

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный
энергетический университет»**

СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Учебное пособие

**Казань
2019**

УДК 621.316.925
ББК 32.965.6
С409

Рецензенты:

канд. техн. наук, главный специалист Службы релейной защиты и автоматики
Филиала АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы
Республики Татарстан» И.Л. Кузьмин;

канд. техн. наук, зав. кафедрой релейной защиты и автоматизации
электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «КГЭУ» Д.Ф. Губаев

С409 **Системы оперативного постоянного тока: учеб. пособие /**
сост.: Р.Ф. Ярыш, Р.Э. Абдуллазянов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т,
2019. – 83 с.

Содержит указания по организации систем оперативного постоянного тока на подстанциях 110 кВ и выше. Представленный материал может быть использован как на практических занятиях, так и для самостоятельного изучения дисциплины «Системы оперативного постоянного тока».

Предназначено для студентов всех форм обучения по образовательной программе направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

УДК 621.316.925
ББК 32.965.6

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АБ	– аккумуляторная батарея;
АВ	– автоматические выключатели;
АВР	– автоматический ввод резерва;
АПЖТ	– автоматика пожаротушения трансформатора;
АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическими процессами;
АУВ	– автоматика управления выключателем;
БАО	– блоки аварийного освещения;
БВП	– блок внешних подключений;
ВДУ	– вольтодобавочное устройство;
ВН, НН	– высшее напряжение, низшее напряжение;
ВПС	– устройства вспомогательного питания и сигнализации;
ВУ	– выпрямительное устройство;
ЗПУ	– зарядно-подзарядное устройство;
ЗРУ	– закрытое распределительное устройство;
ЗУ	– зарядное устройство;
ИБП	– источник бесперебойного питания;
КЗ	– короткое замыкание;
ОБР	– оперативная блокировка разъединителей;
ОПУ	– общестанционный пункт управления;
ОРУ	– открытое распределительное устройство;
ПА	– противоаварийная автоматика;
ПШТ	– потребители постоянного тока;
ПС	– подстанция;
ПТЭ	– правила технической эксплуатации;
ПУЭ	– правила устройства электроустановок;
РЗА	– релейная защита и автоматика;
РПН	– устройство регулирования под нагрузкой;
СН	– собственные нужды;
СОПТ	– системы оперативного постоянного тока;
СОТ	– система оперативного тока;
ССПТИ	– система сбора и представления технологической информации;
ТО	– телеотключение;
ТТ и ТН	– измерительные трансформаторы тока и напряжения;
ТУ	– телеуправление;
УРОВ	– устройство резервирования отказа выключателя;
ЦС	– центральная сигнализация;
ШАВ	– шинки автоматического выключателя;
ШРОТ	– шкаф распределения оперативного тока;
ШСН	– шины собственных нужд;
ЩПТ	– щиты постоянного тока;
ЩСН	– щит собственных нужд.

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель данного учебного пособия – содействовать успешному освоению студентами дисциплины «Системы оперативного постоянного тока». Содержание пособия полностью соответствует рабочей программе дисциплины «Системы оперативного постоянного тока».

Задача дисциплины – освоение методов расчетов в СОПТ.

Представленный материал направлен на углубление знаний студентов об установках оперативного тока, а также на формирование умений и навыков выполнения следующих расчетов: параметров режимов работы СОТ станций и ПС, токов КЗ в СОПТ, по выбору коммутационных аппаратов всех уровней защиты, а также токоведущих частей и проверке чувствительности автоматических выключателей различных уровней защиты СОПТ в соответствии с действующими нормативными документами.

При изучении дисциплины у студентов формируется способность составлять и оформлять типовую техническую документацию, проводить обоснование проектных решений.

В первой главе учебного пособия рассмотрены общие вопросы, касающиеся СОПТ, такие как: классификация схем питания оперативным током, режимы работы СОПТ, общие требования, предъявляемые к данной системе, принципы построения устройств РЗА, оказывающих максимальное влияние на конфигурацию СОПТ, состав потребителей оперативного тока, их классификация с точки зрения требований надежности.

Вторая глава содержит указания по выбору параметров АБ для ПС 110–220 кВ, а также схемы щитов постоянного тока.

Основные сведения об уровнях защиты СОПТ представлены в третьей главе.

Расчету токов при КЗ на различных уровнях защиты (от нижнего до верхнего) посвящена четвертая глава.

В пятой–седьмой главах рассмотрены вопросы выбора защитных аппаратов (автоматических выключателей) нижнего, среднего и верхнего уровней защиты.

В восьмой главе приведены правила выбора сечений кабелей системы оперативного постоянного тока в зависимости от уровня защиты.

Принципы проверки чувствительности автоматических выключателей в системе оперативного постоянного тока, начиная с верхнего и заканчивая нижним уровнем защиты, описаны в девятой главе учебного пособия.

Вопросам организации питания цепей оперативного постоянного тока устройств РЗА, управления высоковольтными выключателями, цепей электромагнитов включения масляных выключателей посвящена десятая глава.

Долевое участие авторов при составлении рукописи: Р.Э. Абдуллазянов (первая, третья и четвертая главы), Р.Ф. Ярыш (вторая, пятая–десятая главы).

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам рукописи за тщательное рассмотрение, ценные замечания и предложения, которые были учтены при редактировании и способствовали лучшему изложению материала.

Глава 1. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЕЕ ПОТРЕБИТЕЛИ

1.1. Возникновение термина «система оперативного постоянного тока»

Еще до внедрения микропроцессорных защит были разработаны проектные решения, распределяющие все комплекты защит одного присоединения (110 кВ и выше) на два комплекса с действием на оба электромагнита отключения. Такие решения требовали разработки определенных правил подключения этих устройств к сети питания оперативным током. Впервые эти правила были описаны лишь в 90-х годах прошлого века в методических указаниях, разработанных ведущим инженером ОАО «Институт “Энергосетьпроект”» Ю.Г. Айрапетовым. Именно в его трудах впервые появился термин «система оперативного постоянного тока». Появление микропроцессорной техники добавило к этим правилам свои особенности: окончательно закрепило за «щитом постоянного тока с аккумуляторной установкой» термин – система оперативного постоянного тока. Оставалось только дать классификацию составных частей и описать внутренние и внешние связи.

Ниже приведен небольшой перечень появившейся за последние 10 лет отечественной технической документации, имеющей своей целью попытку формализовать и упорядочить знания по СОПТ:

1. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС)», где, согласно п. 9.3.1.2, СОПТ должна обеспечивать рабочее и резервное питание основных электроприемников [1].

В данном случае в явном виде формулировка отсутствует. Имеются только требования к СОПТ.

2. СТО 56947007-29.120.40.041-2010 «Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования», где, согласно п. 3 «Термины и определения», СОПТ – электроустановка, обеспечивающая питание электроприемников постоянного тока. Данное определение больше подходит отдельным компонентам, но не системе в целом [2].

3. СТО РусГидро 02.02.105-2013 «Гидроэлектростанции. Системы оперативного постоянного тока. Технические требования, типовые технические решения» [3]. Согласно п. 5.1 СОПТ включает следующие оборудование и устройства:

- аккумуляторные батареи;
- устройства заряда-подзаряда;

- устройства стабилизации напряжения;
- преобразователи напряжения;
- распределительные щиты и панели с защитной и коммутационной аппаратурой;
- устройства контроля и автоматики;
- силовые и контрольные кабели.

Таким образом, здесь СОПТ рассматривается как набор компонентов.

3. В технической политике ОАО «МРСК Центра» (2010 г.), разработанной в соответствии с «Положением о технической политике в распределительном электросетевом комплексе ФСК ЕЭС», определение СОПТ в явном виде также отсутствует. Приведены лишь требования [4].

4. В «Положении ОАО «Россети» о Единой технической политике в электросетевом комплексе» (2013 г.) понятие СОПТ тоже не раскрывается [5].

5. В ГОСТ ИЕС 60050-151-2014 «Международный электротехнический словарь. Часть 151. Электрические и магнитные устройства» (2015 г.) и Р МЭК 60050-826-2009 «Установки электрические. Термины и определения» (2010 г.) понятие также лишь обозначено, а определение СОПТ как системы отсутствует [6, 7].

Стало быть, период с 1995 г. по сегодняшний день можно считать временем накопления опыта, который можно использовать для того, чтобы в настоящий момент предпринять очередную попытку анализа и обобщения полученных материалов и описать СОПТ именно как систему. При этом имеет смысл рассмотреть термин «СОПТ» в контексте более широкого понятия, также включающего в себя цепи и устройства переменного оперативного тока, и рассматривать уже все как систему оперативного тока (СОТ). Итак, что же превращает «электроустановку» в систему?

СОТ – это совокупность источников электрического тока, а также преобразовательных, накопительных и распределительных устройств электрической энергии, которые объединены общей задачей: обеспечить питание собственных нужд энергообъекта постоянным или переменным током.

СОПТ – это совокупность преобразовательных, накопительных и распределительных устройств электрической энергии, объединенных общей задачей: обеспечить питание постоянным оперативным током всех подключенных к ним устройств вторичной коммутации как в нормальном режиме, так и в течение заданного времени при исчезновении напряжения на шинах собственных нужд. СОПТ не может рассматриваться как отдельная система, а только в составе СОТ и в совокупности с системами РЗА и управления с учетом их особенностей. СОПТ является составной частью СОТ.

Система, где все устройства вторичной коммутации имеют питание от общего комплекта преобразователей и накопителей, – централизованная СОПТ.

Система, в которой каждое присоединение или терминал имеют в схеме питания индивидуальные накопители, – децентрализованная СОПТ.

1.2. Область применения систем оперативного постоянного тока

На ПС напряжением 35 кВ и выше рекомендуется применять СОПТ напряжением 220 В, которая может иметь следующую структуру:

- централизованную – применяется одна или две АБ для питания ППТ;
- децентрализованную – применяется две и более АБ для питания ППТ одного или нескольких присоединений, расположенных в помещениях релейных щитов, приближенных к первичному оборудованию.

Для ПС 110 кВ с количеством присоединений по высокой стороне больше трёх рекомендуется применение стационарных АБ с жидким электролитом.

Для отпаечных и тупиковых ПС 35 и 110 кВ допускается применение АБ шкафного типа с устройствами мониторинга состояния. Количество и тип АБ должны быть определены проектом.

Для транзитных ПС 110 кВ рекомендуется устанавливать две АБ, для отпаечных и тупиковых ПС 35 и 110 кВ – одну АБ.

Использование систем оперативного постоянного тока на реконструируемых объектах напряжением 35, 110 и 220 кВ обосновывается необходимостью установки коммутационных аппаратов и современных систем РЗА и ПА. При реконструкции, связанной с установкой микропроцессорных защит, допускается в дополнение к существующей СОПТ устанавливать новую (дублирующую) для питания только реконструируемой части ПС. В дальнейшем по мере замены оборудования и кабелей вторичной коммутации на новые все потребители будут переведены на новую СОПТ.

1.3. Требования, предъявляемые к системе оперативного постоянного тока

Согласно [1, 2], СОПТ должна обеспечивать рабочее и резервное питание следующих основных электроприемников:

- устройств РЗА;
- устройств управления высоковольтными коммутационными аппаратами (кроме питания приводов разъединителей и заземляющих ножей, питание приводов выключателей возможно при обосновании);

- устройств связи, обеспечивающих передачу сигналов и команд РЗА;
- устройств коммуникации, обеспечивающих передачу сигналов и команд между устройствами РЗА;
- устройств полевого уровня и уровня присоединений АСУ ТП;
- устройств сбора информации для АСУ ТП и ССПИ;
- приводов автоматических вводных и секционных выключателей ЩСН напряжением 0,4 кВ;
- устройств сигнализации.

Организация питания постоянным оперативным током устройств РЗА и электромагнитов отключения выключателей должна обеспечивать:

- при аварийном отключении любого защитного аппарата или обесточении любой секции СОПТ сохранение в работе хотя бы одного устройства РЗА от всех видов на защищаемом присоединении 110 кВ и выше и отключение любого выключателя 110 кВ и выше;

- селективную работу защитных устройств СОПТ при КЗ в её цепях и отстройку от максимальной нагрузки;

- сохранение в работе без перезагрузки терминалов РЗА и ПА, подключенных к неповрежденным присоединениям ЩПТ при повреждениях в СОПТ.

СОПТ должна иметь трех- или двухуровневую систему защиты:

- нижний уровень – защита цепей питания непосредственных потребителей (устройства РЗА, ПА, цепи управления выключателями и т. п.). Для нижнего уровня защиты рекомендуется применение автоматических выключателей;

- средний уровень – защита цепей, питающих шинки непосредственных потребителей;

- верхний уровень – защита шинок щита постоянного тока на вводе АБ.

Вариант двухуровневой защиты СОПТ возможен при децентрализованной системе оперативного постоянного тока.

Защита СОПТ должна:

1) обеспечивать селективность всех уровней во всем диапазоне токов короткого замыкания;

2) осуществляться с использованием защитных аппаратов (автоматических выключателей, предохранителей), конструктивное выполнение которых должно способствовать их безопасному обслуживанию;

3) обеспечивать чувствительность к дуговым коротким замыканиям в основной зоне и в зоне резервирования;

4) резервировать защиты более низкого уровня защитами более высокого уровня.

Время отключения в СОПТ должно быть менее допустимого времени перерыва питания терминалов при снижении напряжения на неповрежденных фидерах, питающих микропроцессорные терминалы, ниже напряжения перезагрузки этих терминалов.

При снижении напряжения на неповрежденных фидерах, питающих микропроцессорные терминалы, выше напряжения перезагрузки этих терминалов время отключения в СОПТ должно определяться термической стойкостью соединительных проводов и кабелей.

Необходимо выполнить расчёт токов КЗ в сети ОПТ и представить карту селективности защитных аппаратов; предусмотреть защиту потребителей ОПТ от недопустимого повышения напряжения и уровня пульсаций, а также аппаратуру контроля и регистрации эксплуатационных параметров СОПТ; предусмотреть аппаратуру контроля сопротивления изоляции сети ОПТ и поиска фидера с пониженным сопротивлением изоляции.

1.3.1. Требования, предъявляемые к аккумуляторным батареям

Аккумуляторная батарея должна [8]:

- быть стационарной свинцово-кислотной открытого (вентилируемого) типа;
- при работе в автономном режиме (при потере собственных нужд ПС) обеспечивать максимальные расчетные толчковые токи после гарантированного двухчасового (не менее) разряда током нагрузки.

Срок службы АБ должен составлять не более 20 лет.

На ПС напряжением 35–110 кВ рекомендуется устанавливать одну АБ, на ПС 220 кВ и выше – две АБ, каждую из которых следует выбирать с учетом их суммарной нагрузки.

Время автономной работы (разряда) каждой АБ должно быть не менее 6 ч [9]. Для каждой АБ необходимо отдельное помещение; по два зарядных устройства (ЗУ) с параметрами, удовлетворяющими требованиям изготовителя АБ, имеющих опцию автоматического контроля исправности цепи заряда; отдельный ЩПТ. Следует учесть, чтобы были ремонтные переемы между секциями шин разных ЩПТ. Переключение АБ и ЗУ с одного ЩПТ на другой исключено.

ЗУ выбираются совместно с АБ для обеспечения всех требований, предъявляемых их изготовителями и необходимых для поддержания заявленного срока службы АБ и надежной её работы. На ПС 330 кВ и выше нужно применять три стационарных ЗУ по одному на каждую АБ и одно резервное, на ПС 220 кВ – два стационарных ЗУ по одному на каждую АБ, на ПС 35–110 кВ – одно ЗУ.

При этом ЗУ должны обеспечивать:

- уравнивающий заряд АБ в автоматическом режиме без превышения напряжения выше допустимого для всех ППТ;
- уровень пульсаций не более значений, допустимых по условиям работы ППТ. Должна обеспечиваться возможность одновременной параллельной работы на стороне выпрямленного напряжения двух ЗУ с симметричным делением между ними суммарного тока нагрузки или функционирование одного из ЗУ в режиме «горячего» резерва (при применении трёх ЗУ для двух АБ).

1.3.2. Требования, предъявляемые к щитам постоянного тока

Имеется ряд требований, предъявляемых к ЩПТ:

- каждой АБ должен предусматриваться отдельный ЩПТ;
- каждый щит должен иметь достаточное количество защитных устройств, секций для выполнения регламентных работ в системе ОПТ без отключения АБ (замена защитных устройств, снятие характеристик АБ и т. п.);
- каждый щит должен иметь секционные разъединители для перевода нагрузки с одной секции на другую в своих пределах;
- объединение секций разных АБ должно выполняться через два последовательно включенных коммутационных аппарата.

