

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)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Реконструкция системы оперативного тока подстанции 220/110/10 кВ «Рысаево»

Обучающийся

М.П. Серов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 3 |
| 1 Анализ действующей системы оперативного тока подстанции «Рысаево» | 8 |
| 1.1 Главная схема | 8 |
| 1.2 Щит постоянного тока | 10 |
| 1.3 Размещение оборудования на щите постоянного тока | 14 |
| 1.4 Сигнализация щита постоянного тока | 16 |
| 1.5 Аккумуляторная батарея | 16 |
| 1.6 Недостатки существующей системы оперативного тока | 20 |
| 2 Выбор наиболее рационального варианта системы оперативного тока .. | 22 |
| 2.1 Разновидности систем оперативного тока..... | 22 |
| 2.2 Области применения различных систем оперативного тока..... | 24 |
| 3 Разработка условий применения новой системы оперативного тока в условиях подстанции «Рысаево» | 44 |
| 3.1 Расчет существующей нагрузки | 44 |
| 3.2 Проверка существующей аккумуляторной батареи | 45 |
| 3.3 Расчет емкости существующей батареи | 47 |
| 3.4 Расчет токов короткого замыкания в сети постоянного тока..... | 48 |
| 3.5 Выбор новой аккумуляторной батареи..... | 53 |
| 3.6 Выбор автоматических выключателей и предохранителей | 64 |
| 3.7 Проверка силовых кабелей на термическую стойкость..... | 70 |
| 3.8 Выбор УЗВ | 73 |
| 3.9 Этапы проведения реконструкции системы оперативного тока..... | 78 |
| Заключение | 80 |
| Список используемых источников..... | 81 |
| Приложение А Схемы оперативного тока ПС 220кВ «Рысаево» | 87 |

Введение

Одним из основных условий надежного и бесперебойного функционирования устройств РЗА, АСУТП и АИИСКУЭ на подстанциях электроэнергетической системы является организация оптимальной структуры их оперативного питания. Главная особенность обеспечения оперативного питания этих систем заключается в том, что в наши дни на подстанциях происходит установка и развертывание новых типов систем и видов электрооборудования, которые требуют совершенно других подходов относительно существующих. Питание эти системы получают от системы переменного или постоянного оперативного тока подстанции. При этом при проектировании систем оперативного питания должна быть учтена возможность работы подстанции без постоянного нахождения оперативного персонала на ее территории [1].

Достижение установленных стратегических целей электросетевого комплекса в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности может быть обеспечено разработкой технических и организационных мероприятий, направленных на решение ряда задач, среди которых: «внедрение системы мониторинга потребления энергетических ресурсов, а также технологического и экономического эффектов от реализации мероприятий по энергосбережению, а также анализ и внедрение передового опыта и технологий» [1], что невозможно без организации современной и надежной системы оперативного тока на подстанции.

На подстанциях энергосистемы используется множество вторичных электротехнических устройств и механизмов, выполняющих функции по управлению, регулированию электрического режима, релейной защиты и автоматики, автоматизированному учету. Эти системы получают питание от специальных источников питания, которые принято называть источниками оперативного тока. Электрические цепи, которые питают эти системы на

подстанции, называются оперативными цепями, а их схемы питания называют схемами оперативного тока.

«Оперативным называется ток, при помощи которого производится управление выключателями, а также питание цепей защит, автоматики и различного вида сигнализации. Кроме того, в период аварийных режимов работы оперативный ток может служить для аварийного освещения и электроснабжения особо ответственных механизмов. Электроустановки оперативного тока обеспечивают управляемость и живучесть электрических станций и подстанций, а, следовательно, и всей энергосистемы.

Источники оперативного тока должны иметь достаточную величину напряжения и мощности во время КЗ и ненормального режима для действия устройств релейной защиты и автоматики, а также для надежного отключения и включения выключателей.

В качестве источника постоянного тока используются аккумуляторные батареи с зарядными устройствами, осуществляющие централизованное питание оперативным током цепей всех присоединений. Ряд стандартных напряжений постоянного оперативного тока: 24, 48, 110 и 220В.

В ряде случаев применяют схемы питания оперативных цепей с использованием различных источников тока. Так, например, при малой мощности аккумуляторной батареи от нее получают питание цепи управления и защиты, а включающие электромагниты - от выпрямительных устройств» [1, 14, 35].

С целью повышения надежности электроснабжения потребителей в системах оперативного тока их распределительную сеть принято делить на отдельные участки, которые получают независимое питание от различных сборных шин аккумуляторных батарей. Кроме того, оперативные цепи должны быть защищены от негативного воздействия токов короткого замыкания при помощи коммутационно-защитных аппаратов, таких как автоматические выключатели или предохранители.

«Наиболее ответственными потребителями являются цепи оперативного тока релейной защиты, автоматики и управления выключателями. Эти цепи питаются от отдельных шин управления, которые делятся на несколько секций для повышения надежности рубильниками. От шин управления питания на цепи релейной защиты, автоматики и управления подается через отдельные автоматы или предохранители для каждого выключателя.

Несмотря на то что, аккумуляторные батареи и являются наиболее надежными источниками питания, обеспечивающие необходимые уровни напряжения и мощности вне зависимости от исполнения основной схемы, они в свою очередь являются и самыми дорогими, требующие специальные помещения, зарядные устройства и квалифицированного обслуживания. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получает питание оперативных цепей от источников переменного тока. А постоянный оперативный ток в первую очередь используется на установках, где аккумуляторные батареи требуются как для включения мощных выключателей, так и для ряда других нужд.

Наиболее надежными источниками переменного оперативного тока для работы защит являются трансформаторы тока, обеспечивающие их четкую работу при перегрузках и коротких замыканиях. Трансформаторы напряжения нельзя использовать для питания оперативных цепей отключения, так как при близких трехфазных КЗ напряжение на шинах электроустановки может понизиться настолько, что не сработает отключающая катушка привода выключателя.

По этой причине трансформаторы напряжения используются для питания тех защит, которые действуют при режимах, не связанных со значительным понижением напряжения на шинах. От трансформаторов собственных нужд получают питание устройства и цепи, для которых не требуется особая стабильность подводимого напряжения и допускаются временные перерывы в подаче питания» [2, 15, 34].

Источники выпрямленного тока можно разделить на три основные группы, это источники: для зарядки и подзарядки аккумуляторных батарей; для питания цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации; для включающих электромагнитов приводов высоковольтных выключателей. К этой группе принято также относить заранее заряженные от выпрямителей конденсаторы.

«В настоящее время на электрических станциях и подстанциях происходит замена традиционных средств релейной защиты и противоаварийной автоматики на микропроцессорные. Изменение состава электроприемников постоянного тока требует пересмотра требований к отключающим защитным аппаратам. Значительно усиливаются требования к качеству питания и электромагнитной совместимости электроприемников и систем питания.

Традиционные принципы построения сети оперативного постоянного тока не отвечают возросшим требованиям» [2].

Актуальность работы обусловлена тем, что подстанция «Рысаево» была введена в техническую эксплуатацию в 1975 году и по прошествии стольких лет установленное на ней электрооборудование успело устареть как технически, так и морально. Установка нового электрооборудования, позволит повысить надежность подстанции, следовательно, и всей электроэнергетической системы.

В связи с заменой двух автотрансформаторов (АТ) мощностью 200 МВА на АТ мощностью 250 МВА на ПС 220 кВ «Рысаево» предполагается ввод новых присоединений, подключенных к щиту постоянного тока. При реконструкции релейной защиты электромеханические реле будут заменены на микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ). В настоящее время внедрение микропроцессорных устройств является главным направлением развития и модернизации устройств релейной защиты. Кроме реализации основных функций по обеспечению защиты элементов электроэнергетических систем современные микропроцессорные устройства

обладают дополнительными функциями по отслеживанию и регистрации возникновения и протекания аварийных событий.

Целью работы является повышение энергетической эффективности путем обеспечения надежности системы оперативного тока на подстанции 220 кВ «Рысаево».

Поставленная цель достигается решением следующих задач, которые поставлены в данной работе:

- Анализ действующей системы оперативного тока подстанции «Рысаево».
- Выбор наиболее рационального варианта системы оперативного тока.
- Разработка условий применения новой системы оперативного тока в условиях подстанции «Рысаево».

1 Анализ действующей системы оперативного тока подстанции «Рысаево»

1.1 Главная схема

Подстанция 220 кВ «Рысаево» введена в эксплуатацию в 1975 году и по способу подключения к сети относится к узловому типу с постоянным обслуживающим персоналом. Сеть 220 кВ, питающая ПС 220 кВ «Рысаево», и сеть 110 кВ, питающаяся от ПС 220 кВ «Рысаево», являются исключительно распределительными сетями. Ни одна из ВЛ 110, 220 кВ не используется для транзитного режима работы. В районе размещения ПС 220 кВ «Рысаево» преобладает промышленная нагрузка и нагрузка городского округа Медногорска.

На ПС 220/110/10 кВ «Рысаево» отсутствуют подключенные объекты генерации, таким образом район ПС 220 кВ «Рысаево» исключительно дефицитный.

ОРУ 220 кВ выполнено по схеме №220-5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий». ОРУ–220 кВ (год начала ввода в эксплуатацию – 1974 г.). В состав открытого распределительного устройства с номинальным напряжением 220 кВ входят две секции шин; 2 масляных высоковольтных выключателя У-220-1000/2000-25У1 со встроенными измерительными ТТ марки ТВТ-220/1000; 2 измерительных трансформатора напряжения марки НКФ-220-58У1, используемые для подключения средств измерений и РЗиА; 2 ограничителя перенапряжения нелинейных марки ОПН-220/154/10/550П УХЛ1; конденсатор связи и высокочастотные заградители.

Надёжность электрической схемы ОРУ – 220 кВ заключается в том, что она способна получать непрерывное питание при выводе одного из высоковольтных линейных выключателей в ремонт, при этом обеспечивается нормальная работа обоих автотрансформаторов от оставшейся в работе линии.

При этом автотрансформатор получающий питание от выводимой в ремонт ЛЭП запитывается через секционный выключатель.

ОРУ 110 кВ выполнено по схеме №110-14 «Две рабочие секционированные выключателями и обходная системы шин с двумя обходными и двумя шиносоединительными выключателями».

Вывод выключателей отходящих линий в ремонт производится путем перевода линии на ОСШ-110 кВ, без перерыва электроснабжения потребителей. Присутствие в схеме ОРУ-110 кВ двух секционированных систем шин, делает возможным перевод всех присоединений с одной системы сборных шин на вторую без перерыва в питании потребителей; трансформаторы напряжения устанавливаются на каждую систему шин марки НКФ-110-58У1, кроме обходной системы шин; на 1й секции установлено 5 присоединений из них 3 ЛЭП, на 2й секции установлено 4 присоединения из них 3 ЛЭП, на 3й секции установлено 5 присоединений из них 4 ЛЭП, на 4й секции установлено 6 присоединений из них 4 ЛЭП. На ОРУ-110 кВ наличие устройств КС и ВЧ предусмотрено только на одной из линий 110 кВ.

Все две схемы ОРУ – 220 кВ и ОРУ – 110 кВ являются надёжными составляющими электроэнергетической системы.

На ПС «Рысаево» установлены два автотрансформатора. АТ-1 подключается к ОРУ-220 кВ на 1й секции шин 220 кВ, на ОРУ-110 кВ на 1ую систему шин 110 кВ; АТ-2 подключается к ОРУ-220 кВ на 2й секции шин 220 кВ, на ОРУ-110 кВ на 4ую секцию шин 110 кВ.

Управление системой охлаждения автотрансформатора типа ДЦ может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режиме. Система управления размещается в шкафах ШАОТ, установленных в ОРУ-220/110 кВ вблизи с автотрансформаторами.

Федеральная сетевая компания планирует провести работы по модернизации системы противоаварийной автоматики на подстанции 220 кВ «Рысаево», которая является одним из ключевых энергоузлов Оренбургской области.

Таким образом будет повышена надежность электроснабжения крупных промышленных, городских потребителей Оренбургской электроэнергосистемы и объектов нефтегазодобывающего комплекса. На высоковольтных выключателях 220 кВ планируется установить современные цифровые приборы на микропроцессорной основе, включить в работу новую дифференциальную защиту шин 220 кВ.

Так же будет установлена автоматизированная система управления технологическими процессами подстанции с поддержкой приема и передачи аналоговых и дискретных сигналов в цифровом виде. Новые устройства самостоятельно смогут проводить диагностику, позволяющую постоянно получать информацию о состоянии защит. Устройства РЗА предназначены для отключения поврежденного участка сети и определения мест повреждения на линиях электропередачи. Новое защитное оборудование позволит снизить вероятность технологических нарушений, которые могут привести к сбоям в работе энергосистемы. Для обеспечения возможности реализации данных мероприятий планируется глубокая реконструкция системы оперативного тока подстанции [15].

1.2 Щит постоянного тока

Схема оперативного тока ПС 220кВ «Рысаево» представлена на рисунке А.1 Приложения А.

«Оперативный ток на подстанции служит для питания вторичных устройств, к которым относятся оперативные цепи защиты, автоматики и телемеханики, аппаратура дистанционного управления, аварийная и предупредительная сигнализация. При нарушениях нормальной работы подстанции оперативный ток используется также для аварийного освещения» [3, 16].

На ПС 220/110/10кВ «Рысаево» щит постоянного тока (ЩПТ) состоит из двух идентичных секций – 1с 220В панель №25 Ввод ВУ1, 2с 220В панель №27

Ввод ВУ2 и общей панели №26 Ввод батареи.

Первая и вторая секции ЩПТ запитаны от аккумуляторной батареи типа БССАП600 через двухполюсный автомат (ВА56-41 – «+» и «-118») и однополюсный автомат (NS100S – «-103»), установленные с обратной стороны панели №26. От зарядно-выпрямительных устройств типа УЗВ 220-100 №1 и №2, подключенных на 1 и 2 секцию ЩПТ через автоматы А-1ВУ и А-2ВУ и пакетные переключатели ПП1ВУ и ПП2ВУ (имеющие по два положения «103»-«118» - количество элементов АБ) соответственно.

Обе секции объединены секционными рубильниками СР-1 и СР-2 (панели №26).

Питание УЗВ 220-100 №1 и №2 осуществляется со щита собственных нужд 0,4кВ панелей №30 и №41 (автоматы А-9)

От 1секции ЩПТ через автоматы СВ-яч3(А3144), СВ-яч13(А3124) и предохранители ПР-яч3, ПР-яч13 запитаны силовые цепи соленоидов включения масляных выключателей; через пакетный переключатель 29ПВ и два предохранителя 29ПР запитаны цепи управления и сигнализации компрессорной [19].

От 2секции ЩПТ через автоматы СВ-яч22(А3144), СВ-яч12(А3124) и предохранители ПР-яч22, ПР-яч12 запитаны силовые цепи соленоидов включения масляных выключателей; через пакетный переключатель 26ПВ и два предохранителя 26ПР запитаны цепи управления и сигнализации компрессорной; через пакетный переключатель 32ПВ и два предохранителя 32ПР запитаны цепи переключающего устройства аварийного освещения; через пакетный переключатель 24ПВ и два предохранителя 24ПР запитаны цепи постоянного аварийного освещения над панелями 1-11.

От главных шин (1 и 2 секции: «+» и «-103») питаются шинки управления и сигнализации («+» напрямую, «-» через ключ ПБ). Ключ ПБ имеет два положения: «100б» - запитывается от сотого элемента АБ через предохранитель 50ПР и «103б».

Шинки управления и сигнализации также секционированы: +Iс –Iс (+)Iс; +IIс –IIс (+)IIс, где (+)Iс и (+)IIс - это шинки мигания.

От «+» и «-» I,II секций шинок управления и сигнализации через переключатель 9ПУ и два предохранителя 9ПР питаются шинки управления Iс ГЩУ пан11; через переключатель 5ПУ и три предохранителя 5ПР питаются шинки сигнализации Iс ГЩУ пан1.

От «+» и «-» 1,2 секций шинок управления и сигнализации через переключатель 14ПУ и два предохранителя 14ПР питаются шинки управления 2с ГЩУ пан11; через переключатель 6ПУ и три предохранителя 6ПР питаются шинки сигнализации I2с ГЩУ пан1.

На 1с ШУ и ШС через предохранители 59ПР и 60ПР подключено устройство контроля напряжения 1с. На 2с ШУ и ШС через предохранители 61ПР и 62ПР подключено устройство контроля напряжения 2с, подающее сигнал при значениях напряжения 217В и 242В

На 1с ШУ и ШС через предохранители 55ПР и 56ПР подключено устройство мигающего света 1с с кнопкой 1КО на лицевой стороне панели №26. На 2с ШУ и ШС через предохранители 57ПР и 58ПР подключено устройство мигающего света 1с с кнопкой 2КО на лицевой стороне панели №26.

Напряжение на 1 секции шин («+» и «-103») и 2 секции шин («+» и «-103») контролируется вольтметром 1V – «Напряжение на 1 и 2 сек от АБ-103 банки» на панели №26. Напряжение измеряемое этим вольтметром не должно быть менее 215В и более 231В. Норма 229,7В

Напряжение на 1 секции шин («+» и «-118») и 2 секции шин («+» и «-118») контролируется вольтметром 2V – «Напряжение на 1 и 2 сек от АБ-118 банки» на панели №26. Напряжение измеряемое этим вольтметром не должно быть менее 255 В и более 270 В. Норма 263,14В.

Напряжение на 1 секции шинок управления контролируется вольтметром 3V – «Напряжение на 1с шинок управления» на панели №26.

Напряжение измеряемое этим вольтметром не должно быть менее 215В и более 231В. Норма $220 \pm 11В$.

Зарядный-разрядный ток АБ (грубое измерение) контролируется амперметром 1А-«Зарядно-разрядный ток АБ (грубое)»

Зарядный-разрядный ток АБ (точное измерение) контролируется амперметром 2А-«Зарядно-разрядный ток АБ (точное)»

На шинах 1 и 2 секции ЩПТ выполнен автоматический контроль изоляции шин постоянного тока и устройство измерения изоляции. С помощью переключателей ПС, ПИ и кнопки КО на пан. 26 осуществляется контроль изоляции цепей оперативного тока 1 и 2 секции ЩПТ. Нормально переключатели должны стоять: ПС – в положении 1с, ПИ – в положении «перекос». В этом случае контроль изоляции 1 секции шин осуществляется автоматически, вольтметр показывает перекас напряжения на шинах 1 секции шин постоянного тока. Для замера изоляции полюсов относительно «земли» необходимо ключ ПИ установить в положение «+» или «-» относительно «земли». При хорошей изоляции вольтметр покажет на обоих полюсах половину напряжения на шинах. В случае утечки вольтметр покажет напряжение, отличное от половины напряжения, а, в случае полной «земли», на том полюсе, где «земля» - вольтметр покажет ноль, а на другом полюсе – полное напряжение питания. Для замера изоляции также используется потенциометр и килоомметр. При нормальной изоляции полюсов относительно «земли» килоомметр показывает «∞». При снижении изоляции стрелка прибора на полюсе, где «земля», приближается к нулю [28].

Аккумуляторная батарея является источником постоянного тока и находится в режиме постоянного подзаряда от зарядно-выпрямительных устройств.

