



Адрес: 603000,  
г.Н.Новгород,  
ул.Славянская, 33  
Телефон: (8312) 33-66-07  
Факс: (8312) 33-70-33

**ЗАО "Группа компаний "Электрощит"-ТМ-Самара"**  
**Филиал "ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ-НН-СЭЩ"**

Организация цепей оперативного тока =220В для  
КТПБ 35/6(10)кВ с использованием шкафов управления  
оперативным током (ШУОТ) серий 2404, 2405, 2406  
производства ОАО «Завод «Инвертор».

**10408ТМ-Т1**



ЗАО "Группа компаний "Электроцит" - ТМ - Самара"  
Филиал "ЭНЕРГОСЕТЫПРОЕКТ - НН - СЭЦ"

Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ  
35/6(10)кВ с использованием шкафов управления оперативным  
током (ШУОТ) серии 2404, 2405, 2406 производства  
ОАО «Завод «Инвертор».  
(Избранное)

**10408ТМ-Т1Г.**

Технический директор

А.И.Федоровская

## АННОТАЦИЯ

Для организации системы оперативного постоянного тока =220В (СОПТ) в настоящее время применяются различные устройства. Для КТПБ 35/6(10)кВ в качестве источников постоянного оперативного тока =220В могут быть использованы шкафы управления оперативным током разных серий производства ОАО «Завод «Инвертор».

Филиалом “ЭСП-НН-СЭЦ” в соответствии с Техническим заданием к договору №47/0107 - «Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ 35/6(10)кВ с использованием шкафов управления оперативным током (ШУОТ) серий 2404, 2405, 2406 производства ОАО «Завод «Инвертор» - в 2007 году выполнена Типовая работа. В ней в качестве источников оперативного постоянного тока рассматриваются шкафы управления оперативным током серий 2404, 2405, 2406.

В данном тексте работы, в связи со снятием с производства серии 2404, отражены только положения, касающиеся шкафов управления оперативным током нового поколения с микропроцессорной системой управления серий 2405 и 2406. Производство серии 2405 освоено в 2007 году. Выпуск осуществляется согласно ТИДЖ.435361.001ТУ, сертификат соответствия №РОСС RU.AE63.H00414, свидетельство об оценке соответствия энергетического оборудования Федеральным нормам промышленной безопасности на объектах РАО «Газпром» №Э-053. Освоение производством серии 2406 завершено в 1 квартале 2008 года. Выпуск осуществляется согласно ТИДЖ.435361.003ТУ.

В работе произведён анализ нагрузок потребителей постоянного оперативного тока =220В, в зависимости от типа главной схемы электрических соединений КТПБ. Приведена методика расчета токов короткого замыкания при работе СОПТ =220В от аккумуляторной батареи (расчеты выполнены в соответствии с ГОСТ 29176-91). На конкретном примере выполнен расчёт сечения кабелей и выбор автоматических выключателей отходящих фидеров щита постоянного тока.

Приведены рекомендации по организации СОПТ =220В от шкафов управления оперативным током серии 2405, 2406, в том числе для выполнения ими функций щита постоянного тока (ЩПТ) с соблюдением требований «Норм технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» СО 153 – 34.20.122-2006.

Рассмотрены варианты использования различных систем контроля сопротивления изоляции цепей ЩПТ, с возможностью автоматизированного поиска повреждённого (вследствие замыкания на «землю») присоединения ЩПТ.

В настоящий текст Типовой работы конструкторской службой завода-изготовителя внесены изменения и дополнения, произошедшие после её выполнения. В случае возникновения необходимости при проектировании объектов в конкретных чертежах и приложениях, наименования которых указаны в содержании, они высылаются по письменному запросу.

Типовая работа является собственностью ООО «Торговый Дом Инвертор» и подлежит использованию исключительно для целей проектирования объектов с использованием шкафов управления оперативным током производства ОАО «Завод «Инвертор» и подбора их конфигурации для заказа. Иное использование, как в целом, так и отдельных частей, допускается только с письменного согласия ООО «Торговый Дом Инвертор».

## Содержание

1. Расчет нагрузок постоянного тока.
  - 1.1. Главные схемы КТПБ. Потребители постоянного оперативного тока =220В.
  - 1.2. Режимы работы подстанции. Определение длительной и толчковой нагрузок.
2. Выбор источников постоянного тока =220В
  - 2.2. Технические характеристики шкафа управления оперативным током ШУОТ-2405.
  - 2.3. Технические характеристики шкафа управления оперативным током ШУОТ-2406.
  - 2.4. Рекомендации по применению различных типов шкафов управления оперативным током.
  - 2.5. Выбор аккумуляторной батареи.
3. Организация цепей оперативного постоянного тока =220В.
  - 3.1. Требования к системе оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС.
  - 3.2. Выбор кабеля питания шкафов ШУОТ.
  - 3.3. Рекомендации по организации СОПТ =220В от шкафов ШУОТ.
  - 3.4. Выбор сечения кабелей в СОПТ =220В.
  - 3.5. Выбор автоматов в СОПТ =220В
  - 3.6. Расчет токов короткого замыкания в СОПТ =220В.
4. Контроль изоляции в СОПТ =220В.

Чертежи:

1. Типовая организация СОПТ =220В на базе ШУОТ, для КТПБ 35/6(10)кВ по главной схеме 35-5Н
2. Схема подключение устройства мигающего света ППБ-21М
3. Схема подключения устройства ИПИ-1М
4. Организация контроля сопротивления изоляции с применением системы Vigilohm System
5. Организация контроля сопротивления изоляции с применением системы A-ISOMETER

Приложения:

- Приложение 1. Главные схемы электрических соединений
- Приложение 2. Данные по потреблению ЭВ и ЭО выключателей 6(10) и 35кВ.
- Приложение 3. Опросные листы на поставку шкафов управления оперативным током (ШУОТ) серий: 2405, 2406
- Приложение 4. Данные на привода высоковольтных выключателей 10кВ, с указанием рекомендуемых для их защиты автоматических выключателей типа: АП50Б2(3)МТ, LSN, ВА25-29
- Приложение 5. Ориентировочные значения переходных сопротивлений контактов отключающих аппаратов и катушек расцепителей максимального тока автоматических выключателей
- Приложение 6. Зависимость величины поправочного коэффициента  $K_c$  от результирующего сопротивления цепи короткого замыкания.
- Приложение 7. Результаты расчетов ТКЗ, выбор отходящих автоматов, кабелей в СОПТ =220В, организованной на базе ШУОТ

## 1. Расчет нагрузок постоянного тока.

### 1.1. Главные схемы КТПБ. Потребители постоянного оперативного тока =220В.

Институтом “ЭСП-НН-СЭЦ” был проведен анализ нагрузок постоянного оперативного тока =220В для КТПБ 35/6(10)кВ, по главным электрическим схемам, приведённым в работе: «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750кВ. Типовые решения.», Энергосетьпроект, 2006г.:

- **35-3Н** – блок (линия-трансформатор) с выключателем (см. Приложение 1, Рис. 1);
- **35-4Н** - два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий 35кВ (см. Приложение 1, Рис. 2);
- **35-5Н** – мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий (см. Приложение 1, Рис. 3);
- **35-5АН** – мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов (см. Приложение 1, Рис. 4);
- **35-9** – одна рабочая, секционированная выключателем, система шин (см. Приложение 1, Рис. 5).

Потребители постоянного оперативного тока =220В для указанных главных схем КТПБ разнообразны по мощности и режиму потребления. Всех потребителей постоянного оперативного тока =220В можно разделить на три группы:

- постоянно включенная нагрузка – аппараты устройств управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты, постоянно обтекаемые током (питание от шинок:  $\pm EN1$ ,  $\pm EN3$ ,  $\pm EC1$ ,  $\pm EC3$ ). Постоянная нагрузка, как правило, невелика и для рассматриваемых КТПБ составляет порядка 5-10А;
- временная нагрузка – появляется при исчезновении переменного тока во время аварийного режима: аварийное освещение. В случае применения светильников аварийного освещения типа: EFS45, EFS380 со встроенной аккумуляторной батареей (производства компании «Световые технологии»), запитывающихся от сети переменного тока 220В, 50Гц, временная нагрузка не учитывается. При использовании аварийных светильников, не имеющих аккумуляторную батарею, длительность нагрузки определяется длительностью аварийного режима. Длительность аварийного режима, в соответствии с «Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750кВ» СО 153-34.20.122-2006, должна составлять не менее 2 часов.
- кратковременная (толчковая) нагрузка (длительностью не более 1с) – создается токами включения и отключения электромагнитных приводов выключателей 6(10) и 35кВ (питание от шинок:  $\pm EY$ ,  $\pm EC1$ ,  $\pm EC3$ ).

Пример типовой организации постоянного оперативного тока =220В на базе ШУОТ, для КТПБ 35/6(10)кВ по главной схеме 35-5Н приведён на чертеже 10408тм-т1 см. лист 49.

Данные по потреблению электромагнитов включения (ЭВ) и электромагнитов отключения (ЭО) выключателей 6(10) и 35кВ, работающих на постоянном токе, приведены в Приложении 2.

Для определения величины толчковой нагрузки, при конкретном проектировании, рассматриваются различные аварийные режимы работы КТПБ, для дальнейшего расчёта выбирается режим, имеющий наибольшее значение толчковой нагрузки.

## 1.2. Режимы работы подстанции. Определение длительной и толчковой нагрузок.

Для рассмотрения режимов работы подстанции в качестве примера выбрана главная схема № 35-5Н – “Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий” (см. Приложение 1, Рис. 3). На подстанциях с данной главной схемой имеется 3 присоединения (две линии и перемычка) на стороне 35кВ и до 12 ячеек отходящих линий на стороне 6(10)кВ.

Возможны следующие аварийные режимы работы ПС:

1. Включение по АВР выключателя автоматической перемычки 35кВ.

2. Срабатывание дифзащиты трансформатора. При этом происходит отключение трёх выключателей:

- выключателя линии 35кВ;
- выключателя автоматической перемычки 35кВ;
- выключателя ввода: 6(10)кВ;

после чего производится включение по АВР секционного выключателя 6(10)кВ.

3. Режим срабатывания устройства АЧР. Может одновременно отключиться до трех выключателей 6(10)кВ, с последующим их включением по ЧАПВ. При этом допускается одновременное включение до 3х выключателей 6(10)кВ, если ток потребления электромагнита включения каждого выключателя не превышает 25А (например: ВВУ-СЭЩ-ЭЗ-10-20 производства ОАО «Самарский завод «Электрощит»»), если электромагнит выключателя имеет большее токовое потребление, необходимо предусмотреть разнесение по времени моментов включения выключателей по ЧАПВ.

