневой системе защиты. Дальнейшее резервирование плавких предохранителей не требуется» [28];

- м) «нормально допустимое отклонение напряжения на клеммах электроприемников не более 5% от номинального значения в режиме постоянного подзаряда АБ;
- н) предельно допустимое отклонение напряжения на шинах питания устройств РЗА не более 10% в режимах уравнивающего или ускоренного заряда, а также при аварийных разрядах АБ;
- о) выявление неисправности компонентов СОПТ автоматически средствами мониторинга и средствами самодиагностики элементов (компонентов) СОПТ. Информация о неисправностях компонентов, отклонениях от нормального режима работы системы и компонентов СОПТ должна:
 - 1) фиксироваться средствами мониторинга;
 - 2) визуализироваться по месту возникновения (местная сигнализация);
 - 3) передаваться от устройств мониторинга в полном объеме в АСУ ТП» [28];
- п) «объединение секций ЩПТ разных АБ через два коммутационных и защитных аппарата, включенных последовательно;
- р) питание ШРОТов от разных секций одного ЩПТ или от ЩПТ разных АБ. Каждый ввод должен подключаться через коммутационный аппарат для обеспечения возможности проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту» [28].

Ненадёжная работа системы собственных нужд (СН) подстанции, повреждение её элементов, подчас приводит к нарушению функционирования не только подстанции, но и энергосистемы. Поэтому обеспечение необходимой степени надёжности и квалифицированная эксплуатация являются весьма актуальными вопросами.

Разработка систем СН и ОПТ осуществляется с учетом таких факторов, как:

- повышенная надежность коммутаций в системе;

– возможность подключения в дальнейшем дополнительной нагрузки.

Главными целями данной магистерской диссертации являются:

- создание надежной и эффективной системы питания коммутационного электрооборудования, а также устройств РЗ, ПА, АСУТП и связи выполненных на МП базе;
- повышение информационной оснащенности диспетчерского и эксплуатационного персонала в процессе анализа аварийных событий.

В соответствии с заявленными целями работы можно сформулировать основные задачи:

- анализ системы собственных нужд подстанции «УГПЗ»;
- определение параметров и требований к системе оперативного постоянного тока на подстанции «УГПЗ» после модернизации;
- разработка требований по организации системы контроля изоляции и интеграции в ПТК ССПИ подстанции «УГПЗ».

1 Анализ системы собственных нужд подстанции «УГПЗ»

1.1 Характеристика потребителей СН подстанции

На ПС «УГПЗ» установлены два ТСН типа ТМ 400кВА, которые подключены до ввода секций 6 кВ через свои выключатели. Схема на стороне 0,4 кВ - одна, секционированная выключателем система шин. Резервные источники питания - отсутствуют.

Согласно имеющейся схемы нагрузка СН получает питание от устанавливаемого в здании ОПУ щита СН и состоит из:

- питания приводов разъединителей и выключателей 220 и 35 кВ;
- обогрев приводов разъединителей и выключателей 220 и 35 кВ, обогрев баков выключателей 35кВ;
- обогрева шкафов ОРУ 35кВ и ОПУ;
- обогрева шкафов РЗА;
- ИБП оборудования в комнате связи;
- питание оперативных цепей, сети РЗА;
- РПН и обдув трансформаторов Т-1 и Т-2;
- отопление и освещение ОПУ, наружное освещение;
- резервного питания счетчиков электрической энергии, АИИСКУЭ;
- питание выпрямительных устройств;
- ШУОТ, подзарядных устройств ШУОТ.

1.2 Расчёт токов КЗ в сети СН 0,4 кВ

«Расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ выполняются для выбора коммутационной аппаратуры, кабелей и другого электрооборудования с целью проверки их по условиям термической и динамической стойкости, а также для выбора уставок защиты и автоматики и проверки их чувствительности.

Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ 28249-93 и пособием по расчету токов КЗ» [19].

«В отличие от сетей выше 1 кВ эти КЗ в большинстве случаев являются дуговыми, а не металлическим, что объясняется конструктивными особенностями этих сетей.

Поэтому при расчётах токов КЗ для проверки оборудования на термическую и динамическую стойкости и выбора аппаратуры по отключающей способности выполняются расчёты металлических КЗ, т.к. в этом случае значения токов КЗ являются максимальными. При проверке чувствительности защитных аппаратов выполняются расчёты дуговых КЗ, т.к. при этом значения токов КЗ являются минимальными» [4].

1.2.1 Принимаемые допущения

«Для расчётов токов КЗ принят ряд допущений, которые, как и в сетях более высоких напряжений, упрощают расчёты, сохраняя при этом их достаточно высокую точность.

При расчётах не учитываются:

- токи намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов;
- насыщение магнитных систем электрических машин;
- сопротивление внешней (питающей) энергосистемы при расчёте токов металлических КЗ на силовых сборках, а также при КЗ в конце кабелей, отходящих от сборок и шин;
- при питании от энергосистемы не учитывается затухание периодической составляющей тока КЗ во времени ввиду большой электрической удалённости точки КЗ от источника питания;
- сопротивление мощной питающей энергосистемы при расчётах дуговых КЗ» [19].

1.2.2 Расчетные условия

«Эквивалентный источник питания.

Сопротивление внешней сети (эквивалентное сопротивление системы) задаётся эквивалентным источником питания, генератором, подключённым к

шинам высшего напряжения понижающего трансформатора, от которого питается рассчитываемая сеть 0,4 кВ.

Эквивалентный генератор задаётся эквивалентным индуктивным сопротивлением питающей системы X_c и её номинальным напряжением. Активное сопротивление системы не учитывается из-за его незначительного влияния на значение токов КЗ в сети 0,4 кВ.

При переводе эквивалентного сопротивления системы к базисному напряжению используется следующее выражение» [4]:

$$X_{C3} = X_{C3BH} \left(\frac{U_{ВНн}}{U_{Ннн}} \right)^2 \cdot 10^3, \quad (1)$$

где « X_{C3} – эквивалентное индуктивное сопротивление системы, приведённое к базисному напряжению, МОм;

$U_{Ннн}$ – среднее номинальное напряжение стороны низшего напряжения, принятое за базисное, кВ» [4].

или

$$X_{C3} = \frac{U_{Ннн}}{S_{КЗ}} \cdot 10^3, \quad (2)$$

где « $S_{КЗ}$ – мощность КЗ от системы на стороне ВН питающего трансформатора, мВА» [4].

«Полученное, указанным выше методом, эквивалентное сопротивление системы является сопротивлением прямой и обратной последовательности.

Трансформатор.

Питающий трансформатор входит в схему замещения активным R_t и индуктивным X_t сопротивлениями, приведёнными к базисному напряжению, т.е. к $U_{Ннн}$.

Активное сопротивление R_t определяется по выражению» [4]:

$$R_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{Ннн}^2}{S_n^2} \cdot 10^6, \quad (3)$$

где « R_T – активное сопротивление питающего трансформатора, мОм;
 $P_{кз}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;
 $U_{Ннн}$ – среднее номинальное напряжение стороны низшего напряжения, принятое за базисное, кВ;
 S_n – номинальная мощность трансформатора, кВА» [4].

«Полное сопротивление трансформатора Z_T определяется по выражению» [4]:

$$Z_T = \frac{U_{к\%} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n}, \quad (4)$$

где « $U_{к\%}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %» [4].

«Индуктивное сопротивление трансформатора X_T определяется по выражению» [4]:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (5)$$

где X_T – индуктивное сопротивление питающего трансформатора, мОм.

«Для практических расчётов можно принимать X_T равным Z_T , т.е» [4].

$$X_T = \frac{U_{к\%} \cdot U_n^2}{S_n} \cdot 10^4. \quad (6)$$

«Активное и индуктивное сопротивление нулевой последовательности для трансформаторов со схемой соединения обмоток Δ/Y_0 практически равны соответствующим параметрам прямой последовательности.

Силовые кабели.

Активные и индуктивные сопротивления кабелей прямой и нулевой последовательности определяются по удельным параметрам кабелей и их длине:

$$R_k = r_{уд} \times l, \quad (7)$$

$$X_k = x_{уд} \times l, \quad (8)$$

где R_k – активное сопротивление прямой и нулевой последовательностей кабеля, мОм;

X_k – индуктивное сопротивление прямой и нулевой последовательностей кабеля, мОм;

$r_{уд}$ – удельное активное сопротивление кабеля соответствующей последовательности, мОм/м;

$x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление кабеля соответствующей последовательности, мОм/м;

l – длина кабеля, м» [4].

Активное сопротивление дуги в месте КЗ.

«Активное сопротивление дуги в месте КЗ, R_d , необходимо учитывать при определении минимальных значений токов КЗ.

Токоограничивающее действие дуги учитывается включением в расчётную цепь КЗ добавочного сопротивления R_d » [4].

1.2.3 Расчетная схема

«Расчет приведен в именованных единицах, сопротивления расчетной схемы приведены к напряжению 0,4 кВ и выражаются в миллиомах» [19].

Параметры элементов расчетной схемы (система, трансформаторы собственных нужд, кабели 0,4 кВ и автоматические выключатели) приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Параметры системы 6 кВ

$I_{кз}$, кА (ПС 220/35/6 кВ «УГПЗ» (с учетом подпитки от «Усинской ГТУ-ТЭЦ» и включенного СВ-35 на ПС 220/35/6 кВ «УГПЗ»))			Мощность трехфазного КЗ от системы на шинах 6 кВ $S_{КЗ} = \sqrt{3} \cdot I_{кз} \cdot U_{НВН}$
Т-1	max	25,369	$\sqrt{3} \cdot 25,369 \cdot 6,3 = 276,82 \text{ МВА}$
	min	22,875	$\sqrt{3} \cdot 22,875 \cdot 6,3 = 249,61 \text{ МВА}$
Т-2	max	25,306	$\sqrt{3} \cdot 25,306 \cdot 6,3 = 276,137 \text{ МВА}$
	min	22,769	$\sqrt{3} \cdot 22,769 \cdot 6,3 = 248,45 \text{ МВА}$

Таблица 2 – Параметры трансформатора СН

Тип	S_n , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	P_x , кВт	P_k , кВт	U_k , %	$I_{хх}$, %	Схема соединения обмоток
ТМ 400/6	400	6,3	0,4	0,8	5,5	4,5	1,6	D/Yn-0

Таблица 3 – Параметры силовых кабелей 0,4 кВ

Обозначение	Тип	U_n , кВ	Сечение кабеля, мм ²	Длина, м	Удельные сопротивления, мОм/м
Объект №1 (ТСН1)					
КЛ1	АВВГ	0,66/1	3×150	10	$R_{уд}=0,21$; $R_{уд0}=0,78$; $X_{уд}=0,0596$; $X_{уд0}=0,135$
КЛ2	АВВГ	0,66/1	3×50	5	$R_{уд}=0,64$; $R_{уд0}=1,64$; $X_{уд}=0,0625$; $X_{уд0}=0,257$
КЛ3	ВВГнг(LS)	1	5×4	90	$R_{уд}=4,63$ $X_{уд}=0,095$
КЛ4	ВВГнг(LS)	1	5×6	13	$R_{уд}=3,09$; $X_{уд}=0,09$
Объект №2 (ТСН2)					
КЛ5	АВВГ	0,66/1	3×150	16	$R_{уд}=0,21$; $R_{уд0}=0,78$; $X_{уд}=0,0596$; $X_{уд0}=0,135$
КЛ6	АВВГ	0,66/1	3×50	11	$R_{уд}=0,64$; $R_{уд0}=1,64$; $X_{уд}=0,0625$; $X_{уд0}=0,257$
КЛ7	ВВГнг(LS)	1	5×4	80	$R_{уд}=4,63$; $X_{уд}=0,095$
КЛ8	ВВГнг(LS)	1	5×6	8	$R_{уд}=3,09$; $X_{уд}=0,09$

Таблица 4 – Параметры автоматических выключателей

Тип (обозначение)	И _н , А	Р _{кв} , мОм	Х _{кв} , мОм
APU-50AM	1600	0,14	0,08
A3124	100	2,15	1,2
QF1	63	7	4,5
QF17 (16)	6	15,8	-

Расчет ТКЗ произведем для точек:

- К1 (К5) шины 0,4 кВ ЩСН, за кабелем КЛ1 (КЛ5), рисунок 3;
- К2 (К6) на первой вторичной силовой сборке, за кабелем КЛ2 (КЛ6) – ближний потребитель, рисунок 3;
- К3 (К7) на последней вторичной силовой сборке, за кабелем КЛ3 (КЛ7) – дальний потребитель, рисунок 3;
- К4 (К8) на шинах ввода вновь устанавливаемого шкафа ШОТ (питание ЗВУ2.1 и ЗВУ2.2), за кабелем КЛ4 (КЛ8) – потребитель СОПТ, рисунок 3;

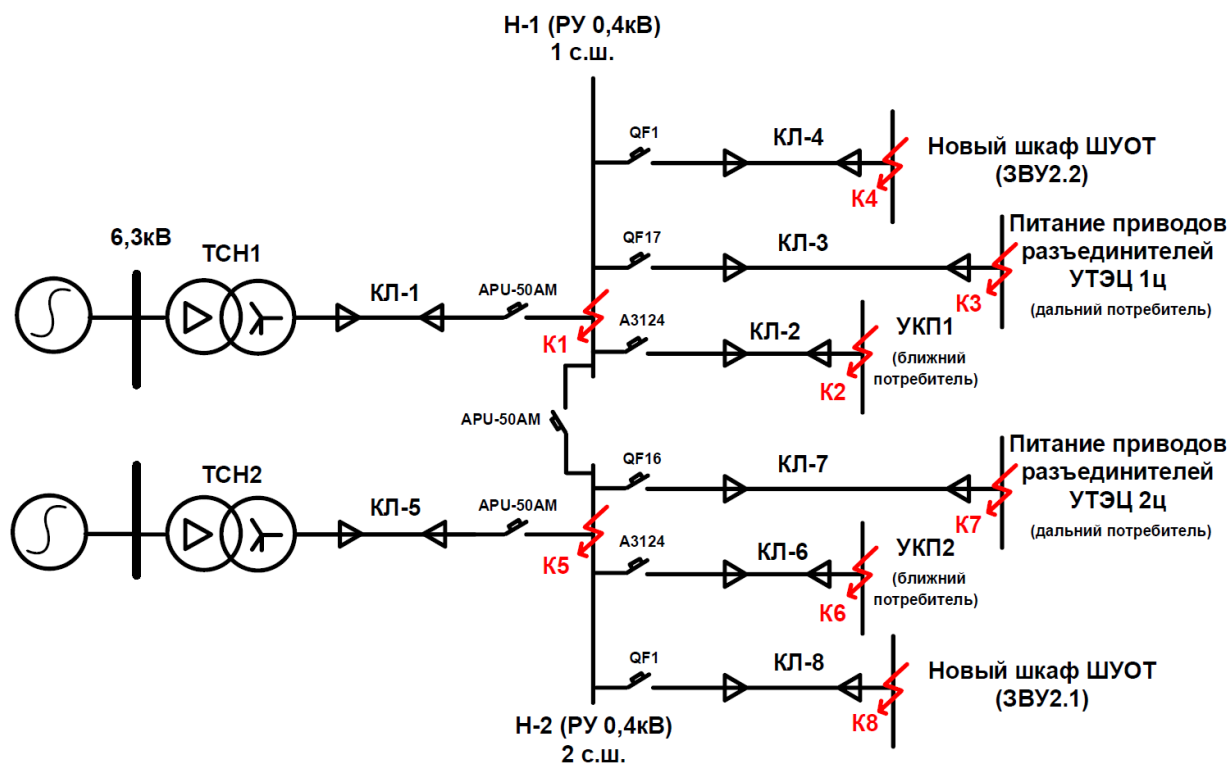


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения токов КЗ

За точку К2 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера питающего выпрямительное устройство У КП-1 объекта №1 (ближний потребитель).

За точку К3 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера питающего привода разъединителей УТЭЦ 1ц объекта №1 (дальний потребитель).

За точку К4 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера питающего ЗВУ2.2 нового ШОТ-МТ, объект №1.

За точку К6 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера питающего выпрямительное устройство У КП-2 объекта №2 (ближний потребитель).

За точку К7 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера питающего привода разъединителей УТЭЦ 2ц объекта №2 (дальний потребитель).

За точку К8 в качестве примера принята точка К3 в конце фидера, питающего ЗВУ2.1 нового ШОТ-МТ, объект №2.

1.2.4 Расчёт параметров схемы замещения

«Схема замещения прямой (обратной) последовательности для 1 с.ш. представлена на рисунке 4, схема замещения нулевой последовательности – на рисунке 5. Для 2 с.ш. схемы замещения аналогичны» [19].

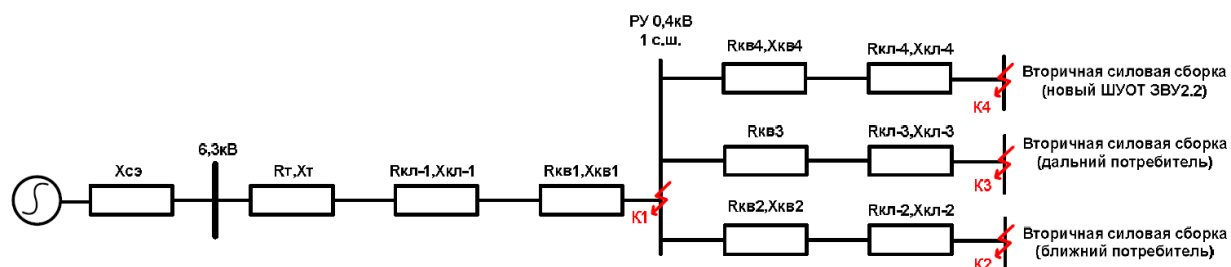


Рисунок 4 – Схема замещения прямой (обратной) последовательности (для 1 с.ш.)

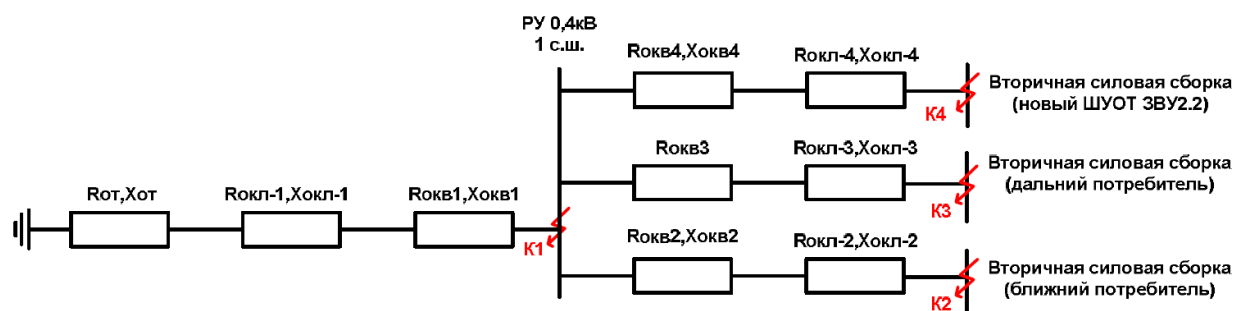


Рисунок 5 – Схема замещения нулевой последовательности (для 1 с.ш.)

Результаты расчёта параметров схемы замещения сведены в таблицу 5.

«Для трансформатора со схемой соединения обмоток $\Delta/Y0$ активные и индуктивные сопротивления обмоток одинаковы для всех трёх последовательностей.

Сопротивления линий определяются по удельным сопротивлениям кабеля и их длинам» [19].

Таблица 5 – Результаты определения расчетных сопротивлений

Элемент расчетной схемы	Исходный параметр	Расчётные данные, мОм	
Объект №1 (ТЧ1)			
Система 6 кВ	$S_{K3_{max}}=276,82$ МВА	$X_{сэ}=U^2_{ННН} \cdot 1000/S_{K3_{max}}=0,4^2 \cdot 1000/276,82=0,578$	
	$S_{K3_{min}}=249,61$ МВА	$X_{сэ}=U^2_{ННН} \cdot 1000/S_{K3_{min}}=0,4^2 \cdot 1000/249,61=0,64$	
Трансформатор	$U_k=4,5\%$; $S_T=0,4$ МВА	$R_1=5,5$ $R_0=5,5$	$X_1=18$ $X_0=18$
Кабельная линия КЛ 1	АВВГ 3×150 (3 параллельно) $l=10$ м	$R_1=2,1$ $R_0=7,8$	$X_1=0,596$ $X_0=1,35$
Кабельная линия КЛ 2	АВВГ 3×50 $l=5$ м	$R_1=3,2$ $R_0=8,2$	$X_1=0,3125$ $X_0=1,285$
Кабельная линия КЛ 3	ВВГнг(LS) 5×4 $l=90$ м	$R_1(0)=416,7$	$X_1(0)=8,55$
Кабельная линия КЛ 4	ВВГнг(LS) 5×6 $l=13$ м	$R_1(0)=40,17$	$X_1(0)=1,17$
Объект №2 (ТЧ2)			
Система 6 кВ	$S_{K3_{max}}=276,137$ МВА	$X_{сэ}=U^2_{ННН} \cdot 1000/S_{K3_{max}}=0,4^2 \cdot 1000/276,137=0,579$	
	$S_{K3_{min}}=248,45$ МВА	$X_{сэ}=U^2_{ННН} \cdot 1000/S_{K3_{min}}=0,4^2 \cdot 1000/248,45=0,64$	
Трансформатор	$U_k=4,5\%$; $S_T=0,4$ МВА	$R_1=5,5$ $R_0=5,5$	$X_1=18$ $X_0=18$

Продолжение таблицы 5

Элемент расчетной схемы	Исходный параметр	Расчётные данные, МОм	
Кабельная линия КЛ 5	АВВГ 3×150 (2 параллельно) l=16 м	R1 =3,36 R0=12,48	X1 =0,954 X0=2,16
Кабельная линия КЛ 6	АВВГ 3×50 l=11 м	R1 =7,04 R0=18,04	X1=0,6875 X0=2,827
Кабельная линия КЛ 7	ВВГнг(LS) 5×4 l=80 м	R1(0)= 370,4	X1(0)=7,6
Кабельная линия КЛ 8	ВВГнг(LS) 5×6 l=8 м	R1(0)= 24,72	X1(0)=0,72

1.2.5 Расчет токов короткого замыкания для точки К1

«Трёхфазное КЗ.