Питание по устройствам защит и автоматики распределяется при помощи ключей управления, которые расположены на ЩПТ.

Нагрузка распределена так, чтобы потребление с каждой было примерно одинаковое.

Для защиты шин постоянного тока от КЗ на различных участках питания применяются участковые предохранители, расположенные на соответствующих секциях ЩПТ [39].

Питание защит и автоматики выполнено по кольцевой схеме с секционными рубильниками.

1.3 Размещение оборудования на щите постоянного тока

Щит постоянного тока (ЩПТ) включает в себя панели №25, №26, №27.

- На панели №25 1 секция находятся:
- Переключатель 9ПУ «± ШУ»
- Переключатель 5ПУ «± ШС»
- Пакетный переключатель 25ПВ «Компрессорная цепи управления»
- Пакетный переключатель подключения зарядного устройства ПП1ВУ («103»)
- Автомат подключения зарядного устройства А-1ВУ
- Переключатель 7ПУ «Стойка отключающего импульса ТоА3»
- Лампа сигнальная ЛС «Автомат В2 ВУ-1 отключен»
- Автомат соленоидов включения СВ-яч3 (обратная сторона панели)
- Автомат соленоидов включения СВ-яч13 (обратная сторона панели)
- На панели №26 Ввод батареи находятся:
- Автомат подключения АБ двухполюсный ВА56-41 – «+» и «-118» (обратная сторона панели)
- Автомат подключения АБ однополюсный NS100S – «-103» (обратная сторона панели)
- Рубильник СР-1
- Рубильник СР-2
- Амперметр 1А «Зарядно-разрядный ток АБ(грубо)»
- Амперметр 2А «Зарядно-разрядный ток АБ(точно)»

- Киловольтметр «Контроль изоляции»
- Вольтметр 1V «Напряжение на I-II секции 103б»
- Вольтметр 2V «Напряжение на АБ 118б»
- Переключатель контроля напряжения на I-II секции 1ПИ «Напряжение»
- Кнопка контроля зарядно-разрядного тока АБ ЗКО «Ток АБ»
- Вольтметр 3V «Напряжение на шинках управления и сигнализации»
- Кнопка опробования пульспары 1секции 1КО «Мигание 1с»
- Лампа сигнальная опробования пульспары 1секции 1ЛО
- Переключатель перевода питания от 100б и 103б ПБ II
- Кнопка контроля изоляции КО «Изоляция»
- Переключатель контроля изоляции на секциях ПС1 «Переключатель секционный»
- Переключатель контроля изоляции ПИ «изоляция»
- Кнопка опробования пульспары 2секции 2КО «Мигание 2с»
- Лампа сигнальная опробования пульспары 2секции 2ЛО
- Потенциометр П
- На панели №27 2 секция находятся:
- Переключатель 14ПУ «± ШУ»
- Переключатель 6ПУ «± ШС»
- Пакетный переключатель 26ПВ «Компрессорная цепи управления»
- Пакетный переключатель подключения зарядного устройства ПП2ВУ («103»)
- Автомат подключения зарядного устройства А-2ВУ
- Пакетный переключатель 28ПВ «Накладка МСРЗАИ»
- Пакетный переключатель 24ПВ «Постоянное аварийное освещение»
- Пакетный переключатель 32ПВ «Аварийное освещение»
- Лампа сигнальная ЛС «Автомат В2 ВУ-2 отключен»
- Автомат соленоидов включения СВ-яч22 (обратная сторона панели)

– Автомат соленоидов включения СВ-яч12 (обратная сторона панели)

На ЩПТ ГЩУ имеются два выпрямительных зарядно - выпрямительных устройства - УЗВ220-100 №1 и УЗВ220-100 №2

На передней двери УЗВ находятся:

- V - Вольтметр выходного напряжения УПА(В) на хвостовых банках
- V - Вольтметр выходного напряжения (В) на секциях ЩПТ
- А - Амперметр выходного тока(А) шин управления и сигнализации.
- Тумблер включения УЗВ «Пуск»-«Стоп».
- Тумблер режима стабилизации – «Напряжение»-«Ток».
- Кнопки регулирования U и I – «Больше»-«Меньше».

1.4 Сигнализация щита постоянного тока

На щите постоянного тока ведется автоматический контроль изоляции и напряжения [40, 41].

При отключении автоматов аккумуляторной батареи, выпрямительных устройств и А1 380В в УЗВ; при снижении изоляции или появлении «земли»; при понижении или повышении напряжения на ЩПТ работает предупредительная сигнализация и выпадает блинкер 1РУ-«Щит постоянного тока» на панели центральной сигнализации №1 ГЩУ.

1.5 Аккумуляторная батарея

«Курский завод "Аккумулятор" производит стационарные, малообслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторы серии ССАП, которые соответствуют европейскому стандарту DIN и являются аналогами аккумуляторов типа OPzS, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами» [4].

Выпускаемые заводом аккумуляторы типа ССАП (OPzS) с панцирными положительными пластинами используются в системах бесперебойного

питания. Отличительными особенностями данных аккумуляторов являются продолжительный срок службы, высокая надежность и безопасность в эксплуатации, а также высокая стойкость при циклических нагрузках.

«В соответствии со своими характеристиками они применяются для комплектования батарей, используемых в качестве источников постоянного тока в системах телекоммуникаций, энергетики, металлургических, химических заводах и других объектах промышленного оборудования, для которых необходимо бесперебойное обеспечение электроэнергией» [4, 32].

Конструктивными элементами аккумуляторов являются:

- трубчатая положительная пластина, сделанная из свинцово-сурьмяного сплава с пониженным содержанием сурьмы (менее 1,7%). Данные аккумуляторы типа ССАП выпускаются из 4х стандартных типоразмеров положительных панцирных электродов с номинальными емкостями 50, 70, 100 и 125А·ч. Номинальная емкость аккумуляторов находится в диапазоне 200 А·ч - 3000 А·ч (при продолжительности разряда в 10 ч.);
- «плоская отрицательная пластина с нанесением активного вещества намазным способом;
- корпуса аккумуляторных элементов изготавливаются из прозрачного или полупрозрачного, высокопрочного материала, что позволяет выполнять визуальный контроль уровня электролита. Аккумуляторная крышка герметично соединяется с корпусом аккумулятора, что исключает утечки газа и электролита;
- сепаратор между положительными и отрицательными пластинами изготавливается из комбинированного микропористого и гофрированного листового материала.
- пробки имеют пожаровзрыво-безопасное исполнение. Аккумуляторы снабжаются фильтр-пробками, удерживающими пары серной кислоты при эксплуатации аккумулятора в режиме постоянного подзаряда с напряжением не превышающем 2,25 В и в зарядном

режиме при напряжении, не превышающем 2,35 В на аккумуляторе. Фильтр-пробки позволяют обеспечить работу аккумуляторных батарей без добавления дистиллированной воды на протяжении трех - пяти лет.

- конструкция борнов и перемычек делает возможным соединение аккумуляторов в батарею при помощи болтов или пайки.
- электролит в аккумуляторе является раствором серной кислоты. Плотность электролита в полностью заряженном аккумуляторе при окружающей температуре в 20°C составляет $1,240 \pm 0,010$ кг/л.

Стационарная аккумуляторная батарея типа 6ССАП 600 служит для питания нагрузок постоянного тока. В условном обозначении буквы и цифры означают: 6-количество положительных электродов; С-стационарный; С-свинцово-кислотный; А-закрытого исполнения; П-призматический» [4]. 600-ёмкость 10-часового режима разряда в Ач и номинальным напряжением 2,23 В.

Батарея АБ состоит из 118 рабочих элементов. Номинальное напряжение элемента 2,23 В батареи из 118 элементов- 263,14В Батарея имеет 4 вывода: «плюс» -1 элемент, «минус» -103 элемент, минус № 100 элемент.

«Напряжением 263,14 В с 118 элемента через автоматы (на ЩПТ) запитаны соленоиды масляных выключателей, с 103 и 100 элементов напряжением 234,15 В и 224 В через автоматы, расположенные на панели щита постоянного тока (ЩПТ), запитаны цепи постоянного тока» [4, 33].

Аккумуляторные батареи предназначены для работы в условиях эксплуатации группы М1 по ГОСТ 17516.1 в режимах постоянного подзаряда в циклическом режиме (заряд-разряд).

«Климатическое исполнение аккумуляторов О, категория размещения по ГОСТ 15150 для эксплуатации в закрытых вентилируемых помещениях при температуре от 0 до плюс 55 °С» [4].

Потребители СН постоянного тока по характеру своей работы подразделяются:

- на постоянную нагрузку – часть реле РЗА, сигнальные приборы на щитах управления, сигнальные лампы и прочие;
- на потребителей, работающих периодически и кратковременно – электромагнитные приводы выключателей, реле постоянного тока для управления, автоматики и защиты;
- на потребителей, переключающихся на питание от аккумуляторной батареи во время аварии – аварийное освещение ПС, агрегат аварийного питания связи.

Основными характеристиками аккумуляторов типа 6ССАП 600 являются их номинальная емкость, продолжительность и ток разряда, максимальный ток заряда. Их значения определяются типом, размером и числом пластин.

Технические характеристики аккумуляторной батареи 6ССАП 600 приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Технические характеристики аккумуляторной батареи

| Тип | Номинальное напряжение В | Емкость при 10ч разряде, А/ч | Число положительных пластин в элементах | Кол-во элементов | Наружные размеры сосуда | | | масса | | Необходимое количество электролита |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|---|------------------|-------------------------|------------|------------|--------------|-------------|------------------------------------|
| | | | | | Длина, мм | Ширина, мм | Высота, мм | Без эл. Лита | С эл.-литом | |
| 6С СА П 600 | 263,14 | 600 | 6 | 118 | 145 | 206 | 695 | 31,9 | 44,8 | 10,4 |

« $2,23 \text{ В} \cdot 105 = 234,15$ – для основной части АБ, которая подключена к основному каналу УЗВ №1,2; $2,23 \cdot 13 = 28,99 \text{ В}$ – для «хвоста» АБ, который подзаряжается от модуля подзаряда концевых элементов АБ установленному на УЗВ №1(2). Рекомендуемая точность стабилизации зарядного напряжения $\pm 1\%$ (предельно допустимая $\pm 2\%$) Плотность электролита не изменяется в

течение длительного времени.

Уравнительный заряд необходимо проводить после глубокого разряда и / или после недостаточного заряда, при снижении плотности электролита ниже 1,20 г/см³.

Выравнивающий заряд может проводиться напряжением 2,3 В на каждый элемент, а на батарею :234,15 В(105эл.) –на основную рабочую часть АБ и 2,3 В – на концевые элементы в течение 72 часов. Зарядные токи не ограничены до напряжения 2,4 В на элемент. При повышении значения 2,4 В на элемент возникает повышенное разложение воды» [4, 42].

Таблица 2 - Технические характеристики аккумуляторной батареи

| Тип | Режим разрядов | | | | | |
|---------------|----------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| | 10-ти часовой | | 3-х часовой | | 1-но часовой | |
| | Ток, А | Емк.А /ч | Ток,А | Емк.А /ч | Ток, А | Емк.А /ч |
| 6ССА П 600 | 58,8 | 588 | 150 | 450 | 286 | 286 |

1.6 Недостатки существующей системы оперативного тока

Недостатками существующей системы оперативного тока ПС «Рысаево» являются:

- Устаревшее морально и физически оборудование.
- Схема не удобна в эксплуатации. Большая продолжительность вывода схемы в ремонт (перевод присоединений с одной системы шин на другую).
- Отыскание места замыкания на землю в цепях оперативного тока не автоматизировано. При появлении замыкания на землю в цепях оперативного тока загорается табло на общем щите сигнализации, в дальнейшем оперативный персонал совместно с релейным занимаются поиском места замыкания на землю в цепях оперативного тока.

- На отыскание места замыкания на землю в цепях оперативного тока уходит много времени. «Одним из наиболее часто возникающих видов дефектов во вторичных цепях является снижение сопротивления изоляции полюсов относительно "земли" из-за увлажнения изоляции или механического повреждения. Анализ повреждений и отказов в СОПТ показывает, что снижение сопротивления изоляции в сетях управления, сигнализации и питания оперативного постоянного тока наблюдается в среднем один раз в 10-15 дней. Снижение сопротивления изоляции или замыкание на "землю" одного полюса в сетях оперативного тока может привести к ложной работе устройств защиты и автоматики и увеличивает вероятность возникновения короткого замыкания» [5].

- Согласно полученным практическим данным, емкости существующей аккумуляторной батареи не хватает, на шесть циклов (один цикл: отключение – включение – отключение) работы выключателей на ОРУ-110кВ.

- Отсутствуют взаиморезервирующие друг друга комплекты устройств РЗА.

- Система оперативного тока не отвечает новым требованиям ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 29.120.40.041-2010.

Выводы по первому разделу:

- Проведен анализ действующей системы оперативного тока ПС «Рысаево», который показал, что установленное на подстанции оборудование устарело морально и физически.

- Установлено, что система оперативного тока ПС «Рысаево» не удовлетворяет новым требованиям ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.40.041-2010 и обладает существенными недостатками, такими как: большая продолжительность вывода схемы в ремонт; на отыскание места замыкания на землю в цепях оперативного тока уходит много времени; емкости существующей аккумуляторной батареи не хватает на шесть циклов; отсутствуют взаиморезервирующие друг друга комплекты устройств РЗА.

2 Выбор наиболее рационального варианта системы оперативного тока

2.1 Разновидности систем оперативного тока

Система оперативного тока является одной из самых ответственных на подстанции и должна сохранять свою работоспособность при возникновении различных нештатных ситуаций в первичных цепях подстанции [1, 46].

В состав системы оперативного тока на подстанции входят источник питания, обеспечивающий электроэнергией потребителей системы и распределительная сеть, обеспечивающая транспортировку электроэнергии от источника к потребителям системы. Электроприемники, подключенные к системе оперативного тока на подстанции можно условно разделить три группы:

- электроприемники работающие на подстанции постоянно, к ним относятся различные индикаторы (указательные лампочки, сигнализаторы положения разъединителей и другой коммутационной аппаратуры), реле, находящиеся постоянно под напряжением, аварийное освещение, электроприемники запитанные от аккумуляторных батарей в нормальном режиме работы и прочие;
- электроприемники, которые начинают работать при перерыве в подаче электроэнергии по сети переменного тока: это некоторые светильники системы аварийного освещения; маслонасосы синхронных компенсаторов; электрические двигатели резервных аппаратов связи и другие, которые в нормальном режиме работы либо выключены, либо питаются от сети переменного тока;
- электроприемники кратковременного режима работы: к ним относятся электроприводы высоковольтных выключателей и разъединителей, обмотки автоматов и контакторов в сетях электроснабжения собственных нужд подстанции, различные

блокировки и др. При этом ток, потребляемый данными устройствами может различаться во много раз. Так, значение потребляемого тока указательным реле типа РУ 21/0,01 равно лишь 0,01 А, в то время как значение тока включения привода высоковольтного выключателя ШПЭ-42 может достигать значения в 720 А.

«Применяются следующие системы оперативного тока на подстанциях:

- постоянный оперативный ток - система питания оперативных цепей, при которой в качестве источника питания применяется аккумуляторная батарея;
- переменный оперативный ток - система питания оперативных цепей, при которой в качестве основных источников питания используются измерительные трансформаторы тока защищаемых присоединений, измерительные трансформаторы напряжения, трансформаторы собственных нужд. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия используются предварительно заряженные конденсаторы;
- выпрямленный оперативный ток - система питания оперативных цепей переменным током, в которой переменный ток преобразуется в постоянный (выпрямленный) с помощью блоков питания и выпрямительных силовых устройств. В качестве дополнительных источников питания импульсного действия могут использоваться предварительно заряженные конденсаторы;
- смешанная система оперативного тока - система питания оперативных цепей, при которой используются разные системы оперативного тока (постоянный и выпрямленный, переменный и выпрямленный)» [1].

По типу питания система оперативного тока может быть зависимой и независимой, что напрямую отражается на надежности запитанных от нее электроприемников:

- при зависимой системе питания, изменения в первичных цепях подстанции передаются и в сеть оперативного тока, а при перерыве

питания также прекращается питание потребителей системы оперативного тока на подстанции;

- при независимой системе питания, изменения, происходящие в первичных цепях подстанции, не оказывают влияния на работу электроприемников, подключенных к системе оперативного тока на подстанции даже при полном прекращении подачи электроэнергии через первичные цепи подстанции.

2.2 Области применения различных систем оперативного тока

2.2.1 Система постоянного оперативного тока

На рисунке 1 приведена типовая схема питания потребителей на постоянном оперативном токе.

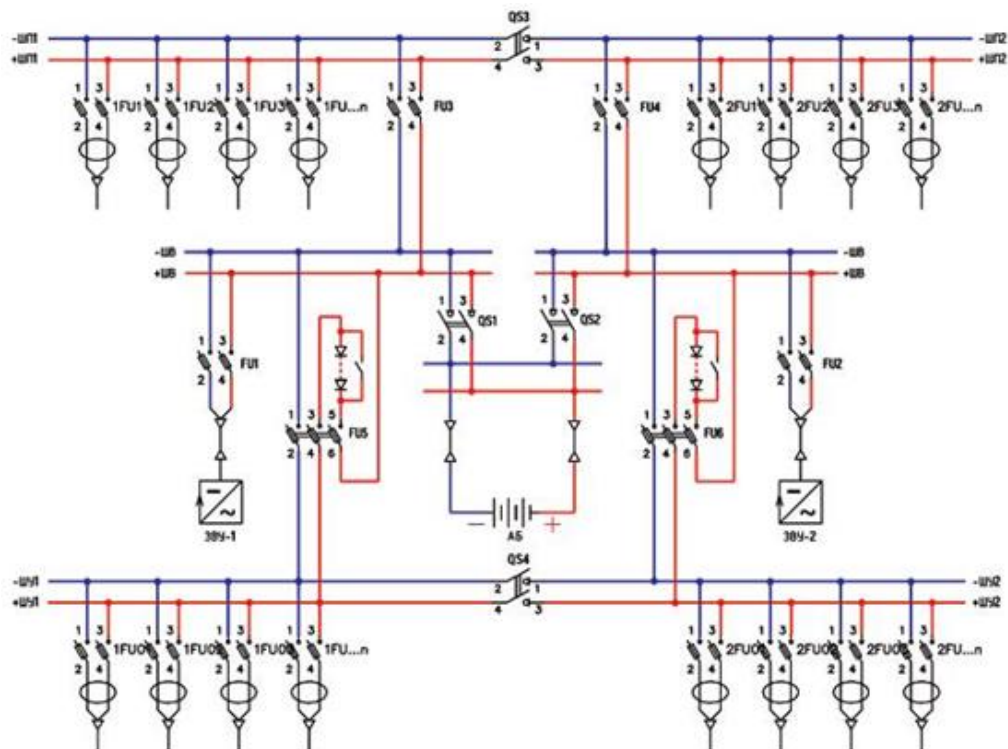


Рисунок 1 – Типовая схема питания потребителей на постоянном оперативном токе

Система постоянного оперативного тока нашла широкое применение на подстанциях с высшим напряжением 110-220 кВ при наличии сборных шин на стороне ВН данных классов напряжения, а также на ПС с напряжениями ВН 35-220 кВ при отсутствии на стороне ВН сборных шин при наличии баковых масляных выключателей, оснащенных электромагнитным приводом, если завод, выпускающий эти выключатели в документации прямо не указал на возможность их использования на выпрямленном оперативном токе [2, 36].