Предположим, что на рассматриваемой КТПБ 35/6(10)кВ установлены следующие выключатели:

- на стороне 6(10)кВ: ВВУ-СЭЩ-ЭЗ-10-20 (ОАО “Самарский завод «Электрощит”)

$I_{эв}=25\text{А}, I_{эо}=1\text{А};$

- на стороне 35кВ: ВВУ-35 (ОАО «КЭМЗ», г.Карпинск)

$I_{эв}=100\text{А}, I_{эо}=2,5\text{А}.$

С учётом выбранного оборудования, аварийным режимом с наибольшим значением ударного тока будет являться: включение по АВР выключателя автоматической перемычки 35кВ,  $I_{эв}=100\text{А}.$

Постоянная нагрузка для всех рассматриваемых главных схем КТПБ 35/6(10)кВ составляет порядка 5-10А. Основное потребление составляют микропроцессорные устройства РЗА (порядка 30 устройств), а также электромеханические реле и светодиодные индикаторы.

Суммарная нагрузка (постоянная и толчковая) оперативного тока =220В, для рассматриваемого варианта КТПБ будет составлять:

$$I_{нг\sum} = 10 + 100 = 110\text{А}.$$

Для других типов КТПБ 35/6(10)кВ суммарная нагрузка должна уточняться при конкретном проектировании. После определения нагрузок можно переходить к выбору источников постоянного оперативного тока =220В. В данной работе, в качестве источника постоянного оперативного тока =220В, рассматриваются шкафы управления оперативным током (ШУОТ) серий 2405 и 2406 производства ОАО «Завод «Инвертор» (г.Оренбург).

## 2. Выбор источников постоянного тока =220В.

В данной работе в качестве источников постоянного оперативного тока =220В, для КТПБ 35/6(10)кВ рассматриваются шкафы управления оперативным током производства ОАО «Завод «Инвертор» серий 2405 (ШУОТ-2405 ТИДЖ.435361.001ТУ) и 2406 (ШУОТ-2406 ТИДЖ.435361.003ТУ).

### 2.2. Технические характеристики шкафа управления оперативным током ШУОТ-2405.

Шкаф предназначен для питания цепей постоянного тока напряжением 110, 220В в распределительных устройствах, системах аварийного питания, освещения, других потребителей в условиях эксплуатации УХЛ4 по ГОСТ 15150.

Структура условного обозначения:

ШУОТ	Шкаф управления оперативным током
2	НКУ управления, измерения, сигнализации, автоматики и защиты главных щитов управления подстанций
4	НКУ общестанционных устройств
05	Порядковый номер разработки
XX	Номинальный выходной ток 20...100А
XXX	Выходное напряжение 230 (180...240), 115 (90...120)В
X	Исполнение по резервированию 1,2*
УХЛ	Климатическое исполнение
4	Категория размещения

\*Исполнение по резервированию: 1 – с двумя независимыми каналами питания, с АВР, с одним силовым трансформатором на входе; 2 – с двумя независимыми каналами питания, без АВР, с двумя силовыми трансформаторами на входе по схеме параллельного питания от двух независимых источников и с разъединителями на выходе выпрямителя перед объединёнными шинами постоянного тока.

Пример записи условного обозначения шкафа с входным напряжением 380В, 50Гц, с номинальным выходным напряжением 230В, номинальным выходным током 30А, с АВР, для поставок в страны с умеренным климатом:

- в стандартном исполнении:

«Шкаф управления оперативным током ШУОТ-2405-30-230-1-УХЛ4, ТИДЖ.435361.001ТУ»

- в нестандартном исполнении:

«Шкаф управления оперативным током ШУОТ-2405-30-230-1-УХЛ4, ТИДЖ.435361.001ТУ, по опросному листу»

В стандартном исполнении в состав шкафа управления оперативным током входят:

- шкаф подзарядного устройства полупроводниковый (ПЗУ), состоящий из двух управляемых тиристорных выпрямителей (ПЗУ1 и ПЗУ2) с двумя микропроцессорными системами контроля и управления, осуществляющих питание нагрузки выпрямленным стабилизированным напряжением, а также заряд и подзаряд аккумуляторной батареи (АБ);

- шкаф аккумуляторный с комплектом аккумуляторных батарей, осуществляющих снижение пульсаций выпрямленного напряжения, компенсацию энергопотребления при пиковых нагрузках, превышающих мощность ПЗУ и, в случае перерывов в электроснабжении, обеспечение нагрузки электроэнергией.

Шкафы управления оперативным током серии 2405 выпускаются с номинальным выходным током 20, 30, 40, 50, 63, 70, 80, 90, 100А. Далее приведены технические характеристики шкафов управления оперативным током на наиболее часто применяемые выходные токи.



### 2.2.1. Технические характеристики ПЗУ.

Входные характеристики ПЗУ указаны в Таблице 4.

Таблица 4.

Наименование показателя	Выходное напряжение, В							
	230				115			
	Выходной ток, А							
	20	30	63	80	20	30	63	80
1. Номинальное линейное напряжение, 3-х фазное, В	220...660							
2. Допустимые колебания входного напряжения, %	-10; +10 (-15; +10)							
3. Номинальная частота, Гц	50							
4. Колебания частоты, допустимые, %	±5							
5. Номинальная потребляемая мощность (с заряженной АБ),	9,1	13,7	28,8	36,5	4,75	7,1	14,4	18,25
6. Номинальный входной ток (с заряженной АБ), А	13,8	20,5	43,8	55,5	7,2	10,8	21,9	27,8
7. Коэффициент полезного действия в номинальном режиме, %, не менее	87	87	87	87	87	87	87	87
8. Коэффициент мощности, cosφ,	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
9. Максимальная потребляемая мощность (при заряде АБ), кВА	10,9	16,4	34,5	43,8	5,48	8,2	17,3	21,9

Выходные характеристики ПЗУ указаны в Таблице 5.

Таблица 5

Наименование показателя	Выходное напряжение, В	
	230	115
1. Номинальное выходное напряжение, В	230	115
2. Номинальный выходной ток, А	20, 30, 63, 80	
3. Диапазон регулирования выходного напряжения на нормальном уровне (режим «Подзаряд»), В	180-240	90-120
4. Диапазон регулирования выходного напряжения на повышенном уровне (режим «Заряд»), В	180-250	90-135
5. Точность стабилизации выходного напряжения ПЗУ в указанном диапазоне регулирования без АБ, не более, %	±0,5	±0,5
6. Диапазон регулирования тока заряда АБ в режиме стабилизации тока, А	от 1 до 20	от 1 до 20
7. Точность стабилизации тока заряда АБ в режиме стабилизации тока в указанном диапазоне регулирования, не более, %	±1	±1

Продолжение Таблицы 5.

Наименование показателя	Выходное напряжение, В	
	230	115
8. Коэффициент пульсации выходного напряжения при номинальной нагрузке, не более, %	±2	±2
9. Диапазон регулирования максимально допустимого тока в режиме токоограничения	(0,9-1,2) I <sub>ном</sub>	(0,9-1,2) I <sub>ном</sub>
10. Система заряда АБ	DIN 41773 (I/U)	
11. Количество отходящих линий	12*	

\* может изменяться по требованию потребителя

## 2.2.2. Технические характеристики АБ

Технические характеристики АБ указаны в Таблице 6.

Таблица 6.

Наименование показателя	Выходное напряжение ПЗУ, В	
	230	115
1. Номинальная емкость аккумуляторов (C20) до 1.75 В, А·ч	65*	65*
2. Рекомендуемое количество аккумуляторов номинальным напряжением 12 В, шт.	17*	9*
3. Номинальное напряжение, В	204	108
4. Напряжение заряда, В	от 234 до 242	от 118 до 125
5. Напряжение подзаряда, В	230	115
6. Напряжение в конце разряда, В	от 180 до 192	от 90 до 95
7. Время работы от АБ в аварийном режиме при токе нагрузки 30 А, часов, не менее	1*	1*

\* может изменяться по требованию потребителя, в зависимости от номинального выходного тока и необходимого времени поддержки от аккумуляторных батарей.

Питание шкафов осуществляется от двух автономных источников трехфазного напряжения переменного тока.

Параметры качества электроэнергии по ГОСТ 13109 с отклонением напряжения плюс 10 % минус 10 % от номинального значения питающей сети 380 В и плюс 10 % минус 15 % от номинального значения для питающей сети 400 В.

ПЗУ обеспечивает следующие режимы работы:

- базовый режим стабилизации выходного напряжения на нормальном уровне (90-120)В или (180-240)В, соответствующем напряжению подзаряда АБ;
- режим стабилизации выходного напряжения на повышенном уровне (90-135)В или (180-250)В, соответствующем напряжению ускоренного заряда АБ;
- режим стабилизации тока заряда АБ (1-20) А, который автоматически прекращается при достижении выходным напряжением нормального или повышенного уровня.
- режим ограничения тока выпрямителя на уровне (90-120) % от номинального значения.

В установившемся режиме ПЗУ1 включено и находится на нормальном уровне стабилизации выходного напряжения; ПЗУ2 отключено и находится в ожидании команды на включение по отказу ПЗУ1.

ПЗУ обеспечивает:

1) Пуск выпрямителя с плавным нарастанием выходного напряжения до номинального (выставленного) значения. Время нарастания напряжения регулируется в пределах (5-30) с.

2) Автоматическую стабилизацию выходного напряжения в диапазоне регулирования без АБ с точностью  $\pm 0,5$  % от номинального (выставленного) в режиме стабилизации выходного напряжения на нормальном и повышенном уровне при изменении:

- тока нагрузки от 0 до 100 % номинального значения;
- температуры окружающей среды от плюс 1 до плюс 35 °С.

3) Автоматическую стабилизацию тока заряда АБ в диапазоне регулирования с точностью  $\pm 1$  % от выставленного значения.

4) Автоматическое повторное включение ПЗУ при восстановлении напряжения питающей сети после его исчезновения.

5) Возможность питания нагрузки постоянным током до номинального значения выходного тока от 20 до 100А с регулированием напряжения по п. 3 таблицы 5 при отсоединенной АБ.

6) Коэффициент пульсаций  $U_{вых.}$  при номинальной нагрузке и параллельной работе ПЗУ и АБ не более 2 %.

7) ШУОТ-2405 с двумя полностью независимыми каналами обеспечивает распределение тока между ПЗУ1 и ПЗУ2 с отклонением не более 5 % при изменении тока от 50 до 100 %.

8) Автоматический пуск ПЗУ2 при отказе ПЗУ1.