Ток трёхфазного металлического КЗ $I_{KM}^{(3)}$ будет равен:

В максимальном режиме» [19]:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{U_{Hnn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma max}^{(3)}}, \quad (9)$$

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,894} = 11,61 \text{ кА}.$$

«В минимальном режиме» [19]:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{U_{Hnn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma min}^{(3)}}, \quad (10)$$

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 19,953} = 11,57 \text{ кА}.$$

«По схеме замещения прямой последовательности (рисунок 4) суммарные сопротивления $R_{1\Sigma}$ и $X_{1\Sigma}$ определяются арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ» [19]:

$$R_{1\Sigma} = 5,5 + 0,7 + 0,14 = 6,34 \text{ МОм};$$

$$X_{1\Sigma\text{макс}} = 0,578 + 18 + 0,199 + 0,08 = 18,857 \text{ мОм};$$

$$X_{1\Sigma\text{мин}} = 0,64 + 18 + 0,199 + 0,08 = 18,919 \text{ мОм}.$$

«Полное суммарное сопротивление до точки К1» [19]:

$$Z_{\Sigma\text{макс}}^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma\text{макс}}^2}, \quad (11)$$

$$Z_{\Sigma\text{макс}}^{(3)} = \sqrt{6,34^2 + 18,857^2} = 19,857 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma\text{мин}}^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma\text{мин}}^2}, \quad (12)$$

$$Z_{\Sigma\text{мин}}^{(3)} = \sqrt{6,34^2 + 18,919^2} = 19,953 \text{ мОм};$$

Ударный ток КЗ определяется как:

$$i_{y\partial} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{KM}^{(3)}, \quad (13)$$

$$i_{y\partial} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 11,61 = 21,34 \text{ кА}.$$

Ударный коэффициент K_y равен 1,3 определяется по характеристике $K_y=f(X/R)$ на рисунке 6 и соответствует отношению $\frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}} = \frac{18,857}{6,34} = 2,97$.

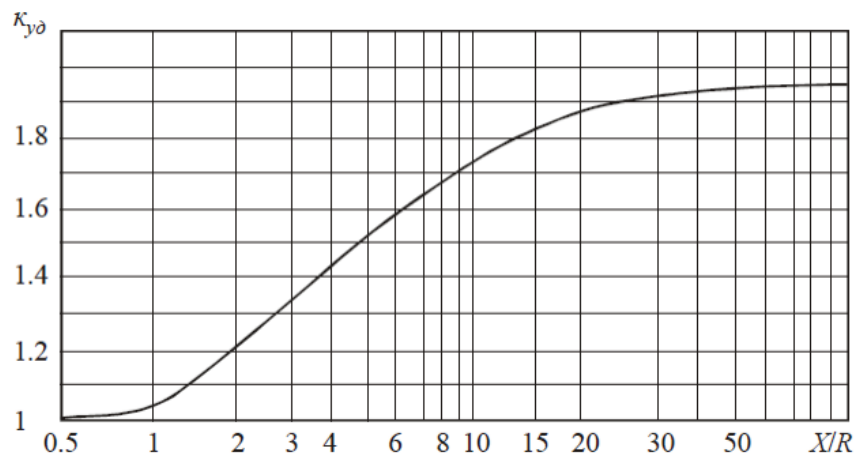
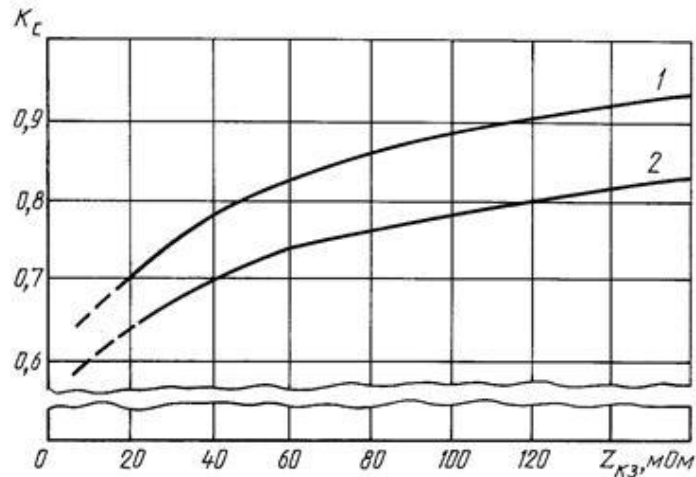


Рисунок 6 - Кривая зависимости $K_y = f(X/R)$

Ток трехфазного дугового КЗ будет равен:

При $Z_{\Sigma \max}^{(3)} = 19,984$ мОм и определяется как $I_{КД}^{(3)} = I_{КМ}^{(3)} \cdot K_C$.

«Значения снижающих коэффициентов определяются из кривой на рисунке 7.



1 - начало процесса дугового замыкания $t_{кз} < 0,05$ с;

2 – установившийся процесс дугового замыкания $t_{кз} > 0,05$ с

Рисунок 7 - Кривые зависимости K_C от сопротивления цепи КЗ» [19]

$K_{c1} = 0,7$ при $t_{кз} < 0,05$ с; $K_{c2} = 0,6$ при $t_{кз} > 0,05$ с – согласно рисунку 7.

$$I_{КД}^{(3)} = 0,7 \cdot 11,61 = 8,127 \text{ кА при } t_{кз} < 0,05\text{с};$$

$$I_{КД}^{(3)} = 0,6 \cdot 11,61 = 6,97 \text{ кА при } t_{кз} > 0,05\text{с}.$$

Двухфазное КЗ.

Ток двухфазного металлического КЗ $I_{КМ}^{(2)}$ будет равен:

$$I_{КМ}^{(2)} = 0,865 \cdot I_{КМ}^{(3)}, \quad (14)$$

Максимальный режим:

$$I_{КМ}^{(2)} = 0,865 \cdot 11,61 = 10,04 \text{ кА}.$$

Минимальный режим:

$$I_{KM}^{(2)} = 0,865 \cdot 11,57 = 10,02 \text{ кА.}$$

Выполняем проверку:

Максимальный режим:

$$I_{KM}^{(2)} = \frac{U_{\text{Нин}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(2)}}, \quad (15)$$

$$I_{KM}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23} = 10,04 \text{ кА,}$$

$$Z_{\Sigma}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}, \quad (16)$$

$$Z_{\Sigma_{\text{макс}}}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{6,34^2 + 18,857^2} = 23 \text{ мОм.}$$

Минимальный режим:

$$I_{KM}^{(2)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 23,04} = 10,02 \text{ кА,}$$

$$Z_{\Sigma_{\text{мин}}}^{(2)} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{6,34^2 + 18,919^2} = 23,04 \text{ мОм.}$$

Ток двухфазного дугового КЗ будет равен:

При $Z_{\Sigma_{\text{макс}}}^{(2)} = 23 \text{ мОм}$

$K_{c1} = 0,72$ при $t_{кз} < 0,05\text{с}$; $K_{c2} = 0,62$ при $t_{кз} > 0,05\text{с}$. – согласно рисунку

7.

$$I_{КД}^{(2)} = 0,72 \cdot 10,04 = 7,23 \text{ кА при } t_{кз} < 0,05\text{с};$$

$$I_{КД}^{(2)} = 0,62 \cdot 10,04 = 6,22 \text{ кА при } t_{кз} > 0,05\text{с}.$$

Однофазное КЗ.

Ток однофазного металлического КЗ $I_{KM}^{(1)}$ будет равен:

$$I_{KM}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 20} = 11,55 \text{ кА}.$$

«Предварительно определяем суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности до точки К1 из схемы замещения рисунок 5» [19].

$$R_{0\Sigma} = 5,5 + 2,6 + 0,14 = 8,24 \text{ мОм},$$

$$X_{0\Sigma} = 18 + 0,45 + 0,08 = 18,53 \text{ мОм}.$$

«Полное суммарное сопротивление цепи до точки К1 при однофазном КЗ» [19]:

$$Z_{0\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}, \quad (17)$$

$$Z_{0\Sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(2 \cdot 6,34 + 8,24)^2 + (2 \cdot 18,857 + 18,53)^2} = 20 \text{ мОм}.$$

$K_{c1} = 0,7$ при $t_{кз} < 0,05\text{с}$; $K_{c2} = 0,6$ при $t_{кз} > 0,05\text{с}$. – согласно рисунку 7.

$$I_{KD}^{(1)} = 0,7 \cdot 11,55 = 8,085 \text{ кА при } t_{кз} < 0,05\text{с};$$

$$I_{KD}^{(1)} = 0,6 \cdot 11,55 = 6,93 \text{ кА при } t_{кз} > 0,05\text{с}.$$

Результаты расчетов для точки короткого замыкания К1 и остальных точек КЗ сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Результаты расчетов для всех точек КЗ

Точка КЗ	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8
$I_{KMмакс}^{(3)}$, кА	11,61	9,83	0,525	3,92	11,27	8,64	0,586	5,02
$I_{KMмин}^{(3)}$, кА	11,57	9,81	0,525	3,92	11,24	8,62	0,586	5,015
$i_{уд}$, кА	21,34	16,27	0,74	5,54	20,19	13,2	0,829	7,31
$I_{КД}^{(3)}$ при $t_{кз} < 0,05с$, кА	8,13	7,08	0,514	3,2	7,9	6,39	0,571	3,97
$I_{КД}^{(3)}$ при $t_{кз} > 0,05с$, кА	6,97	6,1	0,514	2,86	6,76	5,53	0,571	3,56
$I_{KMмакс}^{(2)}$, кА	10,04	8,5	0,454	3,39	9,75	7,47	0,507	4,34
$I_{KMмин}^{(2)}$, кА	10,02	8,49	0,454	3,39	9,72	7,46	0,507	4,34
$I_{КД}^{(2)}$ при $t_{кз} < 0,05с$, кА	7,23	6,29	0,45	2,85	7,12	5,76	0,5	3,47
$I_{КД}^{(2)}$ при $t_{кз} > 0,05с$, кА	6,22	5,44	0,45	2,54	6,14	5	0,5	3,17
$I_{KM}^{(1)}$, кА	11,55	9,28	0,52	3,89	10,95	7,5	0,583	4,89
$I_{КД}^{(1)}$ при $t_{кз} < 0,05с$, кА	8,09	6,77	0,51	3,2	7,77	5,8	0,57	3,97
$I_{КД}^{(1)}$ при $t_{кз} > 0,05с$, кА	6,93	5,85	0,51	2,84	6,68	5,03	0,57	3,62

1.3 Выполнение защиты сети СН 0,4 кВ

На ПС «УГПЗ» установлены вводные и секционные автоматические выключатели АРУ-50АМ с $I_n=1600$ А.

Селективность между АВ ввода и автоматами отходящих линий достигается путём кратковременной задержки времени срабатывания защит вводных АВ.

Защита конечных электроприемников и отходящих линий от токов короткого замыкания и перегрузки выполнена автоматическими выключателями с номинальными токами до 400 А.

Выберем автоматические выключатели для подключения ЗВУ 2.1 и ЗВУ 2.2 нового шкафа ШОТ к цепям ЩСН (1 и 2 с.ш.).

«Автоматический выключатель выбирается исходя из следующих условий:

Соответствие номинального напряжения выключателя U_H к номинальному напряжению сети» [13]:

$$\begin{aligned}U_H &\geq U_C; \\ 400V &\geq 380 V.\end{aligned}\tag{18}$$

«Соответствие номинального тока расцепителя $I_{н.расц}$ максимальному рабочему току $I_{раб.макс}$ группы электроприемников» [13]:

$$\begin{aligned}I_{н.расц} &\geq I_{раб.макс}; \\ 63A &\geq 47,6 A.\end{aligned}\tag{19}$$

Максимальный входной ток 1 модуля ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W – 11,9А. Расчетный ток нагрузки берем исходя из параметров выбранных ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W, включенных в работу.

Тогда, выбираем выключатели фирмы Schneider Electric С60N 3п с $I_{ном}=63A$ и током отключения $I_{откл}=10кА$.

Проверяем выбранные АВ (подключение ко 2 с.ш.):

По условию защиты от перегрузки:

$$\begin{aligned}I_{перег} &= 1,1 \cdot 47,6 = 52,36 A; \\ 63A &\geq 52,36 A.\end{aligned}$$

По условию стойкости к токам КЗ:

«Условие предельной коммутационной стойкости (ПКС): каталожное значение ПКС должно быть не менее максимального значения тока короткого замыкания ($I_{кз.макс}$), протекающего в цепи в момент расхождения контактов выключателя» [13]:

$$PKC > I^{(3)}_{кз.макс}. \quad (20)$$

«Это необходимо, чтобы автоматический выключатель смог выдержать токовые перегрузки при коротком замыкании в цепи» [13].

Для выключателей фирмы Schneider Electric C60N 3п с $I_{ном}=63A$: $I_{cs} = 75\% I_{cu} = 75\% \cdot 10000 = 7,5 \text{ кА}$ по МЭК947-2; тогда $7,5 \text{ кА} > 7,31 \text{ кА}$ – условие выполняется.

«По условию чувствительности:

$$K_u = \frac{I_{\min K3}}{I_{c.o.}} \geq K_p, \quad (21)$$

где K_p - коэффициент разброса срабатывания отсечки, $K_p = 1,4-1,5$ » [13].

Выберем АВ с ВТХ типа С и с зоной срабатывания магнитного расцепителя между $7 I_n$ и $10 I_n$; тогда согласно рисунку 8, время срабатывания при $I_{КД}^{(2)} = 3,168 \text{ кА}$ (1) равно $0,006 \text{ с.}$, а для $I_{КД}^{(0)} = 3,62 \text{ кА}$ (2) равно $0,0055 \text{ с.}$ – при $7 I_n$ и $0,014 \text{ с.}$ и $0,013 \text{ сек.}$ при $10 I_n$.

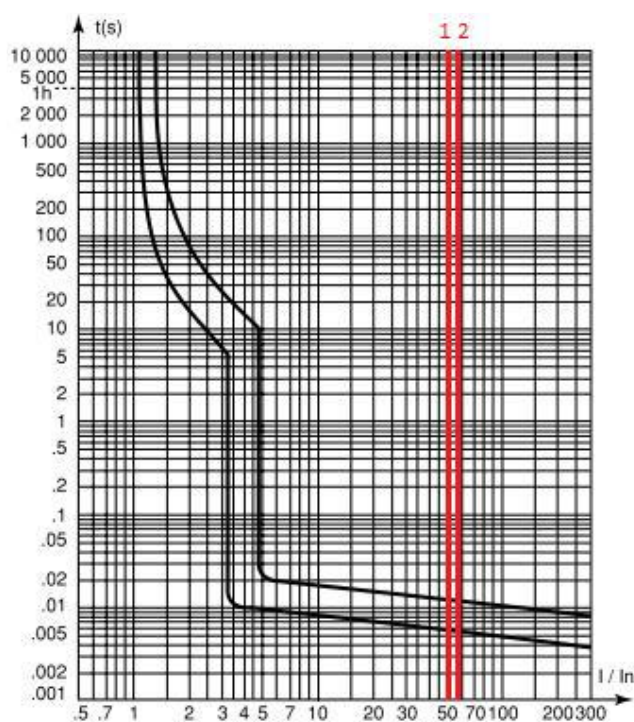


Рисунок 8 – Время-токовые характеристики АВ

Тогда при 2-х фазном КЗ:

$$K_u = \frac{3168}{441} = 7,2 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In};$$

$$K_u = \frac{3168}{630} = 5,02 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In}.$$

При 1 фазном КЗ:

$$K_u = \frac{3620}{441} = 8,2 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In};$$

$$K_u = \frac{3620}{630} = 5,7 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In}.$$

Проверяем выбранные АВ (подключение к 1 с.ш.):

По условию защиты от перегрузки:

$$I_{\text{перег}} = 1,1 \cdot 47,6 = 52,36 \text{ A};$$

$$63 \text{ A} \geq 52,36 \text{ A}.$$

По условию стойкости к токам КЗ:

«Условие предельной коммутационной стойкости (ПКС): каталожное значение ПКС должно быть не менее максимального значения тока короткого замыкания ($I_{\text{кз.макс}}$), протекающего в цепи в момент расхождения контактов выключателя:

$$\text{ПКС} > I^{(3)}_{\text{кз.макс}}. \quad (22)$$

Это необходимо, чтобы автоматический выключатель смог выдержать токовые перегрузки при коротком замыкании в цепи» [13].

Для выключателей фирмы Schneider Electric C60N 3п с $I_{ном}=63A$: $I_{cs} = 75\% I_{cu} = 75\% \cdot 10000 = 7,5 \text{ кА}$ по МЭК947-2; тогда $7,5 \text{ кА} > 5,54 \text{ кА}$.

По условию чувствительности:

$$K_u = \frac{I_{\min K3}}{I_{c.o.}} \geq K_p, \quad (23)$$

Выберем ВТХ типа С с зоной срабатывания магнитного расцепителя между $7 I_n$ и $10 I_n$; тогда согласно рисунку 9, время срабатывания при $I_{KD}^{(2)} = 2,54 \text{ кА}$ (1) равно $0,0061 \text{ с.}$, а для $I_{KD}^{(0)} = 2,84 \text{ кА}$ (2) равно $0,006 \text{ с.}$ – при $7 I_n$ и $0,015 \text{ с.}$ и $0,014 \text{ с.}$ при $10 I_n$.

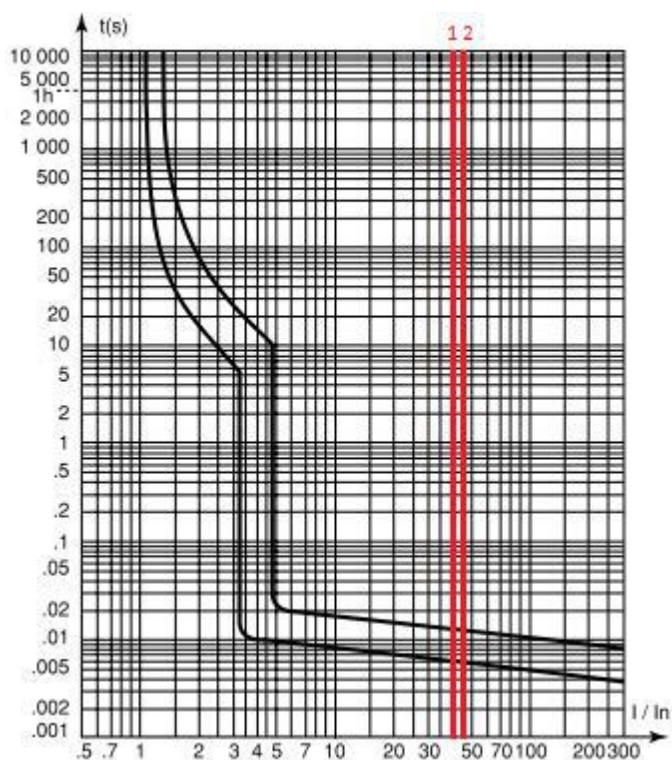


Рисунок 9 – Время-токовые характеристики АВ

Тогда при 2-х фазном КЗ:

$$K_q = \frac{2540}{441} = 5,8 > 1,65 - \text{при } 7 \text{ In};$$

$$K_q = \frac{2540}{630} = 4,03 > 1,65 - \text{при } 10 \text{ In}.$$

При 1 фазном КЗ:

$$K_q = \frac{2840}{441} = 6,4 > 1,65 - \text{при } 7 \text{ In};$$

$$K_q = \frac{2840}{630} = 4,5 > 1,65 - \text{при } 10 \text{ In}.$$

Выберем автоматические выключатели для подключения модулей ЗВУ 2.1 и ЗВУ 2.2 в новом шкафу ШОТ и определим обеспечивается ли селективность данных АВ с выбранными АВ на вводе в ЩСН 1 и 2 с.ш.

«Автоматический выключатель выбирается исходя из следующих условий:

Соответствие номинального напряжения выключателя U_H к номинальному напряжению сети:

$$U_H \geq U_C; \quad (24)$$

$$400V \geq 380V.$$

Соответствие номинального тока расцепителя $I_{H, \text{расц}}$ максимальному рабочему току $I_{\text{раб. макс}}$ группы электроприемников» [13]:

$$I_{H, \text{расц}} \geq I_{\text{раб. макс}}; \quad (25)$$

$$20A \geq 11,9A.$$

Максимальный входной ток 1 модуля ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W – 11,9А.

Выбираем выключатели фирмы Schneider Electric C60N 2п с $I_{ном}=20A$ и током отключения $I_{откл}=20кА$.