Система оперативного постоянного тока на подстанциях энергосистем и предприятий получает питание от аккумуляторных батарей кислотного типа. Нужная емкость батареи набирается отдельными аккумуляторами, которые подсоединяются друг к другу последовательно.

«Аккумулятором называют вторичный химический источник тока, работа которого заключается в накоплении электрической энергии (заряд) и отдаче этой энергии потребителю (разряд). Аккумулятор характеризуется емкостью, ЭДС, зарядным и разрядным токами. Номинальной емкостью аккумулятора (в ампер-часах) является его емкость при 10-часовом разряде и нормальной температуре (25 °С) и плотности (1,21 г/см³) электролита.

На небольших подстанциях при отсутствии значительных толчков нагрузок и резких колебаний в сети оперативного тока (при включении выключателей и т. д.) применяют переносные стартерные аккумуляторные батареи небольшой емкости напряжением 24 и 48 В. Аккумуляторные батареи являются наиболее надежным источником питания вторичных устройств, так как они обеспечивают независимое (автономное) питание оперативных цепей при исчезновении напряжения переменного тока [3, 4, 44].

При исчезновении напряжения в первичных цепях подстанции, питание всех электроприемников постоянного тока осуществляется от аккумуляторных батарей, что позволяет сохранить работоспособность защит на подстанции и обеспечить возможность коммутации и переключений. В расчетах емкости батарей время перерыва питания выбирается не менее 30 минут для всех ЭП постоянного тока, а для устройств связи и телемеханики

подстанции должно составлять не менее 60-120 минут, что позволяет обеспечить электроэнергией ответственных потребителей подстанции на время ликвидации аварийной ситуации.

«Применение аккумуляторных батарей ограничено из-за их высокой стоимости и сложности эксплуатации. Поэтому они устанавливаются на наиболее крупных подстанциях. В настоящее время для заряда аккумуляторов используют статические выпрямительные устройства, называемые зарядными агрегатами. На старых подстанциях пока продолжает эксплуатироваться значительное количество двигателей-генераторов.

При эксплуатации электрическая энергия, накопленная в аккумуляторе, непрерывно расходуется. Для ее пополнения служат подзарядные агрегаты, в качестве которых также могут быть использованы двигатели-генераторы и статические выпрямительные устройства. Мощность подзарядных агрегатов обычно составляет 20—25 % мощности зарядных агрегатов. В ряде случаев один и тот же агрегат может выполнять функции зарядного и подзарядного агрегата.

Двигатели-генераторы состоят из приводного асинхронного электродвигателя и генератора постоянного тока с параллельным возбуждением. Обе машины устанавливаются на одной раме, а их валы соединяются эластичной муфтой. При заряде аккумуляторной батареи напряжение генератора зарядного агрегата должно изменяться, поэтому генератор постоянного тока выбирают с регулированием напряжения в широких пределах путем изменения его возбуждения шунтовым реостатом. В качестве статических зарядных и подзарядных агрегатов широко используются кремниевые выпрямительные устройства. В отличие от двигателя-генератора статические выпрямительные устройства дешевле, не имеют движущихся частей, более удобны в обслуживании, имеют большой срок службы и большую перегрузочную способность и поэтому наиболее распространены» [5, 7].

Одним из важных связующих элементов системы постоянного оперативного тока на подстанции являются щиты постоянного оперативного тока, сокращенно ЩПТ, которые осуществляют соединения зарядных и зарядно-подзарядных агрегатов с АБ и служат для размещения коммутационной аппаратуры, указательных и регистрирующих приборов за контролем функционирования системы [6]. Для обеспечения правильности переключений и повышения наблюдаемости ЩПТ снабжаются мнемоническими схемами, которые предназначены для дежурного персонала подстанции. Все элементы системы соединяются посредством кабелей, а при больших величинах передаваемых токов посредством шинопроводов. Все вместе эти элементы представляют собой схему электрических соединений системы электроснабжения постоянного тока подстанции.

«На подстанциях аккумуляторные батареи обычно работают в режиме постоянного подзаряда. В этом случае подзарядный агрегат, оснащенный устройством стабилизации напряжения (с точностью $\pm 2\%$), все время питает постоянно включенные электроприемники сети оперативного тока (сигнальные лампы, обмотки реле, контакторов), а также подзаряжает аккумуляторную батарею, компенсируя ее саморазряд. Вследствие этого аккумуляторная батарея все время полностью заряжена. Кратковременные толчки нагрузки воспринимаются в основном батареей. В установках, где для включения мощных электромагнитов масляных выключателей требуется повышенное напряжение, устанавливают дополнительные элементы. Батареи с дополнительными элементами состоят из 120, 128, 140 элементов вместо 108. В таких случаях схема несколько изменяется. Чтобы предотвратить сульфатацию пластин дополнительных элементов, между отрицательным полюсом и ответвлениями от 108-го элемента включается регулируемый резистор, с помощью которого создается ток разряда, равный току разряда основных элементов, либо включается подзарядный выпрямитель. Таким образом, обеспечиваются одинаковые условия работы основных и дополнительных элементов и исключается возможность глубоких зарядов и

разрядов, что предотвращает сульфатацию и увеличивает срок службы аккумуляторов. В режиме постоянного подзаряда батарея всегда находится в заряженном состоянии и готова к питанию потребителей постоянным током» [10].

Стабилизация напряжения на ЩПТ производится при помощи элементного коммутатора, который изменяет число подключенных батарей к шинам ЩПТ и/или зарядному агрегату [8, 43].

Также, как и сети переменного тока сети постоянного тока секционируются и строятся по ступенчатому принципу, что позволяет при повреждении одного элемента сети его оперативно отключить и возобновить питание остальных потребителей постоянного тока.

«Все потребители постоянного оперативного тока делятся по степени их ответственности на несколько категорий. Наиболее ответственными потребителями являются цепи оперативного тока релейной защиты, автоматики и управления выключателями. Эти цепи питаются от отдельных шинок управления, которые для повышения надежности делятся на несколько секций. Каждая секция шинок управления питает цепи релейной защиты, автоматики и управления определенного участка, например, выключателей 110 кВ, 35 кВ и т. д. Между секциями установлены рубильники, позволяющие производить питание от соседней секции при повреждении питающей линии» [9, 55].

Для коммутации и защиты каждая линия, отходящая от шин аккумуляторной батареи, снабжается рубильником и плавким предохранителем, при этом их работоспособность постоянно может быть оценена путем визуального контроля указательных индикаторов.

«От шинок управления питание на цепи релейной защиты, автоматики и управления подается через отдельные предохранители ПУ для каждого выключателя. Контроль исправности этих предохранителей осуществляется непосредственно в схемах управления выключателей.

Цепи сигнализации также часто питаются от отдельных шинок сигнализации. Однако ввиду меньшей ответственности они делятся на меньшее количество секции, например две. В тех случаях, когда отдельные шинки сигнализации не предусматриваются, питание цепей сигнализации производится от цепей управления через отдельные предохранители» [11].

По цепям управления протекание тока занимает ограниченное время, так как работа подключенных к ним электроприемников является кратковременной и связана с коммутационными процессами выключателей, при этом значение тока как правило находится в диапазоне от 5 до 10 ампер, сечение питающих проводов выбирается от 1,5 до 2,5 мм².

«Отдельные шинки и цепи выполняются для питания обмоток включающих электромагнитов масляных выключателей. Ток в этих цепях проходит кратковременно, но достигает больших величин (до 400 А). Поэтому сечение кабелей выбирается таким, чтобы падение напряжения в них не превосходило допустимой величины и напряжение на обмотках включающих электромагнитов не снижалось ниже 70% номинального. Предохранители в этих цепях предназначены для отделения поврежденного участка от батареи и для защиты обмоток включающих электромагнитов от длительного прохождения тока, на которое они не рассчитаны.

Остальные потребители постоянного тока: аварийное освещение, мелкие электродвигатели и т. п. — также питаются от отдельных шинок и самостоятельной сети» [12, 50].

2.2.2 Достоинства сети постоянного тока

- возможность обеспечения гарантированного питания всех электроприемников сети оперативного тока с заданными значениями напряжения сети и протекаемого тока в независимости от наличия питания в первичных цепях подстанции.

- простота выполнения и надежность функционирования устройств релейной защиты, широкая номенклатура устройств серийно изготавливаемых для питания на постоянном токе.

2.2.3 Недостатки сети постоянного тока

- относительно высокая стоимость сооружения системы по сравнению с другими типами применяемого тока;
- специальные требования к помещению аккумуляторной, его отоплению и вентиляции;
- необходимость применения подзарядного агрегата;
- сложности при эксплуатации и поддержании надлежащего функционирования, наличие вредных веществ и опасность для окружающей среды.

2.2.4 Система переменного оперативного тока

На рисунке 2 приведена схема питания переменным оперативным током.

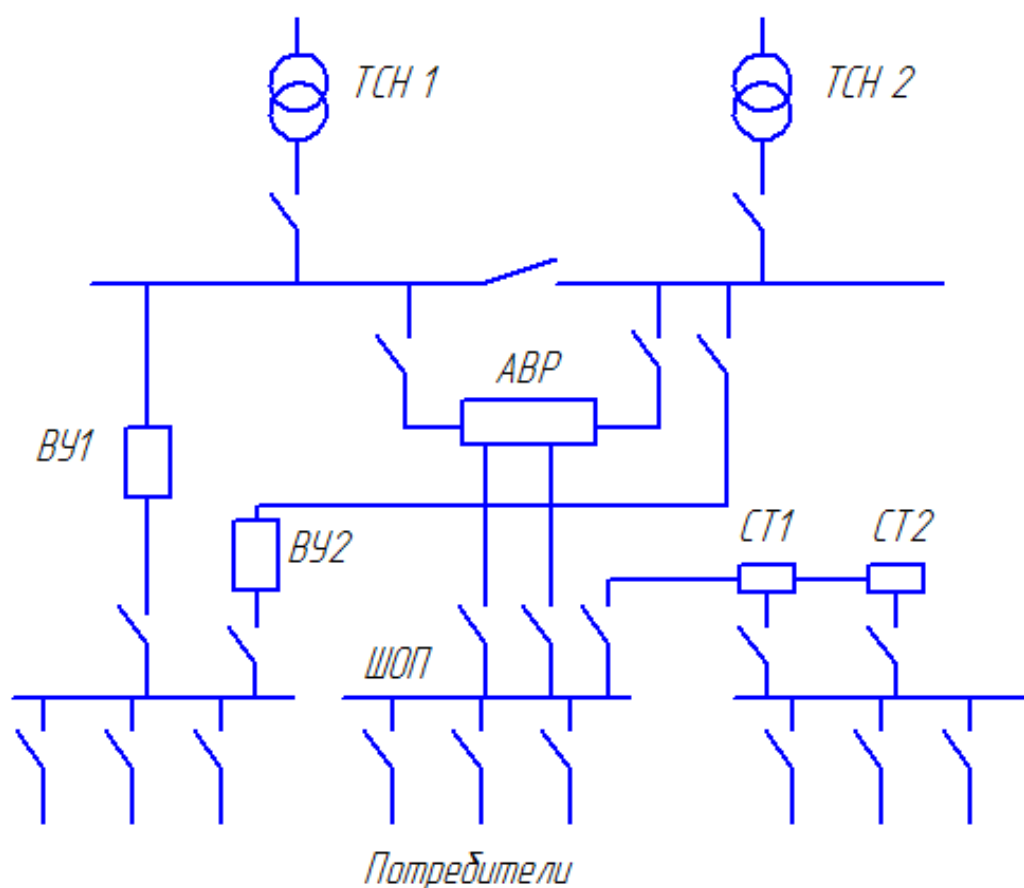


Рисунок 2 - Схема питания переменным оперативным током

Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35-220/6(10) и 110-

220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели 6(10)-35 кВ оснащены пружинными приводами.

Переменный оперативный ток применяется на ТЭС и АЭС в системе собственных нужд 0,4 кВ, кроме цепей управления автоматических выключателей на вводах рабочего и резервного питания, а также в схемах управления разъединителями и на местных ЩУ [18, 45].

«Для снижения стоимости электрооборудования и упрощения его эксплуатации на подстанциях применяют оперативный переменный ток. В качестве источников оперативного переменного тока используют обычные или специально выделенные трансформаторы собственных нужд небольшой мощности, а также измерительные трансформаторы тока и напряжения. Питание цепей управления и сигнализации может осуществляться от сети собственных нужд подстанции или от специальных силовых трансформаторов небольшой мощности, подключенных к шинам 6 или 10 кВ со стороны питания (до выключателей). Источники переменного тока в отличие от аккумуляторов не являются автономными, поскольку их работа возможна только при наличии напряжения в сети. Поэтому к схемам питания предъявляют особые требования, направленные на повышение надежности их работы: оперативные цепи должны питаться не менее чем от двух трансформаторов; напряжение во вторичных цепях должно быть стабилизировано; вторичные цепи должны быть отделены от цепей собственных нужд. Питание наиболее ответственных электроприемников оперативного тока должно обеспечиваться устройствами автоматического включения резервного питания (АВР). От двух трансформаторов собственных нужд ТСН 1 и ТСН 2» [20, 55].

Питание самых ответственных ЭП осуществляется от шин ШОП, подключение которых выполняется с использованием автоматического включения резерва, таким образом у них всегда доступно два независимых источника питания в нормальном режиме работы. Для питания шин управления (ШУ) и шин сигнализации (ШС) устанавливаются стабилизаторы

напряжения, которые подключаются к шинам ШОП для минимизации воздействия возможных колебаний напряжения на работу ЭП.

«Питание электромагнитов включения масляных выключателей осуществляется от выпрямительных устройств ВУ и которые подключены к разным секциям щита собственных нужд. Если в установке применены выключатели с пружинными приводами, работающими на переменном токе, схема соответственно изменяется: выпрямительные устройства исключаются, питание электромагнитов включения осуществляется от шин ШУ, так как электромагниты включения таких приводов не требуют большой мощности, ибо включение производится заранее заведенными пружинами привода.

Источниками переменного оперативного тока для релейной защиты являются в основном трансформаторы тока, а для автоматики и частично для релейной защиты - трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд подстанций» [19, 47].

Использование ТТ в качестве источника питания оперативных цепей зарекомендовало свою надежность. При этом ток во всех подключенных приборах и системах протекает одинаковой величины, поэтому важным аспектом является ответственный подход к выбору и проверке трансформаторов тока подстанции в том числе и по величине вторичной нагрузке и выбор сечения соединительных проводов.

«Ко вторичной обмотке ТТ может быть подключено последовательно несколько приборов и реле. Погрешность ТТ и значение их вторичной нагрузки тесно связаны между собой. С увеличением нагрузки погрешность ТТ возрастает, поэтому вторичная нагрузка для ТТ не должна превышать допустимую, при которой обеспечивается соответствующий класс точности. В ряде случаев ТТ используют только в качестве источников оперативного тока, например, когда они питают токовые блоки БПТ. В этих случаях к точности ТТ не предъявляется высоких требований, в то же время отдаваемая трансформаторами мощность должна быть достаточной для работы вторичных устройств.

Трансформаторы напряжения не могут служить источником оперативного тока для непосредственного питания защиты от коротких замыканий, поскольку при коротких замыканиях напряжение снижается и может оказаться недостаточным для отключения выключателя. Поэтому трансформаторы напряжения используются как источники оперативного тока, для защиты от однофазных замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью, когда ток замыкания на землю мал, а междуфазные напряжения имеют нормальную величину, а также для питания цепей газовой защиты трансформаторов, когда при некоторых видах внутренних повреждений ток короткого замыкания может иметь недостаточную величину для отключения выключателя, а напряжение оставаться достаточно высоким. Кроме того, трансформаторы напряжения могут использоваться как источник питания зарядных устройств» [21].

При выборе сечения проводов, используемых во вторичных цепях трансформаторов напряжения на подстанции необходим строгий учет величины потерь напряжения, которая при подключении панелей со средствами защиты, автоматики и измерения не превышала 3%, а при подключении расчетных счетчиков электрической энергии не были больше 0,5%. Как и в случае с трансформаторами тока для трансформаторов напряжения важным критерием выбора является проверка по величине вторичной нагрузки, при превышении которой установленных в паспорте аппарата пределов не может быть обеспечена требуемая погрешность измерения напряжения [22, 54].

«Для выполнения релейной защиты линий, трансформаторов, генераторов и другого оборудования на переменном оперативном токе применяется несколько способов.

Первый способ состоит в использовании реле прямого действия типов РТМ, РТВ, РНМ, РНВ. Воспринимающие органы этих реле питаются от трансформаторов тока и напряжения, а исполнительные органы действуют непосредственно на отключение выключателей без посредства оперативного

тока. С помощью реле прямого действия выполняются максимальные токовые защиты с зависимой характеристикой времени срабатывания и токовые отсечки мгновенного действия, а также защита минимального напряжения. При выполнении указанных защит этому способу следует отдавать предпочтение как наиболее простому и экономичному.

Второй способ состоит в питании реле и отключающих катушек выключателей переменным током непосредственно от трансформаторов тока и напряжения. Этот способ применяется с использованием реле косвенного действия типов РТ-85, РТ-86, РТ-95, ЭВ-215, ЭВ-245, РВМ-12, РВМ-13, РП-321, РП-34, выпускаемых специально для работы на переменном оперативном токе. Применение указанных реле обеспечивает возможность выполнения не только максимальных токовых защит, но также направленных, дифференциальных и других сложных защит» [21].

В третьем способе организация питания потребителей сети оперативного тока осуществляется сначала от источников переменного тока, затем переменный ток выпрямляется при помощи выпрямителей и уже в таком виде передается к электроприемникам постоянного тока, как при питании от батарей, при этом может быть предусмотрен поэтапный переход к построению сети постоянного тока при развитии объекта в будущем [23, 24].

«Четвертый способ состоит в том, что питание отключающих катушек выключателей производится от специальных устройств, которые в нормальном режиме запасают энергию путем заряда конденсаторов. При срабатывании защиты энергия, запасенная в предварительно заряженных конденсаторах, используется для работы отключающих катушек выключателей.

В ряде случаев возможно комбинированное применение двух или трех из указанных способов, если при этом обеспечивается наилучшее решение» [23].

2.2.5 Достоинства сети переменного тока

- экономичность

- сокращение протяженности сетей оперативного тока и упрощение их структуры.

2.2.6 Недостатки сети переменного тока

- качество электроэнергии, выдаваемой в сеть переменного оперативного тока может быть недостаточно для надежного функционирования электроприемников, особенно во время переходных процессов в первичной сети подстанции, вызванных короткими замыканиями, что может привести к неправильной работе, зависанию, а в отдельных случаях и выходу из строя микропроцессорных устройств защиты и автоматики на подстанции;

- просадка напряжения ниже допустимых пределов при включении высоковольтного выключателя на близкое к подстанции КЗ.