Шкаф управления оперативным током имеет следующие виды защит:

а) защиту от повышения напряжения на входе выпрямителя выше (115-120) % от номинального значения с действием на отключение с выдержкой времени 2 с, с АПВ ПЗУ при понижении напряжения до величины ниже 115 % от номинального значения с задержкой времени на включение (0-300) с;

б) защиту от понижения напряжения на входе выпрямителя ниже (75-80) % от номинального значения с действием на отключение с выдержкой времени 2 с, с АПВ ПЗУ при повышении напряжения до величины более 80 % от номинального значения с задержкой времени на включение (0-300) с;

в) защиту от понижения напряжения на АБ ниже (80-96) % от номинального напряжения, при этом нагрузка отключается от АБ и ПЗУ, а ПЗУ остается в работе;

г) защиту от повышения напряжения на АБ выше (105-115) % от напряжения стабилизации на повышенном уровне с действием на отключение с выдержкой времени 2 с;

д) защиту от перегрузки по току выпрямителя; при этом ПЗУ ограничивает ток на уровне  $(0,9-1,2)I_{ном} = I$  токоограничения в течение времени (0-60) мин с действием на отключение, если перегрузка за это время не исчезает. Переход в режим токоограничения должен происходить на уровне  $(1,05-1,1)I$  токоограничения;

е) защиту от повышения тока выпрямителя выше 295 % от номинального значения (защиту от К.З.) с действием на отключение без выдержки времени;

ж) защиту от понижения напряжения на выходе выпрямителя ниже 50 % от номинального значения при включенном ПЗУ (неисправность ПЗУ); при этом через 5 с включается другое ПЗУ;

з) защиту от обрыва фаз или питания выпрямителя несимметричным входным напряжением (при разности между любыми двумя линейными напряжениями более 25%), при этом АВР переключает ПЗУ на резервный ввод, ПЗУ не отключается;

и) защиту от внутренних коротких замыканий с отключением ПЗУ от питающей сети встроенными защитными устройствами;

к) селективную защиту от внешних коротких замыканий на отходящих линиях.

Примечание - При срабатывании любой защиты с отключением ПЗУ загорается лампа HL1 “Авария”, расположенная на двери ШУОТ и сухими контактами выдается дистанционный сигнал.

В шкафу предусмотрена внешняя сигнализация (сухие контакты):

- 1) неисправность сети (ПЗУ не отключается);
- 2) напряжение АБ min (ПЗУ не отключается);
- 3) снижение сопротивления изоляции (ПЗУ не отключается);
- 4) общая авария (срабатывает при отключении ПЗУ).

Устройство контроля изоляции шкафа срабатывает при снижении сопротивления изоляции оперативных цепей ниже (15-20) кОм для шкафа на 230 В, (6-10) кОм для шкафа на 115 В.

Шкафы управления оперативным током изготавливаются с местным управлением, и обеспечивают дистанционный мониторинг текущих параметров (RS485).

Шкафы управления оперативным током, как правило, комплектуются необслуживаемыми аккумуляторными батареями “Sonnenschein” (страна происхождения Германия) типа А512 со сроком службы до 7 лет, либо А412 со сроком службы 12-15 лет различной емкости. По требованию потребителя возможна комплектация стационарными свинцово-кислотными необслуживаемыми с рекомбинацией газа аккумуляторами других производителей и стран происхождения.

Наиболее подробно с техническими характеристиками можно ознакомиться в «Технических условиях на шкаф управления оперативным током серии 2405, ТИДЖ.435361.001ТУ».

Варианты исполнения представлены в Опросном листе для заказа шкафа управления оперативным током ШУОТ серии 2405 ТИДЖ. 435361.001ТУ (см.Приложение 3).

Общие габаритные размеры шкафов управления оперативным током серии 2405 в исполнении по резервированию 1:

Тип	Габариты, мм (ШхГхВ)	Макс. масса нетто, кг	Мин. ёмкость АБ, А/ч	Мин. к-во АБ, шт.
ШУОТ-2405- 20-115-1-УХЛ4	1110х500х1600	570	65	9
ШУОТ-2405- 30-115-1-УХЛ4	1110х500х1600	570	65	9
ШУОТ-2405- 40-115-1-УХЛ4	1110х500х1600	570	65	9
ШУОТ-2405- 50-115-1-УХЛ4	1410х500х1600	800	65	18
ШУОТ-2405- 63-115-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	36
ШУОТ-2405- 70-115-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	36
ШУОТ-2405- 80-115-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	36
ШУОТ-2405- 90-115-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	36
ШУОТ-2405-100-115-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	36
ШУОТ-2405- 20-230-1-УХЛ4	1410х500х1600	770	65	17
ШУОТ-2405- 30-230-1-УХЛ4	1410х500х1600	770	65	17
ШУОТ-2405- 40-230-1-УХЛ4	1410х500х1600	770	65	17
ШУОТ-2405- 50-230-1-УХЛ4	2220х500х1600	1600	65	34
ШУОТ-2405- 63-230-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	34
ШУОТ-2405- 70-230-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	34
ШУОТ-2405- 80-230-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	34
ШУОТ-2405- 90-230-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	34
ШУОТ-2405-100-230-1-УХЛ4	2420х600х1600	1600	65	34

С сохранением габаритных размеров в исполнении 2 по резервированию изготавливаются шкафы управления оперативным током с номинальным выходным током от 20 до 50А, при этом максимальная масса возрастает ориентировочно на 70кг. В исполнении 1 по резервированию возможно изготовление устройств на токи от 20 до 40А со специальными габаритными размерами -1210х325х1600мм либо 1410х325х1600мм, обеспечивающими их размещение в распределительных устройствах типа КРУН, с аккумуляторными батареями “Sonnenschein” ёмкостью 55 либо 50 А/ч со сроком службы 7 и 12-15 лет соответственно.

### 2.3. Технические характеристики шкафа управления оперативным током ШУОТ-2406.

Шкаф предназначен для питания цепей постоянного тока напряжением 220В в распределительных устройствах, системах аварийного питания, освещения, других потребителей в условиях эксплуатации УХЛ4 по ГОСТ 15150.

Структура условного обозначения:

ШУОТ	Шкаф управления оперативным током
2	НКУ управления, измерения, сигнализации, автоматики и защиты главных щитов управления подстанций
4	НКУ общестанционных устройств
06	Порядковый номер разработки
XX	Номинальный выходной ток 15...30А
230	Выходное напряжение 230 (180...240)В
УХЛ	Климатическое исполнение
4	Категория размещения

Пример записи условного обозначения шкафа с входным напряжением 380В, 50Гц, с номинальным выходным напряжением 230В, номинальным выходным током 30А, для поставок в страны с умеренным климатом:

- в стандартном исполнении:

«Шкаф управления оперативным током ШУОТ-2406-30-230-УХЛ4, ТИДЖ.435361.003ТУ»

- в нестандартном исполнении:

«Шкаф управления оперативным током ШУОТ-2406-30-230-УХЛ4, ТИДЖ.435361.003ТУ, по опросному листу».

В стандартном исполнении в состав шкафа управления оперативным током входят:

- шкаф подзарядного устройства (ПЗУ), состоящий из двух AC/DC высокочастотных преобразователей энергии, с микропроцессорными системами контроля и управления, осуществляющих питание нагрузки выпрямленным стабилизированным напряжением, а также заряд и подзаряд аккумуляторной батареи (АБ);
- шкаф с комплектом аккумуляторных батарей (Шкаф АБ), осуществляющих снижение пульсаций выпрямленного напряжения, компенсацию энергопотребления при пиковых нагрузках, превышающих мощность ПЗУ и, в случае перерывов в электроснабжении, обеспечение нагрузки электроэнергией.

Каждый из AC/DC высокочастотных преобразователей питается от одного из двух вводов трёхфазной сети: основной и резервной. Выпрямленное напряжение с выхода преобразователя через разделительный диод и общий для обоих преобразователей сглаживающий LC-фильтр поступает на выходные шины +Ud, -Ud. Подключение нагрузки к выходным шинам +Ud, -Ud осуществляется контактором. При пуске шкафа управления оперативным током включается преобразователь, питающийся от основной сети. При выходе напряжения основной сети за пределы допуска запускается преобразователь, питающийся от резервной сети. В случае отказа резервной сети питание нагрузки переходит на аккумуляторную батарею.

Шкафы управления оперативным током серии 2406 выпускаются с номинальным выходным током 15, 20, 30А. Далее в Таблице 7 приведены технические характеристики шкафов управления оперативным током серии 2406.

Таблица 7.

Входные характеристики:

Наименование показателя	Величина показателя
Номинальное линейное напряжение, 3-х фазное, В	380
Допустимые колебания входного напряжения, %	-10; +10 (-15; +10)
Номинальная частота, Гц	50
Колебания частоты, допустимые, %	±5
Номинальная потребляемая мощность, кВА	9,22
Номинальный входной ток, А	13,25
Коэффициент полезного действия в номинальном режиме, %, не менее,	85
Коэффициент мощности, cosφ, не менее	0,856

Выходные характеристики:

Наименование показателя	Величина показателя
Номинальное выходное напряжение, В	230
Номинальный выходной ток, А	15, 20, 30
Диапазон регулирования выходного напряжения на нормальном уровне (режим «Подзаряд»), В	180-240
Диапазон регулирования выходного напряжения на повышенном уровне (режим «Заряд»), В	180-250
Точность стабилизации выходного напряжения ПЗУ в указанном диапазоне регулирования, не более, %	±0,5
Диапазон регулирования тока заряда АБ в режиме стабилизации тока, А	от 1 до 30
Точность стабилизации тока заряда АБ в режиме стабилизации тока в указанном диапазоне регулирования, не более, %	±1
Коэффициент пульсации выходного напряжения при номинальной нагрузке и параллельной работе ПЗУ и АБ, не более, %	±2
Диапазон регулирования максимально допустимого тока в режиме токоограничения	(0,9-1,2) I <sub>ном.</sub>
Система заряда АБ	DIN 41773 (I/U)
Количество отходящих линий	12*

\* может изменяться по требованию потребителя

Технические характеристики АБ

Наименование показателя	Величина показателя
Номинальная емкость аккумуляторов (C <sub>20</sub> ) до 1.75 В, А·ч	55*
Рекомендуемое количество аккумуляторов номинальным напряжением 12 В, шт.	17*
Номинальное напряжение, В	204
Напряжение заряда, В	от 234 до 245
Напряжение подзаряда, В	230
Напряжение в конце разряда, В	184
Время работы от АБ в аварийном режиме при токе нагрузки 30А, ч, не менее	1*

\* может изменяться по требованию потребителя

В шкафу предусмотрена внешняя сигнализация (сухие контакты):

1) об обрыве фаз 2) напряжение АБ мин. 3) о снижении сопротивления изоляции цепей оперативного тока	без отключения ПЗУ
4) общая авария	с отключением ПЗУ

Дистанционный мониторинг текущих параметров ШУОТ-2406 осуществляется через интерфейс RS-485. Система управления ПЗУ обеспечивает следующие виды защит выпрямителя и АБ:

- защиту от повышения и понижения напряжения на входе выпрямителя;
- защиту от понижения напряжения на АБ ниже 80–90 % от номинального напряжения;
- защиту от повышения напряжения на АБ выше 105–115 % от напряжения стабилизации на повышенном уровне;
- защиту от перегрузки по току выпрямителя;
- защиту от значительного повышения тока выпрямителя от номинального значения (защиту от К.З.);
- защиту от понижения напряжения на выходе выпрямителя при включенном выпрямителе;
- защиту от обрыва фаз или питания выпрямителя несимметричным входным напряжением.
- селективную защиту от внешних коротких замыканий на отходящих линиях.
- аварийное отключение кнопкой аварийной остановки.