На каждом ЩПТ должны быть предусмотрены устройства, выполняющие следующие функции:

1) регистрации:

- аналоговых и дискретных сигналов аварийных событий в системе ОПТ;
- аналоговых величин нормального режима с дискретностью не более 1 с;

2) контроля:

- напряжения на шинках постоянного тока и выдачи сигнала при повышении или понижении;
- уровня пульсации напряжения на секции и выдачи сигнала при увеличении;
- уровня пульсации выше заданной уставки;
- АБ и ЗПА;
- сопротивления изоляции цепей оперативного тока;
- целостности всех предохранителей и аварийного отключения любого автоматического выключателя;

3) автоматизированного поиска замыканий на землю в сети постоянного тока;

4) автоматического определения поврежденного (замыкание на землю) присоединения ЩПТ;

5) генерирования «мигающего света» (при необходимости).

1.4. Режимы работы системы оперативного постоянного тока

В процессе эксплуатации СОПТ может работать в одном из трех режимов: нормальный, расчетный аварийный и аварийный.

1.4.1. Нормальный режим работы системы оперативного постоянного тока

Основную часть времени СОПТ работает в нормальном режиме: АБ полностью заряжена и подключена к шинам постоянного тока с параллельно работающим ЗПУ. ЗПУ обеспечивает питание постоянной нагрузки и одновременно подзаряжает АБ, компенсируя ее саморазряд и поддерживая напряжение поляризации АБ заданной величины. Питание импульсной нагрузки обеспечивается АБ.

Нормальным режимом является режим питания от шин ЩСН ПС 0,4 кВ, если при этом выполняются следующие условия:

- напряжение на клеммах электроприемников СОПТ находится в пределах $(0,95 - 1,05)U_{ном}$;
- отсутствуют повреждения во вторичных цепях;
- включены и исправны все преобразователи электрической энергии;
- заряжены до номинальных значений все накопители электрической энергии;
- отсутствуют электромагнитные помехи выше допустимого уровня;
- температура окружающего воздуха находится в заданных пределах;
- отсутствуют механические воздействия выше допустимого уровня.

1.4.2. Расчетные аварийные режимы работы системы оперативного постоянного тока

Расчетными аварийными режимами СОПТ являются режимы, при которых система выполняет свою главную функцию – обеспечивает питание потребителей оперативным током, но при этом возможно наличие одного или нескольких следующих событий:

- исчезновение напряжения на шинах ЩСН 0,4 кВ ПС с сохранением питания от заряженных накопителей электрической энергии (автономный режим);
- исчезновение напряжения на одной из секций ЩПТ или ШАВ СОПТ (режим технического обслуживания);
- неисправность либо отключение одного из накопителей электрической энергии (режим параллельной работы);
- режим ускоренного заряда;
- режим уравнивающего заряда;
- контрольный разряд АБ;

- неисправность либо отключение одного или всех преобразователей электрической энергии (режим параллельной работы);
- снижение напряжения на клеммах приемников СОПТ в пределах $(0,8 \div 0,95)U_{\text{НОМ}}$ (автономный режим);
- повышение напряжения на шинках СОПТ в пределах $(1,05 \div 1,1)U_{\text{НОМ}}$;
- замыкание одного из полюсов СОПТ на землю;
- КЗ в одной или нескольких точках СОПТ (количество допустимых точек КЗ зависит от типа СОПТ и требований к ней);
- попадание на шинки СОПТ напряжения 0,4 кВ промышленной частоты;
- параллельная работа двух ЩПТ.

При исчезновении напряжения переменного тока системы собственных нужд ПС, а также при неисправности ЗПУ СОПТ переходит в автономный режим работы. В этом режиме питание постоянной и толчковой нагрузок обеспечивается от АБ. В соответствии с требованиями нормативного документа [1] АБ должна обеспечивать максимальный расчетный толчковый ток после двух часов разряда постоянным током нагрузки. Длительность периода автономной работы АБ на конкретной ПС может быть увеличена. Расчетная длительность режима должна учитывать время прибытия персонала на необслуживаемую ПС, выявления им неисправностей и принятия мер по восстановлению нормального режима работы АБ [9]. Автономный режим работы АБ является расчетным аварийным.

По истечении режима автономной работы ЗПУ должны автоматически перейти в режим ускоренного заряда. В этом режиме превышение напряжения на шинах не должно быть более $1,1U_{\text{НОМ}}$. При необходимости иметь напряжение выше указанной величины применяется схема с дополнительными балластными диодами. Режим ускоренного заряда АБ является расчетным аварийным.

Режим уравнивающего заряда АБ вводится для получения более однородной плотности электролита по высоте её элемента, для устранения разности напряжений между элементами АБ, накапливающейся в процессе эксплуатации, и для предотвращения сульфатации электродов. Уравнивающий заряд производится повышенным напряжением (более $1,1U_{\text{НОМ}}$), уровень которого определяется инструкцией по эксплуатации АБ данного типа. В этом режиме ЩПТ необходимо отключить от своей АБ и перевести питание его секций на питание от секций соседнего ЩПТ. Продолжительность режима уравнивающего заряда зависит от состояния АБ и должна быть не менее 6 ч [6]. Режим уравнивающего заряда АБ является расчетным аварийным.

Контрольный разряд АБ выполняется для определения ее фактической емкости. Результаты измерений при контрольных разрядах должны сравниваться с результатами измерений предыдущих разрядов. Значение тока разряда каждый раз должно быть одно и то же [6]. Для проведения контрольного разряда рекомендуется использовать переносное разрядное сопротивление с контролем тока АБ (типа СОМВАТ либо подобное), позволяющее проводить этот режим без отключения АБ. В этом случае разряд ведется током потребителей, подключенных к данной АБ, с доведением его величины до заданной путем автоматического регулирования разрядного сопротивления. Альтернативой данному устройству может служить установка обратимых ЗПУ, способных инвертировать постоянный ток в сеть переменного тока. При отсутствии этих устройств и наличии в СОПТ только одной АБ режим контрольного разряда может проводиться только при проведении регламентных или ремонтных работ на ПС при отключении всех потребителей. Контрольный разряд является расчетным аварийным.

В режиме технического обслуживания отключается часть потребителей и производится контроль технического состояния оборудования, относящегося к одной из секций шин. Конструктивное исполнение оборудования СОПТ должно обеспечивать возможность безопасного выполнения работ. Режим технического обслуживания не должен выходить за рамки расчетного аварийного режима.

Режим параллельной работы двух ЩПТ возможен при наличии на ПС двух комплектов источников питания (двух АБ и двух ЗПУ) при неисправности одной из АБ в режимах уравнивающего заряда, контрольного разряда или технического обслуживания одной АБ.

В этом режиме питание всех потребителей обеспечивается от одного комплекта источников питания через секционные переключки в ЩПТ. Режим параллельной работы двух ЩПТ является расчетным аварийным режимом. Параллельная работа двух АБ допускается только на время перевода нагрузки с одной АБ на другую.

1.4.3. Аварийный режим работы системы оперативного постоянного тока

Аварийный режим СОПТ – это режим, при котором невозможно выполнение главной её функции – питание потребителей постоянным оперативным током.

Признаком аварийного режима является одно из следующих событий:

- потеря всех накопителей и преобразователей СОПТ;
- снижение напряжения питания на зажимах потребителей ниже $0,8U_{\text{ном}}$;
- превышение напряжения на шинах СОПТ выше $1,1U_{\text{ном}}$;
- потеря всех секций распределительного устройства СОПТ;

- появление в цепях СОПТ электромагнитных помех, способных вызвать повреждение или ложную работу устройств;
- изменение климатических условий в помещениях, где размещены устройства СОПТ, сверх допустимых пределов;
- наличие механических воздействий на устройства СОПТ или на помещения, в которых они расположены, выше допустимых пределов;
- злоумышленное отключение СОПТ.

1.5. Классификация схем питания оперативным током

Схема питания должна обеспечить возможность подключения каждого потребителя к нескольким источникам оперативного тока [10]. От надежности этой схемы зависит общая надежность работы потребителя оперативного тока. Все схемы питания оперативным током можно распределить по следующим категориям надежности в порядке ее убывания:

Категория А. Шины ЩПТ, имеющие питание от двух ЗПУ (подключенных к разным секциям собственных нужд) и от аккумуляторной батареи (накопителя электрической энергии). АБ может подключаться как напрямую к шинам ЩПТ (рис. 1.1), так и через ВДУ (рис. 1.2). При этом должны выполняться следующие условия:

- должна сохраняться гальваническая связь АБ с цепями потребителей;
- сопротивление ВДУ не должно ограничивать ток КЗ;
- надежность ВДУ должна быть не ниже надежности АБ. Снижение надежности в этом случае (ВДУ включено последовательно с АБ) будет компенсироваться её повышением, которую даст стабилизация напряжения у потребителя даже при глубоком разряде АБ.

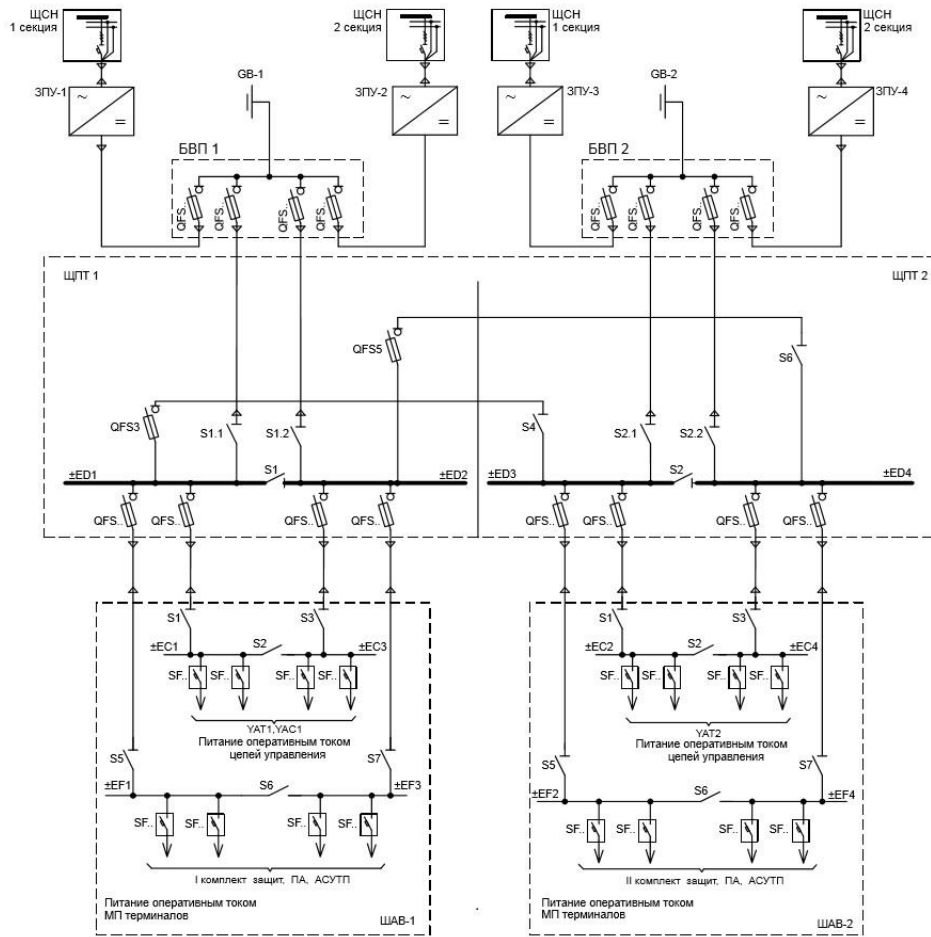
Данная категория имеет следующие подкатегории:

Категория А1. Питание от шин ЩПТ (ЕD) или от шин ШАВ (ЕF), к которым подключаются потребители только «чистой» зоны, имеющие самую высокую надежность [10, 11].

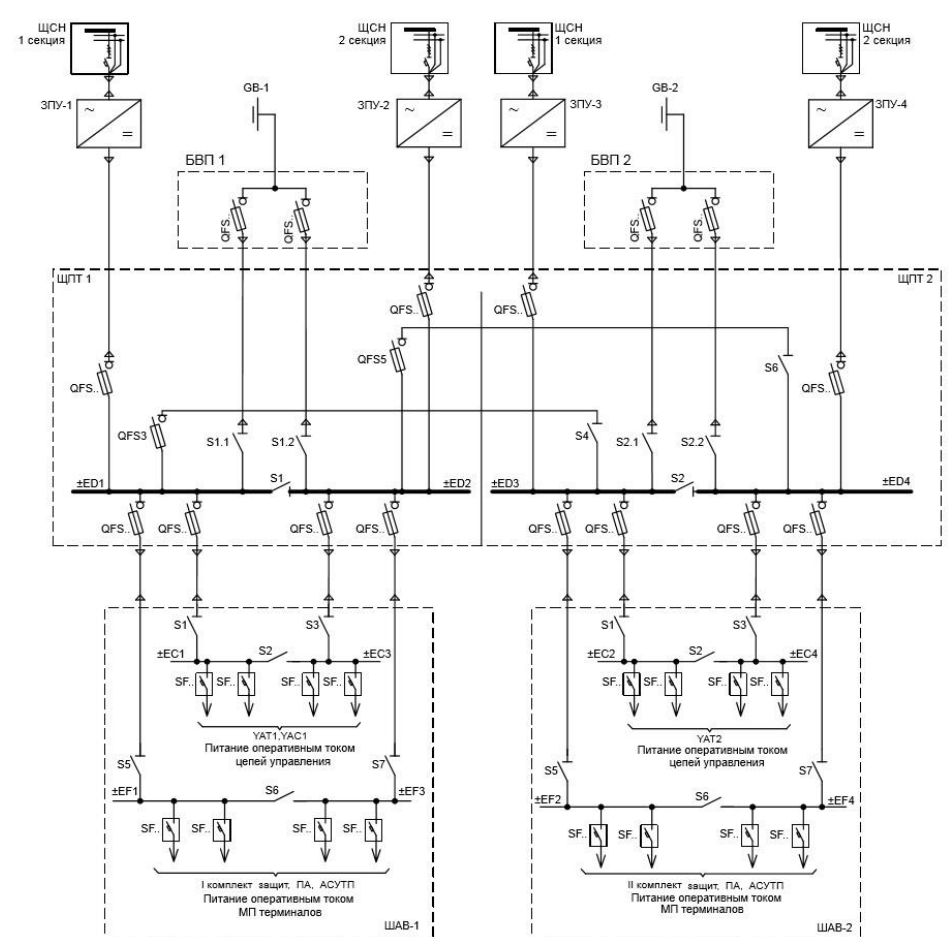
Категория А2. Питание от шин ШАВ (ЕС), к которым подключаются потребители только «грязной» зоны, надежность которых снижена тяжелыми условиями эксплуатации.

Представленная на рис. 1.1, а схема используется, когда величины тока от ЗПУ недостаточно для перегорания собственного предохранителя при КЗ в распределительной сети СОПТ.