2.2.7 Система выпрямленного оперативного тока

На рисунке 3 изображена схема питания оперативных цепей подстанции на выпрямленном токе.

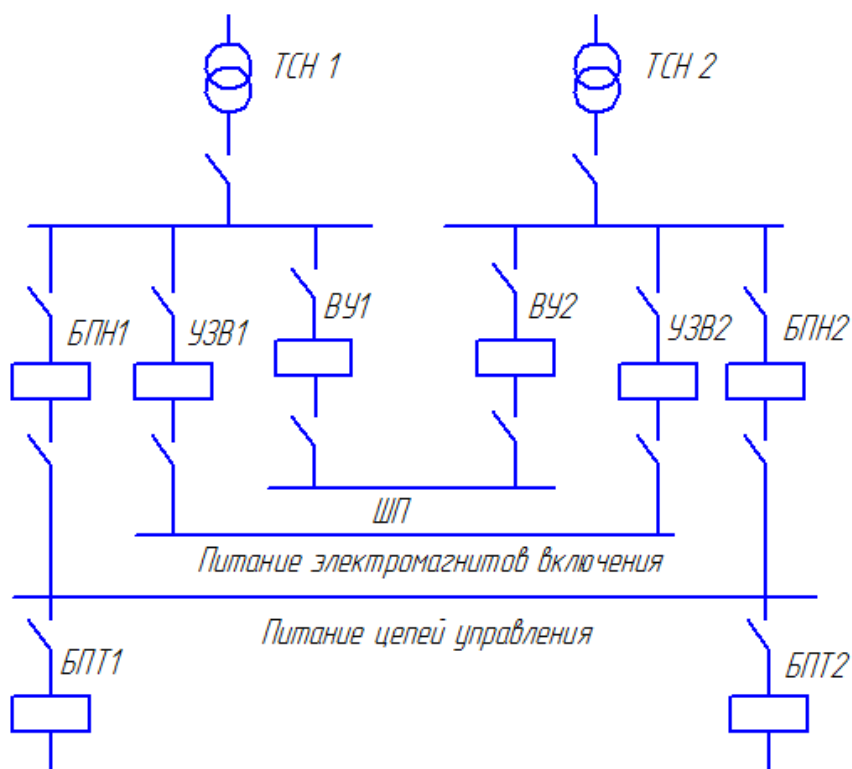


Рисунок 3 – Схема питания оперативных цепей подстанции на выпрямленном токе

Должен применяться: на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35-220/6(10) кВ и 110-220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели оснащены электромагнитными приводами; на подстанциях 110 кВ с малым числом масляных выключателей на стороне 110 кВ [25].

«Компактность и надежность кремниевых выпрямительных элементов позволили промышленности обеспечить массовый выпуск блоков питания — выпрямительных устройств, рассчитанных для подключения к источникам переменного тока и предназначенных для питания вторичных устройств выпрямленным током.

Источники выпрямленного тока можно разделить на три основные группы:

- источники для заряда и подзаряда аккумуляторных батарей; источники оперативного тока для питания цепей управления, защиты, автоматики и сигнализации;
- источники питания включающих электромагнитов приводов выключателей.
- к источникам выпрямленного тока следует также отнести предварительно заряженные от выпрямителей конденсаторы» [26].

Блоки питания также могут быть условно разделены на 4 группы:

- токовые (БПТ),
- напряжения (БПН),
- устройства заряда (УЗ),
- комбинированные блоки (БПЗ-401 и БПЗ-402).

«Блоки БПТ и БПЗ-402 служат для подключения к трансформаторам тока, а БПН, УЗ и БПЗ-401 - к трансформаторам напряжения или собственных нужд. В блоки питания входят стабилизирующие элементы: промежуточные насыщающиеся трансформаторы ПНТ, феррорезонансные и полупроводниковые стабилизаторы напряжения и др.

Блоки питания БПТ и БПН выпускаются трех модификаций и имеют следующую нормальную выходную мощность: БПТ-11 и БПН-11 - 40 Вт, БПТ-101 и БПН-101 - до 240 Вт и БПТ-1001, и БПН-1001 - 1200 Вт.

Блок питания БПТ-11, состоит из промежуточного насыщающегося трансформатора ТЛ, выпрямителя V на кремниевых вентилях Д-226 и конденсатора С, образующего с вторичной обмоткой трансформатора ТЛ феррорезонансный контур, рассчитан для подключения к трансформаторам тока. Надежная работа при наибольшей нагрузке обеспечивается при токах первичной обмотки трансформатора ТЛ от 5 до 20 А» [27].

В состав блока питания типа БПН-11 входят 2 идентичных модуля, в состав которых входят промежуточный трансформатор ТЛ, выпрямитель V, выполненный с применением кремниевых вентилях типа Д-226, кроме того в состав блока питания входит конденсатор С, который составляет вместе со вторичной обмоткой промежуточного трансформатора феррорезонансный контур. Данный блок питания может получать питание от источников переменного тока с номинальным выходным напряжением равным 110 или 220 В.

«Блоки питания БПТ-101 и БПН-101 аналогичны по конструкции блокам БПТ-11 и БПН-11, а блоки БПТ-1001 и БПН-1001 отличаются тем, что в феррорезонансный контур первого введен линейный дроссель, а второй выполнен трехфазным без конденсатора.

В качестве источников выпрямленного оперативного тока применяют два типа выпрямительных устройств: блоки питания тока и напряжения, зарядные устройства и предварительно заряженные конденсаторные батареи для питания средств автоматики, релейной защиты, управления, сигнализации и электромагнитов отключения выключателей; специальные выпрямительные устройства УКП для питания электромагнитов включения выключателей» [29].

В состав блока питания тока БПТ входят промежуточный насыщающийся трансформатор тока ТЛА с выпрямительным мостом VS на

выходе, блок имеет феррорезонансную стабилизацию вторичного напряжения. Блок питания напряжения БПН состоит из промежуточного трансформатора напряжения TLV с выпрямительным мостом VS на выходе. Эти блоки можно использовать как самостоятельные источники питания или в комбинации друг с другом. Так стабилизированные блоки питания напряжения БПНС-1 вместе с токовыми БПТ-1002 служат для питания цепей защиты, автоматики и дистанционного управления.

«Мощность блоков питания в некоторых случаях бывает недостаточна для работы электромагнитных приводов выключателей, потребляющих большие токи, поэтому применяют конденсаторные устройства серии БК-400 из металлобумажных конденсаторов емкостью 40, 80 и 200 мкФ, получающие заряд в период нормального режима» [30]. Накопленная в конденсаторах энергия расходуется на питание устройств РЗ; приводов высоковольтных выключателей при недостаточной мощности основного блока питания.

«Для питания включающих электромагнитов приводов коммутационных аппаратов служат комплектные выпрямительные устройства БПРУ-66, которые содержат выпрямители, собранные по трехфазной мостовой схеме (схеме Ларионова) на мощных кремниевых диодах ВК2-200-5АБ (на ток 200 А и напряжение 500 В) и питающиеся от сети собственного расхода напряжением 220 В {БПРУ-66/220) или 380 В (БПРУ-66/380).

Зарядные устройства серии УЗ предназначены для предварительной зарядки конденсаторов, используемых для создания кратковременного разрядного импульса для питания отдельных элементов схемы, например, катушек отключения высоковольтных выключателей.

Зарядное устройство УЗ-401 имеет промежуточный трансформатор TL, выпрямитель V на кремниевых вентилях и реле (поляризованное KL и минимального напряжения KV). Поляризованное реле KL контролирует исправность выпрямителя и заряжаемого конденсатора С. В нормальных условиях оно включено, а при пробое выпрямителя или конденсатора отключается и своими размыкающими контактами приводит в действие

соответствующую сигнализацию. Реле напряжения KV контролирует подводимое к зарядному устройству напряжение. Если оно отсутствует или значительно снижено, реле KL своими замыкающими контактами отделяет блок от заряжаемых конденсаторов» [13].

Зарядное устройство типа УЗ-401 может одновременно обеспечивать зарядный процесс для нескольких конденсаторных батарей с суммарной емкостью, не превышающей 1000 мкФ при величине номинального напряжения равной 400 В. Само зарядное устройство получает питание от сети переменного напряжения величиной 110/220 В.

«Блоки питания и заряда БПЗ-401 состоят из промежуточного трансформатора напряжения TLV с выпрямительным мостом VS на выходе. Реле KL предназначено для сигнализации о наличии зарядного напряжения. Первичная и вторичная обмотки трансформатора TLV выполнены секционированными. Параллельное или последовательное соединение секций позволяет включать блок на напряжение 100, 105, ПО, 115, 121, 127 В или 200, 220, 230, 242, 254 В, а получать на выходе напряжение 110 или 220 В. Заряжаемые конденсаторы подключают через разделительный диод VD.

Блоки питания и заряда БПЗ-402 состоят из промежуточного насыщающегося трансформатора тока TLA с выпрямительным мостом VS на выходе и имеют феррорезонансную стабилизацию вторичного напряжения, которая обеспечивается согласованием индуктивности трансформатора TLA с емкостью конденсатора С. Вторичная обмотка блока питания имеет отпайки для регулирования тока наступления феррорезонанса и получения на выходе номинального напряжения 110 или 220 В. Последовательное или параллельное включение секций первичной обмотки, а также наличие в них отпаек позволяет изменять входное сопротивление блоков и уставку по току наступления феррорезонанса.

Устройства УКП состоят из двух шкафов, при необходимости соединяемых между собой: УКП-1 - выпрямитель с распределительным устройством, УКП-2 - индуктивный накопитель энергии. Устройство УКП-1

используют отдельно в тех случаях, когда не требуется индуктивный накопитель энергии (например, для питания электромагнитов включения выключателей). Контроль за состоянием УКП осуществляется с помощью вольтметра, лампы сигнализации и указательных реле» [29].

В состав устройства модели УКП-2 входит катушка индуктивности, которая при подаче напряжения на электромагнит включения высоковольтного выключателя запасает электромагнитную энергию, кроме того она содержит коммутаторы, состоящие из тиристоров, необходимые скоростное электрическое соединение катушки с электромагнитом в случае включения высоковольтного выключателя на существующее короткое замыкание и происходящее при этом снижение напряжения в сети.

«Зарядное устройство УЗ-401 имеет промежуточный трансформатор ТЛ, выпрямитель V на кремниевых вентилях и реле (поляризованное КЛ и минимального напряжения KV). Поляризованное реле КЛ контролирует исправность выпрямителя и заряжаемого конденсатора С. В нормальных условиях оно включено, а при пробое выпрямителя или конденсатора отключается и своими размыкающими контактами приводит в действие соответствующую сигнализацию. Реле напряжения KV контролирует подводимое к зарядному устройству напряжение. Если оно отсутствует или значительно снижено, реле КЛ своими замыкающими контактами отделяет блок от заряжаемых конденсаторов. Устройство УЗ-401 рассчитано на одновременный заряд конденсаторов общей емкостью от 500 до 1000 мкФ напряжением около 400 В. Питание зарядного устройства осуществляется от источника переменного напряжения ПО или 220 В. Схема питания нескольких вторичных цепей от зарядного устройства СГ показана на рисунке 6. Полупроводниковые диоды VI и V2 разделяют вторичные цепи устройств А V (автоматики) и АК (релейной защиты) и обеспечивают разряд конденсатора только на ту цепь, для которой он предназначен. Рубильники S1 и S2 служат для разряда конденсаторов С1 и С2 при ревизии зарядных устройств и питающихся от них вторичных цепей» [13].

2.2.8 Достоинства сети выпрямленного оперативного тока

- Более экономичный, чем постоянный ток.
- Не требует специального помещения и обслуживающего персонала.
- Более надежный, чем переменный ток.

2.2.9 Недостатки сети выпрямленного оперативного тока

- Требуется блока питания.
- Мощность питания кратковременная. На время разряда конденсатора.

Это ограничивает их применение.

2.2.10 Система смешанного оперативного тока

«Смешанная система постоянного и выпрямленного оперативного тока применяется для уменьшения емкости аккумуляторной батареи за счет применения силовых выпрямительных устройств для питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей. Целесообразность применения этой системы должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами» [31].

Смешанная система переменного и выпрямленного оперативного тока применяется: для подстанций с переменным оперативным током при установке на вводах питания выключателей с электромагнитным приводом, для питания электромагнитов включения которых устанавливаются силовые выпрямительные устройства; для подстанций 35-220 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда не обеспечивается надежная работа защит от блоков питания при трехфазных коротких замыканиях на стороне среднего или высшего напряжения.

При такой организации системы оперативного тока на подстанции используются две подсистемы, в первую входит защита силовых трансформаторов подстанции, которая получает питание от сети переменного тока с установленными в ней заранее заряженными конденсаторами, а во вторую подсистему входят защиты прочих элементов ПС, для их питания используется выпрямленный оперативный ток.

2.3 Выбор системы оперативного тока

К применению на подстанции 220 кВ «Рысаево» выбран постоянный оперативный ток. Это обосновано следующими факторами:

- Постоянный оперативный ток применяется на подстанциях 110-220 кВ со сборными шинами этих напряжений, на подстанциях 35-220 кВ без сборных шин на этих напряжениях с масляными выключателями с электромагнитным приводом, для которых возможность включения от выпрямительных устройств не подтверждена заводом-изготовителем.

- Переменный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ, на подстанциях 35-220/6(10) и 110-220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели 6(10)-35 кВ оснащены пружинными приводами.

- Выпрямленный оперативный ток применяется на подстанциях 35/6(10) кВ с масляными выключателями 35 кВ. На подстанциях 35-220/6(10) кВ и 110-220/35/6(10) кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, когда выключатели оснащены электромагнитными приводами. На подстанциях 110 кВ с малым числом масляных выключателей на стороне 110 кВ.

- Применение переменного и выпрямленного оперативного тока на ПС «Рысаево» невозможно по техническим требованиям, предъявляемым ФСК ЕЭС. Согласно технико-экономическим расчетам применение смешанной системы постоянного и выпрямленного оперативного тока не целесообразно.

- На подстанции 220 кВ «Рысаево» уже имеется специально оборудованное помещение аккумуляторной, изолированное от других служебных и производственных помещений и снабженное надежной и эффективной приточно-вытяжной вентиляцией, что отвечает современным требованиям. На данной подстанции, постоянно дежурит обученный персонал, поэтому сложности в эксплуатации аккумуляторных батарей не возникнет.

- Система постоянного оперативного тока является самой надежной из всех существующих. Почти все потребители подстанции 220 кВ «Рысаево», относятся к первой категории и перебои в их электроснабжении не допустимы.

Выводы по второму разделу:

- Определены области применения различных систем оперативного тока, выявлены их достоинства и недостатки.

- Рассмотрены основные нормативные требования ОАО «ФСК ЕЭС» к системе оперативного тока.

- На основе анализа известных методов произведена оценка влияния высших гармоник на время срабатывания МУРЗ, последствия воздействия электромагнитных возмущений со стороны питающей сети на работу МУРЗ, определены методы уменьшения их воздействия на МУРЗ. При исследовании микропроцессорного реле напряжения с зависимой выдержкой времени установлено, что эта выдержка в сильной степени зависит от третьей гармоники напряжения.

- Обоснована необходимость использования на подстанции «Рысаево» постоянного оперативного тока.

3 Разработка условий применения новой системы оперативного тока в условиях подстанции «Рысаево»

3.1 Расчет существующей нагрузки

Потребители постоянного тока разделены на три категории, исходя из режимов функционирования (таблица 4):

- 1) постоянная нагрузка: аппараты устройств управления, сигнализации и релейной защиты;
- 2) аварийная нагрузка: временная нагрузка, появляющаяся при исчезновении переменного тока во время аварийного режима, длительность которого определяется длительностью аварии, в нашем случае 2 часа;
- 3) кратковременная (толчковая) нагрузка: включение и отключение приводов высоковольтных выключателей длительностью не более 0,003 часа.

Таблица 4 - Расчет нагрузки постоянного тока

| Наименование нагрузки | Количество | Номинальная Мощность, Р | Расчет нагрузки | | |
|---|------------|-------------------------|--|--------------------|---|
| | | | Длительный (2-х часовой) Режим разряда | | Кратковременная (толчковая) нагрузка в конце 2-х часового разряда |
| | | | Постоянная нагрузка | Временная нагрузка | |
| шт | Вт | Вт | Вт | Вт | |
| Панель диф.защиты трансформатора "АТ1"("АТ2") | 4 | 40 | 160 | - | - |
| Панель защит трансформатора "АТ1"("АТ2") | 8 | 15 | 120 | - | - |
| Панель диф.защиты ВЛ 220кВ | 2 | 15 | 30 | - | - |
| Панель АУВ ВЛ 220кВ | 4 | 15 | 60 | - | - |
| Панель АУВ СМВ 220кВ, | 2 | 15 | 30 | - | - |
| Панель АУВ ВЛ 110кВ | 24 | 15 | 360 | - | - |
| Панель защиты ВЛ 110 кВ | 16 | 30 | 480 | - | - |

Продолжение таблицы 4

| Наименование нагрузки | Количество | Номинальная Мощность, Р | Расчет нагрузки | | | |
|---|------------|-------------------------|--|--------------------|---|-------|
| | | | Длительный (2-х часовой) Режим разряда | | Кратковременная (толчковая) нагрузка в конце 2-х часового разряда | |
| | | | Постоянная нагрузка | Временная нагрузка | | |
| шт | Вт | Вт | Вт | Вт | Вт | |
| Панель защиты ШСВ,ОВ,СВ 110кВ | 8 | 30 | 240 | - | - | - |
| Панель ДЗШ 110кВ | 8 | 45 | 360 | - | - | - |
| ОРУ 110 кВ. Катушки отключения(1 толчек) | 12 | 1026 | - | - | 12320 | - |
| ОРУ 110 кВ. включение выключателя(2 толчек) | 1 | 42240 | - | - | 42240 | - |
| ОРУ 220кВ. Катушки отключения | 6 | 150 | - | 900 | - | - |
| ЩСН, цепи управления | 2 | 100 | 200 | - | - | - |
| Панель сигнализации | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Шкаф преобразователей | 2 | 10 | 20 | - | - | - |
| Аварийное освещение К=0.8 | - | 4000 | - | 4000 | - | - |
| Цепи управления АВР ЩСН 0.4кВ | 2 | 50 | 100 | - | - | - |
| Панели сигнализации, управление и РЗА (вновь устанавливаемого оборудовании) | 4 | 225 | 900 | - | - | - |
| Всего, Вт | - | - | 3060 | 3401 | 12320 | 42240 |
| Всего, А | | | 13,9 | 22,3 | 56 | 192 |
| Установившийся ток аварийного режима с учетом износа батареи к=0.8; А Iуст | | | 17,4 | 27,8 | - | - |
| | | | 45,2 | | | |
| Толчковый ток с учетом износа батареи к=0.8; А I _{тп} | | | - | - | 70 | 240 |
| Iуст+I _{тп} , А | | | 115,2 285,2 | | | |

3.2 Проверка существующей аккумуляторной батареи

Расчет разрядных токов.