Шкафы управления оперативным током, как правило, комплектуются необслуживаемыми аккумуляторными батареями “Sonnenschein” (страна происхождения Германия) типа А512 со сроком службы до 7 лет, либо А412 со сроком службы 12-15 лет различной емкости. По требованию потребителя возможна комплектация стационарными свинцово–кислотными необслуживаемыми с рекомбинацией газа аккумуляторами других производителей и стран происхождения.

Наиболее подробно с техническими характеристиками можно ознакомиться в «Технических условиях на шкаф управления оперативным током серии 2406, ТИДЖ.435361.003ТУ».

Варианты исполнения представлены в Опросном листе для заказа шкафа управления оперативным током ШУОТ серии 2406 ТИДЖ. 435361.003ТУ (см.Приложение 3).

Общие габаритные размеры шкафов управления оперативным током серии 2406 в стандартном исполнении:

Тип	Габариты, мм (ШхГхВ)	Макс. масса нетто, кг	Мин. ёмкость АБ, А/ч	Мин. к-во АБ, шт.
ШУОТ-2406-15-230-УХЛ4	1210х325х1600	670	55	17
ШУОТ-2406-20-230-УХЛ4	1210х325х1600	670	55	17
ШУОТ-2406-30-230-УХЛ4	1210х325х1600	670	55	17

В стандартном исполнении шкафы управления оперативным током комплектуются аккумуляторными батареями ёмкостью 55 А/ч со сроком службы 7 лет. Возможна комплектация аккумуляторными батареями ёмкостью 50 А/ч со сроком службы 12-15 лет, при этом общие габаритные размеры составят - 1410х325х1600мм.

#### 2.4. Рекомендации по применению различных типов шкафов управления оперативным током серий 2405 и 2406.

Как отмечалось ранее, постоянная нагрузка для главных схем КТПБ 35/6(10)кВ, описанных в разделе 1.1, как правило, составляет порядка 5-10А. В связи с чем, для рассматриваемых КТПБ 35/6(10)кВ можно рекомендовать к применению систему СОПТ на основе следующих шкафов управления оперативным током:

- ШУОТ-2405-20-230-1(2)-УХЛ4;
- ШУОТ-2406-20-230-УХЛ4;
- ШУОТ-2405-30-230-1(2)-УХЛ4;
- ШУОТ-2406-30-230-УХЛ4.

Более предпочтителен вариант исполнения шкафа управления оперативным током серии 2405 по резервированию 2, с двумя полностью независимыми каналами питания и двумя силовыми трансформаторами, поскольку в условиях КТПБ первый и второй каналы питания подключены, соответственно, к секции №1 и секции №2 щита собственных нужд 0,4кВ (ЩСН). Схема ЩСН выполнена с возможностью АВР секционного автомата 0,4кВ. Работа секций 0,4кВ предусматривается по схеме неявного резерва от двух трансформаторов СН. При отключении одного из автоматов ввода 0,4кВ автоматически включается секционный автомат 0,4кВ и подаёт напряжение на обесточенную секцию.

Таким образом, можно выделить следующие основные критерии выбора СОПТ:

1) Применение ШУОТ с номинальным выходным током 30А является более предпочтительным для ответственных потребителей, например, транзитных (проходных или узловых) подстанций 35кВ, через шины которых осуществляются перетоки мощности между отдельными точками сети. В остальных случаях (тупиковые подстанции 35кВ) возможно применение ШУОТ с номинальным выходным током 20А.

2) Применение ШУОТ с дополнительной опцией «Дистанционный мониторинг» оправданно, если на подстанции есть (или планируется) необходимость обеспечивать дистанционный мониторинг текущих параметров посредством цифрового интерфейса RS485.

3) Применение ШУОТ серии 2405 со специальными минимальными габаритными размерами либо ШУОТ серии 2406 рекомендуется для установки в КРУН К-59У1(ХЛ1), либо аналогичном оборудовании, когда ограниченные условия размещения не позволяют применить шкафы управления оперативным током с обычными габаритными размерами

Разница в стоимостных показателях шкафов управления оперативным током с выходным током 20 и 30А на стандартное время поддержки, независимо от серии, при выборе тех или иных габаритных размеров, исполнения по резервированию, дополнительных опций незначительна, что позволяет свободно подбирать необходимую конфигурацию.



## 2.5. Выбор аккумуляторной батареи.

Комплектно со шкафами управления оперативным током поставляются аккумуляторные батареи. Обычно это аккумуляторные батареи «Sonnenschein» (страна происхождения Германия) типа А512 со сроком службы до 7 лет, либо А412 со сроком службы 12-15 лет различной емкости. Допускается установка аккумуляторных батарей других типов и производителей.

Аккумуляторная батарея должна обеспечивать номинальный ток в нагрузке не менее 1 часа (по ТИДЖ.435361.001ТУ, ТИДЖ.435361.003ТУ) или не менее 2 часов (в соответствии с Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750кВ СО 153-34.20.122-2006).

Электрические параметры аккумуляторов типа А512 приведены в Таблице 8.

Таблица 8.1.

Разрядный ток аккумуляторной батареи, А (при конечном напряжении 1,80 В/элемент)						
Тип	30 мин	1 час	2 часа	3 часа	5 часов	8 часов
A512/55	55,8	38,0	н/д	15,4	10,2	6,76
A512/65	56,21603	41,1	25	17,6	11,9	8,0
A512/85	94,7	62,5	36	25,1	16,4	10,8
A512/115	118,5	70,7	42	28,6	17,7	13,0
Разрядный ток аккумуляторной батареи, А (при конечном напряжении 1,85 В/элемент)						
Тип	30 мин	1 час	2 часа	3 часа	5 часов	8 часов
A512/55	51,6	36,4	н/д	15,0	9,9	6,63
A512/65	51,9	38,1	23,5	16,8	11,4	7,7
A512/85	87,1	58,9	35	24,1	15,8	10,5
A512/115	110,6	66,9	41	27,5	18,0	11,6

Выходное напряжение батареи из 17 аккумуляторов в конце разряда до 1,80 Вольт/Элемент составит:

$$U_{\text{вых.}} = 1,8 \cdot 6 \cdot 17 = 183,6 \text{ В}$$

В шкафах управления оперативным током серий 2405 и 2406 в качестве номинального выбрано напряжение 230В (в серии 2405 также возможно 115В), конечная точка разряда соответствует  $0,8U_{\text{ном.}} = 184 \text{ В}$ . Таким образом, конечная точка разряда соответствует рекомендованной производителем аккумуляторов, емкость батареи используется полностью. Из таблицы 8.1. видно, что в течение 1 часа номинальный ток 30А при конечном напряжении 1,80 Вольт/Элемент и 1,85 Вольт/Элемент обеспечивают, как батареи А512/55, так и А512/65. Для питания нагрузки в течение 2 часов номинальным током 30А при конечном напряжении 1,80 Вольт/Элемент и 1,85 Вольт/Элемент требуется батарея А512/85.

Электрические параметры аккумуляторов типа А512 приведены в Таблице 8.2.

Таблица 8.2.

Разрядный ток аккумуляторной батареи, А (при конечном напряжении 1,80 В/элемент)						
Тип	30 мин	1 час	2 часа	3 часа	5 часов	8 часов
A412/50	48,0	30,9	18,5	13,6	8,8	5,9
A412/65	56,2	41,1	20,4	17,6	11,9	8,0
A412/85	77,9	46,6	29	20,0	13,5	9,4
A412/100	90,2	54,3	32	24,3	16,7	11,9
Разрядный ток аккумуляторной батареи, А (при конечном напряжении 1,85 В/элемент)						
Тип	30 мин	1 час	2 часа	3 часа	5 часов	8 часов
A412/50	43,8	28,6	17	12,8	8,4	5,6
A412/65	51,9	38,1	24	16,8	11,4	7,7
A412/85	70,6	44,2	27,5	19,2	13,0	9,1
A412/100	79,8	49,0	31,0	22,6	15,8	11,4

Из таблицы 8.2. видно, что в течение 1 часа номинальный ток 30А при конечном напряжении 1,80 Вольт/Элемент обеспечивает батарея А412/50, при конечном напряжении 1,85 Вольт/Элемент - батарея А412/65. Для обеспечения номинального тока в течение 2 часов в нагрузке 30А как при конечном напряжении 1,80 Вольт/Элемент, так и при конечном напряжении 1,85 Вольт/Элемент обеспечивает батарея А412/100.

При размещении АБ необходимо учитывать требования нормативной документации, в соответствии с [1] п. 4.4.18: “Расстояние от аккумуляторов до отопительных приборов должно быть не менее 750 мм. Это расстояние может быть уменьшено при условии установки тепловых экранов из негорючих материалов, исключающих местный нагрев аккумуляторов”.

Расчетным для выбора АБ является аварийный режим, когда батарея принимает на себя всю аварийную нагрузку. Характерной величиной для аккумулятора является его емкость, или количество электричества, которое аккумулятор способен отдать при определенных условиях разряда, а именно токе, температуре электролита и предельном напряжении.

Емкость аккумулятора зависит от типа пластин, их размеров и числа, а также от плотности и объема электролита, технического состояния аккумулятора и условий его работы, предшествующих разряду.

Зависимость емкости аккумулятора от температуры объясняется изменением вязкости электролита и скорости диффузии. С повышением температуры уменьшается вязкость, увеличивается скорость диффузии. При понижении, наоборот, скорость диффузии уменьшается, поляризация увеличивается и напряжение аккумулятора снижается быстрее. Для удовлетворительной работы АБ существенно важно, чтобы температура в помещении была в пределах от +10 до +25°C .

Емкость аккумулятора – это не строго определенная величина, она изменяется в течение срока службы и при правильной эксплуатации удерживается близкой к максимальной в течение большей части срока службы.

Еще одной характерной величиной для АБ является ее внутреннее сопротивление, которое представляет собой сумму сопротивлений выводных зажимов, межэлементных соединений, электродов, электролита, сепараторов и сопротивления, возникающего в местах соприкосновения электродов с электролитом. Чем больше емкость АБ, тем меньше ее внутреннее сопротивление. С понижением температуры и по мере разряда АБ ее внутреннее сопротивление растет.

При выборе емкости АБ решающим условием является не количество электричества, которое аккумулятор способен отдать в течение расчетного времени, а напряжение на зажимах аккумулятора, определяющее работоспособность приемников энергии.