Проверяем выбранные АВ:

По условию защиты от перегрузки:

$$I_{перег} = 1,1 \cdot 11,9 = 13,09 \text{ A};$$

$$20 \text{ A} \geq 13,09 \text{ A}.$$

По условию стойкости к токам КЗ:

«Условие предельной коммутационной стойкости (ПКС): каталожное значение ПКС должно быть не менее максимального значения тока короткого замыкания ($I_{кз.макс}$), протекающего в цепи в момент расхождения контактов выключателя:

$$ПКС > I^{(3)}_{кз.макс}. \quad (26)$$

Это необходимо, чтобы автоматический выключатель смог выдержать токовые перегрузки при коротком замыкании в цепи» [13].

Для выключателей фирмы Schneider Electric C60N 3п с $I_{ном}=20A$:

$$I_{cs} = 75 \% I_{cu} = 75\% \cdot 20000 = 15 \text{ кА по МЭК947-2};$$

$$15 \text{ кА} > 7,31 \text{ кА} \text{ – для 2 с.ш. ЩСН}$$

$$15 \text{ кА} > 5,54 \text{ кА} \text{ – для 1 с.ш. ЩСН}$$

По условию чувствительности:

Выберем ВТХ типа С с зоной срабатывания магнитного расцепителя между 7 I_n и 10 I_n ; тогда согласно рисунку 10, время срабатывания для 2 с.ш. при $I_{кд}^{(2)} = 3,168кА$ (1) равно 0,0047 с., а для $I_{кд}^{(0)} = 3,62кА$ (2) равно 0,0045 с. – при 7 I_n и 0,0098 с. и 0,0095 с. при 10 I_n .

Время срабатывания для 1 с.ш. при $I_{КД}^{(2)} = 2,54кА$ (3) равно 0,005 с., а для $I_{КД}^{(0)} = 2,84кА$ (4) равно 0,0048 с. – при 7 In и 0,011 сек. и 0,01 сек. при 10 In.

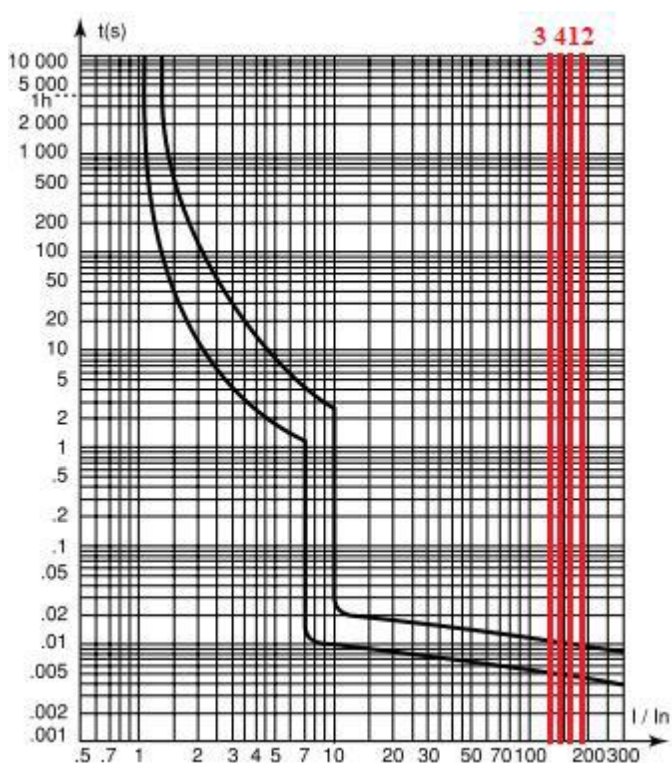


Рисунок 10 – Время-токовые характеристики АВ

Тогда при 2-х фазном КЗ (2 с.ш.):

$$K_q = \frac{3168}{140} = 22,6 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In};$$

$$K_q = \frac{3168}{200} = 15,84 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In.}$$

При 1 фазном КЗ (2 с.ш.):

$$K_q = \frac{3620}{140} = 25,8 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In};$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{3620}{200} = 18,1 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In.}$$

Тогда при 2-х фазном КЗ (1 с.ш.):

$$K_{\text{ч}} = \frac{2540}{140} = 18,1 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In;}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{2540}{200} = 12,7 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In.}$$

При 1 фазном КЗ (2 с.ш.):

$$K_{\text{ч}} = \frac{2840}{140} = 20,2 > 1,65 \text{ – при } 7 \text{ In;}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{2840}{200} = 14,2 > 1,65 \text{ – при } 10 \text{ In.}$$

Таким образом, чувствительность выбранных АВ обеспечивается.

1.4 Проверка кабелей на термическую стойкость и на невозгораемость

«Проверка проводников на термическую стойкость при КЗ заключается в определении их температуры нагрева к моменту отключения КЗ и сравнении этой температуры с предельно допустимой температурой нагрева при КЗ. Проводник удовлетворяет условию термической стойкости, если температура нагрева проводника к моменту отключения КЗ не превышает предельно допустимую температуру нагрева соответствующего проводника при КЗ.

Согласно ГОСТ Р 52736-2007 п. 4.1.5 Расчетную продолжительность КЗ при проверке проводников и электрических аппаратов на термическую стойкость следует определять путем сложения времени действия основной

релейной защиты, в зону которой входят проверяемые проводники и электрические аппараты, и полного времени отключения соответствующего выключателя, а при проверке кабелей на невозгораемость - путем сложения времени действия резервной релейной защиты полного времени отключения ближайшего к месту КЗ выключателя» [7].

Произведем расчет для кабеля от ЩСН 2 и 1 с.ш. до ввода в новый шкаф ШОТ-МТ на термическую стойкость при КЗ. Кабель ВВГнг-LS 5×6 $I_{доп} = 54\text{А}$ (63А – в режиме допустимой перегрузки), $I_{кз} = 650\text{ А}$.

Для данного кабеля основной защитой является автоматический выключатель – QF1 (С60N) установленный на панели СН (Н-1). Полное время отключения $T_{ПВ} = 0,01\text{ с}$, время срабатывания релейной защиты $T_{РЗ} = 0,005\text{ с}$ для 2 с.ш. и 0,0058 для 1 с.ш.

«Проверка кабеля на термическую стойкость при протекании токов КЗ.
Определение температуры нагрева жил кабеля током КЗ:

$$\Theta_K = \Theta_H \cdot e^K + a \cdot (e^K - 1), \quad (27)$$

где Θ_K – температура жилы в конце КЗ, °С;

Θ_H – температура жилы до КЗ, °С;

a – величина обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0°С, равная 228°С.

$$K = \frac{v \cdot B_T}{S^2}, \quad (28)$$

где v – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для меди $19,58\text{ мм}^4/(\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

B_T – тепловой импульс от тока КЗ, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$

S – сечение жилы, мм^2 » [7].

$$B_T = I_{КЗ}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (29)$$

где $t_{откл} = T_{PЗ} + T_{ПВ}$;

$$t_{откл} = 0,005 + 0,01 = 0,015 \text{ с.}$$

T_a – постоянная времени затухания. Согласно РД-153.340.20527-98: Для 2 с.ш.:

$$I_{КЗ} = 5020 \text{ А};$$

$$T_a = 0,001 \text{ с.}$$

$$B_T = 5,02^2 \cdot (0,015 + 0,01) = 0,403 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$\Theta_H = \Theta_0 + (\Theta_{\partial\partial} - \Theta_{окр}) \cdot \left(\frac{I_{раб}}{I_{\partial\partial}} \right)^2, \quad (30)$$

где « Θ_0 - фактическая температура окружающей среды во время КЗ, °С;

$\Theta_{\partial\partial}$ - значение расчетной длительно допустимой температуры жилы, °С, равная для кабелей с пластмассовой изоляцией – 70 °С;

$\Theta_{окр}$ - значение расчетной температуры окружающей среды 25 °С;

$I_{\partial\partial}$ - значение расчетного длительно допустимого тока, для кабелей с медными жилами и изоляцией из ПВХ сечением 6,0 мм² – 42 А» [7];

$$\Theta_H = 25 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{30,8}{42} \right)^2 = 49,2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$K = \frac{19,58 \cdot 0,403}{6^2} = 0,219,$$

$$\Theta_K = 49,2 \cdot e^{0,219} + 228 \cdot (e^{0,219} - 1) = 117,07 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

В соответствии с циркуляром Ц-02-98(Э) кабель будет пригоден к дальнейшей эксплуатации после КЗ, т.к. температура нагрева токопроводящих жил не превысит 160 °С.

Для 1 с.ш.:

$$I_{кз} = 3920 \text{ А};$$

$$B_T = 3,92^2 \cdot (0,0158 + 0,01) = 0,258 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$t_{откл} = 0,0058 + 0,01 = 0,0158 \text{ с},$$

$$\Theta_H = 25 + (70 - 25) \cdot \left(\frac{30,8}{42} \right)^2 = 49,2 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$K = \frac{19,58 \cdot 0,258}{6^2} = 0,14,$$

$$\Theta_K = 49,2 \cdot e^{0,14} + 228 \cdot (e^{0,14} - 1) = 90,86 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В соответствии с циркуляром Ц-02-98(Э) кабель будет пригоден к дальнейшей эксплуатации после КЗ, т.к. температура нагрева токопроводящих жил не превысит 160 °С.

Выводы по разделу 1.

Выполнен анализ системы собственных нужд подстанции «УГПЗ». Определены нагрузки собственных нужд и произведены расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ для выбора коммутационной аппаратуры, кабелей и другого электрооборудования. Расчет произведен для 8 точек КЗ. Для каждой точки определены значения металлического и дугового трех-, двух- и однофазного коротких замыканий.

Выбраны автоматические выключатели Schneider Electric С60N для защиты зарядно-выпрямительные устройств нового шкафа ШОТ при подключении его к ЩСН. АВ проверены по условию защиты от перегрузки, на стойкость к токам КЗ и по условию чувствительности.

Выполнен расчет для кабелей ВВГнг-LS 5×6 от ЩСН до ввода в новый шкаф ШОТ-МТ на термическую стойкость при КЗ. В соответствии с циркуляром Ц-02-98(Э) кабель будет пригоден к дальнейшей эксплуатации после КЗ, т.к. температура нагрева токопроводящих жил не превысит 160 °С.

2 Определение параметров и требований к системе оперативного постоянного тока на подстанции «УГПЗ» после модернизации

2.1 Требования к системе оперативного постоянного тока

«Номинальное напряжение СОПТ - 220 В.

СОПТ должна обеспечивать рабочее и резервное питание следующих основных электроприемников:

- устройств РЗА;
- устройств управления и приводов высоковольтных выключателей;
- устройств сигнализации;
- устройств противоаварийной автоматики;
- устройств коммерческого учета электроэнергии;
- устройств связи, обеспечивающих передачу сигналов РЗА.

СОПТ должна обеспечивать резервное питание:

- инверторов резервного питания АСУ ТП;
- светильников аварийного освещения помещений аккумуляторной батареи, ЩУ ПС, релейного щита, ЗРУ-6 кВ» [37].

На ПС «УГПЗ» существует система ОПТ, которая включает в себя шкаф управления постоянным током ШУОТ-2405, состоящий из:

- шкафа аккумуляторной батареи (ШУОТ АБ) - 17 батарей типа 12V92F «PowerSafe»;
- шкафа ШУОТ ПЗУ – 2 зарядно-подзарядных устройства (ЗПУ);
- шкафа распределительного (ШУОТ распределение);

На рисунке 11 приведен внешний вид установленных на ПС батарей 12V92F «PowerSafe».

В данной работе предусмотрена установка второго дополнительного шкафа ШУОТ с новой АБ, двумя ПЗУ и ШРОТ.



Рисунок 11 - Внешний вид установленных на ПС батарей 12V92F «PowerSafe»

2.2 Расчет системы оперативного постоянного тока

На ПС «УГПЗ» выполнена централизованная система ОПТ, при этом устанавливается две аккумуляторные батареи для питания потребителей постоянного тока (ППТ) в аварийном режиме (одна – существующая, одна – новая).

Устройством, осуществляющим распределение постоянного оперативного тока от аккумуляторной батареи к потребителям, являются шкафы управления оперативным током.

Кроме этого в непосредственной близости от терминалов защиты и автоматики в ОПУ устанавливаются распределительные шкафы оперативного тока с автоматическими выключателями.

От щита постоянного тока питаются следующие потребители:

- электромагниты включения и отключения выключателей ОРУ и КРУ;
- устройства релейной защиты и автоматики подстанции;

- блок аварийного освещения;
- аппаратура АСУТП и связи.

По данным обслуживающего персонала ПС установившийся ток нагрузки на ПС «УГПЗ» ≤ 10 А; максимальный толчковый ток 72 А.

2.3 Расчет и выбор аккумуляторной батареи

2.3.1 Расчет числа элементов аккумуляторной батареи

«Количество элементов в АБ выбирается округлением до ближайшего большего целого значения, полученного по выражению:

$$N_{эл} = \frac{U_{НБнорм.доп}}{U_{эл.пз}}, \quad (31)$$

где $U_{НБнорм.доп}$ – наибольшее нормально допустимое напряжение на клеммах электроприемников, В, принимается равным 1,05 номинального напряжения СОПТ;

$U_{эл.пз}$ – напряжение поддерживающего заряда элементов аккумуляторов, В» [8].

Для установки в ШАБ-МТ (согласно перечню «Оборудование, материалы и системы, допущенные к применению на объектах ПАО «Россети»», п/п 728 [20]) выберем свинцово-кислотные аккумуляторы типа PowerSafe Vb, производитель EnerSys S.A.R.L. Rue Alexander Fleming ZI Est - C.S. 40962 62033 ARRAS Cedex, Франция.

Внешний вид свинцово-кислотных аккумуляторов типа PowerSafe Vb приведен на рисунке 12.

Для выбранных свинцово-кислотных аккумуляторов PowerSafe Vb, при температуре 20°C, это значение принимается равным 2,23 В.



Рисунок 12 - Внешний вид свинцово-кислотных аккумуляторов типа PowerSafe Vb

«Тогда, при номинальном напряжении СОПТ 220В, получаем» [8]:

$$N_{эл} = \frac{1,05 \cdot 220}{2,23} = 103,6 \cong 104 \text{ эл.}$$

«Число аккумуляторов, напряжением $2 \cdot n$ В и с n элементами 2В определяется округлением до ближайшего целого значения, полученного по выражению:

$$N_{AK} = \frac{U_{эл}}{n_{эл.ак}}, \quad (32)$$

где $n_{эл.ак}$ – число элементов 2В в аккумуляторе» [8].

«При значениях $U_{нб.норм.доп} = 231$ В и $U_{эл.пз}$ в пределах 2,23В число элементов АБ, составляет 103-104 элемента» [8].

При аккумуляторах типа PowerSafe Vb, с номинальным напряжением 12В с шестью элементами, число аккумуляторов составляет:

$$N_{AK} = \frac{103 \div 104}{6} = 17,3 \text{ шт.}$$

Таким образом, необходимо применить 18 аккумуляторных блоков напряжением 12 В, что соответствует 108 элементам АБ. Существующая нагрузка хвостовой части будет подключаться к 102 элементу.

2.3.2 Построение диаграммы нагрузки

«Диаграмма суммарной нагрузки СОПТ строится на основании информации о токах и продолжительности работы потребителей постоянного тока в режиме аварийного разряда аккумуляторной батареи и приведена на рисунке 13» [1].

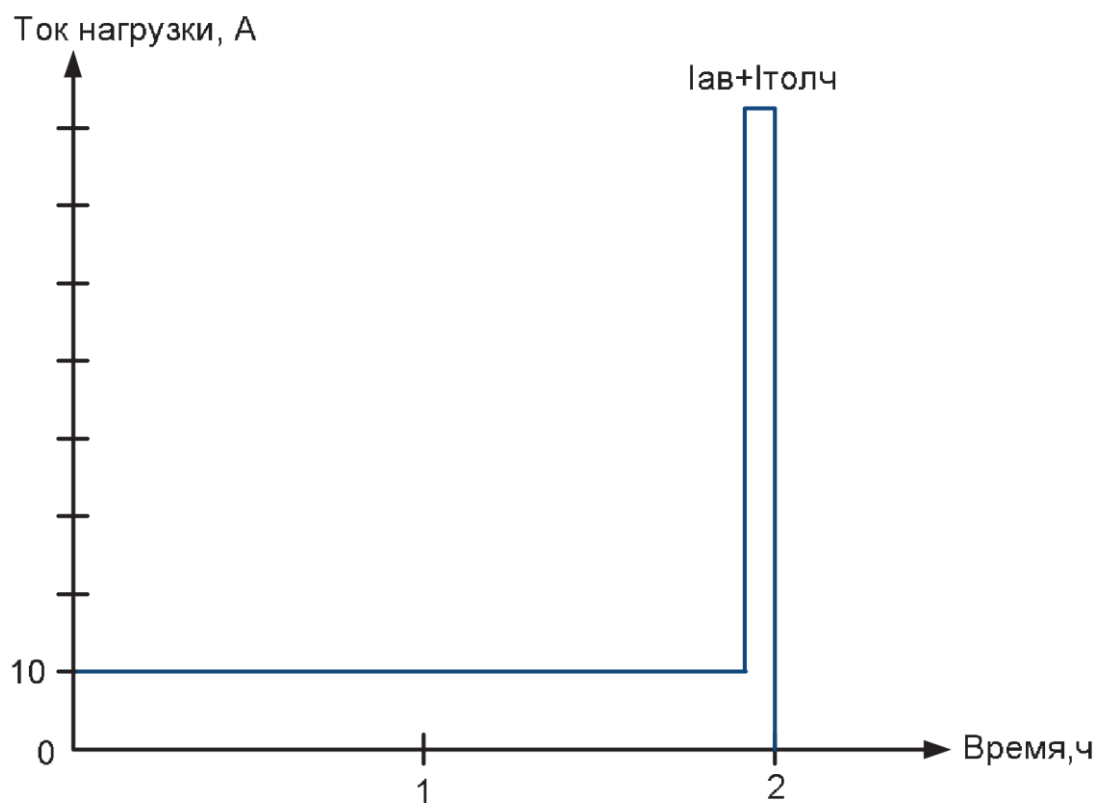


Рисунок 13 - Диаграмма суммарной нагрузки СОПТ

«В связи с тем, что в подавляющем большинстве случаев необходимо обеспечить питание толчковой нагрузки в конце аварийного разряда батареи

как наиболее тяжелого режима, требуется к построению двухступенчатая диаграмма нагрузки на интервале времени, соответствующем расчетной продолжительности режима аварийного разряда» [2].

Так как длительность аварийного режима не указана эксплуатирующей организацией, то примем ее согласно соответствующих нормативных документов (2 часа) [18].

2.3.3 Предварительный выбор номинальной емкости аккумуляторов

«Выбор разрядной характеристики.

Расчет емкости АБ осуществляется с использованием разрядных характеристик, содержащих значения тока разряда АБ в течение периода времени при котором обеспечивается определенное значение напряжения АБ в конце разряда.

Для выбора разрядной характеристики следует определить наименьшее допустимое напряжение на элементе АБ в конце аварийного разряда, по выражению:

$$N_{НМраб.ак} = \frac{U_{НМдоп} + \Delta U_{АБ-Эп}}{N_{ЭЛ}}, \quad (33)$$

где $U_{НМдоп}$ – наименьшее допустимое напряжение на клеммах электроприемников, В, принимаемое равным 0,85 номинального напряжения;

$\Delta U_{АБ-Эп}$ – максимальная потеря напряжения в цепи от аккумуляторной батареи до клемм наиболее удаленного или наиболее мощного электроприемника, В.

Величина $\Delta U_{АБ-Эп}$, согласно ГОСТ 50571.16 не должна превышать 0,04 от номинального напряжения» [6].

$$N_{HMраб.ак} = \frac{0,85 \cdot 220 + 8,8}{102} = 1,92 \text{ В.}$$

2.3.4 Выбор предварительного значения емкости АБ

«Далее необходимо выбрать предварительную емкость АБ $C_{предв.}$, с помощью таблицы 7, полученной на основании произведенных расчетов при длительности аварийного разряда аккумулятора 2 часа» [10].

Таблица 7 – Выбор предварительной емкости АБ $C_{предв.}$, Ач

$I_{толч}, \text{ А}$	$I_{AB}, \text{ А}$							
	3	5	7	10	15	18	21	24
1	40	40	60	101	101	130	130	150
3	40	60	60	101	101	130	130	150
25	60	60	101	101	130	150	180	180
35	101	101	101	101	130	150	180	-
50	101	101	101	130	150	180	-	-
75	101	101	130	150	180	-	-	-
100	101	130	150	180	-	-	-	-

При $I_{AB} = 10\text{А}$ и $I_{толч} = 72\text{А}$ по таблице получаем $C_{предв} = 150 \text{ Ач}$.

2.3.5 Расчет уточненного значения емкости АБ

«На следующем шаге необходимо выполнить уточняющий расчет емкости АБ по двухступенчатой диаграмме нагрузок СОПТ:

$$C_{уточ} = K_{T1} \cdot I_{AB} + K_{T2} \cdot I_{толч}, \quad (34)$$

где $C_{уточ}$ – уточненное значение емкости АБ, А·ч;

K_{T1} , K_{T2} – коэффициенты интенсивности разряда при продолжительностях разряда равных расчетной продолжительности разряда аккумуляторной батареи (расчетная длительность аварийного разряда) и максимальной продолжительности кратковременной (толчковой) нагрузки соответственно, А·ч/А» [10].

«Данные коэффициенты определяются по разрядной характеристике, определенной ранее.

$$K_{T1} = \frac{C_{пред}}{I(t_i)}, \quad (35)$$

где $C_{пред}$ – номинальная емкость предварительно выбранной АБ, А·ч;
 t_i – продолжительность разряда аккумулятора, мин;
 $I(t_i)$ – максимальный ток разряда аккумулятора, А, при продолжительности разряда t_i , согласно разрядной характеристике предварительно выбранной АБ» [10].