Схема, представленная на рис. 1.1, б, применяется для ЗПУ, способных сгенерировать импульс тока, достаточный для перегорания собственного предохранителя при КЗ в распределительной сети СОПТ, и имеющих внутреннюю защиту минимального напряжения.



a



б

Рис. 1.1. АБ подключена «напрямую» к ЩПТ: *a* – ЗПУ подключены к ЩПТ через общий с АБ предохранитель; *б* – ЗПУ подключены к ЩПТ через собственные предохранители

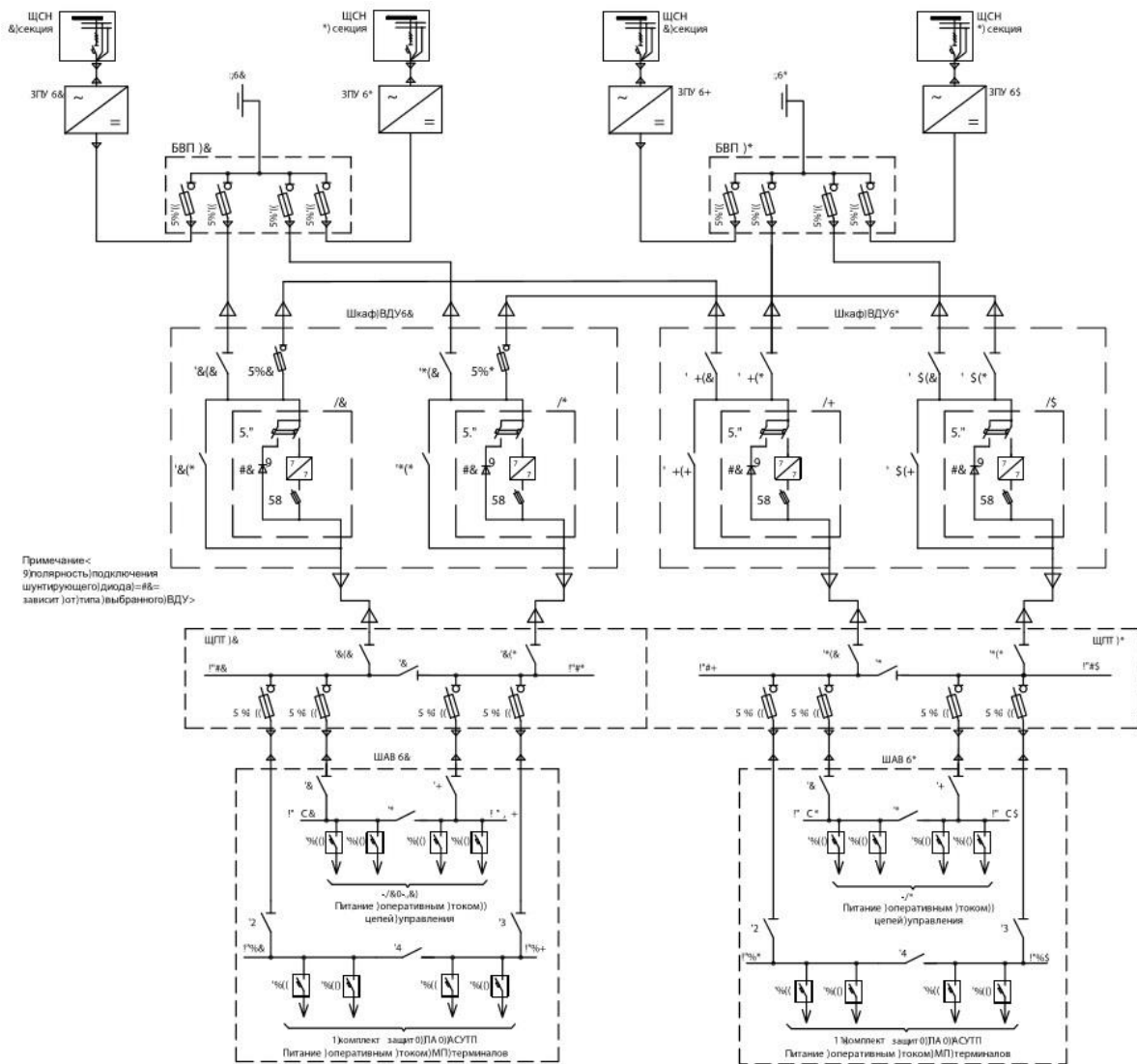


Рис. 1.2. Питание устройств через ВДУ. Подключение ЗПУ через БВП

Категория В. Шины, имеющие гальваническую развязку с АБ и ЗПУ, а также индивидуальные блоки питания. Такое схемное решение значительно снижает вероятность влияния аварийных процессов, происходящих в их цепях, на нормальную работу приемников, подключенных к источникам оперативного тока категории А, или на работу РЗА соседних присоединений.

Данная категория имеет следующие подкатегории:

Категория В1. Питание от шин, подключенных к АБ через DC/AC-преобразователь. Данный вариант используется как резервное питание через АВР для задвижек пожаротушения, работающих на переменном оперативном токе от сети собственных нужд.

Категория В2. Питание от шин, подключенных к АБ через DC/DC-преобразователи (рис. 1.3). Особенностью данной схемы является наличие двух DC/DC-преобразователей, подключенных к разным ЩПТ (к разным секциям одного ЩПТ при наличии только одной АБ) и работающих параллельно.

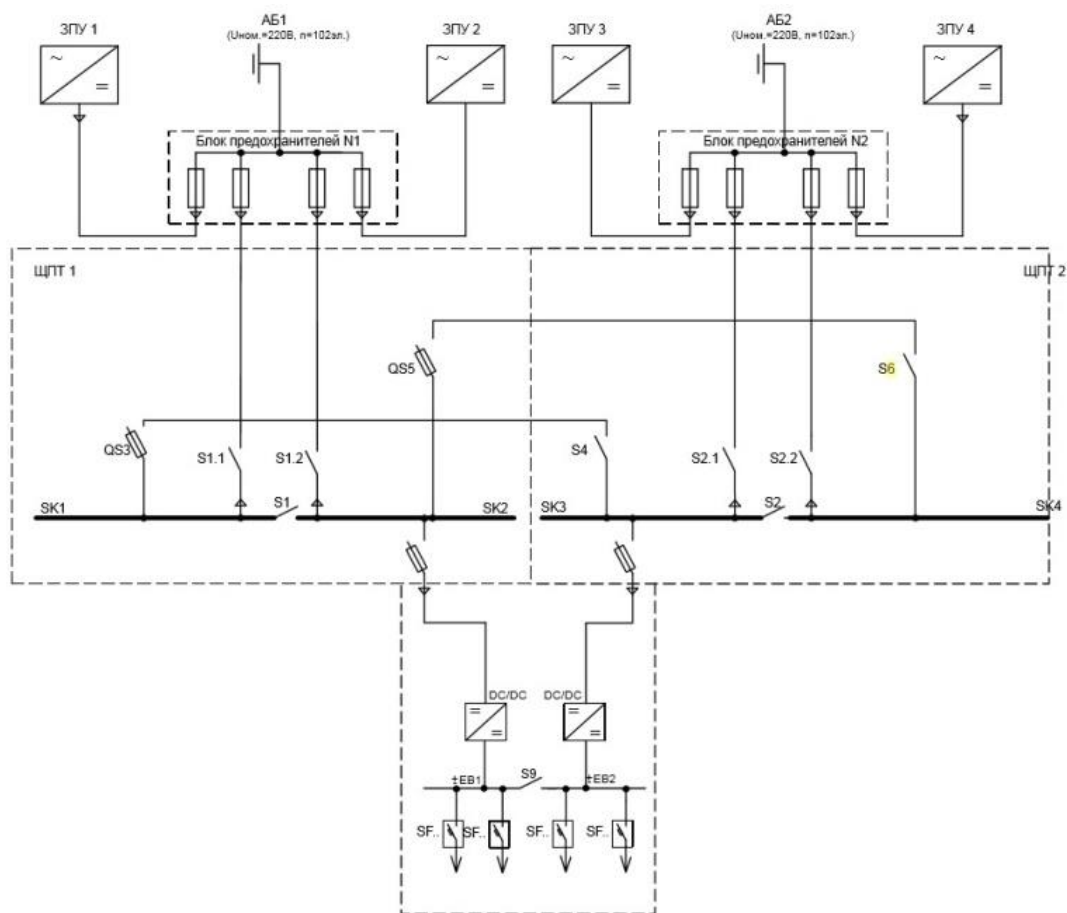


Рис. 1.3. Питание устройств от АБ через преобразователи DC/DC

Этот вариант используется:

- для устройств, которые требуют высокой надежности питания, но сами ею не обладают (цепи ВПС, аварийное освещение);
- для организации шины резервного питания.

Категория В3. Питание от шин ИБП. Это устройство имеет в своем составе АБ более низкого напряжения и преобразователь на выходе, доводящий ее напряжение до параметров оперативного тока. ИБП могут рассматриваться как источники питания в распределенной СОТ или как основное питание серверов АСУ ТП.

Категория В4. Комбинированные блоки питания, подключенные к ТТ и ТН. В этой подкатегории отсутствует накопитель электрической энергии. Однако по надежности питания собственных потребителей и по отсутствию влияния на работу других потребителей она сопоставима с подкатегориями схем питания категории В. Применяется для небольших ПС до 35 кВ.

Категория С. Шины выпрямленного тока (рис. 1.4). Они имеют питание от двух выпрямительных устройств, подключенных к разным секциям ЩСН 0,4 кВ ПС. Выходы ВУ объединены на параллельную работу. Этот вариант применяется для питания потребителей подкатегории С1

(оперативная электромагнитная блокировка разъединителей). Особенностью этого варианта является использование ВУ без стабилизации, которые способны обеспечить достаточный (для срабатывания автоматических выключателей) уровень токов КЗ.

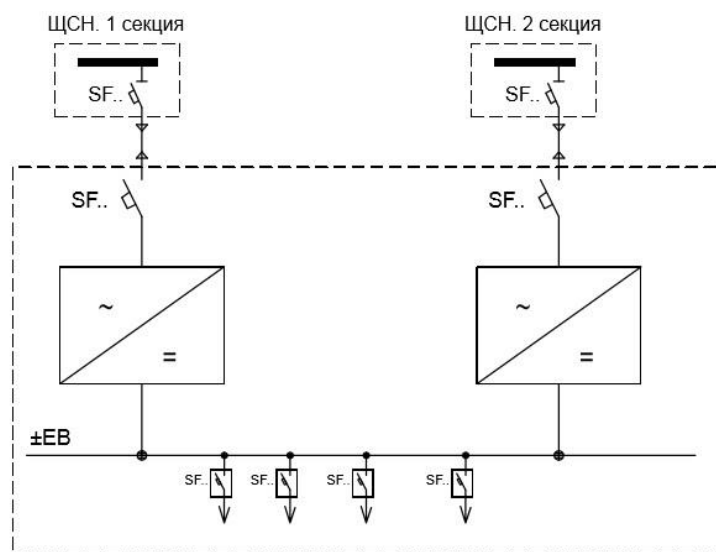


Рис. 1.4. Организация питания шин выпрямленного тока

Категория D. Шины собственных нужд 0,4 кВ ПС (рис. 1.5). Шины, объединенные секционным выключателем, имеющие АВР. Этот вариант применяется для питания потребителей категорий C2, C3 и D (приводы высоковольтных выключателей и разъединителей, приводы автоматических выключателей СН и РПН, технологический обогрев, освещение и т. п.).

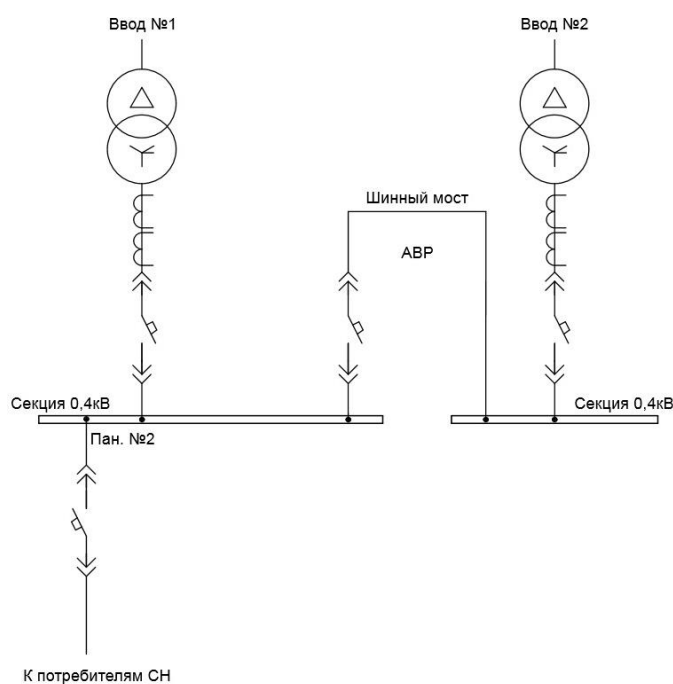


Рис. 1.5. Питание от разных секций ШСН 0,4 кВ

Представленные категории расположены в порядке уменьшения надежности схем питания в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Таблица соответствия схем питания и потребителей оперативного тока различных категорий надежности

Категория	Подкатегория	Схема питания	Потребители, имеющие питание от данной категории
А	А1	Шины ЩПТ (ЕD), шины ШАВ (ЕF) – «чистая» зона	А1 – РЗА, ПА, АУВ, ТО и ТУ; В1 – ЦС, Резервное питание АСУ ТП верхнего и среднего уровня
	А2	Шины ШАВ (ЕС) – «грязная» зона	А2 – РЗА, ПА, АУВ, ТО и ТУ
В	В1	Шины, подключенные к АБ через DC/AC-преобразователи	В2 – резерв задвижек ПЖТ
	В2	Шины, подключенные к АБ через DC/DC-преобразователи	В2 – АСУ ТП нижний уровень, ВПС
	В3	Шины ИБП	А1 – РЗА ПС 35 кВ при наличии ТУ
	В4	Комбинированные блоки питания, подключенные к ТТ в совокупности с ТН	А1 – РЗА ПС до 35 кВ в распределенной СОТ
С	С1	Шины выпрямленного тока, имеющие питание от двух ВУ	С1 – ОБР электромагнитная
Д		Шины собственных нужд 0,4 кВ ПС	С2 – ВВ привода, РПН; С3 – РЗ привода; Д – цепи обогрева; Е – освещение

Учет категорий надежности потребителей и схем питания есть условие необходимое, но недостаточное для выбора правильной конфигурации СОПТ. Определенные требования должны предъявляться и к самим источникам питания (АБ, ЗПУ, ВУ, DC/DC, DC/AC, ИБП и т. д.) [12]. Кроме того, следует учитывать особенности выбранных источников оперативного тока. Таковыми являются:

1. Способность обеспечивать величину токов КЗ, достаточную для селективной работы защитных устройств.

Для осуществления надежного отключения КЗ за DC/DC-преобразователем, не имеющим внутренней защиты минимального напряжения, такую необходимо установить дополнительно. Ее действие должно быть отстроено по времени от действия электромагнитных отсечек автоматических выключателей потребителей и резервировать их.

При выборе ЗПУ, не имеющего своей внутренней защиты при снижении выходного напряжения или нерассчитанного на выдачу кратковременного импульса тока при КЗ, его подключение допускается только за предохранителем АБ (рис. 1.1, а).

2. Способность обеспечивать импульсную нагрузку потребителей (только для тех случаев, когда это требуется).

Схема питания устройств, имеющих большую импульсную нагрузку, может быть выполнена с применением:

- индивидуальных накопителей энергии в этих устройствах (гидро-, воздушные или механические аккумуляторы энергии приводов выключателей, конденсаторные накопители);
- дополнительных элементов АБ;
- вольтодобавочных устройств.

1.6. Состав потребителей оперативного тока, их классификация с точки зрения требований надежности

Каждый тип вторичных устройств имеет свой уровень надежности, который достигает максимального значения у РЗА. Объединение цепей питания РЗА с цепями питания других устройств (с более низкой надежностью) снизит надежность РЗА пропорционально количеству этих устройств и качеству их исполнения, что является недопустимым. Например, особенно сильно снижается надежность РЗА при объединении её цепей с цепями оперативной блокировки разъединителей и силовыми цепями приводов высоковольтных аппаратов.

Для питания устройств, надежность которых допускает некоторые перерывы в питании, целесообразно использовать менее дорогостоящие источники питания, чем для устройств РЗА и управления.

В существующих нормативных документах [1, 2, 5] отсутствует деление потребителей на категории по уровням надежности, что, в свою очередь, ведет к завышению требований по питанию для клиентов, того не требующих, или к удорожанию СОПТ.

Все электроприемники СОТ при этом можно разделить на следующие категории по требованию к надежности их питания:

Категория А. Автоматические устройства, потеря питания которых может привести к повреждению первичного оборудования или к человеческим жертвам (РЗ, ПА, АУВ, ТО и ТС, АПЖТ).

Данная категория имеет следующие подкатегории:

К **категории А1** относятся устройства, не допускающие потерю питания на время более 50 мс (блоки питания МПЗ), к **категории А2** – допускающие потерю питания, но только при кратковременном отключении для поиска земли (электромеханические и микроэлектронные устройства).

Категория В. Автоматизированные устройства, потеря питания которых ведет к увеличению времени ликвидаций аварии (АСУ ТП, ССПТИ, сигнализация, БАО и т. п.).

Данная категория имеет следующие подкатегории:

Категория В1 – устройства, имеющие собственную высокую надежность, размещенные в помещениях.

Категория В2 – устройства с пониженной надежностью (ВПС, ССПТИ).

Категория С – устройства, способные при потере питания выполнить либо ограниченное количество циклов действия, либо имеющие альтернативное управление.

Данная категория имеет следующие подкатегории:

Категория С1 – цепи оперативной блокировки и управления разъединителями.

Категория С2 – устройства, имеющие собственные накопители энергии (привода выключателей, оперативная связь, охранная и пожарная сигнализация);

Категория С3 – устройства, имеющие резервное ручное управление (привода разъединителей).

Категория D. Устройства, имеющие высокую инерцию изменения состояния при потере питания (обогрев).

Категория E. Устройства, мощность которых можно значительно уменьшить в аварийном режиме (освещение и т.п.).