«Ток длительного разряда в аварийном режиме» [17]:

$$I_{\text{дл ав}} = \sum I_{\text{пост}} + \sum I_{\text{ав}}, \quad (1)$$

$$I_{\text{дл ав}} = 17,4 + 27,8 = 45,2 \text{ А,}$$

где « $\sum I_{\text{пост}}$ - сумма токов постоянной нагрузки, А;

$\sum I_{\text{ав}}$ - сумма токов аварийной нагрузки, А» [17].

«Ток кратковременного разряда в аварийном режиме» [17]:

$$I_{\text{кр ав}} = I_{\text{дл ав}} + \sum I_{\text{кр}} , \quad (2)$$

где $\sum I_{\text{кр}}$ - сумма токов кратковременной нагрузки, А.

1 толчок:

$$I_{\text{кр ав}} = 45,2 + 70 = 115,2 \text{ А.}$$

2 толчок:

$$I_{\text{кр ав}} = 45,2 + 240 = 285,2 \text{ А.}$$

Значения разрядных токов приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Разрядные токи

| Ток | Выражение | Значение по расчету |
|--------------------------------------|---|------------------------------|
| Сумма токов постоянной нагрузки | $\sum I_{\text{пост}}$ | 17,4 А |
| Сумма токов аварийной нагрузки | $\sum I_{\text{ав}}$ | 27,8 А |
| Сумма токов кратковременной нагрузки | $\sum I_{\text{кр}}$ | 1й - 70 А 2й - 240 А |
| Ток длительного разряда | $I_{\text{дл ав}} = \sum I_{\text{пост}} + \sum I_{\text{ав}}$ | 45,2 А |
| Ток кратковременного разряда | $I_{\text{кр ав}} = \sum I_{\text{дл ав}} + \sum I_{\text{кр}}$ | 1й - 115,2 А 2й - 285,2 А |

3.3 Расчет емкости существующей батареи

Емкость аккумуляторной батареи рассчитывается по выражению:

$$C_{AB} > K_3 \cdot (I_{дл\ ав} \cdot t_{ав} + I_{кр\ ав} \cdot t_{кр}), \quad (3)$$
$$C_{AB} > 1,3 \cdot (45,2 \cdot 2 + 0,003 \cdot 400,4) = 119,08 \text{ А/ч},$$

где $t_{ав} = 2$ ч – продолжительность аварии;

$t_{кр} = 0,003$ ч – продолжительность действия кратковременной нагрузки;

$K_3 = 1,3$ — коэффициент запаса, учитывающий 30% запас емкости при старении и износе АБ.

Эквивалентный длительный ток 2-х часового разряда АБ расчетной емкости:

$$I_{ЭЛ} \geq C_{AB} / t_{ав}, \quad (4)$$
$$I_{ЭЛ} \geq 119,08 / 2 = 59,54 \text{ А}.$$

На ПС 220 кВ Рысаево установлена аккумуляторная батарея 6ССАП600 из 118 элементов отпайкой от 103 элемента.

Технические характеристики элементов 6ССАП600 приведены в таблице 6.

Минимально-допустимое напряжение на зажимах электроприемников должно быть не ниже $0,9 \cdot U_{ном}$. (198 В). Учитывая потери напряжения в питающей сети от шинок управления до устройств РЗА 5% (11 В), напряжение на шинах в конце 2-х часового разряда должно быть 209 В. Минимальное напряжение на один элемент в конце 2-х часового разряда, выдаваемое элементом, составит:

$$U_{мин} \text{ АБ при } 103 \text{ элементах} = 209 / 103 = 2,03 \text{ В}.$$

Таблица 6 - Технические характеристики элементов 6ССАП600

| Техническая характеристика | Значение |
|---|-----------------------|
| Номинальная емкость 10-и часового разряда | 600 А/ч |
| Номинальное напряжение | 2,0 В |
| Зарядное напряжение | 2,23 В |
| Внутреннее сопротивление | 0,47 мОм |
| Ток короткого замыкания | 4455 А |
| Конечное напряжение при 2-х часовом разряде | 1,75 В при токе 150 А |
| Размеры (Длина x Ширина x Высота), мм | 145x206x695 |
| Температура эксплуатации, °С | от 0°С до +55°С |
| Ожидаемый срок службы | 15 лет |
| Интервал между доливом воды | 1 раз в 5 лет |

Согласно техническим данным на существующую АБ 6ССАП600 минимальное напряжение в конце 2-х часового разряда при разряде током 59,54 А составит 2,03 В.

Следовательно, существующая АБ 6ССАП600 не обеспечивает ток 2-х часового разряда в аварийном режиме одного элемента, который составляет $\approx 175 \text{ А} > 59,54 \text{ А}$ и не обеспечивает кратковременный разряд 285,2 А.

Проверена емкость существующей аккумуляторной батареи, и принято решение о ее замене.

3.4 Расчет токов короткого замыкания в сети постоянного тока

Ток короткого замыкания в сети постоянного тока, питающейся от аккумуляторной батареи, определяется по формуле:

$$I_{кз} = E_{расч} \cdot n_{эл} / (R_{аб} + R_{ц}), \quad (5)$$

где $E_{\text{расч.}}$ - расчетная ЭДС одного элемента аккумуляторной батареи;

$n_{\text{эл}}$ - число элементов АБ,

$R_{\text{аб}}$ - внутреннее сопротивление АБ;

$R_{\text{ц}}$ - сопротивление цепи короткого замыкания.

Исходными данными для расчета токов короткого замыкания в системе оперативного постоянного тока являются параметры силовых кабелей, шин, аккумуляторных батарей и коммутационных аппаратов.

Параметры АБ для расчета токов короткого замыкания приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Параметры АБ для расчета токов короткого замыкания

| Техническая характеристика | Значение |
|---|----------|
| Тип аккумуляторной батареи | 6ССАП600 |
| Номинальная емкость 10-и часового разряда | 600 А/ч |
| Внутреннее сопротивление | 0,47 мОм |
| Ток короткого замыкания | 4455 А |
| Количество элементов | 118 шт. |
| Количество элементов отпайки | 103 шт. |

Результаты расчетов.

Результаты расчетов токов короткого замыкания в сети оперативного постоянного тока приведены в таблице 8.

В таблице использованы следующие обозначения:

$R_{\text{каб.}}$ - сопротивление кабеля;

$$R_{\text{каб}} = f \cdot \frac{L \cdot 2}{S_{\text{каб}}} \cdot K \quad (6)$$

Таблица 8 - Результаты расчетов токов КЗ

| точка КЗ | $E_{\text{расч.}}$, В | $I_{\text{кз аб}}$, кА | $R_{\text{аб}}$, МОм | $n_{\text{эл.}}$, шт. | $R_{\text{каб.}}$, МОм | f , Ом*мм ² /м | L, м | к | $R_{\text{вн}}$, МОм | $S_{\text{каб.}}$, мм ² | К | $I_{\text{мет.}}$, кА (на шинах) | $I_{\text{мет.}}$, кА | $I_{\text{дуг.}}$, кА | $R_{\text{к}}$, МОм | R_{Σ} , МОм |
|----------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|------|------|-----------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| шины ES. | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 17,20 | 0,0172 | 40 | 0,63 | 25,20 | 120 | 1,5 | 3,1 | 3,1 | 1,85 | 73,61 | - |
| ШРОТ1 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 258,00 | 0,0172 | 30 | 0,75 | 299,00 | 6 | 1,5 | - | 0,62 | 0,43 | 73,61 | 372,61 |
| ШРОТ2 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 258,00 | 0,0172 | 30 | 0,75 | 299,00 | 6 | 1,5 | - | 0,62 | 0,43 | 73,61 | 372,61 |
| ШРОТ3 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 154,8 | 0,0172 | 30 | 0,72 | 178,8 | 10 | 1,5 | - | 0,91 | 0,62 | 73,61 | 252,41 |
| ШРОТ1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| защиты АТ1,АТ2 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 619,2 | 0,0172 | 30 | 0,77 | 1119,2 | 2,5 | 1,5 | - | 0,15 | 0,11 | 372,61 | 1491,81 |

Продолжение таблицы 8

| точка КЗ | $E_{\text{расч.}}$, В | $I_{\text{кз аб.}}$, кА | $R_{\text{аб.}}$, МОм | $n_{\text{эл.}}$, шт. | $R_{\text{каб.}}$, МОм | f , Ом*мм ² /м | L, м | к | $R_{\text{вн.}}$, МОм | $S_{\text{каб.}}$, мм ² | К | $I_{\text{мет.}}$, кА (на шинах) | $I_{\text{мет.}}$, кА | $I_{\text{дуг.}}$, кА | $R_{\text{к}}$, МОм | R_{Σ} , МОм |
|----------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|------|------|------------------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| ЩР0Т2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| защиты АТ1,АТ2 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 619,2 | 0,0172 | 30 | 0,77 | 1119,2 | 2,5 | 1,5 | - | 0,15 | 0,11 | 372,61 | 1491,81 |
| ГЗ1 АТ1, РПН | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 2270,4 | 0,0172 | 110 | 0,77 | 2770 | 2,5 | 1,5 | - | 0,07 | 0,05 | 372,61 | 3142,61 |
| ША0Т АТ1 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 2270,4 | 0,0172 | 110 | 0,77 | 2770 | 2,5 | 1,5 | - | 0,07 | 0,05 | 372,61 | 3142,61 |
| ГЗ АТ2 | 2,23 | 4,455 | 0,47 | 103 | 1651,2 | 0,0172 | 80 | 0,77 | 2151,20 | 2,5 | 1,5 | - | 0,09 | 0,07 | 372,61 | 2523,81 |

Продолжение таблицы 8

| точка КЗ | $E_{расч.},$ В | $I_{кз аб},$ кА | $R_{аб},$ МОм | $n_{эл.},$ шт. | $R_{каб.},$ МОм | $f,$ $0м*мм^2/м$ | L, м | к | $R_{вн.},$ МОм | $S_{каб.},$ мм ² | К | $I_{мет.},$ кА (на шинах) | $I_{мет.},$ кА | $I_{дуг.},$ кА | R_k МОм | $R_{\Sigma},$ МОм |
|----------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------|-------|-------------------|--------------------------------|------|---------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| ШРОТЗ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| АУВ, ТЗ АТ2 | 2,23 | 4,45 5 | 0,47 | 103 | 619,2 | 0,0172 | 30 | 0,7 7 | 1119 | 2,5 | 1, 5 | - | 0,17 | 0,1211 | 252,4 2 | 1371,42 |
| Г31 АТ1, РПН | 2,23 | 4,45 5 | 0,47 | 103 | 2270, 4 | 0,0172 | 11 0 | 0,7 7 | 2770 | 2,5 | 1, 5 | - | 0,08 | 0,05 | 252,4 2 | 3022,42 |
| Г32,РПН, ШАОТ АТ2 | 2,23 | 4,45 5 | 0,47 | 103 | 1857, 6 | 0,0172 | 90 | 0,7 7 | 2357, 6 | 2,5 | 1, 5 | - | 0,09 | 0,06 | 252,4 2 | 2610,02 |
| ЭМО ВЫКЛ АТ1 | 2,23 | 4,45 5 | 0,47 | 103 | 1290 | 0,0172 | 20 0 | 0,7 7 | 1790 | 8 | 1, 5 | - | 0,11 | 0,08 | 252,4 2 | 2042,42 |
| ЭМО ВЫКЛ АТ2 | 2,23 | 4,45 5 | 0,47 | 103 | 1096, 5 | 0,0172 | 17 0 | 0,7 7 | 1596 | 8 | 1, 5 | - | 0,12 | 0,09 | 252,4 2 | 1848,42 |

где f - удельное сопротивление меди;

L - длина кабеля;

k - коэффициент соотношения токов короткого замыкания дугового и металлического;

$R_{вн.}$ - внешнее сопротивление (сумма сопротивлений коммутационных аппаратов и сопротивления кабеля);

$S_{каб.}$ - сечение кабеля;

K - коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления проводника при нагревании его током короткого замыкания;

R_k - сопротивление цепи до шин ЩПТ или шин ШРОТ;

R_{Σ} , - полное сопротивление цепи короткого замыкания.

$$R_{\Sigma} = R_{вн} + R_k \quad (7)$$

Для выбора нового оборудования был произведен расчет нагрузки сети оперативного тока и токов короткого замыкания.

3.5 Выбор новой аккумуляторной батареи

Предварительно выбираем VARTA Block Vb 2310+.

Выбираем данный тип АБ т.к. они являются АБ из серии компонентов OPzS . (Классическая – закрытые малообслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторные батареи с жидким электролитом [48]. Положительная пластина – трубчатая пластина с активным веществом; отрицательная – намазная пластина. Положительные и отрицательные пластины разделены сепаратором).

Технические характеристики элементов VARTA Block Vb 2310+ приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Технические характеристики элементов VARTA Block Vb 2310+

| Техническая характеристика | Значение |
|---|-----------------|
| Номинальная емкость 10-и часового разряда | 600 А/ч |
| Номинальное напряжение | 2,0 В |
| Зарядное напряжение | 2,23 В |
| Внутреннее сопротивление | 0,283 мОм |
| Ток короткого замыкания | 7275 А |
| Размеры (Длина x Ширина x Высота), мм | 188x 266x 440 |
| Температура эксплуатации, °С | от 0°С до +55°С |
| Ожидаемый срок службы | 25 лет |
| Интервал между доливом воды | 1 раз в 5 лет |

Согласно техническим данным на АБ VARTA Block Vb 2310+ минимальное напряжение в конце 2-х часового разряда при разряде током 59,54 А составит 2,03 В.

Следовательно АБ VARTA Block Vb 2310+ обеспечивает ток 2-х часового разряда в аварийном режиме одного элемента, который составляет $\approx 152 \text{ А} > 59,54 \text{ А}$ и обеспечивает кратковременный разряд 285,2 А. АБ VARTA Block Vb 2310+ удовлетворяет требованиям.

На рисунке 5 приведены зарядные характеристики VARTA Block, а на рисунке 6 – разрядные характеристики.

«Батареи серии VARTA Block - закрытые свинцово-кислотные батареи, разработанные для универсального применения там, где необходимо соблюдать высокие требования безопасности. Особенности конструкции этих батарей позволяют использовать их как в режимах кратковременных разрядов большими токами, так и в режимах длительных нагрузок с отбором большой емкости» [49,60].

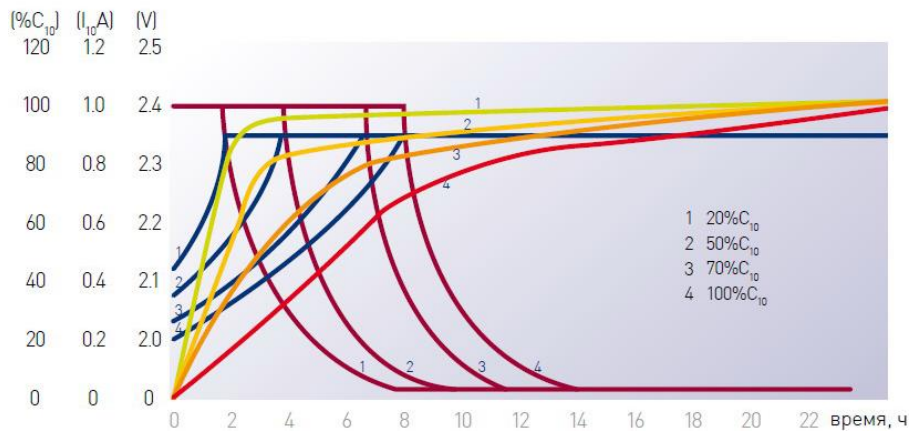


Рисунок 5 - Зарядные характеристики VARTA Block

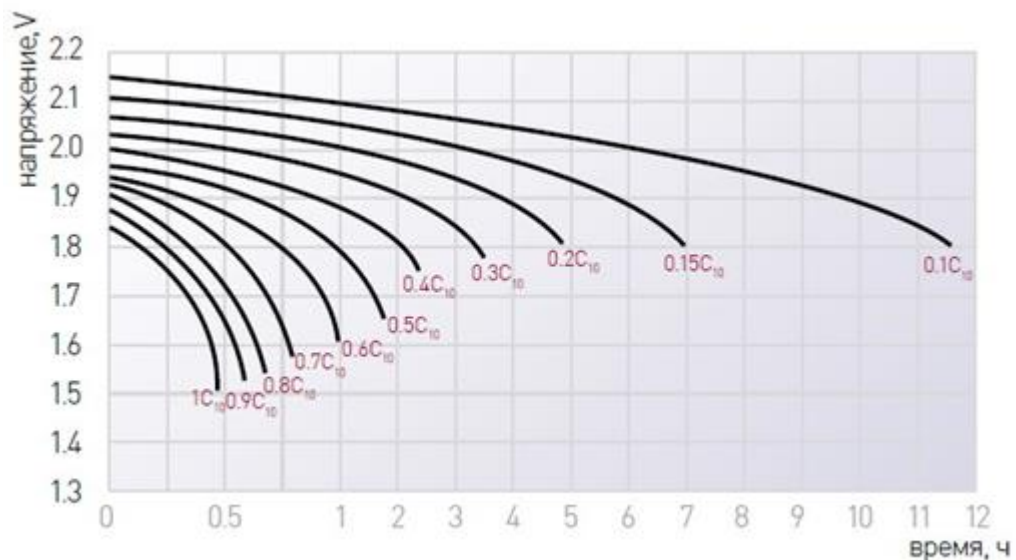


Рисунок 6 - Разрядные характеристики VARTA Block

«Области применения - установки резервного питания для электростанций, атомных электростанций, трансформаторных подстанций, установок бесперебойного питания и в промышленном оборудовании, установки резервного питания систем освещения и накопители энергии в солнечных батареях» [49].

Конструкция:

- Положительный электрод: Стержневая пластина с запатентованным фирмой VARTA легированным свинцово-сурьмянистым сплавом с низким содержанием сурьмы: 1,6%;
- Отрицательный электрод: Решетчатая пластина с запатентованным фирмой VARTA легированным свинцово-сурьмянистым сплавом;
- Сепарация: Микропористый сепаратор в комбинации со стекловолокнистым сепаратором положительного электрода типа конверт;
- Материал корпуса элемента: Стиролакрилонитрил (SAN), ударопрочный, прозрачный, с отметками уровня электролита - Max- / - Min-;
- Электролит: Разбавленная серная кислота, плотность 1,24 кг/л;
- Исполнение полюсов: Герметичный на вытекание электролита предохранительный полюс с массивным медным вкладышем;
- Полюсный болт: Из высококачественной коррозионностойкой стали М 10;
- Перемычки: Массивные медные перемычки (30x5 мм или 30x10 мм) в исполнении под болтовое соединение элементов, изолированные, возможен замер напряжения;
- Клапан элемента: Предохранительный клапан, препятствующий попаданию искры внутрь элемента, или по выбору: керамические пробки с заливочной воронкой;
- Методы заряда: Напряжение постоянного подзаряда: 2,23 В/эл. при 20°C;
- Диапазон температур: От 0°C до + 55°C (рекомендуется 20°C).

Признаки:

- Отдельные элементы по 2 В;
- В параллельном резервном режиме эксплуатации при 20°C интервал между доливом воды ок. 5 лет;

- Подтвержденный практикой срок службы не менее 20 лет в режиме постоянного подзаряда;
- Длительный срок службы также при циклических нагрузках, применяемых в системах накопления энергии;
- Усовершенствованная конструкция, подтвержденная испытаниями на сейсмостойкость.