По разрядной характеристике (при 1.85В), для предварительно выбранной АБ типа PowerSafe Vb 12149 150 Ач, получаем:

$$K_{T1} = \frac{C_{пред}}{I(t_i = 2ч)} = \frac{150}{52,2} = 2,87,$$

$$K_{T2} = \frac{C_{пред}}{I(t_i = 10мин)} = \frac{150}{217} = 0,69.$$

Тогда уточненное значение емкости АБ:

$$C_{уточ} = 2,87 \cdot 10 + 0,69 \cdot 72 = 78,38 \text{ Ач.}$$

«Для аккумуляторов 12В с шестью элементами приведенное значение наименьшего допустимого напряжения на элементе АБ в конце аварийного разряда: $U_{нм.раб.ак}^* = U_{нм.раб.ак} \cdot 6 = 1,85 \cdot 6 = 11,1 \text{ В}$ » [10].

2.3.6 Расчет итогового значения емкости АБ

«После расчета уточненного значения емкости АБ, данное значение необходимо пересчитать с учетом коэффициентов, учитывающих отклонение параметров АБ от номинальных:

$$C_{итог} = K_{ст} \cdot K_m \cdot K_{зан} \cdot C_{ум} \quad (36)$$

где $C_{итог}$ – итоговое значение емкости АБ, А·ч;

$K_{ст}$ – коэффициент старения, учитывающий снижение располагаемой емкости АБ до 80 % номинальной емкости к концу срока службы, принимается равным 1,25;

K_T – температурный коэффициент, учитывающий снижение емкости АБ под влиянием рабочей температуры, отличающейся от номинальной (выбирается по данным производителя для минимально допустимой в помещении АБ температуры; при 10° С равен 0,94);

$K_{зан}$ – коэффициент запаса, учитывающий превышение $U_{нм.раб.ак}$ по сравнению с указываемыми производителем» [10].

$$K_{зан} = 1 + \frac{U_{нм.раб.ак} - U_{нм.разр}}{0,05} \cdot (0,03 \div 0,05), \quad (37)$$

$$K_{зан} = 1 + (1,92 - 1,85) = 1,07,$$

$$C_{итог} = 1,25 \cdot 0,94 \cdot 1,07 \cdot 78,38 = 98,5 \text{ Ач.}$$

Согласно полученного значения на ПС «УГМЗ» выбираем вторую АБ типа PowerSafe Vb 12146 емкостью 100 Ач, с числом аккумуляторов равным 18шт (108 эл.).

2.4 Расчет и выбор зарядного устройства

«Исходными данными для выбора зарядного устройства являются:

- тип и количество аккумуляторов в батарее;
- номинальная десятичасовая емкость аккумуляторов, А·ч;
- суммарный ток постоянной нагрузки СОПТ, А;
- минимально допустимый выходной ток ЗУ по условию его устойчивой работы;

- максимальное среднеквадратичное значение пульсаций выходного напряжения ЗУ при работе на активную нагрузку без аккумуляторной батареи;
- емкость конденсатора выходного фильтра ЗУ» [34].

2.4.1 Выбор номинального выходного тока зарядного устройства

«Зарядные устройства (ЗУ) предназначены для питания электроприемников постоянного тока и заряда аккумуляторных батарей. Мощность двух ЗУ, работающих параллельно на одну АБ, должна обеспечивать питание всех подключенных к комплексу СОПТ электроприемников подстанции с учетом проведения одновременно ускоренного заряда одной АБ до 90% номинальной ёмкости в течение не более 8 часов.

Пульсации напряжения при работе ЗУ на полную нагрузку комплекта СОПТ, при отключенной АБ, не должны превышать 5 % $U_{ном}$.

Точность стабилизации выходного напряжения в режиме поддерживающего заряда должна быть не хуже $\pm 1\%$.

ЗУ должны обеспечивать возможность задания и автоматического контроля следующих параметров:

- начального тока заряда полностью разряженной АБ, как правило, на уровне 0,3 C10;
- напряжения уравнивающего заряда аккумуляторов в интервале 2,3-2,4 В с погрешностью не более $\pm 2,5\%$;
- напряжения поддерживающего заряда в соответствии с типом аккумуляторов и их количеством в аккумуляторной батарее;
- коэффициента температурной компенсации напряжения поддерживающего заряда;
- продолжительности уравнивающего заряда в интервале от 0,5 до 72 часов с последующим автоматическим переходом в режим поддерживающего заряда» [25].

2.4.2 Режим подзаряда

Требуемый ток подзарядного устройства вычисляется по:

$$I_{ПЗ} = I_{ПЗАБ} + I_{П}, \quad (38)$$

где $I_{ПЗАБ}$ - ток подзаряда АБ, $I_{ПЗАБ} = 1,0\text{А}$ по данным завода-изготовителя АБ;

$I_{П}$ -ток постоянной нагрузки, $I_{П} = 10\text{А}$.

Температура электролита принимается равной расчетной температуре воздуха в помещении аккумуляторной батареи $t = +20^{\circ}\text{C}$.

$$I_{ПЗ} = 10 + 1,0 = 11 \text{ А.}$$

Напряжение подзарядного устройства:

$$U_{ПЗ} \geq U_{ЭПЗ} \cdot n, \quad (39)$$

где n -количество элементов аккумуляторной батареи, $n=108$ элементов;

$U_{ЭПЗ} = 2,23$ - напряжение на элементе аккумуляторной батареи в режиме подзаряда, В.

$$U_{ПЗ} \geq 2,23 \cdot 108 = 240,8 \text{ В.}$$

2.4.3 Режим заряда

Ток зарядного устройства определяется как

$$I_3 = I_{10} + I_{П}, \quad (40)$$

где I_{10} - ток 10-и часового разряда батареи, $I_{10} = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ А}$.

$$I_3 = 10 + 10 = 20 \text{ А.}$$

Напряжение зарядного устройства:

$$U_3 \geq U_{\text{ЭЗ}} \cdot n, \quad (41)$$

где $U_{\text{ЭЗ}} = 2,4$ - напряжение ускоренного заряда, В.

$$U_3 \geq 2,4 \cdot 108 = 259,2 \text{ В.}$$

2.4.4 Мощность ЗПУ

Расчётная мощность ЗПУ:

$$P_{\text{ЗПУ}} = U_{\text{ЗАР}} \cdot (I_{\text{ЗАР}} + I_{\text{ПОСТ}}), \quad (42)$$

где $U_{\text{зар}}$ – зарядное напряжение, В;

$I_{\text{зар}}$ – зарядный ток, А;

$I_{\text{зар}} = 20 \text{ А};$

$U_{\text{ЗАР}} = 259,2 \text{ В.}$

Расчётная мощность ЗПУ:

$$P_{\text{ЗПУ}} = 259,2 \cdot (20 + 10) = 7776 \text{ Вт.}$$

Исходя из предпочтений эксплуатирующей организации модульная конструкция выполняется на базе инверторных зарядно - выпрямительных устройств типа Flatpack2.

Один модуль зарядного устройства имеет следующие номинальные параметры:

- номинальное входное напряжение – 185-275 В;
- номинальное выходное напряжение – 178,5-297 В;
- максимальный входной ток – 11,9 А;
- максимальный выходной ток – 9,16 А;
- максимальная мощность – 2000 Вт.

Таким образом, по полученным расчетам выбираем два ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W HE WOR, каждое из которых состоит из 4-х модулей для обеспечения требуемого выходного тока и мощности. Внешний вид данного модуля изображен на рисунке 14.



Рисунок 14 - Внешний вид ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W HE WOR

2.4.5 Проверка зарядно-подзарядных устройств

Проверяем зарядно-подзарядные устройства по следующим условиям:

$$I_{ПЗ} < I_{ВЫХ};$$

$$11 \text{ A} < 36,64 \text{ A};$$

$$I_3 < I_{ВЫХ};$$

$$20 \text{ A} < 36,64 \text{ A};$$

$$U_{ПЗ} < U_{ВЫХ_ПЗ};$$

$$240,8 \text{ В} < 297 \text{ В};$$

$$U_3 < U_{ВЫХ_3};$$

$$259,2 \text{ В} < 297 \text{ В}.$$

Проверены зарядно-выпрямительные устройства типа Flatpack2 220VDC/2000W HE WOR 9,16A. Все условия выполняются.

2.4.6 Проверка ЗУ по пульсациям тока

В соответствии с Европейской нормой EURObat и стандарта СТО 56947007-29.120.40.041-2010 «Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования» для длительной работы АБ в течение 20 и более лет необходимо обеспечить величину тока пульсаций от ЗВУ не более 5 А на 100 Ач емкости батареи [26].

Допустимый ток пульсаций для выбранного аккумуляторного элемента емкостью 100 Ач будет равен:

$$I_{\text{Пул.доп}} \geq \frac{5}{100} \cdot 100 = 5,0 \text{ А}, \quad (43)$$

Требуется рассчитать фактический ток пульсаций на элемент и сравнить с допустимым. Внутреннее сопротивление полностью заряженного элемента аккумулятора Power Safe Vb 12146:

$$R_{\text{уд}} = \frac{4,1}{6} = 0,68 \text{ мОм.}$$

Установленные ЗВУ типа Flatpack2 имеют нормируемый коэффициент пульсаций по напряжению 0,5% при работе на батарею, т.е. в именованных единицах:

$$U_{\text{Пул.АБ}} = \frac{0,5}{100} \cdot 220 = 1,1 \text{ В.}$$

Напряжение пульсаций на один элемент:

$$U_{\text{Пул.эл}} = \frac{1,1}{108} = 0,01 \text{ В} = 1 \text{ мВ}.$$

Ток пульсаций на один элемент:

$$I_{\text{Пул.эл}} = \frac{U_{\text{Пул.эл}}}{R_{\text{уд}}}, \quad (44)$$

$$I_{\text{Пул.эл}} = \frac{1}{0,68} = 1,47 \text{ А}.$$

Проверка выбранных элементов АБ по допустимому току пульсаций дала положительный результат, т.к. $1,47 \text{ А} < 5,0 \text{ А}$. Условие $I_{\text{Пул.эл}} < I_{\text{Пул. доп}}$ выполнено.

2.5 Состав новых шкафов СОПТ ПС 220/35/6 кВ «УГПЗ»

Таким образом, выберем к установке на ПС «УГПЗ» шкафы СОПТ в составе:

- ШАБ-МТ с АБ емкостью 100 Ач, типа Power Safe Vb с числом аккумуляторов равным 18шт (108 эл.), имеющий первый уровень защиты СОПТ от ТКЗ и перегрузок.
- ШОТ-МТ с двумя зарядно-выпрямительными устройствами типа Flatpack2 220VDC/2000W, каждое из которых состоит из 4-х модулей. Шкаф оснащен контроллером и защитными аппаратами второго уровня.
- ШРОТ-МТ с двумя секциями с защитными аппаратами для питания основных и резервных защит, электромагнитов высоковольтных выключателей.

«Основными электроприемниками в системе СОПТ-МТ на данных ПС являются:

- устройства РЗА;
- устройства сигнализации;
- цепи управления высоковольтными аппаратами;
- устройства противоаварийной автоматики.

В качестве резервного источника питания СОПТ-МТ необходима для:

- устройств коммерческого учета;
- устройств АСУ ТП и ТМ;
- устройств связи» [36].

Шкафы представляют собой корпуса TS8 производства «RITTAL» с габаритными размерами (В×Ш×Г) 2200×800×600 с учетом цоколя (200 мм).

ЗВУ обладают высоким КПД (>95%) и управляются универсальной системой Smartpack2.

Контроллер Smartpack2 обеспечивает:

- температурную компенсацию напряжения заряда аккумуляторной батареи;
- ограничение тока заряда аккумуляторной батареи;
- ускоренный заряд батареи;
- индикацию ёмкости батареи;
- контроль цепи аккумуляторной батареи;
- связь по RS-485;
- буфер событий – в памяти контроллера записываются все события;
- буфер архива – запись событий в памяти FLASH;
- возможность переноса данных буфера архива на флэш память;
- контроль сопротивления изоляции (опция).

Контроллер Smartpack2 обеспечивает аварийную сигнализацию событий:

- низкое выходное напряжение;
- высокое выходное напряжение;
- глубокий разряд АБ;
- авария питания;

- обрыв в цепи АБ;
- повреждение датчика температуры АБ;
- неисправность изоляции;
- температура АБ (2 уровня);
- авария;
- перегрев;
- перегрузка;
- включение автоматического заряда;
- включение ручного заряда;
- повреждение вентилятора;
- срабатывание аппарата защиты.

Питание блока осуществляется от сети 3×230В по 4х проводной линии.

2.6 Порядок выбора проводников

«Выбор и проверка сечения проводников в цепях кратковременной нагрузки, должны проводиться следующим образом:

- предварительно выбирается сечение проводника по потере напряжения;
- выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и по условию невозгораемости.

Выбор проводников в цепях постоянной и временной нагрузок должен производиться в следующем порядке:

- предварительно выбирается сечение проводника по длительно допустимому току;
- выбранное сечение проверяется по потере напряжения;
- выбранное сечение проверяется по термической стойкости к токам короткого замыкания и по условию невозгораемости» [15].

2.6.1 Выбор сечений проводников по условиям рабочего режима

Выбор предварительного сечения кабеля от ЩСН к шкафу ШОТ-МТ (подключение ЗВУ) осуществляется по данному выражению:

$$I_{\text{дл. доп}} \geq \frac{I_{\text{расч}}}{n_{\text{пров}} \cdot K_t} = \frac{47,6}{1 \cdot 1,05} = 45,3 \text{ А}, \quad (45)$$

где $I_{\text{расч}}$ – расчетный максимальный ток нагрузки, протекающий через проводник А. Расчетный ток нагрузки берем исходя из параметров, выбранных ЗВУ типа Flatpack2 220VDC/2000W, включенных в работу.

« $n_{\text{пров}}$ – количество параллельных проводников в одном полюсе, на первом шаге расчета принимается равным 1;

$I_{\text{дл. доп}}$ – длительно допустимый ток проводника.

K_t – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды. При температуре окружающей среды 20⁰С K_t принимается равным 1,05» [16].

Выберем кабель ВВГнг-LS сечением 6,0 мм² - для подключения к шинам ЩСН – ВВГнг- LS 5×6 мм² с $I_{\text{доп}} = 54$ А, в режиме допустимой перегрузки 63А. Для подключения к шкафу ШОТ-МТ (питание блока ЗВУ осуществляется от сети 3×230В по 4х проводной линии) – АВВГ 3×6+1×4 мм² с $I_{\text{доп}} = 46$ А, в режиме допустимой перегрузки 51А.

Выбор сечения кабеля от аккумуляторной батареи (ШАБ-МТ) до ШОТ-МТ.

«Сечение кабеля от выводов аккумуляторной батареи до щита постоянного тока задается в зависимости от тока нагрузки и расстояния, которое обычно не превышает 20-30 м. Поскольку количество кабеля невелико, оно не может влиять на экономику при организации системы ОПТ на ПС» [17]. По максимальному толчковому току на ПС «УГПЗ», равному 72 А (согласно таблицы 8) выбираем сечение силового кабеля равное 70 мм².

Таблица 8 - Зависимость сечения жил кабеля от АБ до ЩПТ от толчкового тока

Величина толчкового тока I_t , А	60-170	170-440	500	720
Сечение жил кабеля от АБ до ЩПТ $S_{кв1}$, мм ²	70	120	240	2×240
Диаметр ошиновки АБ $d_{ош}$, мм	10	12		
Сечение ошиновки АБ $S_{ош}$, мм ²	78,5	113		

Сечение кабеля от ШОТ-МТ до ШРОТ-МТ примем равным $4 \times 16,0$ мм².

Сечение кабеля от ШОТ-МТ до ШУОТ примем равным $4 \times 25,0$ мм².

«По условию обеспечения допустимых отклонений напряжения в цепях питания кратковременных нагрузок сечение кабелей в цепи кратковременных нагрузок предварительно выбирается согласно условию:

$$S \geq \frac{2\rho \cdot I_{кр.нг} \cdot l_{\Sigma}}{(N_{ЭЛ} \cdot U_{нм.раб.ак} - U_{нм.доп}) \cdot n_{пров}}, \quad (46)$$

где ρ – удельное сопротивление материала жилы кабеля, Ом·мм²/м, для меди – 0,0182 Ом·мм²/м (согласно ГОСТ 22483-2012, таблица 3);

$I_{кр.нг}$ – ток кратковременной нагрузки, А;

l_{Σ} – суммарная длина проводников в цепи от аккумуляторной батареи до клемм рассматриваемого потребителя, м;

$N_{ЭЛ}$ – количество элементов аккумуляторов в батарее, шт.;

$U_{нм.раб.ак}$ – напряжение аккумулятора в конце разряда, В (при отсутствии данных принимается равным 1,85В), В;

$U_{нм.доп}$ – минимально допустимое напряжение на клеммах рассматриваемого потребителя» [3].

Минимальное напряжение на шинках ЭМВ наиболее удаленного выключателя должно быть не менее $85\%U_H$ (с независимым приводом $80\%U_H$), на шинках ЭМО - $70\%U_H$. На шинках оборудования РЗ должно быть $80\%U_H$.

Существующая нагрузка хвостовой части будет подключаться к 102 элементу.

Допустимые сечения кабелей в цепи нагрузок ПС «УГПЗ» приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Допустимые сечения кабелей в цепи нагрузок ПС «УГПЗ»

Наименование потребителя	Расчет сечения	Предвар. сечение, мм ²
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (вакуумный выключатель ВБПС-35 III УХЛ1 с приводом ППУ-600, панель P24)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 7 \cdot 32}{(102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220) \cdot 4} = 1,2$ $I_{Кр.нг} = I_{ЭМвкл} = 7 A$	$\geq 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 220кВ (выключатель НРЛ245В1 с приводом BLG 1002А, панель P9)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 10 \cdot 20}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 1,14$ $I_{Кр.нг} = I_{пуск} = 10 A$	$\geq 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (выключатель вакуумный ВВН-СЭЦ-П-35-25/1000 с пружинным приводом, панель P15)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 6 \cdot 18}{(102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220) \cdot 4} = 0,58$ $I_{Кр.нг} = I_{ЭМвкл} = 6 A$	$\geq 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) В-35кВ Т2 (масляный выключатель МКП-35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель P26)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 12,4 \cdot 28}{(102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220) \cdot 4} = 1,86$ $I_{Кр.нг} = K_C \cdot I_{ЭМвкл} = (0,1 \div 0,13) \cdot 124 = (12,4 \div 16,12) A$	$\geq 2,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) СМВ 35кВ (масляный выключатель МКП- 35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель P27)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 12,4 \cdot 27}{(102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220) \cdot 4} = 1,8$ $I_{Кр.нг} = K_C \cdot I_{ЭМвкл} = (0,1 \div 0,13) \cdot 124 = (12,4 \div 16,12) A$	$\geq 2,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (масляный выключатель МКП-35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель P29)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 12,4 \cdot 21}{(102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220) \cdot 4} = 1,39$ $I_{Кр.нг} = K_C \cdot I_{ЭМвкл} = (0,1 \div 0,13) \cdot 124 = (12,4 \div 16,12) A$	$\geq 1,5$
Цепи питания ЭМО2 выключателя 220кВ (выключатель НРЛ245В1 с приводом BLG 1002А, панель P5)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 10 \cdot 16}{(102 \cdot 1,85 - 0,7 \cdot 220) \cdot 4} = 0,04$ $I_{Кр.нг} = I_{пуск} = 10 A$	$\geq 1,5$
Цепи питания ЭМО2 выключателя 35кВ (выключатель вакуумный ВВН- СЭЦ-П-35-25/1000 с пружинным приводом, панель P13)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 6 \cdot 16}{(102 \cdot 1,85 - 0,7 \cdot 220) \cdot 4} = 0,03$ $I_{Кр.нг} = I_{ЭМвкл} = 6 A$	$\geq 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ (панель P24)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 3,45 \cdot 32}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,1$ $I_{Кр.нг} = I_{нагр} = 3,45 A$	$\geq 1,5$

Продолжение таблицы 9

Наименование потребителя	Расчет сечения	Предвар. сечение, мм ²
Цепи питания резервной и газовой защиты Т-1 (панель Р2)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 4,4 \cdot 13}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,04$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 4,4 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания ДЗЛ ВЛ-35кВ (панель Р14)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 8,8 \cdot 22}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,13$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 8,8 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания АЛАР ВЛ-35кВ (панель Р10а)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 8,8 \cdot 22}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,13$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 8,8 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания ДЗЛ ВЛ-220кВ (панель Р1)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 1,59 \cdot 12}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,03$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 1,59 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания ИП (панель У6)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 0,05 \cdot 10}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,001$ $I_{номр} = 0,05 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ (панель Р29)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 3,45 \cdot 21}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,1$ $I_{Кр.нг} = I_{нагр} = 3,45 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания ДЗШ 35кВ (панель Р28)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 6 \cdot 20}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,1$ $I_{Кр.нг} = I_{нагр} = 6 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ СМВ 35кВ (панель Р27)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 4,4 \cdot 27}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,09$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 4,4 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ Т-2 (панель Р26)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 4,4 \cdot 28}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,09$ $I_{Кр.нг} = I_{нагр} = 4,4 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания ТОР-ЛОК ВЛ 35кВ (панель Р23)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 3,3 \cdot 31}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,07$ $I_{Кр.нг} = I_{имп} = 3,3 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания регистратора РАС (панель Р21а)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 1,7 \cdot 28}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,03$ $I_{Кр.нг} = I_{нагр} = 1,7 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ-220кВ (панель Р9)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 0,6 \cdot 20}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,01$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 0,6 \text{ А}$	$\geq 1,5$
Цепи питания основной защиты Т-2 (панель Р7)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 4,4 \cdot 18}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,06$ $I_{Кр.нг} = I_{сраб} = 4,4 \text{ А}$	$\geq 1,5$

Продолжение таблицы 9

Наименование потребителя	Расчет сечения	Предвар. сечение, мм ²
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ (панель Р15)	$S \geq \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 3,45 \cdot 18}{(102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220) \cdot 4} = 0,04$ $I_{кр.нг} = I_{нагр} = 3,45 \text{ А}$	$\geq 1,5$

$I_{ЭМвкл}$ - максимальное (установившееся) значение тока, потребляемого электромагнитами при заводе пружины.