Представленные категории расположены в порядке уменьшения требований к надежности их питания.

Перечень электроприемников СОТ с распределением их по предложенным категориям приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Перечень электроприемников СОТ с распределением их по категориям надежности

Категория	Подкатегория	Тип устройства	Сокращенное наименование
1	2	3	4
А	А1	Блоки питания микропроцессорных терминалов РЗА, ПА, АУВ, устройств связи, обеспечивающих передачу сигналов и команд РЗА ТО и ТУ	РЗА, ПА, АУВ, ТО и ТУ
	А2	Входные и выходные цепи РЗА	в-РЗА
		Входные и выходные цепи ПА	в-ПА
		Входные и выходные цепи АУВ	в-АУВ
		Входные и выходные цепи устройств связи, обеспечивающих передачу сигналов и команд РЗА ТО и ТУ	в-ТО и ТУ

1	2	3	4	
В	В1	Сервера АСУ ТП (верхний уровень)	АСУ ТП в-у	
		Коммуникаторы АСУ ТП (средний уровень)	АСУ ТП с-у	
		Автоматика пожаротушения	АПЖТ	
	В2	Устройства нижнего уровня АСУ ТП		АСУ ТП н-у
		ВПС (цепи объединяющие входные цепи нижнего уровня АСУ ТП, сигнализации присоединения и блокировки разъединителей (только для микропроцессорной ОБР))		ВПС
		Устройства ЦС		ЦС
		Устройства телемеханики		ССПТИ
		БАО		БАО
		Периферийные цепи АПЖТ		в-АПЖТ
		Пожарные насосы		н-ПЖТ
		Привода задвижек пожаротушения		з-ПЖТ
	С	С1	Цепи оперативной блокировки и управления разъединителей (только для ПС на электромеханике)	ОБР
		С2	Охранная и пожарная сигнализация	
Привода высоковольтных выключателей			–	
Привода автоматических вводных и секционных выключателей 0,4 кВ ЩСН			–	
Устройства оперативной связи			–	
С3		Привода РПН трансформаторов и автотрансформаторов		РПН
		Привода высоковольтных разъединителей		–
D	Цепи обогрева		–	
E	Освещение		–	
	Бытовая нагрузка			

1.7. Принципы построения РЗА, оказывающие максимальное влияние на конфигурацию системы оперативного постоянного тока

Устройства РЗА являются основными элементами, ради которых проектируется и создается СОПТ. Это связано с тем, что из всех потребителей оперативного тока устройства РЗА являются теми устройствами, к которым предъявляются максимально высокие требования по надежности. Их отказ ведет к повреждению дорогостоящего первичного оборудования, а неправильное, излишнее действие – к ущербу от недоотпуска электроэнергии. Одним из основных мероприятий, повышающих надежность РЗА и управления, является использование и совершенствование принципа ближнего и дальнего резервирования. Применительно к СОПТ интерес представляет принцип ближнего резервирования, так как в этом случае рассматриваются устройства, установленные на одном объекте.

Принцип ближнего резервирования включает в себя следующие требования:

- защита одного элемента первичной сети двумя и более устройствами (комплектами) РЗ;
- использование для защиты элемента первичной сети устройств, построенных на разных принципах, и по возможности разных производителей;
- применение для взаимно резервирующих защит по возможности разных источников измеряемого тока и напряжения, источников оперативного тока, различных трасс прокладки кабелей – длинномеров, разных электромагнитов отключения;
- организация работы двух комплектов РЗ по возможности менее взаимозависимой.

В результате совершенствования принципа ближнего резервирования, в настоящее время фактически мы имеем на одном объекте два независимых комплекса устройств вторичной коммутации, включающих каждый свой комплект РЗ от всех видов повреждений, свой керн ТТ и свой ТН (или свою систему шин ТН), свою АБ (или свою секцию ЩПТ), свой шкаф с автоматическими выключателями, свою кабельную трассу от РЩ к выключателю, свой электромагнит отключения. Конечно, глубина ближнего резервирования зависит от класса энергообъекта, но в любом случае при построении СОТ требуется организация двух каналов питания с максимальной для данного класса подстанции независимостью.

Вывод, к которому приводит учет принципа ближнего резервирования таков [10]: исключить (во взаимно резервируемых комплексах РЗАУ) цепи и устройства, отказ которых ведет к потере работоспособности одновременно обоих комплексов. Например, исключить установку множества индивидуальных ключей выбора питания устройств, имеющих полноценный аппаратный резерв, потому что это не повышает надежность, как многие думают, а наоборот ее снижает (рис. 1.6).

Вероятное КЗ в этих ключах, имеющих электрическую связь и с первой, и со второй аккумуляторными батареями, ведет к возмущению одновременно на каждой из них. Потеря на короткое время (около суток) одного из комплектов защит при наличии полноценного второго комплекта является меньшим злом, чем возмущение одновременно на двух источниках питания с непредсказуемым результатом.

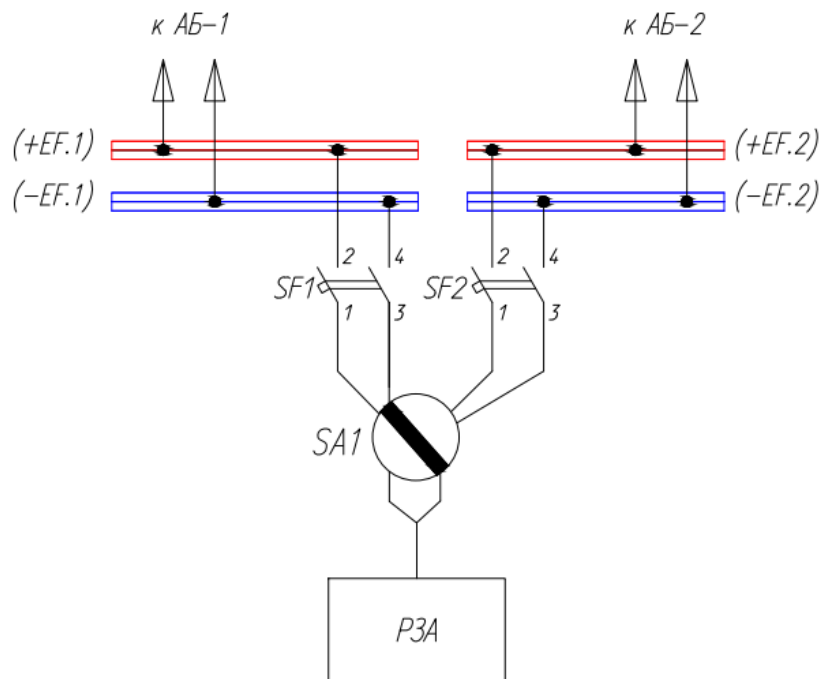


Рис. 1.6. Установка множества индивидуальных ключей выбора питания устройств

Грубым нарушением правил проектирования является установка защитного устройства за ключом (рис. 1.7).

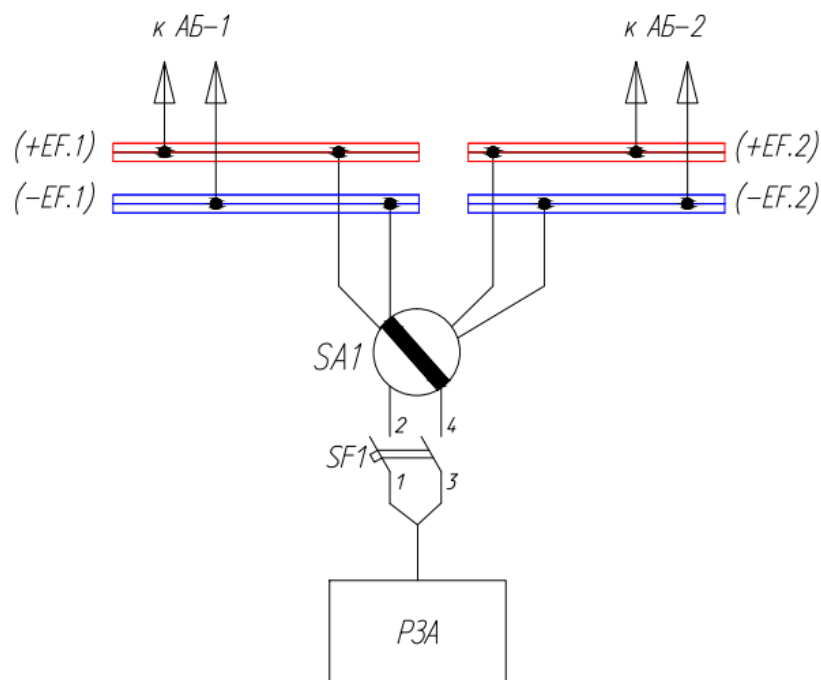


Рис. 1.7. Установка защитного устройства за ключом

В тех случаях, когда устройство не имеет аппаратного резерва и существует необходимость иметь для него два питания, второе должно быть организовано либо через второй собственный блок питания, либо от резервной шинки (рис. 1.8).

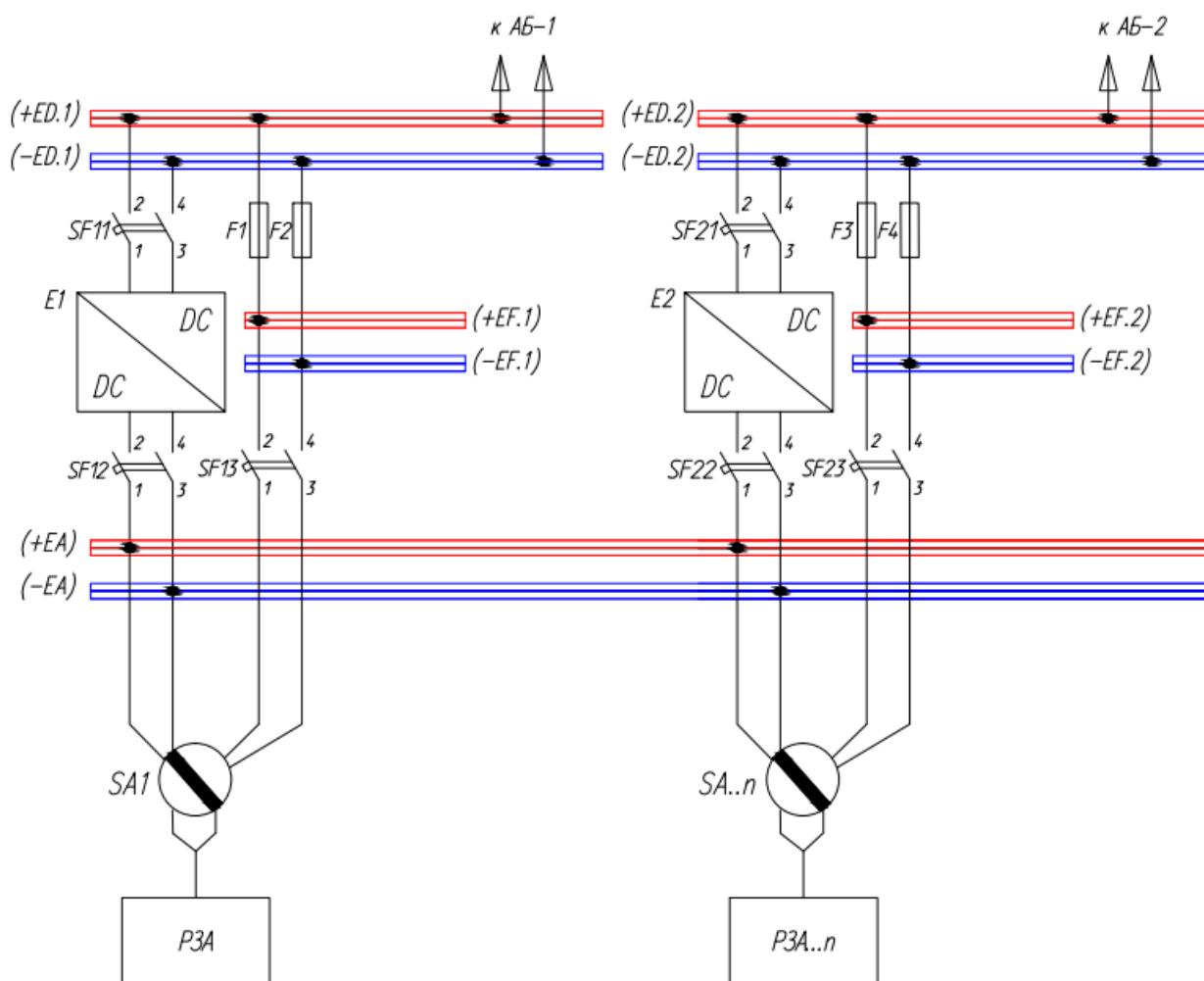


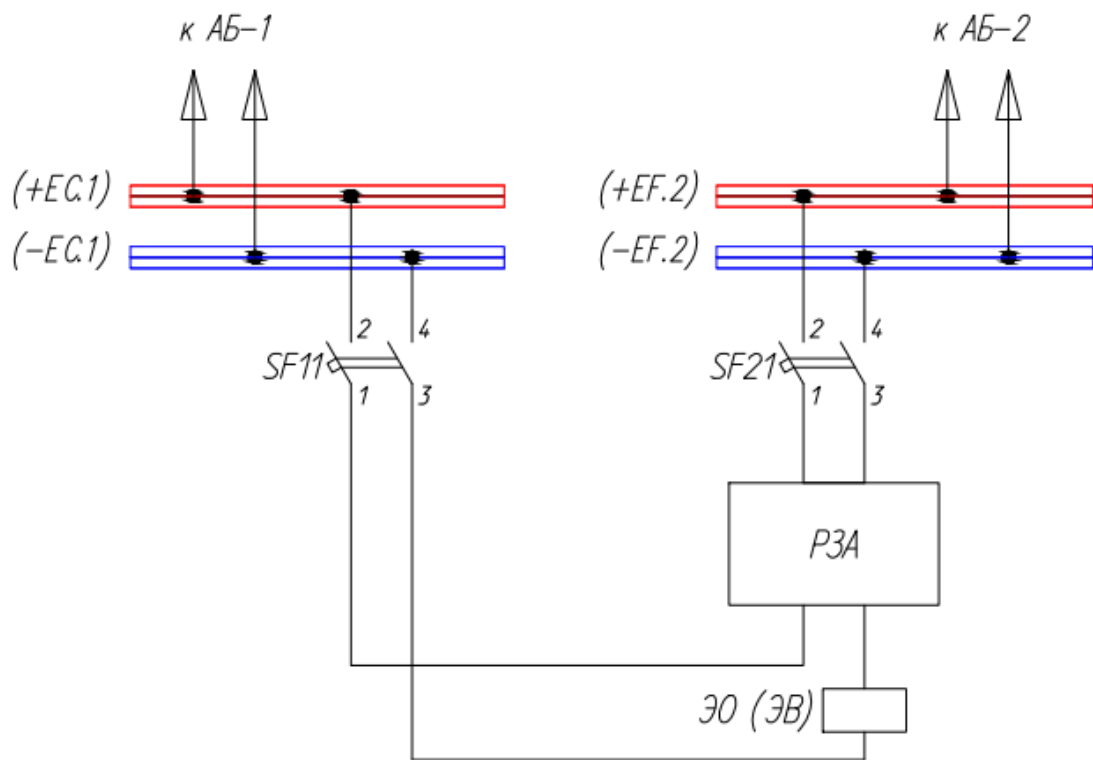
Рис. 1.8. Схема при отсутствии аппаратного резерва

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать первый принцип построения СОПТ: питание взаимно резервирующих друг друга устройств должно быть максимально друг от друга независимым.