Предварительно выбираем 5 GROE 500.

Технические характеристики элементов 5 GROE 500 сводим в таблицу 10.

Таблица 10 - Технические характеристики элементов 5 GROE 500

| Техническая характеристика | Значение |
|---|-----------------|
| Номинальная емкость 10-и часового разряда | 500 А/ч |
| Номинальное напряжение | 2,0 В |
| Зарядное напряжение | 2,23 В |
| Внутреннее сопротивление | 0,339мОм |
| Ток короткого замыкания | 6062 А |
| Размеры (Длина x Ширина x Высота), мм | 268x 542 x590 |
| Температура эксплуатации, °С | от 0°С до +55°С |
| Ожидаемый срок службы | 25 лет |
| Интервал между доливом воды | 1 раз в 5 лет |

Согласно техническим данным на АБ 5 GROE 500 минимальное напряжение в конце 2-х часового разряда при разряде током 59,54 А составит 2,03 В.

Следовательно АБ 5 GROE 500 обеспечивает ток 2-х часового разряда в аварийном режиме одного элемента, который составляет $\approx 163,5 \text{ А} > 59,54 \text{ А}$ и

обеспечивает кратковременный разряд 285,2 А. АБ 5 GROE 500 удовлетворяет требованиям.

На рисунке 7 представлен график зарядного напряжения в зависимости от температуры окружающей среды Classic GroE.

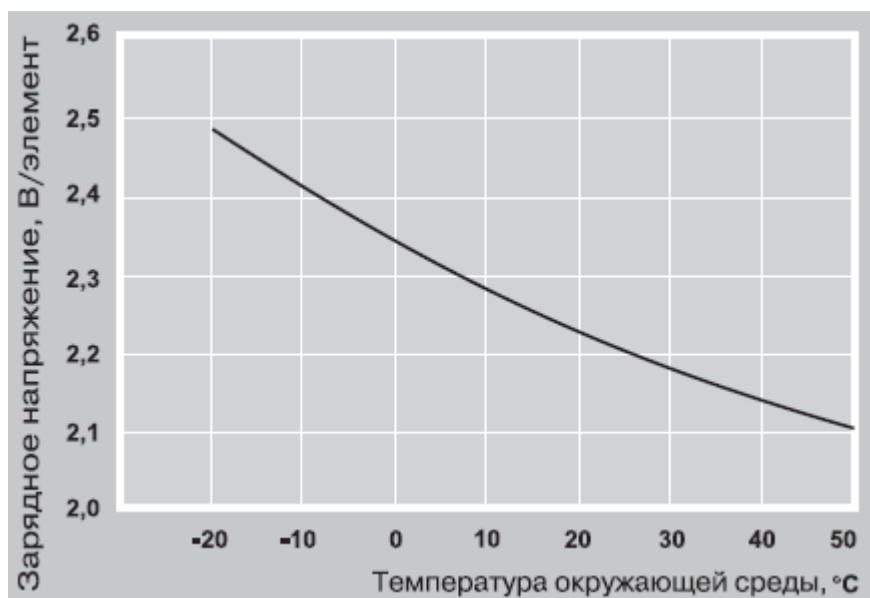


Рисунок 7 - Зарядное напряжение в зависимости от температуры окружающей среды Classic GroE

На рисунке 8 представлен график заряда стабилизированным напряжением 2,23_2,4 В/эл Classic GroE.

На рисунке 9 представлен график заряда постоянным током до 2,4 В/эл Classic GroE.

«Сегодня аккумуляторы с положительной пластиной Plante носят название Classic GroE (сокращённо от Grossoberflaecheplatte – пластина с большой поверхностью) и выпускаются на заводе TUDOR, входящем в концерн Exide Technologies. Аккумуляторы Classic GroE соответствуют стандартам DIN 40 738, IEC 60896-1 и др.

Ещё несколько слов о пластине GroE. Она имеет самую большую поверхность по сравнению с имеющимися типами пластин (примерно в 10 раз больше обычной пластины), что достигается специальной формовкой» [51].

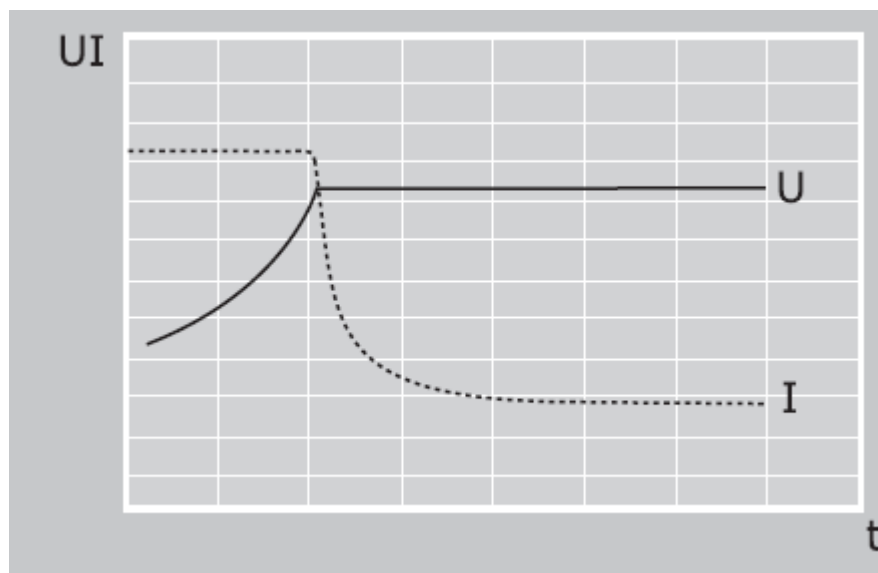


Рисунок 8 - Заряд стабилизированным напряжением 2,23_2,4 В/эл Classic GroE

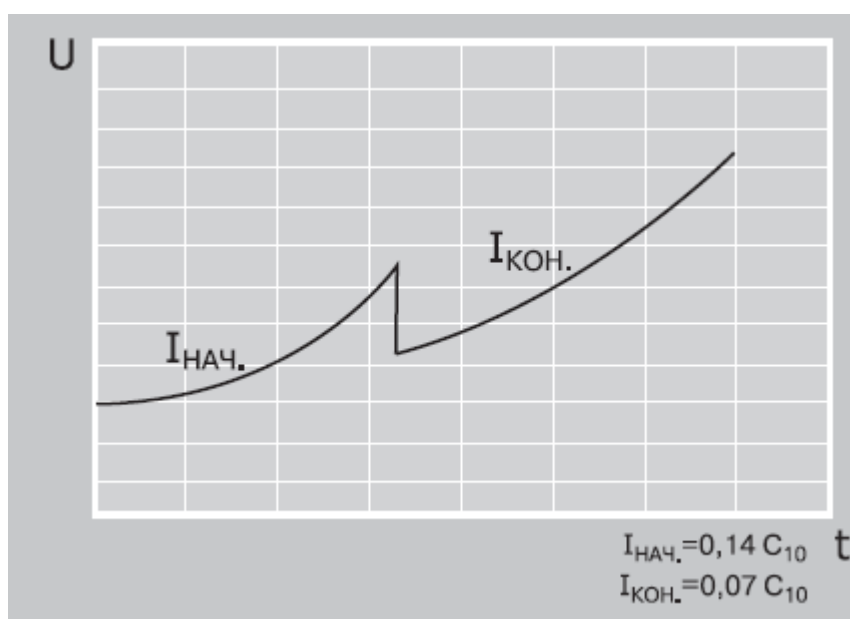


Рисунок 9 - Заряд постоянным током до 2,4 В/эл Classic GroE

В таблице 11 представлены время заряда в зависимости от глубины разряда.

Таблица 11 - Время заряда в зависимости от глубины разряда

| Напря- жение заряда, В | Ток заряда, I | Глубина разряда | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|------|-------|---------------------|------|------|-------|---------------------|------|------|-------|
| | | 25% C ₁₀ | | | 50% C ₁₀ | | | | 75% C ₁₀ | | | |
| | | Время заряда, ч | | | Время заряда, ч | | | | Время заряда, ч | | | |
| | | 3 | 6 | 10 | 3 | 6 | 10 | 20 | 3 | 6 | 10 | 20 |
| 2,23 | I ₁₀ | 94,0 | 96,0 | 97,0 | 75,0 | 89,0 | 93,0 | 95,0 | 50,0 | 73,0 | 86,0 | 93,0 |
| | 1,5 I ₁₀ | 95,0 | 97,0 | 97,5 | 82,0 | 90,0 | 93,0 | 95,0 | 62,5 | 80,0 | 88,0 | 93,0 |
| 2,40 | I ₁₀ | 96,0 | 99,0 | 100,0 | 75,0 | 93,0 | 98,0 | 100,0 | 50,0 | 75,0 | 91,0 | 100,0 |
| | 1,5 I ₁₀ | 98,0 | 99,0 | 100,0 | 87,5 | 96,0 | 98,0 | 100,0 | 62,5 | 88,0 | 96,0 | 100,0 |

Кроме того, это самая толстая пластина – ее толщина 10мм. «В качестве отрицательных пластин используются намазные свинцовые пластины, с легированием сурьмой. Аккумуляторы GroE являются единственным типом аккумуляторов, которые при длительной эксплуатации не только не ухудшают свои основные электрические характеристики, но, напротив, имеют выраженное постепенное увеличение фактической емкости. Это связано с конструкцией положительной пластины, на поверхности которой слой активной массы при работе аккумулятора постепенно увеличивается за счет перехода чистого свинца материала самой пластины в состояние двуокиси свинца. Одновременно благодаря большой поверхности пластины и массивному токоотводу эти аккумуляторы имеют самое низкое внутреннее сопротивление и, соответственно, самую большую нагрузочную способность, что имеет первостепенное значение в системах с резкопеременной нагрузкой, с большими импульсными токами, характерными для систем управления электростанций. Положительные и отрицательные пластины разделены двойным галогенонесодержащим сепаратором, который, с одной стороны, обеспечивает электрическую изоляцию разноименных пластин, а с другой стороны, благодаря пористой структуре обладает высокой проницаемостью для электролита. Корпуса элементов изготавливаются из прозрачного, облегчающего контроль и техническое обслуживание, ударопрочного

пластика – Стирола Акрилонитрила САН (Луран 378 Р). Корпуса элементов из данного вида пластика изготавливаются уже более 40 лет и такие дефекты, как трещины и сколы, в течение эксплуатации у данного материала не наблюдаются. В качестве электролита используется разбавленная серная кислота плотностью 1,22 кг/л» [51,59]. На каждом полюсе имеется медная вставка с отверстием М8 снабженным резьбой, что позволяет использовать болтовое соединение перемычек для создания надежного электрического контакта при протекании больших значений токов.

Аккумуляторы серии GroE выпускаются в диапазоне емкостей от 75 до 2600 Ач, что предоставляет проектировщику возможность оптимального выбора. Срок службы аккумуляторов GroE – самый продолжительный из всех известных типов свинцово-кислотных аккумуляторов и составляет 25 лет и более. Следует заметить, что этот показатель соответствует плановому сроку службы энергоблоков атомных электростанций до проведения работ по комплексному ремонту и реконструкции, что делает всю систему «равнопрочной», то есть нет необходимости заменять батареи в пределах планового срока эксплуатации всего объекта. «Батарея типа GroE представляет собой резервную батарею для аварийного электроснабжения. Она постоянно подключена параллельно к потребителям и работает в режиме сохранения уровня заряда. Таким образом, она в любое время готова к использованию. Батарея разряжается только тогда, когда исчезает напряжение главной электрической системы. Батареи типа GroE так же хорошо подходят для регулярного режима «заряд-разряд», они не являются циклическими батареями. Эти аккумуляторы используются там, где нужны ток большой силы и высокая мощность в течение коротких и средних сроков от секунд и нескольких минут до нескольких часов. Батареям GroE отдается предпочтение и там, где необходима максимальная надежность в эксплуатации» [51].

Данный тип батарей рекомендован для использования на предприятиях компании ОАО «ФСК ЕЭС».

Предварительно выбираем 5СН500.

На рисунке 10 приведен внешний вид уплотнения выводов 5СН500.

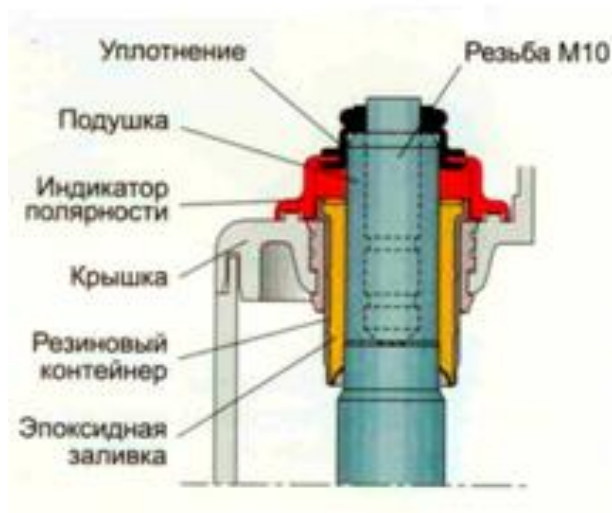


Рисунок 10 - Уплотнение выводов 5СН500

В таблице 12 приведены технические характеристики элементов 5СН500.

Таблица 12 - Технические характеристики элементов 5СН500

| Техническая характеристика | Значение |
|---|-------------------|
| Номинальная емкость 10-и часового разряда | 500 А/ч |
| Номинальное напряжение | 2,0 В |
| Зарядное напряжение | 2,23 В |
| Внутреннее сопротивление | 0,359мОм |
| Ток короткого замыкания | 4950 А |
| Размеры (Длина x Ширина x Высота), мм | 330x 270 x545 |
| Температура эксплуатации, °С | от -10°С до +55°С |
| Ожидаемый срок службы | 20 лет |
| Интервал между доливом воды | 1 раз в 3 года |

Согласно техническим данным на АБ 5СН500 минимальное напряжение в конце 2-х часового разряда при разряде током 59,54 А составит 2,03 В.

Следовательно АБ 5 5СН500 обеспечивает ток 2-х часового разряда в аварийном режиме одного элемента, который составляет $\approx 185 \text{ А} > 59,54 \text{ А}$ и обеспечивает кратковременный разряд 285,2 А.

АБ 5СН500 удовлетворяет требованиям.

Аккумуляторы СН (OGi) по габаритным размерам полностью унифицированы с аккумуляторами БП (GroE), так как для типажных рядов этих изделий применяются одинаковые комплектующие (баки, крышки, переключки и др. конструктивные элементы).

Аккумуляторы серии СН выпускаются с намазными положительными и отрицательными электродами и представляют собой более лёгкую (до 50%) и экономичную версию аккумуляторов серии GroE при незначительных отличиях по ресурсу и условиям эксплуатации.

Испытания аккумуляторов серии СН подтвердили соответствие их параметров и характеристик ведущим зарубежным аналогам. В данный момент осуществляются работы по сертификации изделий.

В настоящее время ООО «КАЗ» предлагает к поставке аккумуляторы серии СН, изготавливаемые по техническим условиям ЖЮИК.563313.046ТУ.

Минимальный срок службы аккумуляторов серии СН, в режиме постоянного подзаряда при напряжении 2,23В - не менее 20 лет.

В производстве аккумуляторов серии СН используются баки из современного полупрозрачного или прозрачного ударопрочного полимера стиролакрилнитрил (SAN) производства фирмы «ACCUMA» и высококачественная сепарация от таких ведущих производителей, как AMER – SIL, DARAMIC и др., осуществляющих поставки в адрес крупнейших изготовителей промышленных аккумуляторов.

Батареи на основе аккумуляторов серии СН рекомендуются для применения их в качестве резервных источников постоянного тока на объектах промышленной и атомной энергетики, телекоммуникаций, на

металлургических и химических предприятиях и в других промышленных сферах.

Аккумуляторы могут поставляться как сухозаряженными при гарантийном сроке хранения 5 лет, так и заряженными с залитым электролитом. Герметичность в местах соединения крышки с баком обеспечивается специальным клеем - компаундом.

Для соединения аккумуляторов в батарею применяют полностью изолированные гибкие перемычки, которые, наряду с повышенной надёжностью обладают пружинным эффектом, сглаживающим знакопеременные вибрагрузки [52,53].

Электролитом служит раствор серной кислоты высшего сорта в дистиллированной воде. Плотность электролита составляет $1,24 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$.

Рекомендованы для установки на предприятиях компании ОАО «ФСК ЕЭС».

Для установки было выбрано несколько вариантов аккумуляторных батарей, которые удовлетворяли необходимым требованиям.

Взамен старой аккумуляторной батареи 6ССАП600 будут установлены 5 GROE 500. Их стоимость ниже чем VARTA Block Vb 2310+. Согласно техническим данным батареи типа GroE можно использовать там где нужен ток большой силы это необходимо для включения электромагнитного привода выключателей ОРУ-110 кВ. Так же в Самаре имеются сервисные центры и компания предоставляет своим клиентам полноценную техническую поддержку. Обслуживание всего спектра аккумуляторных батарей и преобразовательной техники. На базе сервисных центров организованы складские помещения, где храниться продукция. Что уменьшает затраты на доставку и потерю во времени.

3.6 Выбор автоматических выключателей и предохранителей

Средний уровень защиты системы оперативного постоянного тока

выполняются разъединителями-предохранителями.

Средний уровень защиты обеспечивается плавкими вставками разъединителей с предохранителями присоединений щита постоянного тока.

Нижний уровень защиты системы оперативного постоянного тока выполняется автоматическими выключателями, установленными в шкафах ШРОТ.

Выбор защитных аппаратов выполняется по следующим условиям:

- время отключения тока КЗ в любой точке цепи не должно превышать времени, в течение которого температура проводников достигает допустимого предела:

$$t_{\text{отк}} \leq t_{\text{дп}} = \left(K \cdot \frac{S}{I_{\text{кз}}} \right)^2, \quad (8)$$

где $t_{\text{отк}}$ - время отключения присоединения;

$I_{\text{кз}}$ - действующее значение тока КЗ, А;

$K = 115$ для медных проводов с поливинилхлоридной изоляцией;

S - сечение проводника, мм²;

$t_{\text{дп}}$ - время, в течение которого температура проводника достигает допустимый предел.

- по отключающей способности защитные аппараты должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка сети:

$$I_{\text{откл}} \geq I_{\text{кз}}, \quad (9)$$

где $I_{\text{откл}}$ - ток отключения, А.

- номинальный ток защитного аппарата должен быть больше расчетного тока присоединения и меньше длительно допустимого тока кабеля:

$$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}} \leq I_{\text{д.н.}}, \quad (10)$$

где $I_{\text{расч}}$ - расчетный ток присоединения, А;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток защитного аппарата, А (для автоматического выключателя номинальный ток расцепителя; для разъединителя с предохранителями номинальный ток плавкой вставки);

$I_{\text{д.н.}}$ - допустимый номинальный ток нагрузки проводника (кабеля), А.