$I_{пуск}$ - пиковое значение пускового тока выключателя.

$I_{сраб}$ – ток срабатывания шкафа (терминала).

$I_{нагр}$ – ток нагрузки шкафа (терминала).

2.6.2 Проверка сечения проводников по потере напряжения

«Проверка сечения проводников по потере напряжения в цепях питания нагрузки осуществляется согласно выражению:

$$I_{АБ-ШОТ} \cdot R_{АБ-ШОТ} + I_{ШОТ-ШРОТ} \cdot R_{ШОТ-ШРОТ} + I_{ШРОТ-Эп} \cdot R_{ШРОТ-Эп} \leq N_{ак} \cdot U_{нм.раб.ак} - U_{нм.доп} \quad (47)$$

где $I_{АБ-ШОТ}$ – ток постоянной, временной и кратковременной нагрузки СОПТ, А;

$R_{АБ-ШОТ}$ – активное сопротивление кабельной линии от АБ до ШОТ, Ом;

$I_{ШОТ-ШРОТ}$ – ток нагрузки ШРОТ, А;

$R_{ШОТ-ШРОТ}$ – активное сопротивление кабельной линии от ШОТ до ШРОТ, Ом;

$I_{ШРОТ-Эп}$ – ток расчетного электроприемника, А;

$R_{ШРОТ-Эп}$ – активное сопротивление кабельной линии от ШРОТ до электроприемника, Ом;

$U_{нм.доп}$ – наименьшее предельно допустимое напряжение на клеммах расчетного электроприемника (для МП терминалов РЗА равно

0,8U_{НОМ}; для приводов выключателей, принимается равным не более 0,85 U_{НОМ}, при отсутствии иных требований производителя), В» [12].

«Активные сопротивления проводников рассчитываются по выражению:

$$R_{np} \geq \frac{2 \cdot \rho_{np} \cdot L_{np}}{S_{np}}, \quad (48)$$

где R_{np} – сопротивление рассчитываемого проводника, Ом;

ρ_{np} – удельное сопротивление материала жилы кабеля (провода), Ом·мм²/м;

L_{np} – длина проводника, м;

S_{np} – сечение проводника, мм²» [12];

$$R_{AB-ШОТ} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 10}{70} = 0,0052 \text{ Ом},$$

$$R_{ШОТ-ШРОТ} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 22}{16} = 0,05 \text{ Ом}.$$

Произведем проверку для наиболее удаленных потребителей каждой из групп:

- цепи питания ЭМВ (ЭМО) выключателя 35кВ (вакуумный выключатель ВБПС- 35):

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 32}{2,5} = 0,466 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 0,45 \cdot 0,466 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220$$

$$1,14 \leq 1,7$$

- цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ:

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 32}{2,5} = 0,466 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 0,15 \cdot 0,466 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220$$

$$1,0 \leq 12,7$$

- цепи питания ЭМВ (ЭМО) выключателя 220кВ:

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 20}{2,5} = 0,29 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 6 \cdot 0,29 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220$$

$$2,67 \leq 12,7$$

- цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 220кВ:

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 20}{2,5} = 0,291 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 0,14 \cdot 0,291 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220$$

$$0,97 \leq 12,7$$

- цепи питания выключателя 35кВ (масляный выключатель):

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 28}{2,5} = 0,408 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,408 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220$$

$$1,33 \leq 1,7$$

- цепи питания выключателя 35кВ (вакуумный выключатель ВВН):

$$R_{ШРОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 18}{2,5} = 0,262 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,262 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,85 \cdot 220$$

$$1,19 \leq 1,7$$

– цепи питания регистратора РАС:

$$R_{ШПОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 28}{2,5} = 0,408 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 1,7 \cdot 0,408 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220$$

$$1,62 \leq 12,7$$

– цепи питания ДЗШ 35кВ:

$$R_{ШПОТ-Эн} = \frac{2 \cdot 0,0182 \cdot 20}{2,5} = 0,291 \text{ Ом};$$

$$82 \cdot 0,0052 + 10 \cdot 0,05 + 0,62 \cdot 0,291 \leq 102 \cdot 1,85 - 0,8 \cdot 220$$

$$1,1 \leq 12,7$$

2.7 Расчет токов КЗ

«Расчет токов КЗ необходим для проверки кабелей и ЗА по условиям аварийного режима. Расчет токов осуществляется упрощенно, согласно ГОСТ 29176-91 п. 2.5.3, приложению 5» [5]. На схеме замещения, изображенной на рисунке 15 показаны наиболее удаленные потребители по шинкам ES1 и ES2 (для примера).

2.7.1 Расчёт тока КЗ в ШОТ-МТ

Расчёт выполняется по нижеследующей схеме замещения, приведенной на рисунке 16.

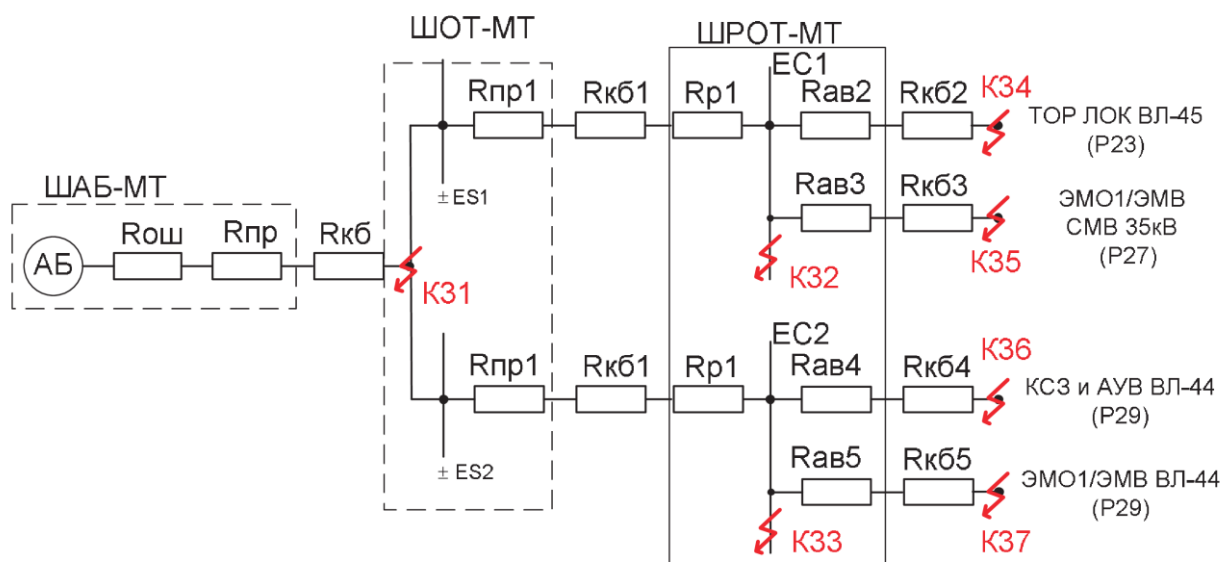


Рисунок 15 - Схема замещения для расчета ТКЗ

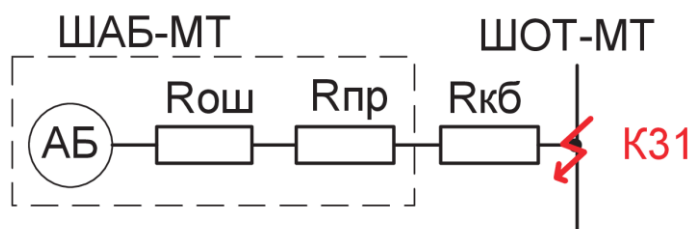


Рисунок 16 - Схема замещения для точки К31

Сопротивление АБ и перемычек:

$$R_{ош} = 0,84 \cdot 102 = 85,68 \text{ мОм},$$

где 0,84 – внутреннее сопротивление АБ, мОм/элемент.бат;

102- число элементов в батарее (подключение нагрузки хвостовой части).

Сопротивление кабеля $R_{кб} = 5,2$ мОм. Коммутационные аппараты (по ГОСТ 28249-93 [4]):

Сопротивление защитных предохранителей:

$$R_{ДПР} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ МОм.}$$

Сопротивление цепи от АБ до ШОТ-МТ:

$$R_{кз \text{ шот-мт}} = R_{ош} + R_{кб} + R_{пр}, \quad (49)$$
$$R_{кз \text{ шот-мт}} = 85,68 + 5,2 + 0,7 \cdot 10^{-3} = 90,9 \text{ МОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кзм1} = U_{аб} / R_{кз \text{ шот-мт}}, \quad (50)$$

где $U_{аб} = 1,85 \cdot 10^2 = 188,7 \text{ В.}$

$$I_{кзм1} = 188,7 / 0,0909 = 2075,9 \text{ А,}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд1} = K_d \cdot I_{кзм1}, \quad (51)$$

где $K_d = 0,505$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91 [5].

$$I_{кзд1} = 0,505 \cdot 2075,9 = 1048,3 \text{ А,}$$

Расчет остаточного напряжения на 1-ой секции шин ШОТ-МТ при КЗ на 2-ой секции ШОТ- МТ:

$$U_{ост.шот} = (R_{кб} + R_{пр}) \cdot I_{кзм1}, \quad (52)$$
$$U_{ост.шот} = (5,2 + 0,7 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,0759 = 10,8 \text{ В.}$$

2.7.2 Расчёт тока КЗ на шинах ШРОТ-МТ (от ES1, ES2)

На рисунке 17 приедена схема замещения для точки КЗ2(3).

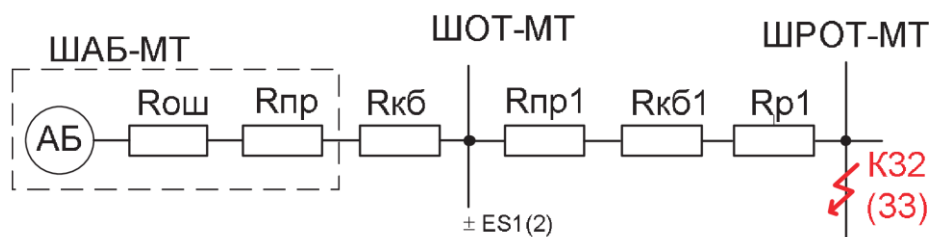


Рисунок 17 – Схема замещения для точки К32(3)

Сопротивление кабеля $R_{кб1} = 50$ мОм. Коммутационные аппараты (по ГОСТ 28249-93) [4]:

Сопротивление защитных предохранителей:

$$R_{пр1} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Сопротивление контактов рубильника:

$$R_p = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Сопротивление цепи от ШОТ-МТ до ШРОТ-МТ:

$$R_{кз \text{ шрот-мт}} = R_{кз \text{ шот-мт}} + R_{пр1} + R_{кб1} + R_p, \quad (53)$$

$$R_{кз \text{ шрот-мт}} = 90,9 + 0,7 \cdot 10^{-3} + 50 + 0,5 \cdot 10^{-3} = 140,9 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кз2(3)} = U_{аб} / R_{кз \text{ шрот-мт}}, \quad (54)$$

$$I_{кз2(3)} = 188,7 / 0,1409 = 1339,2 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд2(3)} = K_d \cdot I_{кз3}, \quad (55)$$

где $K_d = 0,54$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91 [5].

$$I_{кз2(3)} = 0,54 \cdot 1339,2 = 723,2 \text{ А,}$$

Расчет остаточного напряжения на 1-ой секции ШРОТ-МТ при КЗ на 2-ой секции ШРОТ-МТ:

$$U_{\text{ост.шот1}} = (R_{кб} + R_{пр} + R_{пр1} + R_{кб1} + R_p) \cdot I_{кз2(3)}, \quad (56)$$

$$U_{\text{ост.шот1}} = (5,2 + 0,7 \cdot 10^{-3} + 0,7 \cdot 10^{-3} + 50 + 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,3392 = 73,93 \text{ В.}$$

2.7.3 Расчёт тока КЗ в конце кабеля питающего терминал ТОР ЛОК ВЛ-45 (P23)

Расчёт выполняется по нижеследующей схеме замещения, которая приведена на рисунке 18:

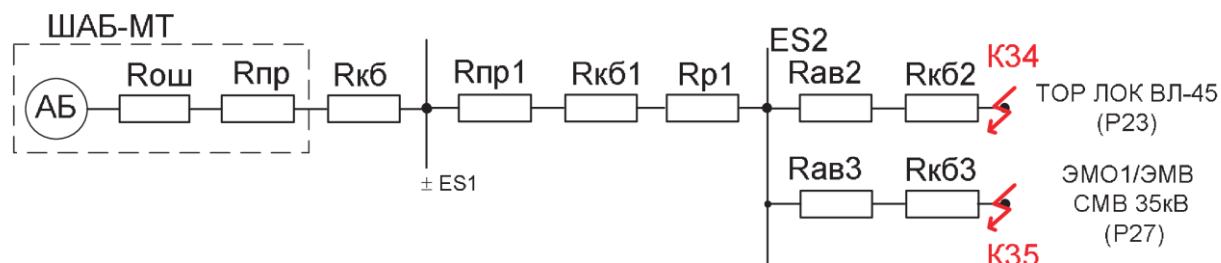


Рисунок 18 - Схема замещения для точки КЗ4(5)

Сопротивление кабеля $R_{кб2} = 451,4$ мОм.

Сопротивление автоматического выключателя $R_{ав2}$ составляет 104 мОм.

Сопротивление цепи от ШРОТ-МТ до терминала P3:

$$R_{кз4} = R_{кз \text{ шрот-мт}} + R_{кб2} + R_{ав2} \quad (57)$$

$$R_{кз4} = 140,9 + 451,4 + 104 = 696,3 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кзМ4} = U_{аб} / R_{кз2}, \quad (58)$$
$$I_{кзМ4} = 188,7 / 0,6963 = 271 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд4} = K_d \cdot I_{кзМ4}, \quad (59)$$

где $K_d=0,58$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91 [5].

$$I_{кзд4} = 0,58 \cdot 271 = 157,2 \text{ А.}$$

Расчет остаточного напряжения питания терминала при КЗ в цепи ЭМ:

$$U_{ост.} = (R_{ав2} + R_{кб2}) \cdot I_{кзМ4} \quad (60)$$
$$U_{ост.} = (104 + 451,4) \cdot 0,271 = 150,5 \text{ В.}$$

2.7.4 Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего ЭМО1/ЭМВ СМВ 35кВ (P27)

Сопротивление кабеля $R_{кб3} = 393,1$ мОм.

Сопротивление автоматического выключателя $R_{ав3}$ составляет 8,1 мОм.

Сопротивление цепи от ШРОТ-МТ до терминала P3:

$$R_{кз5} = R_{кз шот-мт} + R_{кб3} + R_{ав3}, \quad (61)$$
$$R_{кз5} = 140,9 + 393,1 + 8,1 = 542,1 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кзМ5} = U_{аб} / R_{кз5}, \quad (62)$$
$$I_{кзМ5} = 188,7 / 0,5421 = 348,1 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд5} = K_d \cdot I_{кзм5}, \quad (63)$$

где $K_d = 0,58$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91.

$$I_{кзд5} = 0,58 \cdot 348,1 = 201,9 \text{ А.}$$

Расчет остаточного напряжения питания терминала при КЗ в цепи ЭМ:

$$U_{ост.} = (R_{ав3} + R_{кб3}) \cdot I_{кзм5}, \quad (64)$$

$$U_{ост. P3} = (8,1 + 393,1) \cdot 0,3481 = 139,7 \text{ В.}$$

2.7.5 Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего терминалы КСЗ и АУВ ВЛ-44 (P29)

Расчёт выполняется по нижеследующей схеме замещения, приведенной на рисунке 19:

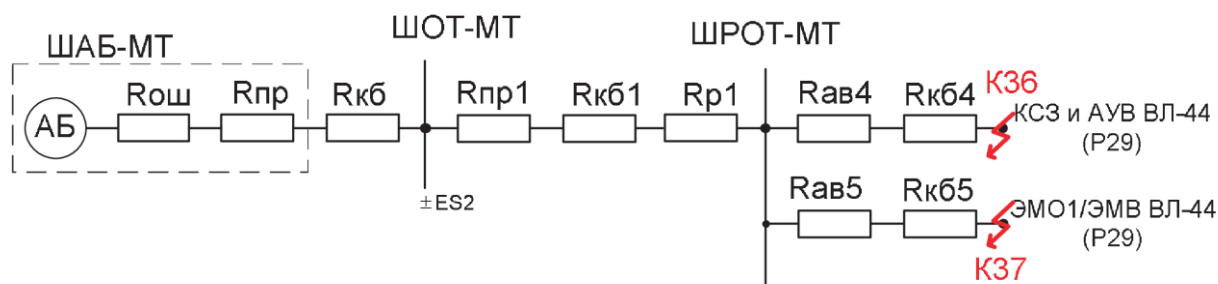


Рисунок 19 – Схема замещения для точки КЗ6(7)

Сопротивление кабеля $R_{кб4} = 310 \text{ мОм}$.

Сопротивление автоматического выключателя $R_{ав4}$ составляет $17,5 \text{ мОм}$.

Сопротивление цепи от ШРОТ-МТ до терминала P3:

$$R_{кз6} = R_{кз шрот-мт} + R_{кб4} + R_{ав4}, \quad (65)$$

$$R_{кз6} = 140,9 + 310 + 17,5 = 468,4 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кз6} = U_{аб} / R_{кз6}, \quad (66)$$

$$I_{кз6} = 188,7 / 0,4684 = 402,9 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд6} = K_d \cdot I_{кз6}, \quad (67)$$

где $K_d = 0,58$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91.

$$I_{кзд6} = 0,58 \cdot 402,9 = 233,7 \text{ А.}$$

Расчет остаточного напряжения питания терминала при КЗ на терминале РЗ:

$$U_{\text{ост. терминала РЗ}} = (R_{ав4} + R_{к64}) \cdot I_{кз6}, \quad (68)$$

$$U_{\text{ост. терминала РЗ}} = (17,5 + 310) \cdot 0,4029 = 131,9 \text{ В.}$$

2.7.6 Расчёт тока КЗ в конце кабеля, питающего ЭМО1/ЭМВ ВЛ-44 (Р29)

Сопротивление кабеля $R_{к65} = 310 \text{ мОм.}$

Сопротивление автоматического выключателя $R_{ав5}$ составляет 8,1 мОм.