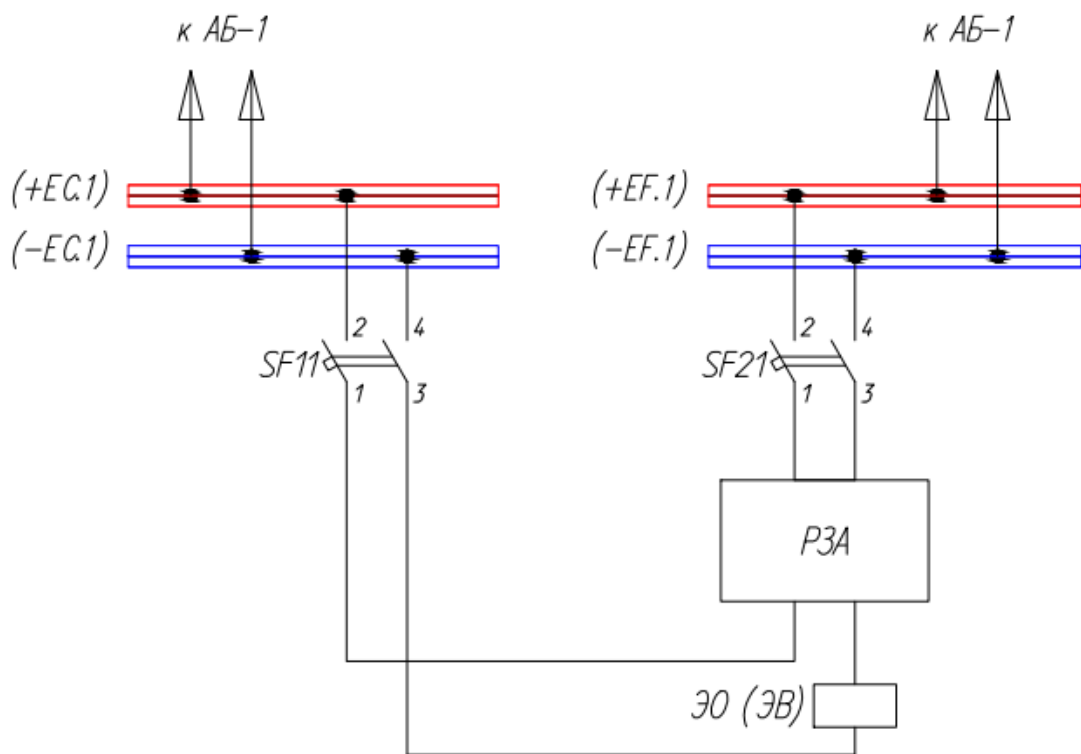
Рассмотрим характерный пример скрытой ошибки проектирования питания РЗА: деление на «чистую» и «грязную» зоны не должно перекрещиваться с делением на первый и второй комплекты. На рис. 1.9, а показано неправильное подключение. В этом случае части одного комплекта оказываются подключенными к разным АБ и вероятность отказа защиты при этом увеличивается в два раза, так как потеря любого из двух источников питания дает один и тот же результат – отказ защиты.

Правильным будет подключение цепей питания следующим образом: «чистая зона» и выходные цепи, «грязная зона» и одно устройство РЗА к одной АБ (рис. 1.9, б).

Из рассмотренного случая вытекает второй принцип построения СОПТ: выходные цепи и цепи питания одного терминала должны иметь общий источник питания.



a



б

Рис. 1.9. Схема подключения АБ: *a* – неправильная; *б* – правильная

Из приведенных примеров следует, что незнание принципов построения релейной защиты не позволяет правильно спроектировать ее систему питания.

1.8. Пример структурной схемы системы оперативного постоянного тока с одной аккумуляторной батареей

Структурная схема СОПТ с одной АБ представлена на рис. 1.10, где оранжевая, синяя и зеленые стрелки – соответственно первый, второй и третий уровни защиты.

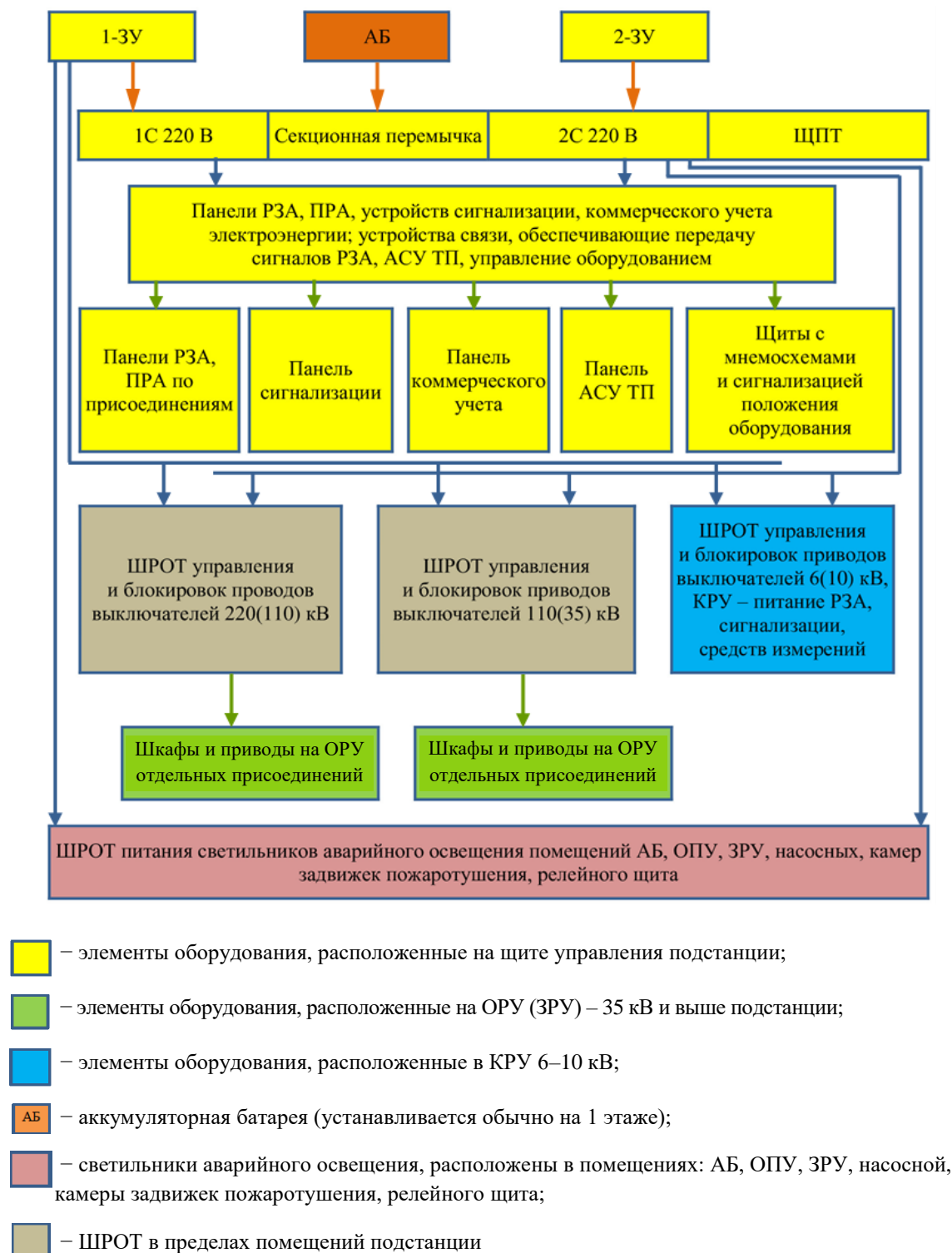


Рис. 1.10. Структура СОПТ с одной аккумуляторной батареей

Контрольные вопросы

1. Укажите область применения СОПТ.
2. Сколько уровней систем защиты должна иметь СОПТ?
3. Что называется системой оперативного постоянного тока?
4. Чем отличаются централизованная и децентрализованная СОПТ?
5. Какой режим является нормальным режимом работы СОПТ? Чем он характеризуется?
6. Какие режимы являются расчетными аварийными режимами работы СОПТ? Какими событиями они характеризуются?
7. Какой режим является аварийным режимом работы СОПТ? Чем он характеризуется?
8. Рабочее и резервное питание каких основных электроприёмников должна обеспечивать СОПТ?
9. Поясните структуру СОПТ с одной аккумуляторной батареей.
10. На какие категории по требованию к надежности их питания можно разделить электроприемники СОТ?

Глава 2. РАСЧЕТЫ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Расчет производится для СОПТ ПС 110–220 кВ, где по нормам технологического проектирования предусматривается установка одной АБ, являющейся источником энергии для системы ОПТ и работающей параллельно с ЗУ в режиме постоянного подзаряда.

От АБ берут начало два канала питания СОПТ на ПС.

Каждый канал имеет отдельные выводы от АБ: если в батарее сто шесть аккумуляторов – три вывода, при большем количестве – четыре. Одноименные выводы двух каналов постоянного тока со стороны АБ соединены между собой, а с другой стороны через кабели со своими группами вводных АВ, осуществляющих верхний уровень защиты СОПТ на ПС.

Вся длительная нагрузка на ПС (устройства РЗА, управления, сигнализации и др.) питается от отдельно работающих двух секций шинок ЩПТ, к которым через автоматические выключатели и кабели подключены ЗПУ. Указанные ЗПУ поддерживают необходимый уровень напряжения на шинках ЩПТ, а также возмещают потери, связанные с саморазрядом батареи и питанием всей длительной нагрузки постоянного тока, которая составляет 30–50 А для ПС 110–220 кВ. На точность расчетов при выборе параметров АБ влияют:

- наличие генерального плана ПС (ОПУ, кабельных каналов и т. д.);
- наличие принятых решений по схемам электрических соединений распределительных устройств;
- принятые решения о типе выбранного основного оборудования.

В случае отсутствия каких-либо данных следует пользоваться рекомендациями и обобщенными данными, приведенными в табл. 2.1–2.6.

2.1. Выбор параметров аккумуляторной батареи

АБ, работающая параллельно с подзарядным агрегатом, должна обеспечить нагрузку нормального режима работы ПС.

Сведения о потреблении постоянного тока электромагнитами управления некоторых высоковольтных выключателей приведены в табл. 2.1. Величины внутреннего сопротивления АБ со ста шестью аккумуляторами типа СК представлены в табл. 2.2. Сопротивление электромагнитов и главных контактов автоматических выключателей и рубильников (на один полюс) в зависимости от номинального тока указано в табл. 2.3.

Таблица 2.1

Сведения о потреблении постоянного тока электромагнитами управления некоторых высоковольтных выключателей

Тип выключателя	Напряжение, кВ	Фирма-изготовитель	Кол-во комплектов электромагнитов отключения	Начальный ток втягивания электромагнитов отключения, А		Примечания
				одной фазы	трех фаз	
ВНВ-330, 500, 750	330, 500, 750	АО «УЭТМ», г. Екатеринбург	2	13,5	40,5	
ВВВ-500, 750	500, 750	АО ВО «Электроаппарат», г. Санкт-Петербург	1	20	60	
ВВДМ-330	330		1	20	60	
ВВД-220	220		1	12	36	
ВВВК-220,500	220, 500		1	22	66	
ВВБМ-110 (ВВБК)	110		1	12	36	
ВГУ-220,330	220,330	АО «УЭТМ», г. Екатеринбург	2	2,3	7	Элегаз
ВГУ-500	500		2	4,6	14	»
ВГТ-110	110		1		2,5	»
LTV 145-D1/B	110	ТОО «АВВ (ЭйБиБи)», г. Алмата	2		1	»
145 PM 40	110		2		6	»
ВГБ-220	220	АО ВО «Электроаппарат», г. Санкт-Петербург	2	2,3	7	»
FXT 15	330	ГЕС ALSTOM	2		5	»
ВМТ-220	220	АО «УЭТМ», г. Екатеринбург	1	2,5	7,5	»
ВМТ-110	110		1		2,5	
ВКЭ-10	10	ООО «Высоковольтный союз-РЗВА», г. Ровно	1		2,5	Электромагнит включения 100 А
ВБЭК 10-20/1600	10	НПП «Контакт», г. Саратов	1	–	1,5	Вакуумный
ВБЭМ 10-20	10	АО «ЭНЭКО», г. Минусинск	1	–	2,5	Электромагнит включения 20 кА – 40 А; 31,5 кА – 70 А вакуумный
ВВНЭ-10	10	АО «ЭНЭКО», г. Минусинск	1	–	2,5	
VF	10	ТОО «АВВ (ЭйБиБи)», г. Алмата	1	–	1,5	Элегаз

Таблица 2.2

Внутреннее сопротивление АБ со ста шестью аккумуляторами типа СК

Параметры АБ	Номер АБ					
	СК-3	СК-4	СК-5	СК-6	СК-8	СК-10
$R_{гр}$, Ом	285	199	159	133	99	80
$R_{гр} > R_{кв}$, Ом	141	106	85	70,5	53	42,4
$R_{гр} < R_{кв}$, Ом	191	143	114,5	95,4	71,6	57,2
Параметры АБ	Тип АБ					
	СК-12	СК-14	СК-16	СК-18	СК-20	
$R_{гр}$, Ом	66	57	50	44	40	
$R_{гр} > R_{кв}$, Ом	35,3	30,2	26,5	23,5	21,2	
$R_{гр} < R_{кв}$, Ом	47,7	41	35,8	31,8	28,6	

Примечание. $R_{гр}$ – граничное сопротивление; $R_{кв}$ – сопротивление токовых катушек АБ.

Таблица 2.3

Сопротивление электромагнитов и главных контактов автоматических выключателей и рубильников (на один полюс)

Параметры АБ	Номинальный ток, А							
	50	70	100	140	200	400	600	1000
$R_{тк} + R_{кс}$, мОм	7	3,5	2,15	1,3	1,1	0,65	0,41	0,25
$R_{кс}$, мОм	–	–	0,5	–	0,4	0,2	0,15	0,08

Примечание. $R_{тк}$ – сопротивление токовых катушек; $R_{кс}$ – сопротивление контактной системы рубильника.

Суммарная величина постоянных нагрузок ПИТ в конкретных проектах может определяться непосредственным подсчетом. Однако, как показал многолетний опыт проектирования и эксплуатации большого числа ПС, нагрузки постоянного тока обычно находятся в пределах, указанных в табл. 2.4, которой можно пользоваться при расчетах АБ [13].

Таблица 2.4

Зависимость нагрузки постоянного тока от класса напряжения ПС

Класс напряжения ПС	Режим работы АБ	
	нагрузка постоянного тока при постоянном подзаряде, А	нагрузка постоянного тока при аварийном разряде в течение основных 0,5 часа, А
110	10–30	20–60
220	30–50	60–100
330		
500		
750		

Сечения кабелей от выводов АБ до ВДТ и сечение ошиновки АБ принимаются в зависимости от толчкового тока и указаны в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Величина толчкового тока

Параметры	Толчковый ток, А			
	60–170	170–440	500	720
Сечение жил кабеля от АБ до ЩПТ, мм ²	70	120	240	2×240
Диаметр ошиновки АБ, мм	10	12		
Сечение ошиновки АБ, мм ²	78,5	113		

При выборе АБ во всех случаях определяющим является обеспечение минимально допустимого напряжения:

- $0,8U_{\text{ном}}$ – на устройствах РЗА, ПА, ТМ и связи;
- $(0,8 \dots 0,85)U_{\text{ном}}$ – на электромагните включения выключателя.

Расчетными режимами являются:

- одновременное отключение группы выключателей – учитывается суммарный установившийся ток электромагнитов отключения;
- включение выключателя с наиболее мощным электромагнитным приводом.

В нормальном режиме напряжение на устройствах РЗА, ПА, ТМ и связи не должно превышать $1,05U_{\text{ном}}$ (231 В). При срабатывании привода напряжение на нем должно быть не ниже минимально допустимого.

В основном режиме работы АБ (в режиме постоянного подзаряда) напряжение на ее зажимах должно автоматически поддерживаться на уровне $(2,2 \pm 0,05)$ В на элемент. Поэтому для обеспечения на шинах ЩПТ напряжения $1,05U_{\text{ном}}$ необходимо иметь в основной части батареи сто шесть элементов.

В режиме дозаряда напряжением 2,3 В на один элемент для ограничения уровня напряжения на шинках управления \pm ЕС предусматривается переключение минусовой шинки со ста шестого элемента на сотый:

$$2,3 \cdot 100 = 230 \text{ В.}$$

Толчковые токи при выборе АБ рассматриваются в следующих режимах:

- в предшествующем нормальном режиме для случая одновременного отключения группы выключателей;
- в конце получасового разряда АБ током $5N$;
- в любом режиме, в том числе при дозарядке и в конце получасового аварийного разряда для случая включения наиболее мощного электромагнитного привода;
- то же, но в конце двухчасового разряда (по требованию заказчика).

Во всех случаях исходным при выборе АБ является минимальный номер батареи, определяемый по условию обеспечения минимально допустимого напряжения на устройствах РЗА.

Наибольший толчковый ток АБ зависит от электрической схемы распределительных устройств ПС и типа применяемых в них коммутационных аппаратов. Так, например, для ПС со схемой ОРУ «Мостик» максимальный толчковый ток в СОПТ будет наблюдаться при отключении от защиты трансформатора (автотрансформатора), а в случае ПС со схемой «Одна секционированная выключателем рабочая система шин с обходной» – при повреждении на секции шин и отключении всех ее присоединений.