- уставка срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечки) выключателя выбирается такой, чтобы расцепитель не сработал при протекании тока кратковременного разряда по условию:

$$I_{\text{отк}} \geq k_3 \cdot k_p \cdot I_{\text{кр ав}}, \quad (11)$$

где $k_3 = 1,1$ - коэффициент запаса;

k_p - коэффициент разброса значений тока срабатывания электромагнитного расцепителя;

$I_{\text{кр ав}}$ - ток кратковременного разряда.

- номинальный ток плавкой вставки предохранителя проверяется по условию:

$$I_{\text{ном}} \geq \frac{I_{\text{кр ав}}}{k_{\text{п}}} \quad (12)$$

где $k_{\text{п}} = 2,5$ - кратность перегрузки при ее длительности не более 3 с.

Проверка чувствительности защитных аппаратов к протеканию токов короткого замыкания производится по условиям:

- чувствительность срабатывания плавкой вставки

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.д}}}{I_{\text{ном}}} \geq 5; \quad (13)$$

- чувствительность срабатывания теплового расцепителя АВ

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз.д}}}{I_{\text{ном}}} \geq 3 \quad (14)$$

- чувствительность срабатывания электромагнитного расцепителя выключателя

$$K_{\text{ч отк}} = \frac{I_{\text{кз.д}}}{I_{\text{отс}}} \geq K_3 \cdot K_p \quad (15)$$

где $I_{\text{кз.д}}$ - ток короткого замыкания дуговой в конце защищаемого участка, находится по кривой зависимости K_c от сопротивления цепей короткого замыкания;

$I_{\text{отс}}$ - ток срабатывания электромагнитного расцепителя;

$k_3 = 1,1$ - коэффициент запаса;

$k_p = 1,3$ - коэффициент разброса значений тока срабатывания электромагнитного расцепителя ($k_3 \cdot k_p$) = 1,43.

Расчет защитных аппаратов приведен в таблицах 13, 14, 15, 16.

Таблица 13 – Расчет защитных аппаратов ЩПТ

| Обозначение | $I_{кз}$, А | $I_{кз}$ дуг., А | S, мм | $I_{доп}$, А | $t_{доп}$, с | $I_{рас}$, А | Параметры предохранителя | | | | | Проверка чувствительности |
|-------------|--------------|------------------|-------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | | | | | | | марка | $I_{ном,А}$ | $I_{отк,кА}$ | $I_{отс}$, А | $I_{отк}$, с | $K_{ч}$ |
| ШРОТ1 | 580 | 430 | 6 | 56 | 1,42 | 0,54 | NS-SI 00 10A GG | 10 | 25 | 50 | 0,01 | 43,00 |
| ШРОТ2 | 580 | 430 | 6 | 56 | 1,42 | 1,86 | NS-SI 00 10A GG | 10 | 25 | 50 | 0,01 | 43,00 |
| ШРОТ3 | 850 | 620 | 10 | 76 | 1,83 | 6,77 | NS-SI 00 10A GG | 16 | 25 | 80 | 0,01 | 38,75 |

Таблица 14 – ШРОТ-1

| Обозначение | $I_{кз}$, А | $I_{кз}$ дуг., А | S, мм | $I_{доп}$, А | $t_{доп}$, с | $I_{рас}$, А | Параметры автоматического выключателя | | | | | Проверка чувствительности | |
|-------------------------------------|--------------|------------------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------------------|-------------|
| | | | | | | | марка | $I_{ном,А}$ | $I_{отк,кА}$ | $I_{отс}$, А | $I_{отк}$, с | $K_{ч}$ | $K_{ч.отс}$ |
| SF1.1, SF1.2, SF2.1, SF2.2 | 140 | 110 | 2,5 | 28 | 4,22 | 0,18 | S282- US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 27,5 | 9,17 |

Таблица 15 – ШРОТ-2

| Обозначение | I _{кз} , А | I _{кз} дуг., А | S, мм | I _{доп} , А | t _{доп} , с | I _{рас} , А | Параметры предохранителя | | | | | Проверка чувствительности | |
|--------------------------------|---------------------|-------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | | | | | марка | I _{ном} , А | I _{отк} , кА | I _{отс} , А | I _{отк} , с | K _ч | K _{ч.отс} |
| SF 1.1, SF 1.6, SF 2.1, SF 2.3 | 140 | 110 | 2,5 | 28 | 4,22 | 0,09... 0,23 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 27,5 | 9,17 |
| SF 2.2, SF 2.4, SF 2.5 | 70 | 50 | 2,5 | 28 | 16,87 | 0,09 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 12,5 0 | 2,08 |
| SF 2.6 | 90 | 70 | 2,5 | 28 | 104,4 9 | 0,09 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 17,5 | 2,92 |

Таблица 16 – ШРОТ-3

| Обозначение | I _{кз} , А | I _{кз} дуг., А | S, мм | I _{доп} , А | t _{доп} , с | I _{рас} , А | Параметры предохранителя | | | | | Проверка чувствительности | |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| | | | | | | | марка | I _{ном} , А | I _{отк} , кА | I _{отс} , А | I _{отк} , с | K _ч | K _{ч.отс} |
| SF 1.1 | 70 | 50 | 2, 5 | 28 | 16,8 7 | 0,09 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 12,50 | 4,17 |
| SF 1.2, SF 1.4 | 15,7 | 121 | 2, 5 | 28 | 3,35 | 0,07, 0,23 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 30,25 | 10,08 |
| SF 1.3, SF 1.5, SF 1.6 | 80 | 60 | 2, 5 | 28 | 12,9 2 | 0,91 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 15 | 5,00 |
| SF 2.1 | 110 | 80 | 8 | 74 | 69,9 5 | 2,7 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 0,01 | 20 | 6,67 |
| SF 2.2 | 120 | 90 | 8 | 74 | 58,7 8 | 2,7 | S282-US-Z4 | 4 | 6 | 8...12 | 1,01 | 22,5 | 7,50 |

3.7 Проверка силовых кабелей на термическую стойкость

Для прокладки выбираем кабели из поливинилхлорида.

«Поливинилхлоридный пластикат, применяемый в кабельной промышленности, представляет собой смесь поливинилхлоридной смолы (поливинилхлорида), получаемой полимеризацией хлористого винила ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) с пластификаторами, стабилизаторами, наполнителями и другими компонентами.

Поливинилхлорид (ПВХ) – это высокомолекулярное соединение линейного строения, имеющее вид тонкодисперсного порошка. Молекулярная масса ПВХ 50000-200000. Отсутствие двойных связей и наличие атомов хлора делает ПВХ стойким к кислотам и щелочам, а также озоностойким и негорючим материалом. В кабельных композициях ПВХ-пластикатов используют ПВХ суспензионной полимеризации, при которой полимер получается малоразветвленным с узким молекулярно-массовым распределением» [54,55].

При коротких замыканиях температура нагрева не должна превышать предельно допустимой для изоляции проводника температуры. Сечение проводника, соответствующее этому условию, определяется по формуле:

$$S_{\text{кд}} = I_{\text{кз}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \sqrt{t_{\text{кз}}}, \quad (16)$$

где $S_{\text{кд}}$ - сечение жилы кабеля, при котором температура проводника не превысит величины предельно допустимой для его изоляции, мм ;

$I_{\text{кз}}$ - значение тока КЗ в начале линии, А;

$K_1 = 4,3 \cdot 10^{-3}$ (для меди);

$K_2 = 2$ (для меди и изоляции из ПВХ);

$t_{\text{кз}}$ - время отключения тока КЗ.

Выбранное сечение должно удовлетворять условию:

$$S_{\text{дн}} \geq S_{\text{кд}},$$

где $S_{\text{дн}}$ - сечение жилы кабеля, соответствующее длительно допустимому току мм^2 .

Проверка кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ1:

$$S_{\text{кд}} = 2930 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 2,52.$$

Выбор сечения кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ1:

$$6 \geq 2,52.$$

Проверка кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ2:

$$S_{\text{кд}} = 2930 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 2,52.$$

Выбор сечения кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ2:

$$6 \geq 2,52.$$

Проверка кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ3:

$$S_{\text{кд}} = 2930 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 2,52.$$

Выбор сечения кабельной трассы ЩПТ шины 1(2) секции до ШРОТ3:

$$6 \geq 2,52.$$

Проверка кабельной трассы ШРОТ1:

$$S_{\text{кд}} = 372 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 0,32.$$

Выбор сечения кабельной трассы ШРОТ1:

$$2,5 \geq 0,32.$$

Проверка кабельной трассы ШРОТ2:

$$S_{\text{кд}} = 372 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 0,32.$$

Выбор сечения кабельной трассы ШРОТ2:

$$2,5 \geq 0,32.$$

Проверка кабельной трассы ШРОТ3:

$$S_{\text{кд}} = 252 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 0,22.$$

Выбор сечения кабельной трассы ШРОТ3:

$$2,5 \geq 0,22.$$

Проверка кабельной трассы ШРОТ3:

$$S_{\text{кд}} = 252 \cdot 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot \sqrt{0,01} = 0,22.$$

Выбор сечения кабельной трассы ШРОТ3:

$$2 \geq 0,22.$$

Для установки берется кабель марки ВВГЭнг-LS с соответствующим сечением.

Область применения кабелей должна соответствовать указанной в «Единых технических указаниях по выбору и применению электрических кабелей». Кабели не могут использоваться для прокладки в земле (траншеях) [56,57]. Прокладка кабелей должна осуществляться в соответствии с действующей документацией, утверждённой в установленном порядке. Кабели могут быть проложены без предварительного подогрева при температуре не ниже минус 15 °С. Минимальный радиус изгиба при прокладке должен быть, не менее 7,5 Dн (Dн – наружный диаметр кабеля, мм.). Длительно допустимая температура нагрева жил при эксплуатации не должна превышать 70 °С. Максимально допустимая температура жил при коротком замыкании не должна превышать 160 °С. Продолжительность короткого замыкания не должна превышать 4 сек. Допустимый нагрев жил кабелей в аварийном режиме, должен быть не более 80 °С. Продолжительность работы кабелей в аварийном режиме не должна быть более 8 часов в сутки и не более 1000 часов за срок службы. Кабели допускается эксплуатировать в сетях постоянного напряжения при значениях напряжения в 2,4 раза больше U0 (где U0 – напряжение между жилой и экраном или металлической оболочкой). Электрическое сопротивление изоляции, пересчитанное на 1 км длины, измеренное при длительно допустимой температуре нагрева жил кабелей при эксплуатации, не менее 0,005 МОм.

3.8 Выбор УЗВ

Исходные данные:

$U_n = 220$ В - номинальное напряжение;

$I_1 = 17,4$ А - ток потребляемый постоянной нагрузкой;

$T_3 = 24$ – время полного заряда;

600 Ач – емкость аккумуляторной батареи.

Ток заряда батареи:

$$I_2 = \frac{600 \cdot 10\%}{T_3}, \quad (17)$$
$$I_2 = \frac{600 \cdot 1.1\%}{24} = 27.5.$$

Полный ток выпрямителя:

$$I_{\text{п}} = I_1 + I_2, \quad (18)$$
$$I_{\text{п}} = 17.4 + 27.5 = 44.9.$$

Предварительно выбираем УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ.

Основные рабочие характеристики УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Основные рабочие характеристики УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Входное напряжение (В) | 230/380 |
| Отклонение входного напряжения (%) | +10, -15 |
| Частота (Гц) | 47-63 |
| Выходное напряжение (В) | 12, 24, 48, 110, 220 |
| Максимальный выходной ток (А) | 1000 |
| Стабилизация напряжения (%) | ± 0.5 |
| КПД при 50-100% нагрузке (%) | 93 |
| Рабочая температура от 0 до | 45°C |

«Удобные, надежные, хорошо адаптируемые автоматические зарядно-выпрямительные устройства серий НРТ, НР в сочетании с параллельно подключенными аккумуляторными батареями образуют системы для бесперебойного питания оборудования постоянным током. Устройства

электропитания и заряда выполнены по принципу управляемого диодно-тиристорного преобразования переменного напряжения в постоянное. Устройства имеют на входе трансформатор напряжения, на выходе - фильтр LC типа. Контроль фаз позволяет достигнуть высокой стабилизации напряжения на выходе с минимальными потерями. Заряд и подзаряд аккумуляторных батарей осуществляется при постоянном напряжении» [37,58].

Особенности и преимущества:

- Автоматический двухуровневый заряд для любых типов батарей (базовая версия X);
- Ручной выравнивающий заряд для обслуживания батарей (базовая версия E);
- Напряжение выхода адаптировано к батарее, стабилизация выходного напряжения не хуже $\pm 0,5\%$;
- Функциональные возможности;
- Сигнализация режимов работы;
- Измерение и отображение электрических параметров;
- Контроль изоляции (опция);
- Корректировка напряжения подзаряда в зависимости от температуры (опция T);
- Регулировка напряжения заряда и подзаряда батареи в пределах $\pm 5\%$;
- Параллельное подключение 2-х систем для резервирования (опция);

Опция ENERGO 1.1 SM.

Средства мониторинга зарядно-выпрямительных устройств (ЗВУ) НРТ предназначены для дистанционного наблюдения на персональном компьютере в режиме реального времени за параметрами работы как единичного устройства, так и нескольких ЗВУ, подключаемых к АСУ при помощи различных средств связи. Система мониторинга позволяет построить диаграммы и графики измеряемых параметров.

Изменяемые параметры:

- Выходное напряжение;
- Выходной ток выпрямителя;
- Ток батареи (опция);
- Выходная мощность;
- Среднеквадратические значения входных линейных напряжений 3-х фазной сети;
- Среднеквадратические значения входных токов 3-х фазной сети;
- Полная и активная мощность устройства, как потребителя 3-х фазной сети;
- Температура выпрямителя;
- Температура в помещении.

Предварительно выбираем УЗВ ПСП-В.

Основные рабочие характеристики ПСП-В сводим в таблицу 18.

Таблица 18 - Основные рабочие характеристики ПСП-В

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Входное напряжение (В) | 230/380 |
| Отклонение входного напряжения (%) | ± 15 |
| Частота (Гц) | 50/60 |
| Отклонение по частоте (%) | ± 10 |
| Рабочая температура (С) | от 0 до +40 |
| Стабильность выходного напряжения | < 1 |
| Стабильность выходного тока | < 1 |
| Пульсация выходного напряжения (%) | $< 0,5$ |
| Пульсация выходного тока (%) | < 1 |
| Выходное напряжение (В) | 12, 24, 48, 110, 220 |
| Максимальный выходной ток (А) | 1000 |
| Стабилизация напряжения (%) | ± 0.5 |
| КПД (%) | > 92 |

Особенности и преимущества:

- «Новейшая технология высокочастотного преобразования в сочетании с модульностью конструкции обеспечивает высокую надежность, экономию на обслуживании, минимальное время замены модулей.
- Модульность конструкции позволяет встраивать в систему инверторы и стабилизаторы.
- Многоуровневая система заряда аккумуляторной батареи, в сочетании с низкими пульсациями и высокой стабильностью выходного напряжения и тока, обеспечивает параметры заряда аккумуляторных батарей, соответствующие рекомендациям EUROBAT.
- Гальваническая изоляция от сети питания» [38,59].
- Автоматическое выравнивание токов между модулями.
- Микропроцессорное управление, удобный дисплей на русском языке.
- Минимальный уровень излучаемых высокочастотных помех благодаря использованию многоступенчатых фильтров.
- Бесшумная работа.

Функциональные возможности:

- Автоматическая корректировка напряжения подзаряда в зависимости от температуры.
- Контроль изоляции.
- Автоматический ввод резерва.
- Возможность резервирования N+1.
- Заряд стабилизированным током.
- Заряд стабилизированным напряжением.
- Контроль состояния батареи.
- Мониторинг, включая централизованный контроль по нескольким объектам.

Для установки применяем УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ его стоимость ниже, чем УЗВ ПСП-В.

3.9 Этапы проведения реконструкции системы оперативного тока

1 этап.

В существующем помещении аккумуляторной разместить новую АБ 2. АБ 2 установить на двухэтажных стеллажах, как показано на рисунке 11.

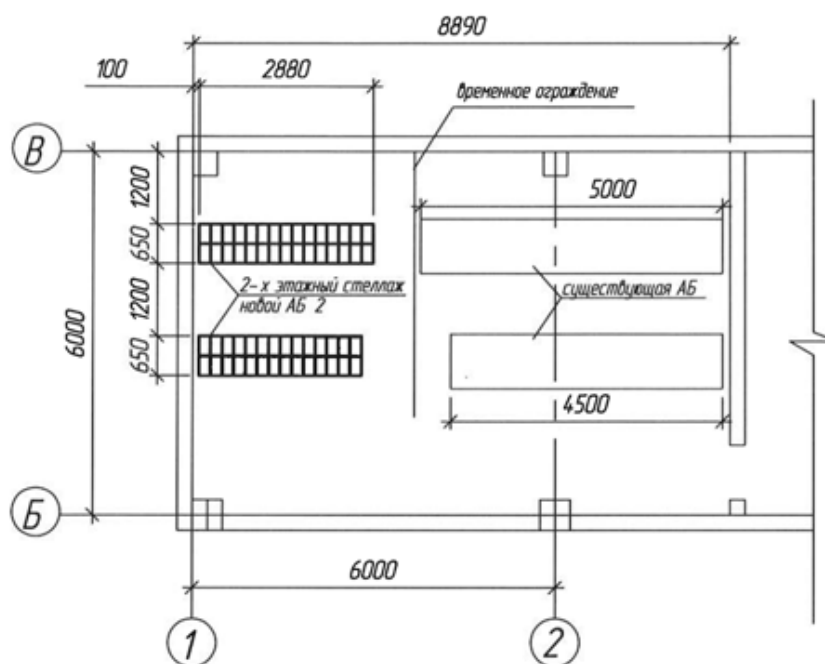


Рисунок 11 – Первый этап размещения новой АБ 2

На период монтажа новой АБ 2 необходимо установить временное ограждение в существующей АБ.

Одновременно с монтажом новой АБ 2, произвести установку нового ЩПТ 2 и двух новых УЗВ в помещении существующего релейного зала. Перевести нагрузки постоянного тока на новые АБ 2 и ЩПТ 2.

2 этап.

Существующую АБ демонтировать, построить перегородку, разделяющую помещения АБ (рисунок 12).

После возведения перегородки между помещениями АБ временное ограждение убрать. Затем на месте старой батареи установить новую АБ 1. Одновременно произвести демонтаж старого ЩПТ и установку на этом месте нового ЩПТ 1.

Новая схема оперативного тока представлена на рисунке А.2
Приложения А.