Если в составе нагрузок имеются выключатели 6(10) и 35 кВ, то при выборе АБ нужно руководствоваться следующими исходными данными:

1.Заводы – изготовители выключателей 6(10) и 35кВ в соответствии с ГОСТ изготавливают электромагнитные приводы с отклонением напряжения, для электромагнитов включения, в пределах от 85% до 110%Uном. Таким образом, минимальное напряжение на приводе выключателя для его нормальной работы должно быть не менее 187В.

2.Рекомендованная производителями аккумуляторов конечная точка разряда при конечном напряжении 1,80 Вольт/Элемент составит:

$U_{\text{вых.}} = 1,8 \cdot 6 \cdot 17 = 183,6 \text{ В}$ , что заведомо меньше 187В, необходимого для выключателей 6(10) и 35 кВ даже без учета падения напряжения в проводах.

3.В ПУЭ (п.3.4.5) указывается: “Для цепей оперативного тока потери напряжения от источника питания должны составлять до электромагнитов управления, не имеющих форсировки - не более 10% при наибольшем токе нагрузки”. Данные 10% распределяются на потери в групповом и индивидуальном кабелях.

4.В качестве исходных данных задано напряжение на выходных клеммах аккумуляторной батареи, находящейся под номинальной нагрузкой:

$$U_{\text{АБ}} = E - I_{\text{ном}} \cdot R_{\text{АБ}}, \text{ где}$$

$U_{\text{АБ}}$  – напряжение на выходных клеммах АБ;

Е – ЭДС батареи;  
 I<sub>ном</sub> – номинальный ток нагрузки;  
 R<sub>АБ</sub> – внутреннее сопротивление АБ.

Отсюда следует, что при расчете потерь падение напряжения на внутреннем сопротивлении АБ учитывать не нужно.

5. В общем случае наибольший ток нагрузки равен сумме токов: тока номинального и тока выключателя.

Расчёт ёмкости АБ можно выполнить по разрядным таблицам (для конечного напряжения разряда 1,8 В/элемент) для максимального значения тока нагрузки I<sub>мах</sub> и эквивалентного времени аварийного режима t<sub>эв</sub> в соответствии с формулой

$$t_{\text{эв}} = \frac{\left( \frac{I_{\text{пост.}} \cdot T_K}{0.8} \right) \cdot t_{\text{авар}}}{I_{\text{мах}}},$$

где:

I<sub>пост.</sub> – приведённый установившийся ток аварийного режима, А;  
 T<sub>к</sub> – температурный коэффициент ёмкости, зависящий от минимально возможной температуры в аккумуляторном помещении (при температуре 20°C принимается равным 1);  
 0,8 – коэффициент ёмкости батареи в конце срока службы (80% от номинальной);  
 t<sub>авар</sub> – время аварийного режима, (2 часа);  
 I<sub>мах</sub> – максимальный суммарный ток (I<sub>пост.</sub> + I<sub>толч.</sub>)=(30+100) А.  
 В общем случае I<sub>пост.</sub>=30 А.  
 Таким образом, величина эквивалентного времени аварийного режима будет составлять:

$$t_{\text{эв}} = \frac{\left( \frac{30 \text{ А} \cdot 1}{0.8} \right) \cdot 120 \text{ мин}}{130 \text{ А}} = 34,62 \text{ мин} \approx 35 \text{ мин.},$$

Т.е. необходимо подобрать АБ которая может отдавать ток силой 130А в течение 35 мин, при конечном напряжении разряда не менее 1,80 В/элемент. Мощность разряда составит

$$P = U \cdot I = 10,8 \cdot 130 = 1404 \text{ Вт}, \quad \text{где } U = 1,8 \cdot 6 = 10,8 \text{ В}$$

По техническим данным аккумуляторов (см. Таблицу 8.1.) видно, что АБ типа А512/115 емкостью 115А×ч не может обеспечить всю аварийную нагрузку, если включение выключателя 35кВ с I<sub>эв</sub>=100А произойдет по истечении 120 мин, что не удовлетворяет требованиям нормативной документации.

Учитывая недостаток мощности и п.п.1, 2 исходных данных, необходимо увеличить до 18 шт. количество аккумуляторов в АБ.

В этом случае мощность разряда на один аккумулятор составит 1404 Вт\*17/18=1326 Вт, что обеспечивает всю аварийную нагрузку, в том числе включение выключателя 35кВ с I<sub>эв</sub>=100А, которое произойдет по истечении 120 мин.

Выбранную аккумуляторную батарею в составе 18 шт. А512/115 (или 18 шт. аккумуляторов типа А412/180) проверим по условию допустимого падения напряжения в соединительных проводах, в соответствии с исходными данными и формулами, приведенными в Типовой работе «Организация цепей оперативного тока =220В для КТПБ35/6(10)кВ с использованием шкафов управления оперативным током (ШУОТ) серий 2404, 2405, 2406 производства ОАО «Завод «Инвертор». 10408тм-т1г.», выполненной Филиалом “ЭСП-НН-СЭЦ” г. Н-Новгород

Потери на ошиновке составят:

$$\Delta U_{\text{ош}} \% = \frac{2 \times L_{\text{пр}} (I_{\text{толч}} + I_{\text{пост}})}{\gamma \times U_{\text{ном}} \times S_{\text{пр}}} 100\%;$$

где:  $L_{\text{пр}}$  - длина шины, м;

$S_{\text{пр}}$  - сечение шины,  $\text{мм}^2$ ;

$\gamma$  - удельная проводимость  $\frac{\text{м}}{\text{мм}^2 \cdot \text{Ом}}$ ; проводника,

$$\Delta U_{\text{ош}} \% = \frac{2 \times 20 \times 110}{57 \times 220 \times 35} 100\% = 0,4\% - \text{потери в ошиновке};$$

Потери в проводах составят

$$\Delta U_{\text{пр}} \% = \frac{2 \times L_{\text{пр}} (I_{\text{толч}} + I_{\text{пост}})}{\gamma \times U_{\text{ном}} \times S_{\text{пр}}} 100\%;$$

где:  $L_{\text{пр}}$  - длина проводника соединяющего АБ с ШУОТ, м;

$S_{\text{пр}}$  - сечение проводника соединяющего АБ с ШУОТ,  $\text{мм}^2$ ;

$\gamma$  - удельная проводимость проводника,  $\frac{\text{м}}{\text{мм}^2 \cdot \text{Ом}}$ ;

$$\Delta U_{\text{пр}} \% = \frac{2 \times 5 \times 110}{57 \times 220 \times 35} 100\% = 0,2\% - \text{потери в проводе, соединяющем шкаф АБ и шкаф ШУОТ};$$

Потери в кабеле составят:

$$\Delta U_{\text{КАБ}} \% = \frac{2 \times L_{\text{КАБ}} \times I_{\text{п(толч)}}}{\gamma \times U_{\text{ном}} \times S_{\text{КАБ}}} 100\%;$$

где:  $L_{\text{КАБ}}$  - длина кабеля, м;

$S_{\text{КАБ}}$  - сечение кабеля,  $\text{мм}^2$ ;

Потери в шинке составят:

$$\Delta U_{\text{ш}} \% = \frac{2 \times L_{\text{ш}} \times I_{\text{толч}}}{\gamma \times U_{\text{ном}} \times S_{\text{ш}}} 100\%;$$

где:  $L_{\text{ш}}$  - длина шинки, м;

$S_{\text{ш}}$  -- сечение шинки,  $\text{мм}^2$ ;

$$\Delta U_{\text{КАБ}} \% + \Delta U_{\text{ш}} \% = \frac{2 \times 50 \times 100}{57 \times 220 \times 25} 100\% = 3,1\% \text{ - потери в кабеле и шинке;}$$

$$\Delta U_{\text{цепи АБ}} \% = 0,4\% + 0,2\% + 3,1\% = 3,7\%$$

Суммарные потери напряжения от источника питания до потребителя не превышают допустимые 10%, что удовлетворяет требованиям ПУЭ.

Расчётное значение величины напряжения на АБ к концу аварийного периода (при 1,80 В/элемент) будет составлять:

$$1,80 \times 6 \times 18 = 194,4 \text{ В,}$$

где:

6 - количество элементов (2 В) в одном аккумуляторе;

18 - количество аккумуляторов в АБ.

Напряжение на потребителе, с учётом падения напряжения в цепи АБ (расчётное значение 3,7) составит:

$$194,4 \text{ В} \times (100\% - 3,7\%) / 100 = 194,4 \text{ В} \times 0,963 = 187,2 \text{ В,}$$

что достаточно для включения высоковольтного выключателя (минимальное напряжение на приводе выключателя:  $85\% U_{\text{ном.}} = 187 \text{ В}$ ).

#### Выводы:

1. Выбор аккумуляторной батареи зависит от характера нагрузки. При токе нагрузки, не превышающей  $I_{\text{ном.}} = 30 \text{ А}$  и времени поддержки 1 час, допускается применение аккумуляторов А512/55, А512/65, А412/50, А412/65. АБ состоит из 17 шт. аккумуляторов. При токе нагрузки, не превышающей  $I_{\text{ном.}} = 30 \text{ А}$  и времени поддержки 2 часа, допускается применение аккумуляторов А512/85, А412/100. АБ состоит из 17 шт. аккумуляторов.

2. При наличии в нагрузке выключателей 6(10) и 35 кВ,  $I_{\text{ном.}} = 30 \text{ А}$  и времени поддержки 2 часа для гарантированного включения выключателей АБ должна состоять из 18 шт. аккумуляторов типа А512/115 (или 2 веток по 18 шт. А512/55) или 18 шт. аккумуляторов типа А412/180 (или 2 веток А412/85).

3. По дополнительному требованию потребителя время поддержки от аккумуляторных батарей в шкафах управления оперативным током может предусматриваться до 5 часов. Увеличение времени поддержки рекомендуется достигать за счёт установки дополнительных стандартных шкафов с аккумуляторными батареями без повышения их ёмкости.

### 3. Организация цепей оперативного постоянного тока =220В.

#### 3.1. Требования к системе оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС.

Основные требования к СОПТ изложены в “Правилах устройства электроустановок”, (6 издание, гл.4), “Рекомендациях по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ” (Москва, 2004г, гл.6), “Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации”, (2003г, гл.5.5):

1) Чувствительность: в СОПТ должны применяться защитные аппараты, которые обладают характеристиками, обеспечивающими отключение токов КЗ, изменяющихся в широком диапазоне.

2) Селективность: защитные аппараты, устанавливаемые последовательно, должны обладать время – токовыми характеристиками, обеспечивающими селективность во всем диапазоне токов КЗ, протекающими через них независимо от режима работы и состояния электроустановки постоянного тока.