2.1.1. Расчет максимального толчкового тока

Максимальный толчковый ток отключения $I_{Т\text{ откл}}$ определяется по выражению:

$$I_{Т\text{ о}} = I_{\text{откл}} + I_{\text{нагр}}, \quad (2.1)$$

где $I_{\text{откл}}$ – суммарный ток электромагнитов отключения одновременно отключаемых выключателей (см. табл. 2.1), А; $I_{\text{нагр}}$ – суммарный ток нагрузки нормального рабочего режима (см. табл. 2.4), А.

Соответственно, определяется максимальный толчковый ток включения $I_{Т\text{ вкл}}$:

$$I_{Т\text{ вкл}} = I_{\text{вкл}} + I_{\text{нагр}}, \quad (2.2)$$

где $I_{\text{вкл}}$ – ток электромагнита включения наиболее мощного выключателя, А.

2.1.2. Расчет минимального напряжения, приходящегося на один элемент аккумуляторной батареи

Расчет производится при условии обеспечения на шинках ±ЕС ЩРЗ, питающих устройства РЗА, напряжения $U_{э\text{ min}}$ не менее $0,8U_{\text{ном}}$. Указанное условие выполняется при соблюдении неравенства:

$$U_{э\text{ min}} \geq \frac{0,8U_{\text{ном}} + \Delta U_{\text{ар}}}{106} = 1,66 + \frac{\Delta U_{\text{ар}}}{106}, \quad (2.3)$$

где $\Delta U_{\text{ар}}$ – падение напряжения от толчкового тока на сопротивлении цепи от АБ до шинок ±ЕС ЩРЗ.

Падение напряжения $\Delta U_{ар}$ складывается из падения напряжения $\Delta U'_{ар}$ от полного толчкового тока I_T на участке цепи от АБ до главных шинок на ЩПТ и падения напряжения $\Delta U_{РЗА}$ от тока $I_{нагр}$ (РЗА) на участке от главных шинок $\pm EC$ ЩПТ до шинок $\pm EC$ ЩРЗ в соответствии с выражениями:

$$\Delta U_{ар} = \Delta U'_{ар} + \Delta U_{РЗА}, \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \Delta U'_{ар} &= \Delta U_{ош} + \Delta U_{кб1} + \Delta U_{АВв/у} + \Delta U_{к с} = \\ &= I_T (R_{ош} + R_{кб1} + R_{АВ в/у} + R_{к с руб}). \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $\Delta U_{ош}$ – падение напряжения от полного толчкового тока в ошиновке АБ; $\Delta U_{кб1}$ – падение напряжения от полного толчкового тока в кабеле, соединяющем выводы АБ с ЩПТ; $\Delta U_{АВв/у}$ – падение напряжения от полного толчкового тока на контактах автоматических выключателей верхнего уровня защиты; $\Delta U_{к с}$ – падение напряжения от полного толчкового тока на контактах рубильника, включенного последовательно с автоматическим выключателем верхнего уровня.

Падение напряжения на участке от ЩПТ до шинок $\pm EC$ ЩРЗ определяется по выражению:

$$\Delta U_{РЗА} = 0,5 I_{нагр} (R_{кб2} + R_{АВ с/у}), \quad (2.6)$$

где $0,5 I_{нагр}$ – ток нагрузки, потребляемый устройствами РЗА, который определяется по табл. 2.4 (устройства РЗА потребляют не более половины всей нагрузки постоянного тока на ПС при получасовом аварийном разряде АБ); $R_{кб2}$ – сопротивление кабеля от ЩПТ до шинок $\pm EC$ РЗА (или до шинок управления $\pm EC$ ОПУ (ЗРУ)); $R_{АВ с/у}$ – сопротивление контактов АВ среднего уровня защиты (кабеля $R_{кб2}$ от ЩПТ до шинок $\pm EC$ ЩРЗ в ОПУ).

Данные о сопротивлении петли кабеля (прямой и обратный провод) приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Сопротивление петли кабеля

Сечение кабеля, мм ²	Длина петли, м						
	30	50	100	200	300	400	500
1	2	3	4	5	6	7	8
240	2,1	3,58	7,16	14,32	21,48	28,64	35,5
120	4,2	7,15	14,3	28,6	42,9	57,2	71,5
95	5,43	9,05	18,1	36,2	54,3	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8
70	7,37	12,25	24,5	49,0	73,7	–	–
50	10,32	17,2	34,2	68,8	–	–	–
35	14,74	24,55	49,1	–	–	–	–
25	20,64	34,4	68,8	–	–	–	–
16	32,2	53,7	107,4	–	–	–	–

Примечание. В общем случае имеется три группы кабелей:

- $R_{кб1}$ – кабели от выводов АБ до ЩПТ (верхний уровень СОПТ);
- $R_{кб2}$ – кабели от ЩПТ до ШУ в ОПУ или до шинок, питающих устройства РЗА на щите РЗА, или до шинок РЗА и ШУ в ЗРУ, или до шинок, питающих электромагниты включения в ЗРУ или ОРУ (средний уровень СОПТ);
- $R_{кб3}$ – кабели от шинок среднего уровня СОПТ до конкретных потребителей (нижний уровень СОПТ).

На рис. 2.1 представлена схема распределения токов при групповом отключении выключателей на ПС.

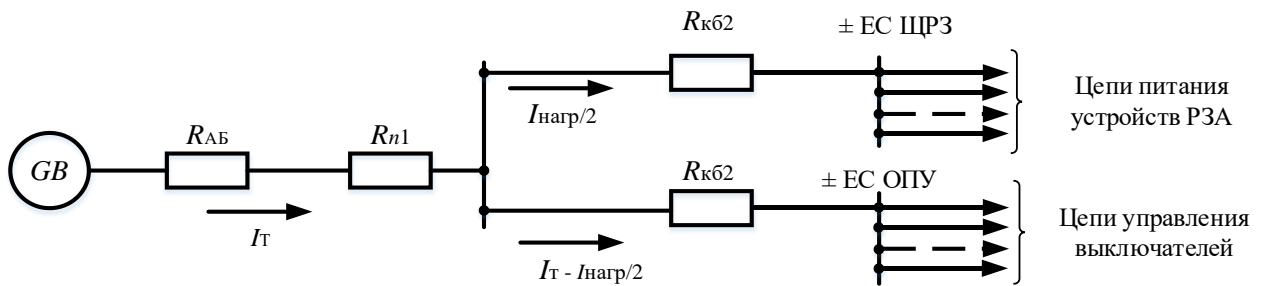


Рис. 2.1. Схема распределения токов при отключении группы выключателей

На рис. 2.1 сопротивление R_{n1} определяется как сумма сопротивлений:

$$R_{n1} = R_{ош} + R_{кб1} + R_{АВ\ в/у} + R_{кс}.$$

Кабели от выводов АБ до АБ верхнего уровня (вводных автоматических выключателей) выбираются в зависимости от толчкового тока. Предварительно (только при выборе параметров АБ) произвольно выбирается сечение кабеля от ЩПТ до шинок ±ЕС ЩРЗ. Чаще всего оно принимается равным 16–50 мм².

Вычислив сопротивления $R_{ош}$, $R_{кб1}$, $R_{кб2}$, $R_{кс}$, $R_{АВ\ в/у}$, $R_{АВ\ с/у}$ и соответствующие им падения напряжений $\Delta U_{ош}$, $\Delta U_{кб1}$, $\Delta U_{кб2}$, $\Delta U_{кс}$, $\Delta U_{АВ\ в/у}$, $\Delta U_{АВ\ с/у}$, определяем $\Delta U_{РЗА}$, $\Delta U'_{ар}$ и $\Delta U_{ар}$ соответственно по выражениям (2.4)–(2.6). Далее с помощью выражения (2.1) определяется значение $U_{э\ min}$.

2.2. Определение номера аккумуляторной батареи

Для вычисленного значения $U_{э \text{ min}}$ по вольт-амперной характеристике (ВАХ) первого номера аккумулятора определяется величина толчкового тока J_T в амперах. Если при выборе АБ определяющим является требование отключения группы выключателей при КЗ в конце получасового разряда при обеспечении $0,8U_{\text{ном}}$ на шинках РЗА, то проверка указанного при включении наиболее мощного выключателя для тех же условий не требуется. На рис. 2.2 изображены вольт-амперные характеристики отечественных аккумуляторов СК-1 емкостью 36 А·ч:

- кривая 0 характеризует толчок тока в начале разряда (ток аккумулятора до толчка равен нулю);
- кривые $5N$, $8N$, $13N$, $17N$ и $21N$ характеризует толчок тока в конце получасового разряда током $5N \dots 21N$, где N – номер аккумулятора;
- кривая $5N (2 \text{ ч})$ характеризует толчок тока в конце двухчасового разряда током $5N$.

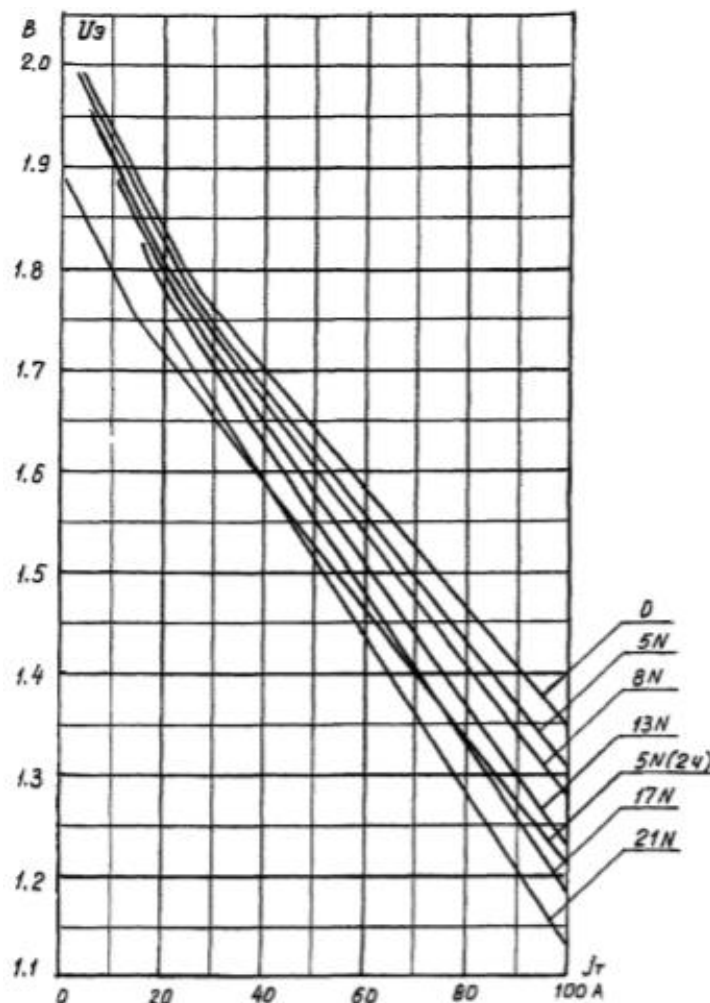


Рис. 2.2. Зависимость напряжения $U_{э}$ от J_T при различной степени получасового разряда перед толчком (температура электролита $+10^{\circ}\text{C}$)

С помощью полученного по ВАХ (рис. 2.2) значения толчкового тока соответствующего аккумулятору СК-1, определяется номер АБ:

$$N = \frac{I_T}{J_T}. \quad (2.7)$$

Найденный таким образом номер АБ является наименьшим номером батареи, удовлетворяющей требованию, предъявляемому к остаточному напряжению $0,8U_{\text{ном}}$ на шинках, питающих устройства РЗА при максимальном толчковом токе.

Также напряжение $0,8U_{\text{ном}}$ должно быть обеспечено на шинках РЗА при включении наиболее мощного выключателя в конце получасового или двухчасового тока разряда. Расчет выполняется в следующей последовательности.

По выражению (2.5) определяются падения напряжения $\Delta U'_{\text{ар}}$ и $\Delta U_{\text{РЗА}}$ при толчковом токе (электромагнита включения и тока нагрузки) на сопротивлении от АБ до шинок ЩПТ, по выражению (2.4) – падение напряжения $\Delta U_{\text{ар}}$ от ЩПТ до шинок РЗА (\pm ЕС ЩРЗ).

По выражению (2.3) определяется $U_{\text{э min}}$ для включения выключателя либо в конце получасового, либо двухчасового разряда током $5N$.

По соответствующей кривой $5N$ или $5N(2 \text{ ч})$ (см. рис. 2.2) определяется J_T и далее по (2.7) – номер АБ. Если он не превышает номер АБ, рассчитанный ранее по току I_T при отключении группы выключателей, он остается без изменения. В случае, когда номер АБ, полученный при расчетах тока электромагнита включения, оказался большим, чем выбранный ранее, то либо выбирается АБ, имеющая больший номер, либо увеличивается сечение кабеля от ЩПТ до ЩРЗ.

Другим условием выбора номера АБ является обеспечение минимально допустимого напряжения $0,85U_{\text{ном}}$ (187 В) на электромагните включения наиболее мощного привода при его срабатывании. Падение напряжения на кабеле к приводу электромагнита включения составляет:

$$\Delta U_{\text{кб2}} = I_T \cdot R_{\text{кб2}}, \quad (2.8)$$

где I_T – ток электромагнита включения привода выключателя; $R_{\text{кб2}}$ – сопротивление кабеля от шинок ЩПТ до привода наиболее удаленного выключателя.

Минимальное напряжение на АБ, обеспечивающее при включении выключателя $0,85U_{\text{НОМ}}$ на выводах электромагнита включения, будет равно:

$$U_{\text{АБ min}} = 0,85U_{\text{НОМ}} + (I_{\text{T}} + I_{\text{нагр}}) \cdot (R_{\text{ош}} + R_{\text{кб1}} + R_{\text{АБ в/у}} + R_{\text{к с руб}}) + I_{\text{T}} \cdot (R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}}) = 0,85U_{\text{НОМ}} + \Delta U_{\text{ар}} + I_{\text{T}} \cdot (R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}}), \quad (2.9)$$

где $R_{\text{ш}}$ – сопротивление шин от места подключения питающего кабеля до наиболее удаленного привода.

Из выражения (2.7) определяется

$$J_{\text{T}} = \frac{I_{\text{T}} + I_{\text{нагр}}}{N}. \quad (2.10)$$

По кривым $5N$ или $5N (2 \text{ ч})$ (см. рис. 2.2) определяется $U_{\text{э min}}$. Таким образом, напряжение на АБ равно:

$$U_{\text{АБ}} = n \cdot U_{\text{э min}}. \quad (2.11)$$

Определяется допустимое падение напряжения на кабеле и шинках:

$$\Delta U_{\text{кб2+ш}} = n \cdot U_{\text{э min}} - (0,85U_{\text{НОМ}} + \Delta U'_{\text{ар}}). \quad (2.12)$$

Вычисляется суммарное сопротивление питающего кабеля и шинок:

$$R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}} = \frac{n \cdot U_{\text{э min}} - (0,85U_{\text{НОМ}} + \Delta U'_{\text{ар}})}{I_{\text{T}}}. \quad (2.13)$$

При одинаковом сечении питающего кабеля и кабеля кольца соленоидов (шинки), оно будет равно:

$$S_{\text{кб2+ш}} = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}}} = \frac{0,0172 \cdot 10^3 \cdot 2l}{R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}}}, \quad (2.14)$$

где l – расстояние от ЩПТ до привода наиболее удаленного выключателя.

Если полученное сечение кабеля не превышает $120\text{--}240 \text{ мм}^2$, выбор номера N аккумуляторной батареи и количества аккумуляторов (банок) $n = 106$ можно считать законченным.

Если сечение кабеля $S_{\text{кб2+ш}}$ получилось чрезмерно большим или $U_{\text{э min}} < (0,85U_{\text{НОМ}} + \Delta U'_{\text{ар}})$, необходимо увеличить число аккумуляторов в батарее до 120 и выполнить расчет сечения кабеля до привода наиболее удаленного выключателя из расчета остаточного напряжения $0,85U_{\text{НОМ}}$ на выводах электромагнита в момент включения выключателя.

Расчет проводится в следующем порядке.

Определяется напряжение на АБ по выражению (2.11):

$$\Delta U_{\text{АБ}} = 120U_{\ominus \text{ min}}.$$

По выражению (2.12) вычисляется допустимое падение напряжения на кабеле и шинках $\pm \text{ЕУ ЗРУ}$:

$$\Delta U_{\text{кб2+ш}} = 120U_{\ominus \text{ min}} - (0,85U_{\text{ном}} + \Delta U'_{\text{ар}}).$$

Сопротивление кабеля находится по выражению (2.13):

$$R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш}} = \frac{120U_{\ominus \text{ min}} - (187 + \Delta U'_{\text{ар}})}{I_{\text{T}}}.$$

Сечение кабеля и шинок $\pm \text{ЕУ ОРУ (ВРУ)}$ определяется по выражению (2.14).