Сопротивление цепи от ШРОТ-МТ до ЭМ выключателя:

$$R_{кз7} = R_{кз \text{ шрот-мт}} + R_{к65} + R_{ав5}, \quad (69)$$

$$R_{кз7} = 140,9 + 310 + 8,1 = 459,3 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{кзМ7} = U_{аб} / R_{кз7}, \quad (70)$$

$$I_{кзМ7} = 188,7 / 0,4593 = 410,8 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{кзд7} = K_d \cdot I_{кзМ7}, \quad (71)$$

где $K_d = 0,58$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91.

$$I_{кзд7} = 0,58 \cdot 410,8 = 238,3 \text{ А.}$$

Расчет остаточного напряжения питания терминала при КЗ в цепи ЭМ:

$$U_{ост.} = (R_{ав5} + R_{кб5}) \cdot I_{кзМ7}, \quad (72)$$

$$U_{ост.} = (8,1 + 310) \cdot 0,4108 = 130,7 \text{ В.}$$

Для остальных потребителей токи КЗ сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов токов КЗ для остальных потребителей

Наименование точки КЗ (потребитель)	Rкб, мОм	Rпр/Рав, мОм	IкзМ, А	Iкзд, А	Uост., В
ШОТ-МТ	5,2	$0,7 \cdot 10^{-3}$	2075,9	1048,3	10,8
ШРОТ-МТ	50	$0,7 \cdot 10^{-3}$	1339,2	723,2	73,93
ТОР ЛОК ВЛ-45 (P23)	451,4	104	271	157,2	150,5
ЭМО1/ЭМВ СМВ 35кВ (P27)	393,1	8,1	348,1	201,9	139,7
КСЗ и АУВ ВЛ-44 (P29)	310	17,5	402,9	233,7	131,9
ЭМО1/ЭМВ ВЛ-44 (P29)	310	8,1	410,8	238,3	130,7
Цепи питания резервной и газовой защиты Т-1 (P2)	189,3	104	434,6	252,1	127,5
Цепи питания ЭМО2 выключателя 220кВ (P5)	233	10,9	490,4	284,4	119,6
Цепи питания АЛАР ВЛ- 35кВ (P10а)	320	17,5	394,4	228,8	133,1

Продолжение таблицы 10

Наименование точки КЗ (потребитель)	Rкб, мОм	Rпр/Рав, мОм	Ikзм, А	Ikзд, А	Uост., В
Цепи питания ДЗЛ ВЛ-35кВ (P14)	247,5	104	383,2	222,3	134,7
Цепи питания ЭМО2 выключателя 35кВ (P13)	233	53,9	441,1	255,8	126,6
Цепи питания ДЗЛ ВЛ 220кВ (P1)	174,7	619	201,9	117,1	160,2
Цепи питания КСЗ и АУВ В 35кВ Т2 (P26)	407,7	17,5	333,3	193,3	141,7
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ Т2 (P26)	407,7	8,1	339	196,6	141
Цепи питания КСЗ и АУВ СМВ 35кВ (P27)	393,1	17,5	342,2	198,5	140,5
Цепи питания РЗА ВЛ 35кВ (P24)	466	104	265,4	153,9	151,3
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя ВЛ 35кВ (P24)	466	17,5	302,2	175,3	146,1
Цепи питания основной защиты Т-2 (P7)	262	104	372,3	215,9	136,3
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ-35кВ (P15)	262	104	372,3	215,9	136,3
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 220кВ (P9)	291	10,9	426,2	247,2	128,7
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (P15)	262	53,9	413,1	240	130,5
Цепи питания ИП (У6)	145,6	619	208,4	120,9	159,3
Цепи питания КСЗ ВЛ 220кВ (панель P9)	291	619	179,6	104,2	163,4
Цепи питания РАС2 (P21a)	408	17,5	333,2	193,3	141,8
Цепи питания ДЗШ 35кВ (P28)	291	17,5	420	243,6	129,6
Цепи питания АУВ ВЛ 220кВ (панель P9)	291	619	179,6	104,2	163,4
ШС (панель У1)	36,4	202	497,5	288,6	118,6
ШМ (панель У8)	218,4	619	192,9	111,9	161,5
ШУ (панель У8)	218,4	17,5	500,8	290,5	118,1
Цепи питания РАС1 (P21)	509,6	208	219,8	127,5	157,7
ШУ ЗРУ 6кВ (яч.18)	684	17,5	224	129,9	157,1

Значения остаточного напряжения на секциях приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Значения остаточного напряжения на секциях

Наименование	Uост, В
Остаточное напряжение на 1-ой секции шин при КЗ на 2-ой секции ШОТ-МТ	10,8
Остаточное напряжение на 1-ой секции шин ШРОТ-МТ при КЗ на 2-ой секции шин ШРОТ-МТ	73,93

Согласно СТО 56947007-29.120.40.093-2011 «п. 5.5 защитные аппараты должны обеспечивать отключение коротких замыканий в любой точке СОПТ сопровождающихся снижением напряжения на сборках ШОТ и ШРОТ глубиной более 50% со временем, не превышающим 50 мс.» [27]. В данном случае снижение напряжения более 50% наблюдается на 1(2) секции шин при КЗ на 1(2) секции ШОТ и ШРОТ, но секции ШОТ и ШРОТ защищены предохранителями с временем срабатывания 10 мс., следовательно, данное условие выполняется.

2.8 Выбор аппаратов защиты

2.8.1 Выбор автоматических выключателей нижнего уровня защиты

2.8.1.1 Выбор автоматических выключателей для защиты цепей выключателей 35-110кВ

«Выбор автоматических выключателей для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей 35кВ.

При выборе аппаратов защиты в цепях электромагнитов включения приводов масляных выключателей необходимо иметь в виду, что электромагниты включения приводов масляных выключателей термически неустойчивы при длительном протекании тока включения. Термическая стойкость электромагнитов при этом обеспечивается в течение 15-20с.

Номинальный ток максимального расцепителя замедленного срабатывания АВ, защищающего электромагнит определяется по выражению» [30]:

Для питания МВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (масляный выключатель МКП-35-1000-25 с приводом ШПЭ-31:

$$I_{Кр.нг} = K_C \cdot I_{ЭМвкл}, \quad (73)$$

где K_C - расчетный коэффициент;

$I_{ЭМвкл}$ - ток электромагнита включения выключателя.

$$I_{Кр.нг} = (0,1 \div 0,13) \cdot 124 \cdot (12,4 \div 16,12) \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 16 \text{ А.}$

При протекании $I_{ЭМвкл} = 124 \text{ А}$ в соответствии с времятоковыми характеристиками АВ для $I_{ЭМвкл} / I_{ном.р} = 124/16 = 7,75$, тогда принимаем кратность срабатывания электромагнитного расцепителя $K_y = (8 \div 14)I_n$.

Выбираем АВ типа S280UC – К 16А, при этом $I_{ср н/у} = (8 \div 14) \cdot 16 = 128 \div 224, \text{ А.}$

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 8,1 \text{ мОм.}$

Выбор автоматических выключателей для защиты цепей для защиты цепей управления вакуумных выключателей 35кВ:

Толчковый ток электромагнитов управления вакуумного выключателя ВБПС–35 III УХЛ1 с приводом ППУ-600:

$$I_{Кр.нг} = I_{ЭМоткл} = 7 \text{ А.}$$

Постоянная нагрузка цепей управления несоизмеримо мала по сравнению с током отключения (включения) и составляет не более 1А. В связи с указанным выбор АВ осуществляется исходя из толчкового тока.

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = (1,2 \div 1,4) \cdot 7 = (8,4 \div 9,8) \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 10 \text{ А.}$

Кратность срабатывания электромагнитного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср\ н/у} = (2 \div 3) \cdot 10 = 20 \div 30, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 10А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 17,5\text{мОм.}$

Выбор автоматических выключателей для защиты цепей для защиты цепей управления вакуумных выключателей 35кВ:

Толчковый ток электромагнитов управления ВВН-СЭЦ-П-35-25/1000 с пружинным приводом:

$$I_{Кр.нг} = I_{ЭМоткл} = 6 \text{ А.}$$

Постоянная нагрузка цепей управления несоизмеримо мала по сравнению с током отключения (включения) и составляет не более 1А. В связи с указанным выбор АВ осуществляется исходя из толчкового тока.

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = (1,2 \div 1,4) \cdot 6 = (7,2 \div 8,4) \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 8 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_u = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср\ н/у} = (2 \div 3) \cdot 8 = 16 \div 24, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 8А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав}=53,9\text{МОм}$.

Выбор автоматических выключателей для защиты цепей для защиты цепей управления элегазовых выключателей 220кВ:

Толчковый ток электромагнитов управления HPL245B1 с приводом BLG 1002А:

$$I_{кр.нг} = I_{пуск} = 10 \text{ А.}$$

Постоянная нагрузка цепей управления меньше по сравнению с током отключения (включения) и составляет 6А. В связи с указанным выбором АВ осуществляется исходя из пускового тока.

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = (1,2 \div 1,4) \cdot 10 = (12 \div 14) \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 16 \text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср н/у} = (2 \div 3) \cdot 16 = 32 \div 48, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 16А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав}=10,9\text{МОм}$.

2.8.1.2 Выбор автоматических выключателей для защиты цепей питания РЗА

Выбор автоматических выключателей для защиты цепей питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ:

Ток в пусковом режиме:

$$I_{нагр} = 3,45 \text{ А.}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 3,45 = 4,55 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 6 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср н/у} = (2 \div 3) \cdot 6 = 12 \div 18, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 6А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 104 \text{ мОм.}$

Выбор автоматических выключателей для питания основной и газовой защиты Тр. Ток в пусковом режиме:

$$I_{пуск} = 4,4 \text{ А.}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 4,4 = 5,8 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.р} = 6 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{cp \text{ н/у}} = (2 \div 3) \cdot 6 = 12 \div 18, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 6А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав}=104\text{МОм}$.

Выбор автоматических выключателей для питания КСЗ и АУВ В-35кВ Тр (СМВ).

Ток в режиме срабатывания:

$$I_{пуск} = 8,0 \text{ А.}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 8,0 = 10,6 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.p} = 10 \text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{cp \text{ н/у}} = (2 \div 3) \cdot 10 = 20 \div 30, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 10А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав}=17,5\text{МОм}$.

Выбор автоматических выключателей для питания ДЗЛ ВЛ-35кВ: Ток в пусковом режиме:

$$I_{пуск} = 3,45 \text{ А.}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 3,45 = 4,55 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.p} = 6 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср н/у} = (2 \div 3) \cdot 6 = 12 \div 18, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 6А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 104 \text{ мОм.}$

Выбор автоматических выключателей для питания АЛАР ВЛ-35кВ: Ток в режиме срабатывания:

$$I_{пуск} = 8,0 \text{ А.}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 8,0 = 10,6 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном.p} = 10 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср н/у} = (2 \div 3) \cdot 10 = 20 \div 30, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 10А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 17,5 \text{ мОм.}$

2.8.1.3 Для подключения шинок ES2.1(2.2) в шкафу ШРОТ-МТ к шинкам ЕС2.1(2.2)

Выбор ВР защиты шинок ES2.1(2.2), питающих устройства РЗА и ЭМО/ЭМВ.

Определяется максимальный возможный суммарный ток нагрузки на шинки ±ЕС2.1(2.2):

$$I_{нагр.сум\ кр.} = 74,6 \text{ А.}$$

Принимаем к установке выключатель-разъединитель Interpact INV100 с $I_{ном}=100\text{А}$. Между секциями шин ±ЕС2.1 и ±ЕС2.2 тоже принимаем к установке Interpact INV100. Максимальный ток КЗ (в начале зоны защиты) составляет 1339,2 А.

Минимальный ток отключения ВР составляет $30\text{кА} > 1,339 \text{ кА}$.

2.8.1.4 Проверка чувствительности защитных аппаратов

«Для проверки чувствительности автоматических выключателей определяется коэффициент чувствительности по выражению:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}_{\text{мин}}}}{I_{\text{отс.}_{\text{макс}}}}, \quad (74)$$

где $I_{\text{КЗ}_{\text{мин}}}$ – минимальный ток короткого замыкания в зоне защиты, А при дуговом КЗ в конце основной/резервной зоны защиты. При этом считается, что зарядные устройства отключены, аккумуляторная батарея разряжена;

$I_{\text{отс.}_{\text{макс.}}}$ – максимальное значение кратности тока отсечки автоматического выключателя, А» [11].

Результаты проверки чувствительности защитных аппаратов сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты проверки чувствительности защитных аппаратов

Наименование потребителя	Расчет $K_{\text{ч}}$	Условие
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (вакуумный выключатель ВБПС–35 III УХЛ1 с приводом ППУ-600, панель Р24)	$K_{\text{ч}} = 175,3 / 20 = 8,8$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 220кВ (выключатель HPL245B1 с приводом BLG 1002A, панель Р9)	$K_{\text{ч}} = 247,2 / 32 = 7,7$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (выключатель вакуумный ВВН-СЭЩ-П-35-25/1000 с пружинным приводом, панель Р15)	$K_{\text{ч}} = 240 / 16 = 15$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) выключателя 35кВ (масляный выключатель МКП-35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель Р26)	$K_{\text{ч}} = 196,6 / 128 = 1,54$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) СМВ 35кВ (масляный выключатель МКП- 35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель Р27)	$K_{\text{ч}} = 201,9 / 128 = 1,58$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМО2 выключателя 220кВ (выключатель HPL245B1 с приводом BLG 1002A, панель Р5)	$K_{\text{ч}} = 284,4 / 32 = 8,92$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМО2 выключателя 35кВ (выключатель вакуумный ВВН- СЭЩ-П-35-25/1000 с пружинным приводом, панель Р13)	$K_{\text{ч}} = 255,8 / 16 = 16$	$> 1,5$
Цепи питания ЭМВ (ЭМО1) СМВ 35кВ (масляный выключатель МКП- 35-1000-25 с приводом ШПЭ-31, панель Р29)	$K_{\text{ч}} = 238,3 / 128 = 1,86$	$> 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ (панель Р24)	$K_{\text{ч}} = 153,9 / 12 = 12,8$	$> 1,5$
Цепи питания резервной и газовой защиты Т-1 (панель Р2)	$K_{\text{ч}} = 252,1 / 12 = 21$	$> 1,5$
Цепи питания основной защиты Т-2 (панель Р7)	$K_{\text{ч}} = 215,9 / 12 = 18$	$> 1,5$
Цепи питания ДЗЛ ВЛ-35кВ (панель Р14)	$K_{\text{ч}} = 222,3 / 12 = 18,5$	$> 1,5$
Цепи питания АЛАР ВЛ-35кВ (панель Р10а)	$K_{\text{ч}} = 228,8 / 20 = 11,4$	$> 1,5$
Цепи питания ДЗЛ ВЛ-220кВ (панель Р1)	$K_{\text{ч}} = 117,1 / 4 = 29,3$	$> 1,5$
Цепи питания ИП (панель У6)	$K_{\text{ч}} = 120,9 / 4 = 30,2$	$> 1,5$

Продолжение таблицы 12

Наименование потребителя	Расчет $K_{\text{ч}}$	Условие
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ 35кВ (панель P15)	$K_{\text{ч}} = 215,9 / 12 = 18$	$> 1,5$
Цепи питания ДЗШ 35кВ (панель P28)	$K_{\text{ч}} = 243,6 / 20 = 12,2$	$> 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ СМВ 35кВ (панель P27)	$K_{\text{ч}} = 198,5 / 20 = 9,9$	$> 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ Т-2 (панель P26)	$K_{\text{ч}} = 196,6 / 20 = 9,83$	$> 1,5$
Цепи питания ТОР-ЛОК ВЛ 35кВ (панель P23)	$K_{\text{ч}} = 157,2 / 12 = 13,1$	$> 1,5$
Цепи питания АУВ ВЛ-220кВ (панель P9)	$K_{\text{ч}} = 104,2 / 4 = 26,1$	$> 1,5$
Цепи питания регистратора РАС (панель P21а)	$K_{\text{ч}} = 193,3 / 20 = 9,7$	$> 1,5$
Цепи питания КСЗ и АУВ ВЛ-35кВ (панель P29)	$K_{\text{ч}} = 233,7 / 20 = 11,7$	$> 1,5$
Цепи питания КСЗ ВЛ 220кВ (панель P9)	$K_{\text{ч}} = 104,2 / 4 = 26,1$	$> 1,5$

2.8.1.5 Проверка защитных аппаратов на отключающую способность

«Для проверки ЗА на отключающую способность необходимо рассчитать максимальный ток КЗ (в начале зоны защиты). Отключающая способность защитного аппарата считается удовлетворительной, если она превышает данный расчетный ток» [29].

Максимальный ток отключения всех выбранных АВ составляет 10кА.

Максимальный ток КЗ (в начале зоны защиты) составляет 1339,2 А.

$$10 \text{ A} > 1,339 \text{ кА} - \text{условие выполняется.}$$

2.8.2 Выбор аппаратов среднего уровня защиты

Для подключения потребителей к шинкам ES2.1 и ES2.2 в шкафу ШРОТ-МТ используется выключатели-разъединители Schneider Electric, а в шкафу ШОТ-МТ – предохранительные разъединители марки OEZ.

Для подключения ±ЕС2.1(2.2) к шкафу ШОТ-МТ:

Принимаем FN00 с ножевыми предохранителями P51R06 125А с $I_{прив\ ном} = 80\text{А}$.

Для защиты от перегрузок и коротких замыканий используются вставки с характеристикой gG.

Максимальный ток отключения выбранных РП составляет $50\text{кА} > 2,076\text{кА}$.

Отходящие линии от ШОТ-МТ:

Для цепей управления МВ 6кВ, 35кВ и цепей АЧР 6 и 35 кВ. Принимаем $I_{ном,р} = 10\text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср\ н/у} = (2 \div 3) \cdot 10 = 20 \div 30, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 10А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 17,5\text{мОм}$. Коэффициент чувствительности:

$$K_{ч} = 340,95 / 30 = 11,4 > 1,5.$$

Для цепей сигнализации ШС. Принимаем $I_{ном,р} = 3\text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср\ н/у} = (2 \div 3) \cdot 3 = 6 \div 9, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 3А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{ав} = 202\text{мОм}$ Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = 309,9 / 9 = 43,4 > 1,5.$$

Для цепей ШМ: Принимаем $I_{\text{ном.р}} = 2 \text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_{\text{у}} = (2 \div 3)I_{\text{н}}$, тогда:

$$I_{\text{ср н/у}} = (2 \div 3) \cdot 2 = 4 \div 6, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 2А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА. Сопротивление $R_{\text{ав}}=619\text{мОм}$. Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = 143 / 6 = 23,8 > 1,5.$$

Для соединения шинок $\pm\text{ES2.1 (2.2)}$ в ШОТ-МТ: $I_{\text{max нагр}} = 89 \text{ А}$.

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 89 = 117,5 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{\text{ном.р}} = 125 \text{ А}$.

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_{\text{у}} = 5 I_{\text{н}}$, тогда:

$$I_{\text{ср н/у}} = 5 \cdot 125 = 625, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S290 – С 125А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = 1048,3 / 625 = 1,7 > 1,5.$$

Для соединения шинок ±ES2.1 (2.2) ШОТ-МТ и ШУОТ 2405 (шкаф ПЗУ):

$$I_{\max \text{ нагр ШОТ-МТ}} = 89 \text{ А,}$$

$$I_{\max \text{ нагр ШУОТ}} = 92 \text{ А,}$$

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 92 = 121,4 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{\text{ном.р}} = 125 \text{ А}$ (при условии питания от одного ШОТ).

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = 5I_n$, тогда:

$$I_{\text{ср н/у}} = 5 \cdot 125 = 625, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S290 – С 125А.

Максимальный ток отключения АВ составляет $20 \text{ кА} > 2,076 \text{ кА}$.

Коэффициент чувствительности в основной зоне:

$$K_{\text{ч}} = 1048,3 / 625 = 1,7 > 1,5.$$

Произведем проверку обеспечения чувствительности дальнего резервирования (КЗ на шинах ШУОТ 2405).

Рассчитаем ТКЗ на шинах ШУОТ 2405 при условии питания всей нагрузки от одного ШОТ-МТ.

Сопротивление кабеля $R_{\text{кб шот-шуот}} = 26,2 \text{ мОм}$.

Сопротивление автоматического выключателя $R_{\text{ав}}$ составляет $0,7 \text{ мОм}$.

Сопротивление цепи от ШОТ-МТ до ШУОТ 2405:

$$R_{\text{кзшот-шуот}} = R_{\text{кз шот-мт}} + R_{\text{кбшот-шуот}} + R_{\text{ав}}, \quad (75)$$

$$R_{\text{кзшот-шуот}} = 90,9 + 26,2 + 0,7 \cdot 2 = 118,5 \text{ мОм.}$$

Ток металлического короткого замыкания:

$$I_{\text{кзм шот-шуот}} = U_{\text{аб}} / R_{\text{кз шот-шуот}}, \quad (76)$$
$$I_{\text{кзм шот-шуот}} = 188,7 / 0,1185 = 1592,4 \text{ А.}$$

Ток КЗ с учётом сопротивления дуги будет равен:

$$I_{\text{кзд4}} = K_{\text{д}} \cdot I_{\text{кзм шот-шуот}}, \quad (77)$$

где $K_{\text{д}} = 0,54$ – коэффициент сопротивления дуги по ГОСТ 29176-91.

$$I_{\text{кзд4}} = 0,54 \cdot 1592,4 = 860 \text{ А,}$$

Коэффициент чувствительности в резервной зоне:

$$K_{\text{ч}} = 860 / 625 = 1,4 > 1,2.$$

2.8.3 Выбор автоматических выключателей высшего уровня защиты

Выбор предохранительных разъединителей марки ОЕЗ для защиты цепи от АБ до шин ES2.1 и ES2.2 (с учетом возможной запитки полной нагрузки (АБ ШУОТ 2405 – выведена из работы):

Установившийся ток нагрузки на ПС «УГПЗ» ≤ 10 А; максимальный толчковый ток 72 А и сечением кабеля 70 мм².

Принимаем FN00 с ножевыми предохранителями P51R06 160А с $I_{\text{прив ном}} = 120$ А.

Для защиты от перегрузок и коротких замыканий используются вставки с характеристикой gG.

Максимальный ток отключения выбранных РП составляет 50кА >2,076 кА.

Выбор автоматического выключателя для защиты кабеля подключения подзарядного устройства к шинкам ES2.1 и ES2.2 ШОТ-МТ.

Главным назначением автоматического выключателя, защищающего цепи оперативного постоянного тока подзарядного устройства, заключается в быстром отключении (без выдержки времени) тока при КЗ в кабеле подключения подзарядного устройства, работающего в режиме постоянного подзаряда) к шинкам ±ES2.1(2.2) ШОТ-МТ.

Ток срабатывания АВ должен быть не менее

$$I_{ном} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 36,64 = 48,36 \text{ А.}$$

Принимаем $I_{ном,р} = 50 \text{ А.}$

Кратность срабатывания мгновенного расцепителя выбираем $K_y = (2 \div 3)I_n$, тогда:

$$I_{ср н/у} = (2 \div 3) \cdot 50 = 100 \div 150, \text{ А.}$$

Выбираем АВ типа S280UC – Z 50А.

Максимальный ток отключения АВ составляет 10кА > 2,076кА.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{ч} = 1048,3 / 150 = 7 > 1,5.$$

Выводы по разделу 2.

В соответствии с пунктом 9.3.1.7 норм технологического проектирования подстанций на ПС 220 кВ должно применяться 2 АВ. Таким образом, на ПС предусмотрена установка второго дополнительного шкафа

управления (ШУОТ) с новой аккумуляторной батареей (АБ), двумя зарядно-подзарядными устройствами (ЗПУ) и распределительного шкафа (ШРОТ).

От щита постоянного тока питаются следующие потребители:

- электромагниты включения и отключения выключателей ОРУ и КРУ;
- устройства релейной защиты и автоматики подстанции;
- блок аварийного освещения;
- аппаратура АСУТП и связи.