В соответствии с «Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» СО 153 – 34.20.122-2006 п. 6.3.1.11, СОПТ должна иметь трёх уровневую систему защиты:

- нижний уровень – защита цепей питания непосредственных потребителей;
- средний уровень – защита цепей, питающих шинки непосредственных потребителей;
- верхний уровень – защита шинки щита постоянного тока на вводах от АБ;

Защитные элементы трех уровней должны обеспечивать селективное отключение КЗ на защищаемом участке, верхнего и среднего уровней, а также в зоне резервирования. Требуемые коэффициенты чувствительности КЧ указаны в [2], гл.6.3.1.9:

“Чувствительность защитных элементов АВ:

вводных – при КЗ в основной зоне защиты и в зоне резервирования КЧ не менее 2;

среднего уровня – при КЗ в основной зоне защиты КЧ не менее 2, в зоне резервирования – не менее 1,3;

нижнего уровня – при КЗ на входе панели (шкафа) КЧ не менее 2”.

3). Быстродействие: КЗ в любой точке СОПТ должны отключаться с таким временем, чтобы выполнялись следующие требования:

- в соответствии с «Нормами технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ» СО 153 – 34.20.122-2006 п. 6.3.1.12, защита СОПТ должна: «.. при снижении напряжения на не повреждённых фидерах, питающих микропроцессорные терминалы, ниже напряжения перезагрузки этих терминалов время отключения КЗ должно быть менее допустимого времени перерыва питания терминалов.». Данное условие выполняется, т.к. время перезагрузки терминалов составляет порядка 0,3 сек, а время срабатывания электромагнитного расцепителя автомата составляет 3-7 мс;

- должен исключаться глубокий разряд аккумуляторной батареи токами КЗ из-за длительного протекания токов КЗ вследствие недопустимого времени срабатывания защитных аппаратов;

- должна обеспечиваться невозгораемость кабелей.

4). Надежность: Под надежностью применительно к СОПТ нужно понимать сохранение работоспособности устройств управления выключателями и РЗА во всех возможных режимах работы, как первичной сети, так и самой СОПТ, включая возможные нарушения в этой сети (металлические или дуговые КЗ, обрывы, повышенные переходные сопротивления на клеммах и т.д.).

Высокая надежность СОПТ достигается применением:

- оптимальной организации питания устройств управления и РЗА;
- защитных аппаратов с соответствующими характеристиками срабатывания и удобством обслуживания.

### 3.2 Выбор кабеля питания шкафов ШУОТ.

Для питания шкафов выбран силовой кабель ВВГнг-LS-0,66 сечением 4×6, максимальная длина которого может достигать до 200 метров.

Кабель, питающий ШУОТ прокладываемый от щита СН ~0,4кВ необходимо проверить по допустимым потерям напряжения по формуле:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \times I_{\text{расч}} \times (R_1 \times \cos \varphi + X_1 \times \sin \varphi) \times L_{\text{каб}}}{U_{\text{н}} \times 1000} \times 100\%, \text{ или}$$
$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \times I_{\text{расч}} \times (R_1 \times \cos \varphi + X_1 \times \sin \varphi) \times L_{\text{каб}}}{U_{\text{н}} \times 10}, \quad (1)$$

где:

$I_{\text{расч}}$  - потребляемый ток ШУОТ, А;

$R_1, X_1$  - активное и индуктивное сопротивление кабеля (справочные данные), мОм/м;

$L_{\text{каб}}$  - длина питающего кабеля, м;

$U_{\text{н}}$  - напряжение на щите СН ~0,4кВ;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности (см. п.2.1.1, Таблица 4).

В качестве примера выполним проверку питающего кабеля ШУОТ-2405-20-230-1-УХЛ4 по допустимому падению напряжения:

При номинальном напряжении питающей сети, учитывая, что максимальная (при заряде АБ) потребляемая мощность ШУОТ-2405-20-230-1-УХЛ4 составляет 9,1 кВА (10,0 А) (см. п.2.1.1, Таблица 4), потери напряжения в кабеле (при его максимальной длине порядка 200м) в соответствии с (1) будут составлять:

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3} \times 13,97 \times (3,54 \times 0,56 + 0,1 \times 0,83) \times 200}{380 \times 10} = 2,63\%$$

Питание ШУОТ-2405-20-230-1-УХЛ4 осуществляется от 2-х независимых источников по трехфазной сети переменного тока с нейтралью. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что при выбранном кабеле с учётом падения напряжения 2,63% ШУОТ-2405-20-230-1-УХЛ4 будет гарантированно работать, поскольку допускает 10% снижение питающего напряжения.

Расчет выбора питающего кабеля для других серий шкафов ШУОТ выполняется аналогично.



### 3.3. Рекомендации по организации СОПТ =220В от шкафов ШУОТ

При организации СОПТ =220В на базе шкафа ШУОТ, для КТПБ 35/6(10) кВ, фактически формируется щит постоянного тока (ЩПТ). В целях обеспечения уровня проектирования подстанций, соответствующего современным требованиям, и единых научно-технических и методических подходов к проектированию энергосетевых объектов, к ЩПТ разработан ряд требований и рекомендаций, изложенный в: “Нормах технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ” СО 153 – 34.20.122-2006, и “Рекомендациях по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ” (Москва, 2003г.). В связи с чем, при организации СОПТ =220В на базе шкафов типа ШУОТ возможно (по желанию потребителя) провести следующие доработки базового исполнения шкафов типа ШУОТ:

3.3.1. В стандартном исполнении в ШУОТ для защиты отходящих линий применяются гидравлические магнитные автоматические выключатели (АВ) постоянного тока типа QY производства Circuit Breaker Industries Ltd. (СВi, ЮАР). Отличительными особенностями данных выключателей являются: независимость от температуры окружающей среды, возможность немедленного повторного включения после расцепления и любого значения номинального тока, обеспечение широкого диапазона времён задержки, включая и времена задержки, аналогичные ВА09-35С. Габариты АВ - 26×82×60 (Ш×В×Г).

Возможна установка автоматических выключателей, аналогичных применённым АВ в уже эксплуатируемой у потребителей аппаратуре, которые зарекомендовали себя с положительной стороны (в частности, производства: Schneider Electric, Moeller, ABB и других). Для обеспечения гарантированного селективного отключения АВ во всём диапазоне токов КЗ допускается (в случае дополнительного требования потребителя) произвести замену существующего автомата (предохранителя) в цепи АВ на селективный автоматический выключатель типа: ВА09-35С (ООО “Атомэлектроприбор”, г. Белгород). Такой АВ имеет уставку срабатывания по времени в зоне токов КЗ от 0,1 до 0,5 секунд. Габариты АВ - 112×336×250 (Ш×В×Г).

3.3.2. В соответствии с [2] п. 6.3.1.10, 6.3.1.13, и [3] п. 6.3.1.3, 6.3.1.5 СОПТ =220В на ПС рекомендуется проектировать с учётом следующего:

- АВ снабжается двумя комплектами выводов, образующих два канала питания, соединенных кабелями с соответствующими автоматическими выключателями (предохранителями), защищающими соответственно две секции главных шин ЩПТ; к каждой из двух секций ЩПТ через соответствующие АВ (предохранители) подключаются шинки в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ;
- Каждый ЩПТ должен иметь секционные разъединители для перевода нагрузки с одной секции на другую в пределах одного ЩПТ;
- На ПС с одной АВ должна предусматриваться возможность параллельной работы двух зарядно-подзарядных устройств (устанавливаются в одном ПЗУ ШУОТ).

Вариант типовой организации СОПТ =220В на базе шкафов типа ШУОТ, для КТПБ 35/6(10)кВ по главной схеме 35-5Н, с учётом изложенных выше рекомендаций, приведён на чертеже 10408тм-т1 см. лист 49.

3.3.3. В соответствии с [2] п. 6.3.1.14, по дополнительному требованию потребителя, на ЩПТ необходимо установить устройство мигающего света (УМС). Устройство устанавливается на щите постоянного тока и является общим для всех ламп сигнализации положения объектов, оперативные цепи которых питаются от ЩПТ. При наличии такого требования возможна организация в ШУОТ шинки мигающего света (+)ЕР, при помощи установки бесконтактного прерывателя постоянного тока типа: ППБ-21М производства ЗАО «Конвертор» (г.Саранск) либо аналогичных. Подключение устройства мигающего света ППБ-21М показано на чертеже 10408тм-т1 см. лист 50.

3.3.4. При подготовке, филиалом “ЭСП-НН-СЭЩ”, типовых принципиальных схем РЗА для КТПБ сложился традиционный перечень сигналов отсылаемых со ЩПТ в центральную сигнализацию (ЦС). В связи с чем, возможна доработка ШУОТ в части изменения логики выдачи аварийных сигналов:

- «Авария» - нормально замкнутый контакт, для сигнализации полного отказа системы ШУОТ;
- «Неисправность» - нормально открытый контакт, для сигнализации какой-либо неисправности: отказ одного из преобразователей, и т.д., но при сохранении работоспособности всей системы в целом;
- «Земля в сети постоянного тока» - нормально открытый контакт.

3.3.5. В ряде проектов, для системы телемеханики, требуется обеспечить измерение напряжения на шинах ЩПТ. Поэтому, в ШУОТ предусмотрена возможность установки измерительного преобразователя напряжения постоянного тока с унифицированным аналоговым выходом: 0-5 мА, 0-20 мА или 4-20 мА в зависимости от требования потребителя. Следует обратить внимание, что размещать преобразователь желательно всё-таки в ЩПТ, чтобы он не дублировал функцию дистанционного мониторинга.

3.3.6. Дополнительно, для уменьшения падения напряжения в цепи АБ, ошиновку АБ, и провод соединяющий АБ со шкафом ШУОТ следует выбирать сечением не менее 35 мм<sup>2</sup>.

Все приведённые выше доработки базового исполнения ШУОТ расширяют сферу применения устройства и делают его более адаптивным для использования на энергосетевых объектах. Для учёта при производстве те или иные дополнительные требования к ШУОТ должны включаться как в проектную документацию, так и в опросный лист.

### 3.4. Выбор сечения кабелей в СОПТ =220В.

Сечение кабеля в системе оперативного постоянного тока =220В выбирается по токовой нагрузке.

При проектировании считалось, что, если сечение кабеля проверено по потерям напряжения при толчковой нагрузке, то проверку на чувствительность аппарата, установленного в этой цепи можно не проводить, т.к. предполагаемый ток КЗ будет превышать ток нагрузки в 5-10 раз в зависимости от внутреннего сопротивления источника тока, если при нормальной нагрузке потери напряжения в кабеле составляют 10%. Следовательно, при таких условиях коэффициент чувствительности будет равен 2,5-5, что больше принятого и равного 1,3-2.

Так как условия толчкового или пускового режима и режима короткого замыкания не совпадают по времени, то это положение было пересмотрено. Короткое замыкание всегда дуговое, и приводит почти к двукратному снижению тока и, как следствие, к такому же снижению расчетного коэффициента чувствительности, т.е. значительного запаса по коэффициенту чувствительности у аппаратов защиты практически нет.