На рис. 2.3 и 2.4 представлены вольт-амперные характеристики АБ типа GroE фирмы Хоппеке (Норреске).

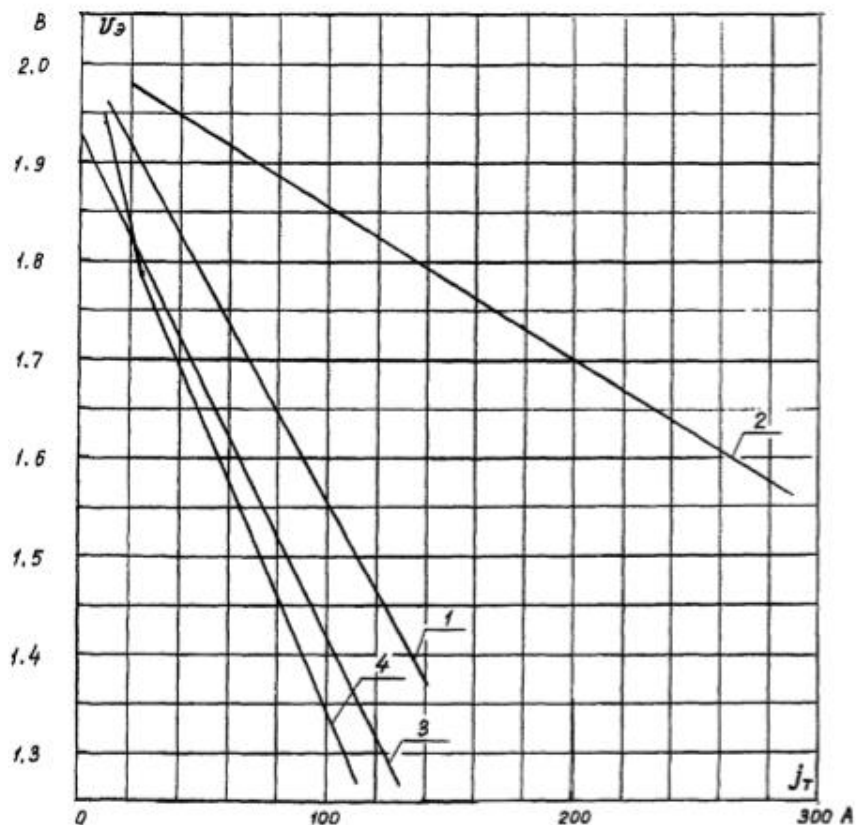


Рис. 2.3. Зависимость напряжения U_{\ominus} на аккумуляторе от величины толчкового тока J_{T} для различных типов аккумуляторов: 1 – аккумулятор типа 1GroE25 ($t = 0$); 2 – аккумулятор типа 1GroE100 ($t = 0$); 3 – аккумулятор типа 1GroE25 ($t = 24$, $I = 6N$); 4 – отечественный аккумулятор типа СК-1 ($t = 0$)

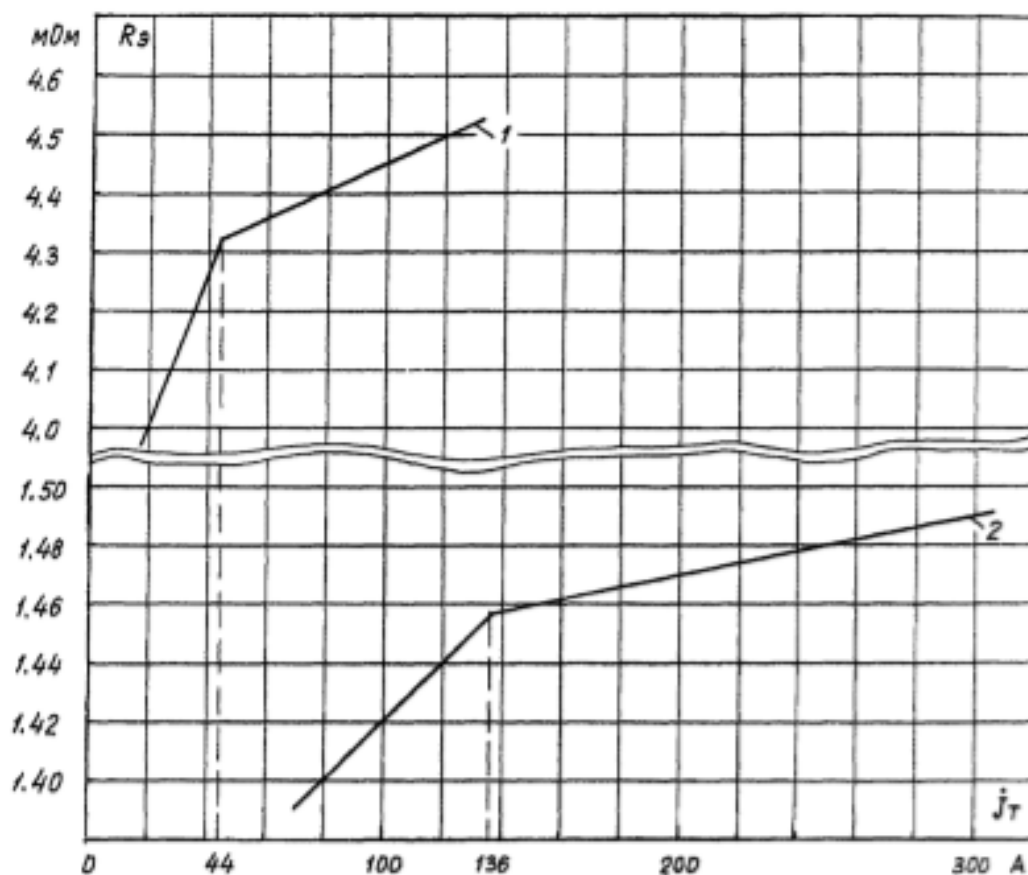


Рис. 2.4. Зависимость сопротивления R_s аккумулятора от величины толчкового тока I_T для аккумуляторов типа GroE фирмы Хоппекке: кривая 1 – аккумулятор типа 1GroE25; кривая 2 – аккумулятор типа 1GroE100

2.3. Схемы и режимы работы щита постоянного тока

1. Схемы ЩПТ выполнены для одной АБ в двух вариантах:

- со ста шестью элементами (аккумуляторами), т. е. $n = 106$;
- с числом элементов n , равным 120, 126 и 140.

АБ является главным источником постоянного тока, от которой берут начало два канала питания СОПТ на ПС. Отдельные выводы для каждого канала ОПТ позволяют отсоединить его от АБ, не нарушая работы другого канала. Электрическая независимость обоих каналов начинается от вводных АВ, а связь между каналами осуществляется через ошиновку АБ.

2. Конструктивно ЩПТ состоит из двух секций, в состав каждой из которых входит шкаф (шкафы) ввода АБ и шкафы главных шин и отходящих фидеров. Обе секции шин на ЩПТ в ремонтном режиме могут соединяться между собой через рубильники.

К каждой секции через АВ подключается ЗПУ. Предусмотрена параллельная работа обоих ЗПУ (каждый из ЗПУ включен на свою секцию, связь между которыми осуществляется через ошиновку АБ). Для подзаряда концевых элементов, начиная со сто первого, предусмотрено отдельное ЗПУ.

Переключение нагрузки оперативных шин со сто шестого на сотый элемент АБ и обратно происходит без разрыва цепи с помощью переключателя. Вся силовая аппаратура и силовые цепи рассчитаны на напряжение 440 В, цепи управления – на напряжение 220 В плюс 15 % постоянного тока.

Максимальный толчковый ток АБ не превышает 800 А длительностью 1,0 с.

Сборные силовые шины и отпайки от них рассчитаны на ток короткого замыкания 6 кА при односекундной термической стойкости.

На ЩПТ предусмотрены устройства защиты и автоматики, выполняющие следующие функции:

1) контроля:

- напряжения на шинках ОПТ с сигналом оповещения при его повышении более $(1,05 \div 1,15)U_{ном}$ и понижении до $(0,95 \div 0,8)U_{ном}$ при выдержке времени до 10 с;

- изоляции цепей оперативного тока;

- целостности цепи автоматического выключателя, сигнализирующей размыкание цепей АБ вследствие отключения вводного автоматического выключателя, нарушение контактов, вытекание электролита из банки и т. д.;

2) мигающего света.

Предусмотрены приборы для измерения напряжения АБ, напряжения на шинках оперативного тока и напряжения шинок оперативного тока относительно земли, тока нагрузки, тока ЗПУ, тока подзаряда АБ, тока концевых элементов.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на точность расчетов при выборе параметров аккумуляторной батареи?

2. Какой фактор является определяющим при выборе АБ?

3. Каковы условия выбора АБ?

4. Какие режимы являются расчетными при выборе АБ?

5. На каких режимах рассматриваются толковые токи при выборе АБ?

6. От каких факторов зависят толковые токи при выборе АБ?

7. По какой формуле определяется максимальный толчковый ток отключения при выборе АБ?

8. Как рассчитывается минимальное напряжение, приходящееся на один элемент АБ?

9. В каких вариантах выполнены схемы ЩПТ для одной АБ?

10. Какие функции выполняют предусмотренные на ЩПТ устройства защиты и автоматики?

Глава 3. УРОВНИ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

СОПТ с источником питания в виде АБ и подзарядного устройства (например, типа ВАЗП), секциями шинок управления, РЗА и электрической сетью имеют три уровня защиты.

Нижний уровень – защита кабелей цепей управления и привода выключателя, оперативных цепей устройств РЗА, ПА, сигнализации и др. устройств (например, ВАЗП) осуществляется АВ с максимальными токовыми расцепителями, работающими без выдержки времени.

Средний уровень – защита шинок и питающих их кабелей в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ и ОРУ, а также защита элементов нижнего уровня в режиме резервирования осуществляется селективными АВ с расцепителями максимального тока с выдержкой времени.

Верхний уровень – защита шин и аппаратов ЩПТ, а также кабелей и секций шинок среднего уровня в режиме резервирования осуществляется селективными АВ с полупроводниковыми расцепителями максимального тока с выдержкой времени второй ступени, на ступень большей выдержки времени срабатывания расцепителя среднего уровня защиты:

$$t_{c p в/у} = t_{c p c/у} + \Delta t, \quad (3.1)$$

где $t_{c p в/у}$ – выдержка времени срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты; $t_{c p c/у}$ – выдержка времени срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты; Δt – ступень выдержки времени.

Нижний уровень защиты реализуется АВ, собственное время отключения которых составляет 20–50 мс, но не менее 5 мс. Величина 5 мс используется как время, обеспечивающее отстройку от броска емкостного тока при замыкании на землю в СОПТ. Предъявляемым требованиям удовлетворяют АВ отечественного производства АП-50Б и ВА19-29, технические характеристики которых приведены в табл. 3.1.

Выключатели серии АЗ790С или ВА 41 можно использовать как для верхнего, так и среднего уровней защиты, а серии ВА 93-33 с токами отключения полупроводниковых расцепителей максимального тока 32 А и более – только для среднего уровня. Технические характеристики селективных АВ приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Технические характеристики АВ нижнего уровня защиты

Наименование параметра	Значение									
	АП-50Б									
Номинальный ток максимального расцепителя тока, А	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40	50	63
Уставка по току срабатывания в зоне токов КЗ, кратная номинальному току расцепителя	3,5–10									
Предельная коммутационная способность выключателя, кА	0,5	0,7	1,0	1,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,0
ВА 19-29										
Номинальный ток максимального расцепителя тока, А	0,6 0,8 1,0 1,25 1,62 2,5 3,15 4,0									
	5,0 6,3 8,0 10,0 12,5									
	16,0 20,0 25,0									
	31,5 40,0 50,0 63,0									
Уставка по току срабатывания в зоне токов КЗ, кратная номинальному току расцепителя	1,3 2,0 5,0 10,0									
Предельная коммутационная способность выключателя, кА	2,0 3,5 5,0 10,0									

Таблица 3.2

Технические характеристики селективных АВ постоянного тока

Наименование параметра	Тип автоматического выключателя			
	ВА 93-33		А3790С	
Номинальное напряжение постоянного тока, В	440			
Номинальный ток максимального расцепителя (номинальный ток выключателя), А	40; 50; 80; 100; 125; 160		250	400 630
Уставка: по току полупроводникового расцепителя, кратная номинальному току максимального расцепителя по току срабатывания полупроводникового расцепителя в зоне перегрузки, кратная	0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1		0,63; 0,8; 1,0	
Калибруемое значение: номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя, А уставки полупроводникового расцепителя по току срабатывания, кратное номинальному току максимального расцепителя, в зоне токов КЗ уставки полупроводникового расцепителя по времени срабатывания в зоне токов КЗ, с	—		160; 200; 250	250; 320; 400 2; 4; 6 0,1; 0,25
	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10		0,1; 0,25	

В настоящее время 97–98 % находящихся в эксплуатации устройств РЗА составляют электромеханические устройства, остальные 2–3 % – микроэлектронные устройства защиты с учетом однофункциональных реле. Сведения о потреблении по цепям постоянного тока некоторых устройств РЗА ($U = 220 \text{ В}$) приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Потребление по цепям оперативного постоянного тока устройств РЗА

Тип устройства РЗА	Потребление в нормальном режиме, А	Потребление в условиях срабатывания, А
ДФЗ201	0,7	2,13
ЭПЗ-1636	0,5	1,68
ПЭ-21105	1,2	1,2
УРОВ, общий вид	0,05	0,25
ШДЭ 2801	0,32	0,45
ШДЭ 2802	0,66	0,66
ПДЭ 2802	0,37	0,86
ПДЭ 2001	0,9	1,14
ПДЭ 2002	1,05	1,27
ПДЭ 2003	1,14	1,59
ПДЭ 2004	1,8	1,8
ПДЭ 2005	0,82	1,14
ПДЭ 2006	1,14	1,36
Ш 2101	0,59	0,86
Ш 2102	0,59	0,86
Ш 2103	0,59	0,86
ШЭ 2106	0,59	0,86
ШЭ 2107	0,59	0,86
ШЭ 2108	0,59	0,86
ШЭ 2113	0,59	0,86
АКПА	1,14	1,14
АЛАР	1,14	1,14
АОПН	1,14	1,14
ФОЛ	1,14	1,14
REL 501	14/0,06	30/0,14
REL 511	14/0,06	30/0,14
REL 531	14/0,06	30/0,14
REL 551	14/0,06	30/0,14
REL 561	20/0,09	30/0,14
REB 551	14/0,06	30/0,14
7SA 513	15/0,07	25/0,11

Для присоединений 110 кВ и выше имеются случаи проектирования микропроцессорных устройств РЗА зарубежных фирм (ABB, Siemens, GEC Alsthom).

3.1. Выбор схемы оперативного постоянного тока на подстанциях с одной аккумуляторной батареей

СОПТ на ПС с одной АБ должна иметь, как правило, два независимых канала питания потребителей постоянного тока. Каждый канал ОПТ начинается от выводов АБ, которые соединены кабелем с АБ верхнего уровня защиты (головные АБ), расположенными на ЩПТ.

Каждая группа головных АБ защищает секции главных шинок своего канала (\pm ЕС ЩПТ), от которых через АБ среднего уровня защиты питаются секции шинок на щите управления (\pm ЕС ОПУ), на щите релейной защиты и автоматики (\pm ЕС ЩРЗ), в ЗРУ (\pm ЕС ЗРУ). Кроме указанного, по каждому из каналов ОПТ питаются цепи электромагнитов включения выключателей через шинки \pm ЕУ ОРУ (ЗРУ).

Учитывая, что все элементы электрических сетей (линии, трансформаторы) имеют, как правило, два комплекта устройств релейной защиты (основные и резервные) и малое потребление, то достаточно иметь две секции шинок на щите РЗА, а также и в ЗРУ – по одной от каждого канала ОПТ.

Двух секций шинок (по одной от каждого канала) достаточно для питания электромагнитов включения выключателей в ЗРУ или на ОПУ, учитывая, что больше двух выключателей одновременно в ЗРУ или на ОРУ не включается.

Разделение шинок среднего уровня защиты на шинки управления (\pm ЕС ОПУ) и РЗА (\pm ЕС ЩРЗ) имеет следующие преимущества:

- цепи питания устройств РЗА не выходят за пределы закрытого помещения, что уменьшает вероятность их повреждения;
- может быть выбрано разное количество секций шинок РЗА и управления.