В работе выполнен расчет числа элементов аккумуляторной батареи PowerSafe Vb. На ПС необходимо применить 18 аккумуляторных блоков напряжением 12 В, что соответствует 108 элементам. Построена диаграмма суммарной нагрузки СОПТ. Установившийся ток нагрузки СОПТ не превышает 10 А, а максимальный толчковый ток 72 А. Определена разрядная характеристика и емкость АБ, которая составила 100 Ач. Определены требуемые характеристики ЗУ в части обеспечения режимов заряда и подзаряда, мощность ЗПУ. В результате выбрано два ЗВУ типа Flatpack2, каждое из которых состоит из 4-х модулей для обеспечения требуемого выходного тока и мощности.

Выбраны проводники для подключения ЗПУ, а также от АБ до потребителей, все проводники были проверены по потерям напряжения. Произведен расчет токов КЗ в цепях постоянного тока. Выбраны автоматические выключатели нижнего уровня защиты (для защиты цепей управления выключателей 35 и 220 кВ, цепей питания РЗА), среднего уровня защиты (для подключения потребителей к шинкам в шкафу ШРОТ-МТ и ШОТ-МТ) и высшего уровня защиты (от АБ до шинок и от ЗПУ до шинок). Выбранные аппараты проверялись на чувствительность и на отключающую способность.

3 Разработка требований по организации системы контроля изоляции и интеграции в ПТК ССПИ подстанции «УГПЗ»

3.1 Система контроля изоляции СОПТ

3.1.1 Назначение и цели системы

«Утечки на землю в системах питания оперативного постоянного тока (СОПТ) могут являться причинами различных видов аварий вне зависимости от повреждения изоляции положительного или отрицательного полюса. Замыкание на землю может вызывать ложную работу или отказ защит, создавая угрозу для нормального функционирования системы питания.

Протекание тока между полюсами и землёй должно быть исключено как можно быстрее, т.к. процесс может развиваться лавинообразно. Из-за сложных и динамичных характеристик систем постоянного тока, часто очень сложно определить место утечки» [14].

Для обеспечения возможности быстро и точно выполнять поиск утечки эксплуатационному персоналу, в шкафах СОПТ устанавливается система контроля изоляции – стационарная и переносная.

Для выполнения данной функции в новых шкафах ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ, а также в существующем шкафу ШУОТ 2405 устанавливается автоматический пофидерный контроль изоляции на базе системы контроля изоляции «СКИПЕТР».

3.1.2 Общая информация о СКИ

«Система СКИПЕТР предназначена для контроля и пофидерного поиска повреждений изоляции сети оперативного постоянного тока на электростанциях и электрических подстанциях.

Система выпускается в трёх исполнениях, отличающихся максимальным количеством контролируемых фидеров. СКИ включает в себя следующие компоненты» [14]:

- «устройство контроля изоляции УКИ СКИПЕТР (УКИ);

- приемники-локаторы (Локатор);
- датчики тока – измерительные трансформаторы тока (ТТ);
- выравнивающий Т-мост;
- специализированные токовые клещи СКИПЕТР-КТ» [21].

3.1.2.1 Электробезопасность

«СКИ СКИПЕТР работает при напряжении, опасном для жизни и здоровья человека. Электротехнический персонал должен иметь группу по электробезопасности не ниже III (допуск к работам в электроустановках до 1000 В) и обязан пройти инструктаж перед началом работ» [21].

3.1.2.2 Структура и принцип работы СКИ СКИПЕТР

Структурная схема контроля изоляции СОПТ представлена на рисунке 20.

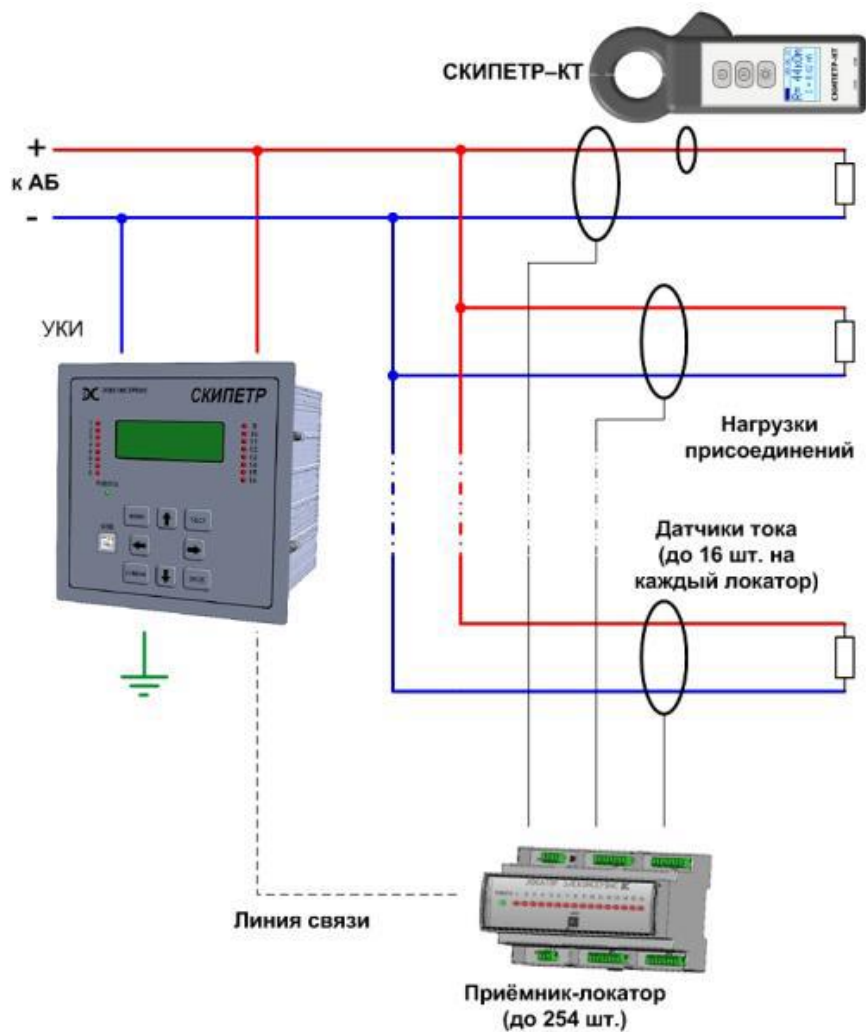


Рисунок 20 - Структурная схема контроля изоляции СОПТ

В качестве датчиков используются специальные трансформаторы тока.

Количество и тип необходимых трансформаторов тока определяется конфигурацией СОПТ. В зависимости от количества датчиков определяется исполнение УКИ и количество локаторов.

Диапазон измерения сопротивления изоляции 10-990 кОм.

В соответствии с приведенными однолинейными схемами шкафов ШОТ и ШРОТ выбираем следующие уровни системы оперативного тока на которых будут размещаться трансформаторы тока системы «СКИПЕТР»:

- для новых шкафов – ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ.
- для существующих шкафов – ШУОТ 2405 (ШОТ и распределение).

Локаторы подключаются к УКИ посредством шины CAN. «СКИ в любом исполнении может быть дополнительно укомплектована специализированными токовыми клещами СКИПЕТР-КТ для ручного поиска повреждения.

УКИ производит постоянный контроль сопротивления изоляции путём попеременного подключения к полюсам сети известного сопротивления и измерения напряжения полюсов относительно земли» [21].

«В случае обнаружения снижения сопротивления ниже заданного значения система сигнализирует об этом и осуществляет поиск присоединения с повреждённой изоляцией.

При поиске повреждения УКИ получает данные для анализа с трансформаторов тока, установленных на каждом присоединении. Непосредственно к УКИ может быть подсоединено не более 16 ТТ. Если количество контролируемых присоединений больше 16 или места установки ТТ находятся далеко от УКИ, то ТТ подключаются к приёмникам-локаторам, которые в свою очередь по линии связи CAN подключаются к УКИ. К одному Локатору может быть подключено до 16 трансформаторов тока» [23].

В режиме поиска УКИ создаёт искусственные перекосы напряжения на полюсах сети относительно земли для создания тестового тока. «При сниженном сопротивлении изоляции тестовый ток начинает течь на землю. ТТ

детектирует появление тока утечки в контролируемом присоединении. По величине зафиксированного тока утечки УКИ рассчитывает значение сопротивления изоляции каждого контролируемого присоединения.

Для поиска места повреждения изоляции в отдельном присоединении совместно с УКИ СКИПЕТР используются специализированные токовые клещи СКИПЕТР-КТ» [24].

3.1.2.3 Основные функции УКИ СКИПЕТР

Далее приведены основные функции УКИ СКИПЕТР:

- «контроль и отображение на экране сопротивления изоляции СОПТ;
- сигнализация и индикация снижения сопротивления изоляции ниже заданного порога;
- поиск присоединения с повреждённой изоляцией;
- измерение и отображение на экране напряжения в СОПТ, в т.ч. по полюсам относительно земли;
- индикация и сигнализация перекоса напряжения между полюсами сети;
- измерение и отображение ёмкости СОПТ и отдельных присоединений (при поиске);
- ведение архива событий.
- периодическое тестирование элементов системы: локаторов и трансформаторов тока, индикация обрыва и короткого замыкания ТТ;
- совместная работа со стандартной Т-образной системой контроля изоляции или её аналогом;
- одновременная работа нескольких УКИ в одной сети;
- информационный обмен по протоколу Modbus, интерфейс RS-485» [31].

3.1.2.4 Технические характеристики УКИ СКИПЕТР

Основные технические характеристики приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Основные технические характеристики УКИ СКИПЕТР

Наименование параметра	Значение
«Напряжение сети постоянного тока, В	87-300
Диапазон показаний при контроле сопротивления изоляции полюсов сети, кОм	0-999
Погрешность определения сопротивления изоляции полюса с меньшим сопротивлением, не более и не менее:	5-20% 1 кОм
Диапазон показаний при поиске места повреждения изоляции. кОм	0-999
Погрешность определения сопротивления изоляции присоединений, не более и не менее:	5-20 % 1 кОм
Количество уставок сигнализации снижения изоляции	2
Диапазон регулировки уставок по снижению сопротивления изоляции, кОм	1-999
Гистерезис сопротивления изоляции при превышении уставки, не более: и не менее:	10% 1 кОм
Максимальный тестовый ток, мА:	1,8/15
Максимальная емкость сети относительно земли, мкФ	300/1000
Максимальная емкость отдельного присоединения. мкФ	20
Поддерживаемые интерфейсы	-
- организация связи с АСУ ТП	RS485
- организация связи УКИ-УКИ. УКИ - Локатор	CAN
- подключение к ПК. обновление ПО устройства	USB
- выход 4-20 мА	Есть
Минимальный ток, при котором возможно рассчитать активное сопротивление присоединения. мкА	10
Максимальное количество измерительных каналов УКИ, шт.	16
Количество УКИ. объединенных по сети CAN, не более	32
Максимальное количество измерительных каналов локатора, шт.	16
Количество локаторов в сети CAN, не более	254
Максимальное количество контролируемых присоединений	4080

УКИ имеет контакты сигнализации, которые замыкаются/размыкаются при снижении сопротивления изоляции ниже установленного порога» [31].

УКИ имеет контакты сигнализации, которые замыкаются/размыкаются при перекосе напряжений между полюсами сети относительно земли выше установленного порога.

«УКИ имеет контакты сигнализации, которые замыкаются/размыкаются при возникновении неисправности в системе или при отключении питания.

Основными преимуществами системы являются:

- измерение полного сопротивления изоляции;

- измерение изоляции по полюсам;
- максимальная допустимая ёмкость сети для проведения измерения составляет 500 мкФ;
- максимальный инжектируемый ток не более 1,8 мА» [33].

3.1.2.5 Технические характеристики приёмника-локатора

Основные технические характеристики приёмника-локатора приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Основные технические характеристики приёмника-локатора

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания: постоянного тока. В	87 - 300
Количество измерительных каналов, шт.	16
Протокол связи с УКИ	CAN
Потребляемая мощность. Вт. не более	3
Масса изделия, кг, не более	0,3
Крепление	На ДИН-рейку
Габаритные размеры изделия, мм. не более:	-
ширина	160
высота	90
глубина	78
Срок службы, лет, не менее	20

3.1.2.6 Технические характеристики трансформаторов тока

Класс напряжения – 0,66 кВ.

Крепление – на DIN-рейку или монтажную панель. Диаметр проходного отверстия: ТТ-14 – 14 мм; ТТ-25 – 25 мм; ТТ-70 – 70 мм.

3.1.2.7 Токовые клещи СКИПЕТР-КТ

«Основные функции:

- определение и отображение сопротивления изоляции в отдельном проводнике либо по двум проводам одного присоединения;
- определение и отображение значения тестового тока;
- определение и отображение ёмкости присоединения;
- возможность проведения измерений без постоянной проводной связи с УКИ» [32].

Дополнительные возможности:

- «автоматическая калибровка измерительного датчика при каждом включении клещей;
- удержание показаний на ЖК индикаторе;
- подсветка ЖК индикатора;
- автоматическое отключение клещей после 15 минут бездействия;
- дополнительное звуковое оповещение при нажатии на кнопки, фиксации измеренных значений, завершении синхронизации и перед автоматическим выключением;
- синхронизация с устройством контроля изоляции СКИПЕТР, работающим в режиме генерации тестового тока, по шине CAN;
- возможность измерения и отображения тестового тока в присоединении без синхронизации с УКИ (без расчёта сопротивления)» [32].

Технические характеристики токовых клещей приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Технические характеристики токовых клещей

Параметр	Значение
«Диапазон показаний сопротивления изоляции. кОм:	0...150
Дискретность отображения сопротивления изоляции, кОм	1
Максимальная ёмкость присоединения. мкФ	6
Пофешность определения сопротивления изоляции. %	5-202
Диаметр отверстия между губками, мм	35
Габаритные размеры, мм	205×85×30
Масса, не более, г	380» [21]

3.1.3 Управление и режим работы устройства СКИ

Управление устройством осуществляется с помощью кнопок на лицевой панели. Все параметры задаются в соответствующих пунктах меню, отображаемого на экране устройства.

Основной экран при нормальной работе УКИ – экран отображения результатов контроля сопротивления.

В СКИ СКИПЕТР предусмотрены следующие 6 режимов работы:

- «автоматический режим – основной режим работы УКИ. В этом режиме система постоянно производит контроль сопротивления изоляции сети. В случае обнаружения снижения сопротивления изоляции ниже уставки УКИ автоматически переходит в режим поиска повреждений, находит повреждённое присоединение, записывает данные в архив, и снова продолжает контроль. При этом индикация повреждённого присоединения остаётся активной до момента определения устройством восстановления сопротивления изоляции;
- режим отключения измерений – сервисный режим работы УКИ. В этом режиме все измерительные цепи УКИ отключаются от СОПТ; Данный режим может использоваться для изменения настроек УКИ.
- режим поиска повреждений – режим работы УКИ, при котором производится непрерывный поиск повреждений изоляции по присоединениям. Данный режим может использоваться при ручном поиске повреждений с помощью токоизмерительных клещей СКИПЕТР-КТ;
- режим контроля сопротивления изоляции – режим работы УКИ, при котором производится непрерывный контроль сопротивления изоляции» [32]. В случае обнаружения снижения сопротивления изоляции ниже уставки УКИ выдаёт соответствующее сообщение на экране, но решение о дальнейшем продолжении контроля либо о запуске поиска принимает оперативный персонал;
- «режим измерения ёмкости СОПТ – сервисный режим. В этом режиме УКИ измеряет ёмкость СОПТ» [32];
- режим УКИ-Локатор – это режим, при котором УКИ работает как Локатор. Устройство не осуществляет никакого воздействия на сеть, не производит никаких измерений, только принимает информацию с

подключенных ТТ, оцифровывает и передаёт её по CAN. Используется при объединении нескольких сетей с разными УКИ.

3.1.4 Контроль изоляции и поиск места повреждения

«УКИ начинает контроль сразу же после включения автоматического режима или режима контроля изоляции» [32].

УКИ СКИПЕТР позволяет производить контроль сопротивления изоляции двумя различными методами:

- метод 1 – основной, он оптимален в большинстве случаев и используется по умолчанию;
- метод 2 – дополнительный, он производит измерения дольше, но при этом менее чувствителен к нестабильности напряжения и помехам в сети при ёмкости до 50 мкФ. Оба метода основаны на методе трёх отсчётов вольтметра.

«УКИ СКИПЕТР позволяет выбрать один из двух способов контроля сопротивления изоляции сети – по полюсам или по общему сопротивлению сети. Общее сопротивление изоляции сети рассчитывается как сопротивление изоляции параллельно соединённых сопротивлений изоляции положительного и отрицательного полюсов» [32]. Общее сопротивление изоляции сети будет всегда ниже сопротивления изоляции любого из полюсов, поэтому при одинаковом значении уставки, но различных способах контроля, момент срабатывания будет различным.

«УКИ СКИПЕТР позволяет выбрать один из двух способов отображения напряжения полюсов сети относительно земли и перекоса – с учётом влияния УКИ на сеть и без учёта влияния УКИ» [32].

Поиск присоединения с повреждённой изоляцией запускается автоматически при обнаружении снижения изоляции в автоматическом режиме или вручную. УКИ и Локаторы проводят непосредственно измерения. Время измерения зависит от ёмкости СОПТ. Затем происходят сбор всей информации и обработка измерений, и на экране УКИ в течение нескольких

секунд отображается общая информация об обнаруженных присоединениях со снижением изоляции.

«В режиме непрерывного поиска повреждений УКИ сначала выполняет обычный цикл поиска, по результатам которого отображается общая информация об обнаруженных присоединениях со снижением изоляции, а результат записывается в архив. Основное предназначение режима непрерывного поиска – отыскание места повреждения изоляции при помощи специализированных токовых клещей СКИПЕТР-КТ. Синхронизация клещей и УКИ производится по линии CAN. Для синхронизации клещей и УКИ во время непрерывного поиска необходимо подключить клещи к разъёму USB / CAN на передней панели УКИ» [21].

3.1.5 Особенности подключения и настройки СКИ для СОПТ

«СКИ СКИПЕТР может работать в СОПТ любой сложности. Возможна одновременная работа нескольких УКИ в одной сети или в нескольких связанных сетях» [21].

В проекте под связанными сетями понимаются отдельные ЩПТ (ШОТ-МТ и ШУОТ 2405), устанавливаемые на ПС 220кВ «УГПЗ». В этом случае необходимо обеспечить контроль изоляции у любого включенного объекта независимо от состояния других.

3.1.5.1 Работа в СОПТ с двумя АБ

Для СОПТ с двумя рекомендуется использовать два УКИ, по одному в каждом ЩПТ. УКИ должны быть соединены по CAN. В этом случае следует применять два Т-моста, по одному в каждом ЩПТ.

Настройки УКИ приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Настройки УКИ

ЩПТ-1	ЩПТ-2
Адрес УКИ - 0	Адрес УКИ - 1
Число УКИ в сети CAN - 1	Число УКИ в сети CAN - 1
МультиУКИ - ВЫКЛ	МультиУКИ-ВЫКЛ

Схема подключения УКИ приведена на рисунке 21.

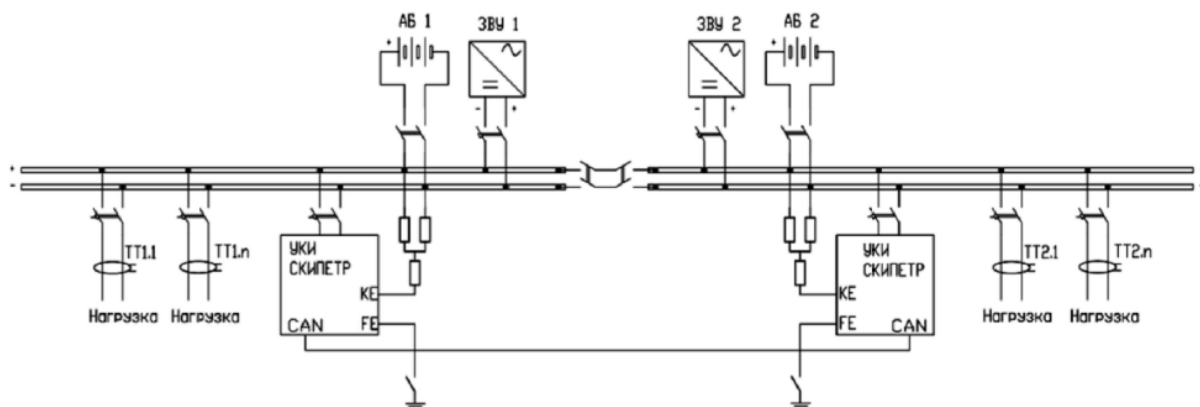


Рисунок 21 - Схема подключения УКИ

«Как правило, основной режим работы такой СОПТ – независимая работа каждого ЩПТ со своей АВ. Разъём FE каждого УКИ должен быть подключен к шине заземления» [9].

«Возможен случай совместной работы двух ЩПТ с одной АВ (например, при выводе одной АВ в ремонт).

Для объединения двух ЩПТ необходимо сделать следующее:

- один из УКИ перевести в режим УКИ-Локатор;
- отключить шину заземления от разъёма FE УКИ в режиме УКИ-Локатор;
- на втором УКИ выбрать (создать) конфигурацию, включающую в себя второй УКИ, работающий в режиме УКИ-Локатор, и Локаторы второго УКИ.
- объединить секции СОПТ» [21].