Поэтому для проверки кабелей используются два условия:

- коэффициент чувствительности должен быть больше нормируемого;
- потери напряжения должны составлять менее 5-10% номинального.

При использовании методики расчета в соответствии с ГОСТ 29176-91, где учитываются влияние дуги, сопротивления контактов, тепловой спад тока и другие факторы, существенно влияющие на ток КЗ, первое условие для проверки кабеля часто оказывается более существенным, чем второе.

Проверка кабелей по допустимым потерям напряжения производится в соответствии с формулами:

$$\Delta U_{\text{доп}} \% = \Delta U_{\text{аб}} \% + \Delta U_{\text{ош}} \% + \Delta U_{\text{пр}} \% + \Delta U_{\text{каб}} \% + \Delta U_{\text{ш}} \% + \Delta U_{\text{тк и кс}} \%; \quad (2)$$

где:

$\Delta U_{\text{аб}} \%$  - падение напряжения в АБ, %;

$\Delta U_{\text{ош}} \%$  - падение напряжения в ошиновке АБ, %;

$\Delta U_{\text{пр}} \%$  - падение напряжения в проводнике соединяющем АБ с ШУОТ, %;

$\Delta U_{\text{каб}} \%$  - падение напряжения в кабеле, %;

$\Delta U_{\text{ш}} \%$  - падение напряжения в шинке ( $\pm E_C, \pm E_Y, \pm E_H$ ), %;

$\Delta U_{\text{тк и кс}} \%$  - падение напряжения в токовых катушках АБ и контактных соединениях.

(3)

$$\Delta U_{AB} \% = \frac{R_{AB}(I_{\text{ТОЛЧ}} + I_{\text{ПОСТ}}) \times 100\%}{U_{\text{НОМ}}};$$

где:

$R_{AB}$  - сопротивление АБ, Ом;

$I_{\text{ТОЛЧ}}$  - толчковая составляющая тока нагрузки, А;

$I_{\text{ПОСТ}}$  - постоянная составляющая тока нагрузки, А.

$$\Delta U_{\text{ПР}} \% = \frac{2 \times L_{\text{ПР}}(I_{\text{ТОЛЧ}} + I_{\text{ПОСТ}})}{\gamma \times U_{\text{НОМ}} \times S_{\text{ПР}}} 100\%; \quad (4)$$

где:

$L_{\text{ПР}}$  - длина проводника соединяющего АБ с ШУОТ, м;

$S_{\text{ПР}}$  - сечение проводника соединяющего АБ с ШУОТ, мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  - удельная проводимость проводника,  $\frac{\text{М}}{\text{мм}^2 \cdot \text{Ом}}$ ;

$$\Delta U_{\text{КАБ}} \% = \frac{2 \times L_{\text{КАБ}} \times I_{\text{П(ТОЛЧ)}}}{\gamma \times U_{\text{НОМ}} \times S_{\text{КАБ}}} 100\%; \quad (5)$$

где:

$L_{\text{КАБ}}$  - длина кабеля, м;

$S_{\text{КАБ}}$  - сечение кабеля, мм<sup>2</sup>.

$$\Delta U_{\text{Ш}} \% = \frac{2 \times L_{\text{Ш}} \times I_{\text{ТОЛЧ}}}{\gamma \times U_{\text{НОМ}} \times S_{\text{Ш}}} 100\%; \quad (6)$$

где:

$L_{\text{Ш}}$  - длина шинки, м;

$S_{\text{Ш}}$  - сечение шинки, мм<sup>2</sup>.

### 3.5. Выбор автоматов в СОПТ =220В.

Выбор автоматических выключателей для отходящих линий СОПТ =220В производится, исходя из выполнения следующих условий:

а) номинальный ток теплового расцепителя автомата должен выбираться как:

- в случае постоянной нагрузки, по формуле:

$$I_{н.р.} \geq k_n \times I_{пост.}, \quad (7),$$

где:

$I_{н.р.}$  - ближайший наибольший из ряда номинальных токов теплового расцепителя автомата выбранного типа, А;

$I_{пост.}$  - величина постоянного тока нагрузки, А;

$k_n$  – коэффициент надёжности, принимается равным 1,2.

- для толковой нагрузки, когда дополнительной нагрузкой служат электромагниты включения высоковольтных выключателей, номинальный ток теплового расцепителя автомата выбирается из следующих условий:

$$I_{н.р.} \geq 1,2 \times \left( \frac{I_{YAC}}{K_{отс. min}} + I_{пост.} \right), \quad (8),$$

где:

1,2 - коэффициент надёжности;

$I_{YAC}$  - ток электромагнита включения (YAC) высоковольтного выключателя, А;

$K_{отс. min}$  - минимальное значение кратности тока отсечки автоматического выключателя, зависит от защитной характеристики автомата и выбирается как минимальное значение диапазона кратности тока отсечки автомата.

При этом, окончательный выбор номинального тока автоматического выключателя производится по время - токовой защитной характеристике, с таким расчётом, чтобы при протекании тока электромагнита включения (YAC) время отключения автомата было бы минимальным и находилось в пределах:  $0,5 \leq t \leq 10$  сек., т.е. заведомо превышало нормальное время включения высоковольтного выключателя.

Характеристики приводов конкретных выключателей необходимо уточнять у заводов – изготовителей при конкретном проектировании.

Данные на привода высоковольтных выключателей 10кВ, с указанием рекомендуемых для их защиты автоматических выключателей типа: АП50Б2(3)МТ, LSN, ВА25-29 приведены в Приложении 4, Таблица 4.1.

### 3.6. Расчет токов короткого замыкания в СОПТ =220В.

В настоящее время для расчета токов КЗ и выбора аппаратов защиты в системе постоянного тока используются методические указания по расчету токов КЗ в сети оперативного постоянного тока, разработанные ОРГРЭС [6, 7]. Более современным нормативным документом является ГОСТ 29176-91 [5], регламентирующий методику расчета тока КЗ с учетом большего числа факторов существенно влияющих на значение тока КЗ. Однако систематизированной и полной методики выбора аппаратов защиты, проверки чувствительности, селективности и резервирования устройств защиты в действующих электроустановках, основанной на нормативных документах пока не существует.

Для правильного выбора защитных аппаратов надо знать как максимально возможные значения токов короткого замыкания, необходимые для проверки коммутационной способности, так и минимально возможные, необходимые для проверки чувствительности.

3.6.1. Ток металлического КЗ в сети постоянного тока определяется по формуле:

$$I_{K3M} = \frac{E_{AB}}{R_{AB} + R_{ВШ}}, \quad (9)$$

где:

$E_{AB}$  - внутренняя ЭДС аккумулятора, находящегося в режиме кратковременного разряда большим током, В;

$R_{AB}$  - внутреннее сопротивление аккумулятора, мОм;

$R_{ВШ}$  - внешнее сопротивление цепи КЗ, мОм:

$$R_{ВШ} = R_{ош} + R_{кб} + R_{пр} + R_{тк} + R_{кс}, \quad (10)$$

где:

$R_{ош}$  - активное сопротивление ошиновки, мОм;

$R_{кб}$  - активное сопротивление кабелей, мОм;

$R_{пр}$  - активное сопротивление проводника соединяющего АБ с ШУОТ, мОм,

необходимо уточнять у поставщика выбранной системы СОПТ;

$R_{тк} + R_{кс}$  - сопротивление токовых катушек АБ и контактных соединений, мОм,

рекомендуется указывать значения из паспортных данных АБ, в противном случае, в соответствии с «Дополнениями к методическим указаниям по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций» МУ 34-70-035-83, стр.18 (см. Приложение 5).

Сопротивление проводов, кабелей и шин может быть рассчитано, если известны их длина и сечение:

$$R = \rho \times \frac{L}{S}, \quad (11)$$

где:  $\rho$  - удельное сопротивление,  $\frac{\text{Ом} \times \text{мм}^2}{\text{м}}$ , для меди  $\rho = 0,0172 \frac{\text{Ом} \times \text{мм}^2}{\text{м}}$ ,

для алюминия  $\rho = 0,0283 \frac{\text{Ом} \times \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;

$L$  – длина, м;

$S$  – сечение, мм<sup>2</sup>.

3.6.2. При определении минимального значения тока КЗ необходимо учитывать влияние на ток КЗ активного сопротивления электрической дуги, возникающей в месте КЗ:

$$I_{КЗд} = K_{д} \times I_{КЗм}, \quad (12)$$

где:

$K_{д}$  - поправочный коэффициент. Значение  $K_{д}$  является функцией результирующего сопротивления цепи КЗ:  $R = R_{аб} + R_{вш}$  и определяется по кривой 1 на чертеже 11 Литературы [4], см. Приложение 6.

3.6.3. При определении минимального значения тока КЗ рекомендуется учитывать увеличение активного сопротивления кабеля к моменту отключения КЗ вследствие его нагревания токами КЗ.

$$R_{\theta} = C_{\theta} \times R_{20}, \text{ Ом}, \quad (13)$$

где:

$C_{\theta} = 1,5$  - коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления медного или алюминиевого кабеля;

$R_{20}$  - активное сопротивление медного или алюминиевого кабеля при температуре  $\theta = +20^{\circ}\text{C}$ .

3.6.4. Определение чувствительности АВ:

В соответствии с [2], гл.6.3.1.9 защитные элементы трех уровней должны обеспечивать селективное отключение КЗ на защищаемом участке, верхнего и среднего уровней, а также в зоне резервирования. При этом коэффициенты чувствительности определяются по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{КЗд}}{I_{\text{отс max.}}}, \quad (14)$$

где:

$I_{КЗд}$  - минимальное значение тока короткого замыкания, рассчитанное в соответствии с ГОСТ 29176-91, А;

$I_{\text{отс max.}}$  - максимальное значение кратности тока отсечки автоматического выключателя, А.

Для автоматов коэффициенты чувствительности должны соответствовать требованиям указанным в п.3.1..

3.6.5. В качестве отходящих автоматов СОПТ=220В рекомендуется использовать автоматические выключатели типа:

- CBI (Circuit Breaker Industries);
- PL7 фирмы «Moeller»;
- ВА25-29 производства ОАО «Электроавтомат» (Россия, г. Алатырь, Чувашская Республика).

Данная рекомендация не исключает возможность применения автоматических выключателей других типов и производителей.