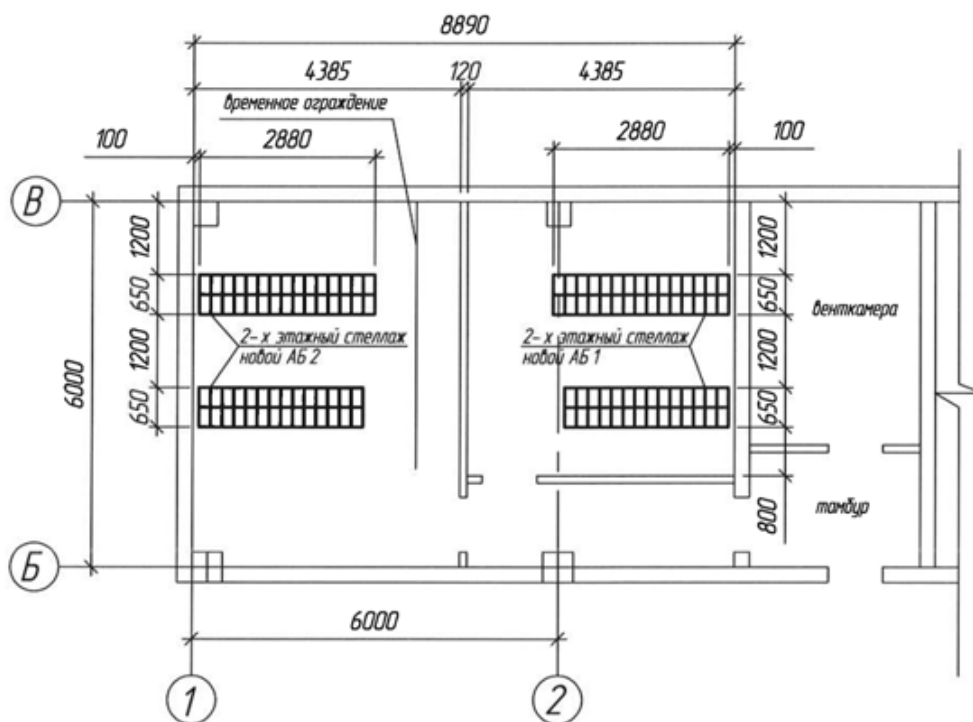


Рисунок 12 – Второй этап размещения новой АБ 1

Выводы по третьему разделу:

- Расчетным путем доказана необходимость замены существующей аккумуляторной батареи. В случае увеличения времени на ликвидацию аварии, элементы аккумуляторной батареи разрядятся и их емкости не хватит во время второго толчка.

- Произведены расчеты по выбору оптимального оборудования для системы оперативного тока ПС «Рысаево». Взамен старой аккумуляторной батареи 6ССАП600 будут установлены две батареи 5 GROE 500, предохранители марки NS-SI, автоматические выключатели марки S-US-Z4, кабели ВВГЭнг-LS, УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ. Установка новых батарей снизит риск аварии на 40%.

- Определены этапы проведения реконструкции системы оперативного тока, позволяющие провести замену оборудования без остановки подстанции.

Заключение

На основе анализа существующей системы оперативного тока выявлено, что установленное оборудование устарело и не отвечает современным требованиям.

Произведен анализ возможности применения на подстанции различных систем оперативного тока. Определено, что наиболее надежной и экономически выгодной будет применение системы постоянного оперативного тока. При разработке новой схемы постоянного оперативного тока учтены основные нормативные требования ОАО «ФСК ЕЭС» к системе оперативного тока.

На основе анализа известных методов произведена оценка влияния высших гармоник на время срабатывания МУРЗ, последствия воздействия электромагнитных возмущений со стороны питающей сети на работу МУРЗ, определены методы уменьшения их воздействия на МУРЗ. При исследовании микропроцессорного реле напряжения с зависимой выдержкой времени установлено, что эта выдержка в сильной степени зависит от третьей гармоники напряжения.

Расчетным путем доказана необходимость замены существующей аккумуляторной батареи. В случае увеличения времени на ликвидацию аварии, элементы аккумуляторной батареи разрядятся и их емкости не хватит во время второго толчка.

Произведены расчеты по выбору оптимального оборудования для системы оперативного тока ПС «Рысаево». Взамен старой аккумуляторной батареи 6ССАП600 будут установлены две батареи 5 GROE 500, предохранители марки NS-SI, автоматические выключатели марки S-US-Z4, кабели ВВГЭнг-LS, УЗВ НРТ.60.220 ХЕТ. Установка новых батарей снизит риск аварии на 40%.

Определены этапы проведения реконструкции системы оперативного тока, позволяющие провести замену оборудования без остановки подстанции.

Список используемых источников

1. Абакумов А.М., Голубев С.В., Шварц Г.Р. Оценка качества решений при проектировании систем электроснабжения оперативного тока подстанций. Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Технические науки 2005. №3. С. 85-88.
2. Айзенфельд А.И. Показатели работы устройств релейной защиты и автоматики в энергосистемах. Электрические станции. 2003. № 1. С.48-52.
3. Андрющенко Л.А., Савченко Н.И. О ложной работе выключателя блока при переходных процессах в цепях постоянного тока. Электрические станции. 2002. № 7. С.67-68.
4. Барг И.Г. Надёжность ВЛ 0,4-20 кВ сельскохозяйственного назначения. Энергетическое строительство. 2002. №4. С. 19-21.
5. Белоусенко И.В., Голубев С.В., Дильман М.Д. Исследование и технико-экономическая оценка надёжности электроснабжения электростанций собственных нужд. Промышленная энергетика. 2002. №11. С. 62-64.
6. Белоусенко И.В., Горюпов О.А. Моделирование надёжности систем электроснабжения с применением автономных источников и эффективность их применения. Промышленная энергетика. 2009. №6. С. 12-26.
7. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. Энергоатомиздат. 2008. 172с.
8. Биллингтон Р., Аллан Р. Оценка надёжности электроэнергетических систем. Энергоатомиздат. 2008. 288с.
9. Борухман В.А., Кулдыкин А.Н. Определение места повреждения изоляции в сети оперативного постоянного тока. Электрические станции. 2002. № 7. С. 58-60.
10. Борухман В.А., Кулдыкин А.Н. Повышение надёжности работы сети оперативного постоянного тока. Электрические станции. 2005. № 4. С. 52-53.

11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров. Наука. 2000. 976 с.
12. Буль Б.К. Основы теории электрических аппаратов. М.: Высшая школа. 2000. 600 с.
13. Бурькин В.В., Шилов А.Н., Дурденевский М.С. Контроль сопротивления изоляции цепей постоянного тока. Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем. Труды ИГЭУ. Вып. 1. Иваново. 2007. С. 247-250.
14. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергия. 2000. 608 с.
15. Винников М.Р. Схема контроля цепей оперативного постоянного тока. Промышленная энергетика. 2001. № 12. С.23-24.
16. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. М.: Высшая школа. 2007. 388 с.
17. Голубев М.А. Защита вторичных цепей от коротких замыканий. Библиотека электромонтера. Вып.548. М.: Энергоиздат. 2002. 80 с.
18. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М: Изд-во стандартов. 2000.
19. Гук Ю.Б. Анализ надёжности электроэнергетических установок. Д.: Энергоатомиздат. 2008. 224 с.
20. Гук Ю.Б., Кантан В.В. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. Пособие для вузов: Энергоатомиздат. 2005. 312 с.
21. Гумин И.Я. Вторичные схемы электрических станций и подстанций. М.-Л.: Энергия. 2004. 176 с.
22. Гумин М.И. Схемы управления масляными выключателями, автоматами и контакторами. М.- Л.: Госэнергоиздат. 2002. 80 с.
23. Гуревич В.И. Вторичные источники электропитания. Электротехнический рынок. 2009. № 1. С. 45-50.

24. Гуревич Ю.Е. Особенности электроснабжения промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами. *Электричество*. 2000. №1. С. 55-59.
25. Гусев Ю.П. Положительные тенденции и проблемы развития. *Новости электротехники*. 2005. №1. С. 44-45.
26. Гусев Ю.П. Короткие замыкания в электроустановках собственных нужд электростанций и подстанций. Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ. 2003. 44 с.
27. Гусев Ю.П., Шиша М.А. Проверка кабелей электроустановок напряжением до 1 кВ на термическую стойкость и невозгораемость. *Электро*. 2001. №1. С.36-38.
28. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам. Пер. с англ. М.Н. Микшиса, под ред. И.Н. Теплюка. М.: Энергоатомиздат. 2003. 128 с.
29. Дорфман Я.Г. Магнитные свойства и строение вещества. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 2005. 376 с.
30. Жуков В.В. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: НЦ ЭНАС. 2001. 152 с.
31. Иванов В.И. О надежности работы УРЗА с протяженными кабельными связями. *Электрические станции*. 2006. № 9. С.52-54.
32. Каминский Е.А. Что нужно знать об изоляции цепей оперативного тока. М.- Л.: Госэнергоиздат. 2009. 64 с.
33. Карташев И.И., Фокин Ю.А. Методы оценки надёжности сложных электрических систем. *Электричество*. 2001. №6. С. 1-6.
34. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. М.: Высшая школа, 2004. 256 с.
35. Кобылянский А.В. Контроль изоляции сетей постоянного тока. *Электрические станции*. 2009. № 6. С.90-92.
36. Кондахчан В.С. Ложная работа защиты при замыканиях в цепи оперативного тока. *Электрические станции*. 2001. № 13. С.38.

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

38. Методические указания по экономическому обоснованию оптимального уровня надёжности электроснабжения промышленных предприятий. М.: Информэнерго. 2005. 86 с.

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

40. Назаров А.Н. Определяющие выбор схемы электроснабжения при реконструкции компрессорных станций. М.: Нефть, газ и бизнес. 2006. №12 С. 79-81.

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

42. Положение ОАО «РОССЕТИ» о единой технической политике в электросетевом комплексе [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trk.tom.ru> (дата обращения: 19.09.2021).

43. 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.

44. 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.

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

46. Серов М.П., Павлов Н.О., Черненко А.Н. Анализ системы оперативного тока на подстанции 220/110/10 кВ «Рысаево»/ «Инновационные технологии в обучении и производстве»: Всероссийская заочная научно-

практическая конференция (Камышин, 22-25 ноября 2021 года). Камышин, 2021. С. 25-27.

47. Сторожук К.С. Повысить уровень надежности работы электростанций и сетей. Электрические станции. 2003. № 7, С. 2-5.

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

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

50. Титаренко М.В. Устройство контроля изоляции цепей постоянного тока. Промышленная энергетика. 2009. № 2. С.24-25.

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

52. Хоровиц П. Искусство схемотехники. Пер с англ. Б.Н. Бронина, А.И. Коротова, М.Н. Микшиса, О.А. Соболевой. М.: Мир. 2003. 413 с.

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

54. Шиша М.А. Учёт влияния электрической дуги на ток короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ переменного и постоянного тока. Электрические станции. 2006. № 11. С. 49-55.

55. Csanyi E. 9 Most Common Power Quality Problems [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2014. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/9-most-common-power-quality-problems> (дата обращения: 05.12.2021).

56. Csanyi E. 34 Questions And Answers To Break the Myth About SF6 Gas In Electrical Equipment [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2014. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/34-questions-and-answers-to>

break-the-myth-about-sf6-gas-in-electrical-equipment (дата обращения: 05.12.2021)

57. Jignesh P. Types of electrical power distribution systems [Электронный ресурс] : Electrical Engineering Portal. 2011. URL: <http://electrical-engineering-portal.com/types-of-electrical-power-distribution-systems> (дата обращения: 05.12.2021).

58. Baidak Yu., Matukhno V., Chaikovskiy V. Energy efficient transformers with various load graphics for the consumer of electric power // Холодильна техніка та технологія. 2016. № 2. P. 34-39.

59. Mirzai M., Gholami A., Aminifar F. Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers // Journal of Electrical System. 2006. № 2-1. P. 1-12.

60. Thomas T., Joseph V. Fault Diagnosis on Medium Voltage (MV) Electric Power Distribution Networks: The Case of the Downstream Network of the AES-SONEL Ngousso Sub-Station // Energies. 2009. № 2. P. 243-257.

Приложение А

Схемы оперативного тока ПС 220кВ «Рысаево»

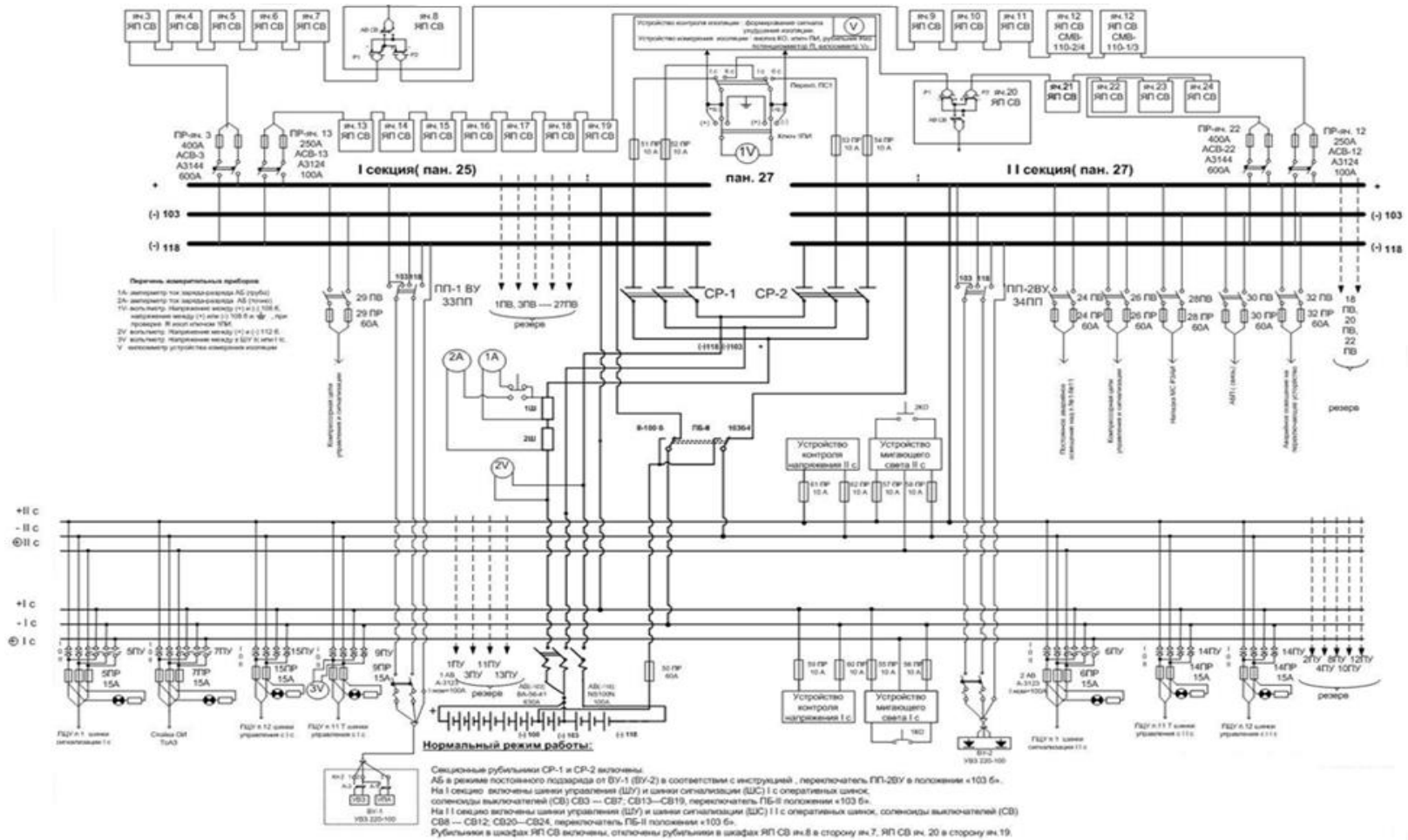


Рисунок А.1 - Действующая схема оперативного тока ПС 220кВ «Рысаево»

Продолжение приложения А

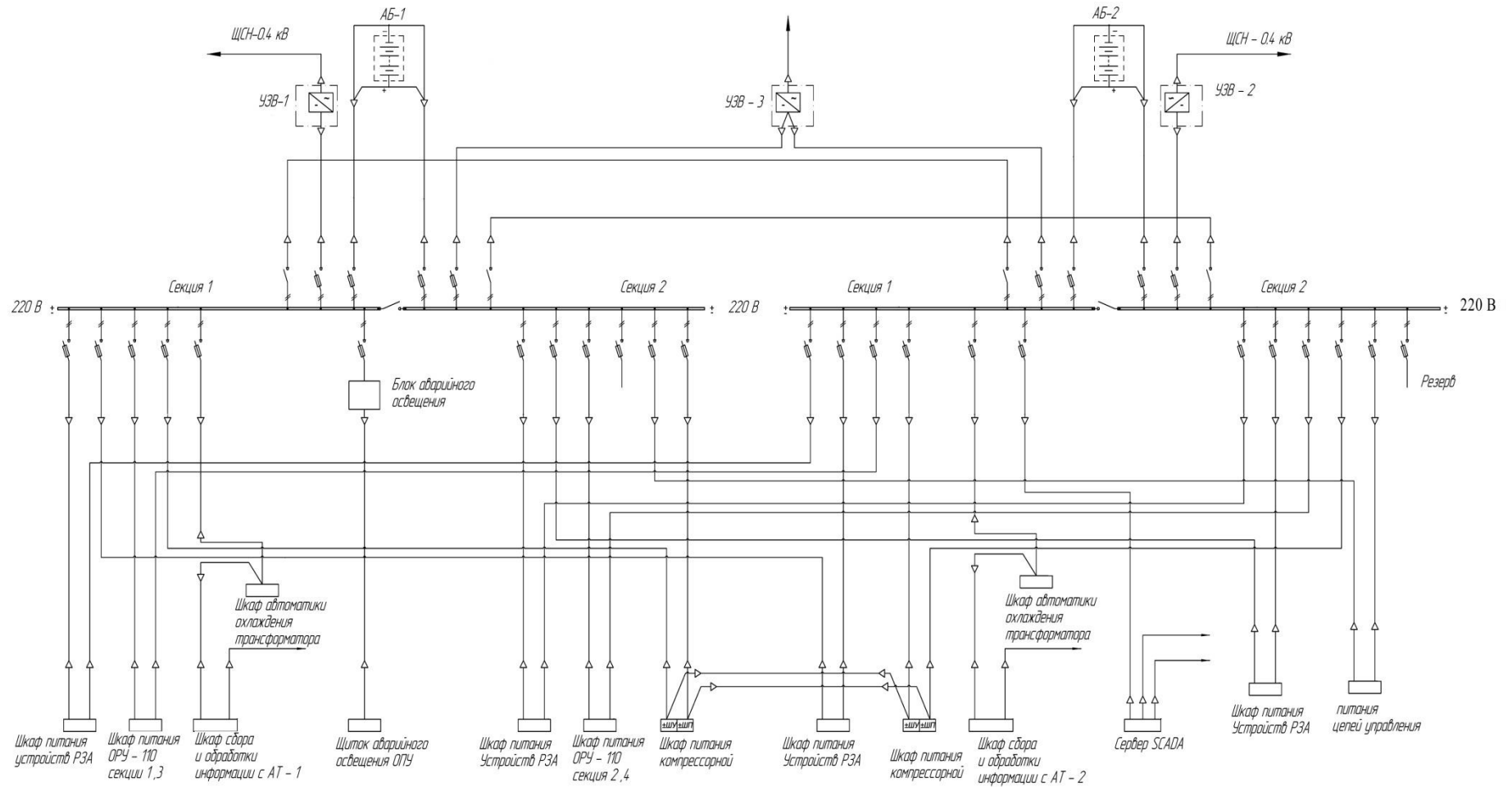


Рисунок А.2 - Новая схема оперативного тока ПС 220кВ «Рысаево»