3.2 Подключения СОПТ к ПТК ССПИ ПС 220/35/6кВ «УГПЗ»

3.2.1 Схема ПТК ССПИ

Существующая схема ПТК ССПИ ПС УГПЗ при установке дополнительных шкафов СОПТ дополняется оборудованием в части аппаратуры ТМ:

- модулем дискретного ввода/вывода типа ЭНМВ-1;
- устройством сбора данных ЭНКС-3м.

Для передачи дискретных сигналов положения защитных аппаратов от ШАБ-МТ, ШОТ- МТ и ШРОТ-МТ в ТС прокладываются контрольные кабели типа КВВГЭнг-LS.

Измерение тока и напряжения в ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ осуществляется с помощью цифровых амперметров и вольтметров с передачей информации от данных устройств по линии связи RS-485 на аппаратуру ТИ [1].

Для передачи информации по интерфейсу RS 485 к аппаратуре ССПИ прокладываются информационные кабели типа FTP cat 5e в существующих кабельных каналах.

3.2.2 Перечень измеряемых и контролируемых параметров

3.2.2.1 Входные сигналы цифровых амперметров и вольтметров нормального режима

При обмене информацией данные приборы являются ведомыми устройствами.

В качестве ведущего устройства выступает промышленный контроллер или аналогичное устройство, управляющее обменом данными в линии.

Информационный обмен между сервером (контроллером) и цифровым амперметром или вольтметром осуществляется по интерфейсу RS-485.

3.2.2.2 Протокол обмена данными по интерфейсу RS-485

Линия связи представляет собой витую пару проводов, которые могут находиться в общем экране. Приборы подсоединяются к линии связи параллельно. Число приборов в канале связи не более 31. Каждый прибор

имеет свой сетевой адрес (от 1 до 247) и может осуществлять обмен данными при различной скорости (бит/с: 4800, 9600, 19200, 38400).

«Обмен данными происходит по инициативе ведущего устройства, посылающего адресный запрос на прибор, с которым предполагается установить связь.

Ведущее устройство формирует и посылает команды управления ведомому устройству. Код функции в запросе сообщает подчиненному устройству, какое действие необходимо провести. Байты данных содержат информацию необходимую для выполнения запрошенной функции.

Ведомое устройство отвечает ведущему устройству в случае, если адрес в принятом сообщении совпал с адресом ведомого устройства» [32].

Объем передаваемых сигналов от цифровых амперметров и вольтметров ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ приведен в таблице 17.

Таблица 17 - Объем передаваемых сигналов от цифровых амперметров и вольтметров ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ

Наименование присоединения	Измеряемая величина	Источник информации	Кол-во сигналов на 1 присоединение	Кол-во сигналов
ШОТ-МТ	Ток	шинки ЕС2.1 и ЕС2.2	1	2
	Напряжение	шинки ЕС2.1 и ЕС2.2	1	2
Всего по ШОТ-МТ			2	4
ШРОТ-МТ	Ток	шинки ЕС2.1 и ЕС2.1	1	2
	Напряжение	шинки ЕС2.1 и ЕС2.2	1	2
Всего по ШРОТ-МТ			2	4
Всего передаваемых сигналов по ТИ			4	8

Формат сообщения в канале связи приведен в таблице 18.

Таблица 18 - Формат сообщения в канале связи

Адрес	Функция	Данные	Циклическая контрольная сумма (CRC)
8 бит	8 бит	N×8 бит	16 бит

Перечень поддерживаемых функций приведен в таблице 19.

Таблица 19 - Перечень поддерживаемых функций

Код функции	Функция
0×01	Чтение регистров флагов
0×03, 0×04	Чтение регистров
0×10	Запись регистров

«Контрольная сумма CRC состоит из двух байт. Контрольная сумма вычисляется передающим устройством и добавляется в конец сообщения. Принимающее устройство вычисляет контрольную сумму в процессе приема и сравнивает ее с полем CRC принятого сообщения» [32].

3.2.2.3 Объем передаваемой телеинформации с ШОТ-МТ, ШРОТ-МТ на верхние уровни управления

Объем передаваемой телеинформации с ШОТ-МТ, ШРОТ-МТ на верхние уровни управления приведен в таблице 20.

Таблица 20 - Объем передаваемой телеинформации с ШОТ-МТ, ШРОТ-МТ на верхние уровни управления

Обозначение	Параметры телеинформации		Объекты передачи телеинформации	
			Сетевой адрес опрашиваемого прибора	Имя прибора
Телеизмерения				
Основные режимные параметры, ШОТ-МТ				
РА1	Сила постоянного тока через шинки ЕС2.1, (А)	$I_{ЕС2.1}$	1	Ща.01
РА2	Сила постоянного тока через шинки ЕС2.2, (А)	$I_{ЕС2.2}$	2	Ща.02
PV1	Напряжение постоянного тока на шинках ЕС2.1, (В)	$U_{ЕС2.1}$	3	Щв.03
PV2	Напряжение постоянного тока на шинках ЕС2.2, (В)	$U_{ЕС2.2}$	4	Щв.04
Основные режимные параметры, ШРОТ-МТ				
РА3	Сила постоянного тока через шинки ЕС2.1, (А)	$I_{ЕС2.1}$	5	Ща.05
РА4	Сила постоянного тока через шинки ЕС2.2, (А)	$I_{ЕС2.2}$	6	Ща.06

Продолжение таблицы 20

Обозначение	Параметры телеинформации		Объекты передачи телеинформации	
			Сетевой адрес опрашиваемого прибора	Имя прибора
PV3	Напряжение постоянного тока на шинках ES2.1, (В)	$U_{ES2.1}$	7	Щв.07
PV4	Напряжение постоянного тока на шинках ES2.2, (В)	$U_{ES2.2}$	8	Щв.08

3.2.2.4 Подключение цифровых приборов к цепи интерфейса

Подключение цифровых приборов к цепи интерфейса производится с помощью розеток, входящих в комплект поставки, витой парой в экране, согласно рисунка 22 [38].

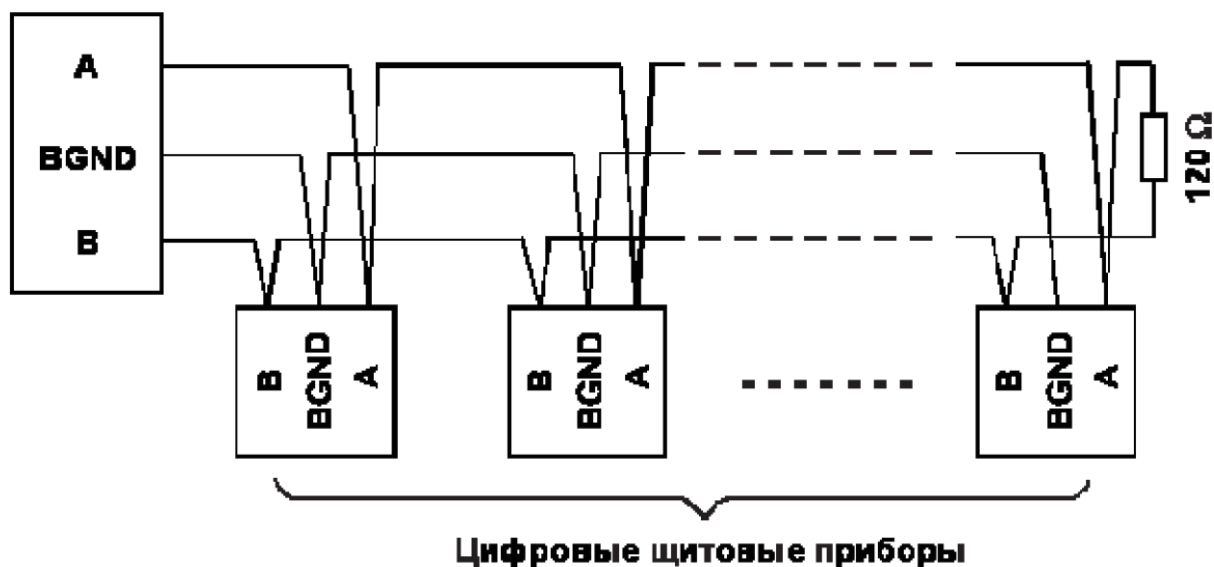


Рисунок 22 - Схема соединения цифровых приборов

3.2.2.5 Входные дискретные сигналы

Источниками сигналов событий и тревоги являются:

- блок-контакты коммутационных аппаратов (предохранительные разъединители, контакторы, автоматы, выключатели-разъединители);

- контакты модуля для подключения внешних соединений в цепях ТМ (вспомогательные системы) [35].

Для сбора информации ТС устанавливается модуль дискретного ввода/вывода ЭНМВ-1, для передачи телемеханической информации с объектов различного уровня устанавливается УСД ЭНКМ-3м.

Объем дискретных входных сигналов оборудования ССПИ от шкафов СОПТ представлен в таблице 21.

Таблица 21 - Объем дискретных входных сигналов оборудования ССПИ от шкафов СОПТ

Контролируемый объект	Параметры входной информации		
	Наименование	Источник информации	Количество сигналов
ШАБ-МТ			
Контактор	Положение «Отключено»	Сигнальные контакты	1
Предохранительные разъединители первого уровня защиты	Положение «Включено»	Сигнальные контакты	2
ШОТ-МТ			
Автоматические выключатели ЗВУ	Положение «Включено»	Сигнальные контакты	2
I/O Monitor Type 2	Общая авария	«Аварийное реле»	1
ШРОТ-МТ			
Выключатели-разъединители третьего уровня защиты	Положение «Включено»	Сигнальные контакты	3
Итого ТС			9

УСД ЭНКС-3м функционирует по жесткому программному алгоритму в режиме реального времени и таким образом обеспечивает высокие показатели быстродействия и надежности.

Опрос устройств по протоколу позволяет перенести основные задачи обработки телеметрии на уровень распределенных по объекту устройств: срабатывание апертур телеизмерений, формирование журналов событий и присвоение меток времени событиям - все это происходит в опрашиваемых устройствах ЭНМВ-1.

Выводы по разделу 3.

«Утечки на землю в системах питания оперативного постоянного тока могут являться причинами различных видов аварий вне зависимости от повреждения изоляции положительного или отрицательного полюса. Замыкание на землю может вызывать ложную работу или отказ защит, создавая угрозу для нормального функционирования системы питания» [21].

Для обеспечения возможности быстрого и точного поиска утечки в шкафах ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ устанавливается автоматическая пофидерная система контроля изоляции (СКИ) «СКИПЕТР».

СКИ включает в себя следующие основные компоненты:

- устройство контроля изоляции (УКИ);
- приемники-локаторы (Локатор);
- датчики тока – специальные измерительные трансформаторы тока (ТТ);
- специализированные токовые клещи СКИПЕТР-КТ для ручного поиска повреждений.

Локаторы подключаются к УКИ посредством шины CAN.

«УКИ производит постоянный контроль сопротивления изоляции путём попеременного подключения к полюсам сети известного сопротивления и измерения напряжения полюсов относительно земли. В случае обнаружения снижения сопротивления ниже заданного значения система сигнализирует об этом и осуществляет поиск присоединения с повреждённой изоляцией» [21].

Таким образом, в работе были определены состав и параметры элементов системы СКИ. Поскольку на подстанции планируется независимая работа каждого ЩПТ со своей АБ, то устанавливается два УКИ.

Существующая система сбора и передачи информации при установке дополнительных шкафов СОПТ дополняется оборудованием в части телемеханики: модулем дискретного ввода/вывода типа ЭНМВ-1 и устройством сбора данных ЭНКС-3м.

Заключение

Выполнен анализ системы собственных нужд подстанции «УТПЗ». Определены нагрузки собственных нужд и произведены расчёты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ для выбора коммутационной аппаратуры, кабелей и другого электрооборудования. Расчет произведен для 8 точек КЗ. Для каждой точки определены значения металлического и дугового трех-, двух- и однофазного коротких замыканий.

Выбраны автоматические выключатели Schneider Electric C60N для защиты зарядно-выпрямительных устройств нового шкафа ШОТ при подключении его к ЩСН. АВ проверены по условию защиты от перегрузки, на стойкость к токам КЗ и по условию чувствительности.

Выполнен расчет для кабелей ВВГнг-LS 5×6 от ЩСН до ввода в новый шкаф ШОТ-МТ на термическую стойкость при КЗ. В соответствии с циркуляром Ц-02-98(Э) кабель будет пригоден к дальнейшей эксплуатации после КЗ, т.к. температура нагрева токопроводящих жил не превысит 160 °С.

В соответствии с пунктом 9.3.1.7 норм технологического проектирования подстанций на ПС 220 кВ должно применяться 2 АБ. Таким образом, на ПС предусмотрена установка второго дополнительного шкафа управления (ШУОТ) с новой аккумуляторной батареей (АБ), двумя зарядно-подзарядными устройствами (ЗПУ) и распределительного шкафа (ШРОТ).

От щита постоянного тока питаются следующие потребители:

- электромагниты включения и отключения выключателей ОРУ и КРУ;
- устройства релейной защиты и автоматики подстанции;
- блок аварийного освещения;
- аппаратура АСУТП и связи.

В работе выполнен расчет числа элементов аккумуляторной батареи PowerSafe Vb. На ПС необходимо применить 18 аккумуляторных блоков напряжением 12 В, что соответствует 108 элементам. Построена диаграмма

суммарной нагрузки СОПТ. Установившийся ток нагрузки СОПТ не превышает 10 А, а максимальный толчковый ток 72 А. Определена разрядная характеристика и емкость АБ, которая составила 100 Ач. Определены требуемые характеристики ЗУ в части обеспечения режимов заряда и подзаряда, мощность ЗПУ. В результате выбрано два ЗВУ типа Flatpack2, каждое из которых состоит из 4-х модулей для обеспечения требуемого выходного тока и мощности.

Выбраны проводники для подключения ЗПУ, а также от АБ до потребителей, все проводники были проверены по потерям напряжения. Произведен расчет токов КЗ в цепях постоянного тока. Выбраны автоматические выключатели нижнего уровня защиты (для защиты цепей управления выключателей 35 и 220 кВ, цепей питания РЗА), среднего уровня защиты (для подключения потребителей к шинкам в шкафу ШРОТ-МТ и ШОТ-МТ) и высшего уровня защиты (от АБ до шинок и от ЗПУ до шинок). Выбранные аппараты проверялись на чувствительность и на отключающую способность.

«Утечки на землю в системах питания оперативного постоянного тока могут являться причинами различных видов аварий вне зависимости от повреждения изоляции положительного или отрицательного полюса. Замыкание на землю может вызывать ложную работу или отказ защит, создавая угрозу для нормального функционирования системы питания» [21].

Для обеспечения возможности быстрого и точного поиска утечки в шкафах ШОТ-МТ и ШРОТ-МТ устанавливается автоматическая пофидерная система контроля изоляции (СКИ) «СКИПЕТР».

СКИ включает в себя следующие основные компоненты:

- устройство контроля изоляции (УКИ);
- приемники-локаторы (Локатор);
- датчики тока – специальные измерительные трансформаторы тока (ТТ);

- специализированные токовые клещи СКИПЕТР-КТ для ручного поиска повреждений.

Локаторы подключаются к УКИ посредством шины CAN.

«УКИ производит постоянный контроль сопротивления изоляции путём попеременного подключения к полюсам сети известного сопротивления и измерения напряжения полюсов относительно земли. В случае обнаружения снижения сопротивления ниже заданного значения система сигнализирует об этом и осуществляет поиск присоединения с повреждённой изоляцией» [21].

Таким образом, в работе были определены состав и параметры элементов системы СКИ. Поскольку на подстанции планируется независимая работа каждого ЩПТ со своей АБ, то устанавливается два УКИ.

Существующая система сбора и передачи информации при установке дополнительных шкафов СОПТ дополняется оборудованием в части телемеханики: модулем дискретного ввода/вывода типа ЭНМВ-1 и устройством сбора данных ЭНКС-3м.

Список используемых источников

1. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергия. 2000. 608 с.
2. Голубев М.А. Защита вторичных цепей от коротких замыканий. Библиотека электромонтера. Вып.548. М.: Энергоиздат. 2002. 80 с.
3. ГОСТ 22483-2012 Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100953> (дата обращения: 19.12.2023).
4. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М: Изд-во стандартов. 1993.
5. ГОСТ 29176-91 Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004631> (дата обращения: 19.12.2023).
6. ГОСТ 50571.16-2019 Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data/708/70834.pdf> (дата обращения: 19.12.2023).
7. ГОСТ Р 52736-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. М: Изд-во стандартов. 2007.
8. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учебное пособие для вузов: Энергоатомиздат. 2005. 312 с.
9. Гумин И.Я. Вторичные схемы электрических станций и подстанций. М.-Л.: Энергия. 2004. 176 с.
10. Гуревич В.И. Вторичные источники электропитания. Электротехнический рынок. 2009. № 1. С. 45-50.
11. Гусев Ю.П. Короткие замыкания в электроустановках

собственных нужд электростанций и подстанций. Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ. 2003. 44 с.

12. Гусев Ю.П., Шиша М.А. Проверка кабелей электроустановок напряжением до 1 кВ на термическую стойкость и невозгораемость. Электро. 2001. №1. С.36-38.

13. Жуков В.В. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: НЦ ЭНАС. 2001. 152 с.

14. Каминский Е.А. Что нужно знать об изоляции цепей оперативного тока. М.- Л.: Госэнергоиздат. 2009. 64 с.

15. Кобылянский А.В. Контроль изоляции сетей постоянного тока. Электрические станции. 2009. № 6. С.90-92.

16. Кондахчан В.С. Ложная работа защиты при замыканиях в цепи оперативного тока. Электрические станции. 2001. № 13. С.38.

17. Кушнарев Ф.А. Повышение надежности системы оперативного постоянного тока электростанций и подстанций средствами управления. Электрические станции. 2004. №4. С. 45-47.

18. Мильман О.О. Проблемы электроэнергетики и энергосбережения Обнинск, 16 апр., 2009: Сб. избранных докладов. Обнинск: Изд-во ГНЦ РФ «ФЭИ». 2000. С. 30-38.

19. Небрат И.Л. Расчеты токов короткого замыкания в сетях 0, 4 кВ. Санкт-Петербург. 2001. 58 с.

20. Оборудование, технологии и материалы, допущенные к применению на объектах ПАО «Россети» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosseti.ru/suppliers/technical-policy/equipment-quality-control/> (дата обращения: 19.12.2023).

21. Овсянников А.А. Автоматизация поиска замыканий на землю в оперативных цепях постоянного тока. Электрические станции. 2002. № 2. С.61-63.

22. Положение ОАО «РОССЕТИ» о единой технической политике в электросетевом комплексе [Электронный ресурс]. URL: <https://rosseti->

lenenergo.ru/upload/_about/tehnicheskay_politika/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BE%20%D0%95%D0%A2%D0%9F.pdf (дата обращения: 16.05.2024).

23. Поляков А.М. Разработка методики и технических средств расчетного и экспериментального определения токов короткого замыкания от аккумуляторных батарей с учетом изменения их параметров в процессе эксплуатации. Диссертация к.т.н. М., МЭИ, 2001. 164 с.

24. Потемкин В.В. Разработка методов и средств отыскания места снижения сопротивления изоляции в сетях постоянного оперативного тока. Дис.канд. техн. наук: Томск, 2000. 177 с.

25. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. М.: Энергия. 2004. 176 с.

26. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. [Электронный ресурс]. URL: https://nipo-rusenergo.ru/images/SOPT/STO_56947007-29.120.40-2010.pdf (дата обращения: 19.12.2023).

27. СТО 56947007-29.120.40.093-2011. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004631> (дата обращения: 19.12.2023).

28. СТО 56947007-29.120.40.262-2018 Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения. ПАО «ФСК ЕЭС». 2018.

29. Сыромятников И.А. Методика определения ущерба от перерывов в электроснабжении, надежность электроснабжения. М.: Энергия, 2006. С. 21-35.

30. Тейлор Р. Система постоянного тока для тепловых и гидроэлектростанций. Подстанции переменного тока под ред. Г.К. Вишнякова. 2007. 85 с.

31. Титаренко М.В. Устройство контроля изоляции цепей

постоянного тока. Промышленная энергетика. 2009. № 2. С.24-25.

32. Устиков В.А. Устройство сигнализации снижения уровня изоляции в цепях напряжения постоянного тока 24-220 В. Электрические станции. 2008. № 12. С.74-75.

33. Цапенко Е.Ф. Контроль изоляции в сетях до 1000 В. М.: Энергия. 2002. 152 с.

34. Ahmed M., Abdelrahem M., Harbi I., Kennel R. Evaluation of predictive direct current and direct power control for grid-connected PV systems // 2020 5th IEEE Workshop on the Electronic Grid (eGRID), Aachen, Germany, 2020, pp. 1-6.

35. Barra M. T. M., Santos M. S., de Souza V. R. F. B., Costa F. B., Barros L. S., Liu Y. Comparison between two-level and modular multilevel converters in high voltage direct current systems under fault conditions. // 2021 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS), Brasilia, Brazil, 2021, pp. 1-6.

36. Elnady A., Suleiman M.S. Comparative analysis of direct and indirect current control of master-slave scheme for microgrid // 2022 International Conference on Power Energy Systems and Applications (ICoPESA), Singapore, Singapore, 2022, pp. 83-89.

37. Tian C., Sun K., Sun Y., Pang Y., An P., Diao S. Operation control strategy of low voltage direct current supply and utilization system // 2022 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Changsha, China, 2022, pp. 1548-1553.

38. Zhang D., Qin Q., Wang B. Research on a new hysteresis control technology for flexible high-voltage direct current transmission. // 2019 IEEE 2nd International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering (AUTEEE), Shenyang, China, 2019, pp. 568-571.