Таким образом, расчет СОПТ =220В необходимо производить в соответствии со следующим алгоритмом:

- анализ режимов работы подстанции, и определение длительной и толчковой нагрузок (см. п.1.2);

- выбор типа шкафа управления оперативным током (ШУОТ), для нужд конкретного КТПБ (см. п.2.3);
- расчёт сечения кабеля питающего шкаф ШУОТ (см. п.3.2);
- выбор типа и ёмкости АБ по условию выполнения требований аварийного режима (см. 2.5);
- предварительный выбор сечения кабелей отходящих присоединений ЩПТ, по условию допустимого падения напряжения (см. п.3.4);
- расчёт токов КЗ, для предварительно выбранных кабелей (см. п.3.6);
- предварительный выбор автоматов отходящих присоединений СОПТ =220В (см. п.3.5);
- проверка чувствительности выбранных автоматов для расчётных значений токов КЗ (см. п.3.6.4). В случае несоответствия полученных значений коэффициента чувствительности требованиям [3], гл.6.3.1.9 необходимо увеличить сечение отходящих кабелей, и повторить расчёт;

Результаты расчетов токов КЗ и выбора автоматов и кабелей в СОПТ =220В, организованной от ШУОТ, представлены в Таблице 7.1, Приложения 7.



#### 4. Контроль изоляции в СОПТ =220В.

В электрических сетях и электроустановках, изолированных от земли (режим изолированной нейтрали, ИТ-системы), условия электробезопасности и надежности энергоснабжения в значительной мере определяются состоянием изоляции, ее сопротивлением и емкостью относительно земли.

В ПУЭ (изд.6, п.1.6.12) имеется указание: “В сетях ... постоянного тока с изолированными полюсами или с изолированной средней точкой, как правило, должен выполняться автоматический контроль изоляции, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз (или полюса) ниже заданного значения, с последующим контролем асимметрии напряжения при помощи показывающего прибора (с переключением)”.

Об обеспечении контроля изоляции на шинах ЩПТ также сказано в [2] п. 6.3.1.14: «На каждом ЩПТ должны быть предусмотрены устройства сигнализации и контроля, выполняющие следующие функции:

- контроля сопротивления изоляции цепей оперативного тока;
- автоматизированного поиска замыканий на землю в сети постоянного тока;
- автоматического определения повреждённого (замыкание на землю) присоединения ЩПТ;

Т.е. помимо устройства контроля изоляции с действием на сигнал (типа «сухой контакт»), входящего в состав ШУОТ при базовой комплектации шкафа, необходимо предусмотреть установку дополнительных устройств. В противном случае участок со сниженной изоляцией придётся определять путем последовательного отключения автоматических выключателей на ЩПТ. Однако на это время устройства РЗА, которые питаются от отключаемого автоматического выключателя, оказываются в обесточенном состоянии и не могут отключить линии с коротким замыканием.

Таким образом, для выполнения приведённых выше требований (или по указанию потребителя) в состав ШУОТ включается дополнительное устройство контроля изоляции. Такие устройства имеются как для автоматизированного (в соответствии с [2] п. 6.3.1.14), так и для ручного поиска повреждённого, вследствие замыкания на землю, присоединения ЩПТ.

4.1.1. Для ручного поиска может применяться устройство контроля изоляции типа: ИПИ-1М выпускаемое ОАО “ОРГРЭС” (г.Москва), которое помогает ремонтному персоналу определить участок со сниженной изоляцией.

Устройство включает в себя:

- датчик, устанавливаемый в шкаф ШУОТ;
- переносной приемник, дополняемый токоизмерительными клещами от прибора ВАФ-85М.

Схема подключения ИПИ-1М к ШУОТ приведена на чертеже 10408тм-т1, лист 51. На время использования ИПИ-1М – узел контроля изоляции шкафа ШУОТ необходимо отключить от схемы при помощи переключателя SAC1.

По схеме устройство ИПИ-1М к сети постоянного тока =220В подключается напряжение переменного тока низкой частоты от малоомощного датчика (генератора). При этом один полюс датчика подключают к сети постоянного тока, другой – к земле и при помощи переносного приемника и токоизмерительных клещей измеряют ток на отходящих линиях. По величине заполнения светящихся светодиодов в приемнике (измеренных токов) определяют участок со сниженной изоляцией.

4.1.2. В качестве систем автоматизированного поиска замыкания на землю можно порекомендовать:

- систему контроля изоляции Vigilohm System производства фирмы Schneider Electric для измерения величины сопротивления изоляции основных цепей ЩПТ с действием на сигнал и пофидерного контроля замыкания на землю полюсов отходящих фидеров потребителей ЩПТ;
- устройство контроля изоляции A-ISOMETER серии IRDH575 производства фирмы

BENDER для измерения величины сопротивления изоляции основных цепей ЩПТ с действием на сигнал и пофидерного контроля замыкания на землю полюсов отходящих фидеров потребителей ЩПТ. Посредством интерфейса RS485 устройство A-ISOMETER имеет возможность функционировать в составе системы АСУ.

4.1.2.1. Система контроля изоляции Vigilohm System обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение сопротивления изоляции (с индикацией измеренного значения на цифровом табло прибора) сетей под рабочим напряжением и при включенных токоприемниках;
- оценка результатов измерения путем сравнения с уставкой, задаваемой по технологическим параметрам или по условиям электробезопасности;
- включение сигнализации или воздействие на отключающий аппарат в случае снижения сопротивления изоляции ниже заданного уставкой значения;
- автоматическое определение отходящего фидера с повреждённой вследствие замыкания на землю изоляцией.

В состав системы входит прибор контроля изоляции XM200 и модуль контроля изоляции XD312 совместно с измерительными трансформаторами дифференциального тока. Дополнительно в составе системы может быть заказан переносной комплект XRM/XP30 для дальнейшего, ручного поиска повреждённого участка на автоматически определённом повреждённом отходящем фидере.

Основные технические характеристики:

- номинальное напряжение питания переменного тока (50-60 Гц): 220-240В;
- максимальная потребляемая мощность:
  - XM200: 30 ВА;
  - XD312: 6 ВА;
- диапазон измеряемых сопротивлений: 0,01-999 кОм;
- уставки пределов срабатывания сигналов «Предупреждение»: 10-100 кОм;
- уставки сигналов срабатывания сигналов «Повреждение»: 0,1-20 кОм;

В режиме измерения между измерительным и заземляющим проводниками блоком XM200 подаётся напряжение переменной полярности с эффективным значением 25В и частотой 2,5 Гц. По току, протекающему по этим проводникам, определяется текущее значение сопротивления изоляции. Измеренное значение сопротивления изоляции отображается на табло прибора.

Модуль контроля изоляции XD312 совместно с измерительными трансформаторами тока предназначен для определения фидера с повреждённой изоляцией. Определение повреждения изоляции блоком XD312 происходит при её снижении ниже уровня 1,5 кОм при длительности неисправности по времени не менее 60 сек. Индикация номера повреждённого фидера осуществляется посредством сигнальных светодиодов на модуле XD312.

Дальнейший поиск участка с повреждённой изоляции возможно произвести при помощи переносного устройства XRM – 1.

Более подробно с техническими характеристиками системы можно ознакомиться в руководстве по эксплуатации на систему контроля изоляции Vigilohm System.

Вариант организации контроля целостности изоляции с применением системы Vigilohm System приведён на чертеже 10408тм-т1, лист 52.

4.1.2.2. Устройство контроля изоляции A-ISOMETER серии IRDH575 осуществляет автоматический текущий контроль величины сопротивления изоляции ЩПТ. Устройство снабжено автоматической подстройкой к ёмкости сети относительно земли.

Степень чувствительности и другие функциональные параметры устанавливаются посредством клавиш управления на панели прибора. При этом параметры отображаются на ЖК-дисплее и после завершения настройки записываются в ПЗУ со встроенным источником питания.

На контролируемую сеть накладываются импульсы положительной и отрицательной полярности, контролируемые микропроцессором. Цикл измерения состоит из подачи положительных и отрицательных импульсов одинаковой амплитуды. Длительность импульса задаётся автоматически в зависимости от ёмкости сети и сопротивления изоляции контролируемой сети относительно земли. При замыкании на землю через место повреждения изоляции протекает оперативный ток. На основании полученного замера тока устройство вычисляет сопротивление изоляции, величина которого отображается на ЖК-дисплее.

При снижении сопротивления изоляции сети ниже заданных уставками значений ALARM1, ALARM2 срабатывают соответствующие выходные реле, загораются сигнальные светодиоды «ALARM1/2», на ЖК-дисплее показывается измеренное значение сопротивления изоляции, дополнительно показывается, в каком проводнике произошло повреждение.

Функцией устройства контроля изоляции A-ISOMETER серии IRDH575 также является автоматическое определение повреждённого присоединения ЩПТ. Если величина сопротивления изоляции снизится ниже уставок ALARM1, ALARM2 то посредством прибора EDS470-12, и подключённых к нему трансформаторов тока, установленных на каждом присоединении, осуществляется автоматическое определение дефектного присоединения.

Дальнейший поиск участка с повреждённой изоляции возможно произвести при помощи переносного портативного прибора EDS165, в комплекте с измерительными клещами PSA3020.

Помимо сигнала о общем снижении изоляции типа «сухой контакт» (по 2 уставкам), при помощи протокол-гконвертора FTC15000, система может обеспечивать передачу информации о номере повреждённого фидера во внешнюю сеть (для АСУ) посредством интерфейса RS485 (протокол MODBUS).

Более подробно с техническими характеристиками системы A-ISOMETER серии IRDH575 можно ознакомиться в руководстве по эксплуатации TGH1 364/03.2003.

Вариант организации контроля сопротивления изоляции с применением системы A-ISOMETER приведён на чертеже 10408тм-т1, лист 53.

Для учёта при производстве дополнительные требования к ШУОТ в соответствии с данным разделом должны включаться как в проектную документацию, так и в опросный лист.

#### Литература:

1. Правила устройства электроустановок, 7 издание (гл.4).
2. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ, СО 153 – 34.20.122-2006;
3. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ, СО 153-34.20.187-2003;
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, (2003г, гл.5.5).
5. ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока.
6. Методические указания по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций. МУ 34-70-035-83 (Москва, Союзтехэнерго).
7. МУ 34-70-035-83. Дополнение к методическим указаниям по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций (Москва, Союзтехэнерго).
8. Доклад. “Расчетные и экспериментальные методы определения тока короткого замыкания в электроустановках оперативного постоянного тока”. Богданов А.Д., Гусев Ю.П., Кудрявцев В.Н., Фещенко В.А. (2001г).
9. НТМ 3854. “О выборе защитных автоматов в цепях электромагнитов включения масляных выключателей”.
10. 3279тм-Т2. Методика выбора автоматических выключателей и сечений проводников в системе оперативного постоянного тока подстанций по условию обеспечения чувствительности, селективности и резервирования (Москва, 1994г).
11. 10681тм-Т20/І. Выбор сечения кабелей в цепях оперативного тока =220В подстанций с аккумуляторными батареями (г.Горький, Галицын А.А., Хмелев Б.Ф., Федоровская А.И.).
12. В.В.Жуков. “Короткие замыкания в электроустановках постоянного тока” (Москва, Издательство МЭИ, 2005г.).