Наиболее рационально, чтобы толчковый ток с одной секции управления не превышал 100–150 А, что при большом количестве одновременно отключаемых выключателей с большими токами отключения позволит получить наиболее экономичное сечение кабелей от ОПУ до приводов выключателей, обеспечив при этом селективность и резервирование.

Количество секций шинок, питающих цепи управления выключателей, зависит от величины толчкового тока при одновременном отключении группы выключателей.

Расчеты показывают, что величина толчкового тока одной секции, определяющая экономически целесообразное сечение кабеля от ОПУ до привода выключателя, колеблется в пределах 100–150 А, что позволяет одновременно питать электромагниты отключения трех выключателей серии ВНВ или двух выключателей серии ВВБ (ВВБК). Из условия надежности наименьшее количество секций шинок управления равно двум (по одной секции от каждого канала).

При толковых токах, превышающих указанные выше величины, количество секций шинок управления можно определить по формуле:

$$N_c = \frac{m_{\text{откл } \Sigma}}{m_{\text{откл доп}}}, \quad (3.2)$$

где N_c – число секций в системе ОПТ; $m_{\text{откл } \Sigma}$ – общее число одновременно отключаемых выключателей (зависит от схемы ОРУ и типа выключателей); $m_{\text{откл доп}}$ – допустимое число одновременно отключаемых выключателей, цепи управления которых питаются от одной секции \pm ЕС ОПУ:

$$m_{\text{откл доп}} = \frac{I_{\text{Т доп с}}}{I_{\text{откл}}}, \quad (3.3)$$

где $I_{\text{Т доп с}}$ – допустимая величина толчкового тока одной секции шинок ОПТ, принимается равной 100...150 А; $I_{\text{откл}}$ – ток отключения одного выключателя (см. табл. 2.1).

Так, например, для ОРУ 220 кВ с выключателями типа ВВБ-220 и схемой «Две рабочие и обходная системы шин» при четырнадцати присоединениях и током отключения выключателя $I_{\text{откл}} = 60$ А число секций шинок управления в системе ОПТ определяется по выражению (3.2) следующим образом:

$$N_c = 14/2 = 7, \text{ при } m_{\text{откл доп}} = 120/60 = 2.$$

Предусматривается восемь секций – по четыре секции шинок управления от каждого канала ОПТ.

Если в рассматриваемом примере ОРУ 220 кВ имеет схему «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин», одновременно могут отключиться только восемь выключателей при действии защиты шин (семь присоединений и секционный выключатель).

В этом случае $N_c = 8/2 = 4$ секции (по две секции от каждого канала ОПТ).

От каждой секции ОПТ могут питаться цепи управления четырех выключателей: двух выключателей – от I секции шин 220 кВ и двух – от II секции шин 220 кВ. Указанное возможно, поскольку одновременно КЗ на обеих системах шин практически быть не может.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют уровни защиты СОПТ? Охарактеризуйте каждый из них.
2. Перечислите АВ, которые можно использовать для нижнего, среднего и верхнего уровней защиты.
3. Укажите требования, предъявляемые к схеме оперативного постоянного тока на подстанциях с одной аккумуляторной батареей.
4. Каковы преимущества разделения шинок среднего уровня защиты на шинки управления (\pm ЕС ОПУ) и шинки РЗА (\pm ЕС ЦРЗ)?
5. Поясните, почему толчковый ток с одной секции управления не должен превышать 100–150 А.
6. Как определить количество секций шинок, питающих цепи управления выключателей?
7. Как определить количество секций шинок управления при толковых токах, превышающих 100–150 А?

Глава 4. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Расчет токов КЗ в СОПТ необходим для выбора устройств защиты (автоматических выключателей или предохранителей) верхнего, среднего и нижнего уровней сети постоянного тока.

Расчеты выполняются в соответствии с [14, 15]. В [14] в Прил. 5 дана упрощенная методика расчета начального тока КЗ в цепи АБ.

На рис. 4.1 показана зависимость величины коэффициента снижения K_c тока металлического КЗ от сопротивления цепи короткого замыкания $R'_{КЗ}$.

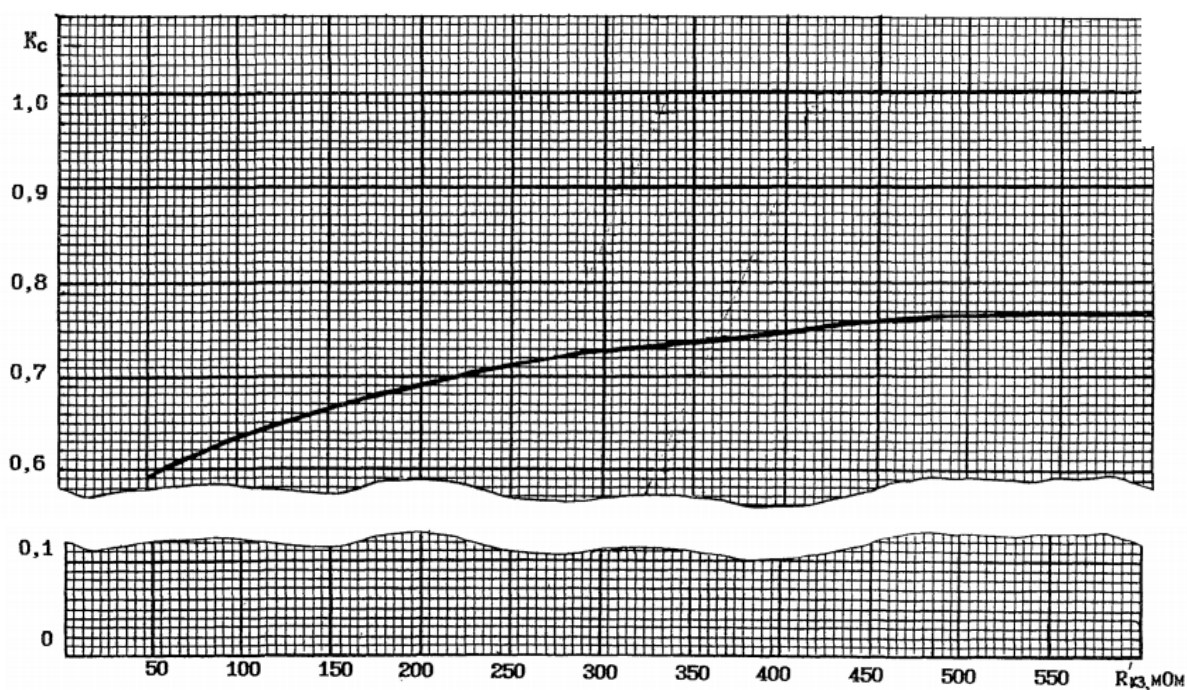


Рис. 4.1. Зависимость величины коэффициента снижения K_c тока металлического КЗ от сопротивления цепи короткого замыкания $R'_{КЗ}$

Ток металлического КЗ определяется по выражению:

$$I_{КЗ м} = \frac{n \cdot E_{расч}}{R_{КЗ м}} = \frac{n \cdot E_{расч}}{R_{АБ} + R'_{КЗ м}}. \quad (4.1)$$

Ток КЗ с учетом сопротивления дуги – по выражению:

$$I_{КЗ м} = \frac{n \cdot E_{расч} \cdot K_c}{R_{АБ} + R'_{КЗ м}}, \quad (4.2)$$

где $E_{\text{расч}}$ – расчетная ЭДС одного элемента; n – количество элементов аккумуляторной батареи; K_c – коэффициент снижения тока короткого замыкания, учитывающий сопротивление дуги в месте КЗ; определяется по кривой на рис. 4.1, в зависимости от сопротивления цепи КЗ (при $R_{\text{КЗ м}} = 600$ мОм, $K_c = 0,77$); $R_{\text{АБ}}$ – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи; $R_{\text{КЗ м}}$ – сопротивление всей цепи металлического короткого замыкания; $R'_{\text{КЗ м}}$ – сопротивление внешней цепи металлического короткого замыкания:

$$R_{\text{КЗ м}} = R_{\text{АБ}} + R'_{\text{КЗ м}}. \quad (4.3)$$

Сопротивление внешней цепи КЗ определяется как суммарное сопротивление ошиновки АБ, кабелей, катушек и контактов АБ, рубильников, контактных соединений:

$$R'_{\text{КЗ м}} = R_{\text{ош}} + R_{\text{кб}} + R_{\text{АБ}} + R_{\text{к с руб}} + R_{\text{конт}}, \quad (4.4)$$

где $R_{\text{ош}}$ – сопротивление ошиновки аккумуляторной батареи; $R_{\text{к с руб}}$ – сопротивление контактной системы рубильника (см. табл. 2.3); $R_{\text{конт}}$ – переходное сопротивление контактов; $R_{\text{кб}}$ – сопротивление петли кабеля; $R_{\text{АБ}}$ – суммарное сопротивление токовых катушек АБ и переходных сопротивлений контактов (см. табл. 2.3):

$$R_{\text{АБ}} = R_{\text{т к АБ}} + R_{\text{к с АБ}}.$$

Расчетная ЭДС одного элемента АБ $E_{\text{расч}}$ определяется в зависимости от сопротивления петли КЗ.

В выражениях (4.1) и (4.2) $E_{\text{расч}}$ и $R_{\text{АБ}}$ – это расчетные величины, которые нелинейно зависят от тока, протекающего через аккумуляторную батарею. В свою очередь, этот ток зависит от сопротивления, на которое замкнута аккумуляторная батарея. Для упрощения расчетов кривая нелинейной зависимости тока в аккумуляторной батарее от сопротивления, на которое она замкнута, заменяется двумя прямолинейными участками, пересекающимися в точке, соответствующей граничному сопротивлению. Для аккумуляторов типа СК граничное сопротивление аккумуляторной батареи определяется по выражению:

$$R_{\text{гр}} = 7,5 \frac{n}{N}, \quad (4.5)$$

где n – количество элементов (аккумуляторов) в батарее; N – номер АБ.

В том случае, если в результате расчета $R'_{КЗ} < R_{гр}$, то $E_{расч}$ принимается равной 1,73 В на элемент. Тогда

$$R_{АБ} = 4 \frac{n}{N}. \quad (4.6)$$

Если же $R'_{КЗ} > R_{гр}$, то $E_{расч}$ принимается равной 1,93 В на элемент. Тогда

$$R_{АБ} = 5,4 \frac{n}{N}. \quad (4.7)$$

Величина тока металлического КЗ используется для выбора автоматических выключателей по максимально допустимому току КЗ.

Ток КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ используется при определении чувствительности максимального расцепителя АВ.

4.1. Расчет токов при коротком замыкании на верхнем уровне защиты (на главных шинках щита постоянного тока)

Токи определяются по выражениям (4.1) и (4.2) для металлического КЗ и КЗ через дугу соответственно. Учитывая, что при КЗ на шинках ЩПТ всегда $R'_{КЗ м} < R_{гр}$, сопротивление АВ определяется по выражению (4.6). В свою очередь, сопротивление $R'_{КЗ м}$ вычисляется по формуле (4.4), в которой $R_{кб1}$ – сопротивление кабеля от АВ до шинок ±ЕС ЩПТ или до шинок ±ЕУ ЩПТ. При этом для расчета тока КЗ на шинках ±ЕУ ШПТ в выражениях (4.5)–(4.7) количество элементов n будет больше, чем 106 (например 120 элементов).

4.2. Расчет токов при коротком замыкании на среднем уровне защиты

Ток при металлическом КЗ в кабелях, питающих шинки или на щите управления, или на щите РЗА, или в ЗРУ, также определяется по выражению (4.1), в котором

$$R'_{КЗ м} = R_{ош} + R_{кб1} + R_{АБ в/у} + R_{к с руб} + R_{конт} + R_{АБ с/у}. \quad (4.8)$$

Здесь $R_{АБ с/у}$ – сопротивление катушки и контактов АВ среднего уровня защиты, которое определяется по табл. 2.3.

Ток КЗ через сопротивление дуги определяется по выражению (4.2), в котором

$$R'_{КЗ д} = R'_{КЗ м} + R_{ш с/у}, \quad (4.9)$$

где $R_{ш с/у}$ – сопротивление шинок («кольца соленоидов») в ОРУ или ЗРУ.

Ток металлического КЗ рассчитывается в конце питающего кабеля, а ток через дугу – у самого отдаленного привода для проверки чувствительности АВ, защищающего указанные кабель и шинки.

4.3. Расчет токов при коротком замыкании на нижнем уровне защиты

Ток при КЗ в кабеле от щита управления в ОПУ до привода наиболее удаленного выключателя в ОРУ или ЗРУ определяется по выражению (4.2) для проверки чувствительности АВ нижнего уровня защиты, где

$$R'_{\text{КЗ д}} = R_{\text{ош}} + R_{\text{кб1}} + R_{\text{АВ в/у}} + R_{\text{к с руб}} + R_{\text{кб2}} + R_{\text{АВ в/у}} + \\ + R_{\text{ш с/у}} + R_{\text{кб3}} + R_{\text{АВ н/у}} + R_{\text{ш н/у}} + R_{\text{конт}}, \quad (4.10)$$

где $R_{\text{АВ н/у}}$ и $R_{\text{ш н/у}}$ – сопротивления катушки и контактов АВ и шинок нижнего уровня защиты соответственно.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте три группы кабелей, учитываемых при расчете токов короткого замыкания в системе оперативного постоянного тока.
2. Как ведется расчет токов при КЗ на верхнем уровне защиты (на главных шинках щита постоянного тока)?
3. Как ведется расчет токов при КЗ на среднем уровне защиты?
4. Укажите точки, в которых рассчитывается ток металлического КЗ, и ток через дугу.
5. Расскажите, как рассчитываются токи при КЗ на нижнем уровне защиты.
6. Охарактеризуйте основную нагрузку АВ нижнего уровня.

Глава 5. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЖНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ

Основной нагрузкой автоматических выключателей нижнего уровня являются:

- цепи управления высоковольтных выключателей;
- цепи электромагнитов включения масляных выключателей;
- устройства релейной защиты и автоматики и цепи их подключения к шинкам \pm ЕС ЦРЗ.

В качестве автоматических выключателей нижнего уровня защиты могут использоваться отечественные выключатели типов АП50Б, ВА19-29, ВА21-29, полное время срабатывания которых находится в пределах 20–50 мс. При больших кратностях токов КЗ по отношению к токам срабатывания время может быть меньшим указанного выше, но не менее 5 мс. Данная величина применяется в дальнейших расчетах как время надежного несрабатывания АВ.

Выбор автоматических выключателей для защиты цепей управления высоковольтных выключателей, цепей ОПТ устройств РЗА ведется по следующим параметрам.

1. Определяется расчетная величина тока срабатывания максимального расцепителя тока (в дальнейшем – тока срабатывания расцепителя) АВ нижнего уровня защиты по выражению:

$$I_{\text{ср н/у}} \geq K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нагр}}, \quad (5.1)$$

где $K_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки; $I_{\text{нагр}}$ – потребление по цепям оперативного постоянного тока одного или нескольких устройств РЗА, защищаемых данным АВ.

Потребление в цепях постоянного тока некоторыми устройствами РЗА приведено в табл. 3.3.

Номинальный ток расцепителя АВ выбирается из ряда номинальных токов (табл. 3.1).

2. Вычисляется номинальный ток расцепителя максимального тока (в дальнейшем – номинальный ток расцепителя) АВ нижнего уровня защиты:

$$I_{\text{нр}} = \frac{I_{\text{ср н/у}}}{K_{\text{у}}}, \quad (5.2)$$

где $K_{\text{у}}$ – коэффициент уставки автоматического выключателя, который равен отношению тока срабатывания расцепителя максимального тока к его номинальному току.

3. Проверяется, не превышает ли ток металлического КЗ ток предельной коммутационной способности АВ:

$$I_{\text{max доп АВ}} \geq I_{\text{КЗ м}}, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{КЗ м}}$ – ток металлического КЗ на шинках, к которым подключены АВ;
 $I_{\text{доп АВ max}}$ – ток предельной коммутационной способности АВ (табл. 3.1).

5.1. Выбор автоматических выключателей для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей

При выборе аппаратов защиты в цепях электромагнитов включения приводов масляных выключателей необходимо иметь в виду, что последние термически неустойчивы при длительном протекании тока включения. Термическая стойкость электромагнитов при этом обеспечивается в течение 15–20 с. Защита электромагнитов включения (при неисправности механизма привода) осуществляется автоматическими выключателями типа АП50Б2ТМ при токе включения до 120 А и АВ серии А3700 при токе включения более 120 А. Номинальный ток максимального расцепителя замедленного срабатывания АВ, защищающего электромагнит, определяется по выражению:

$$I_{\text{ном р н/у}} \geq K_c \cdot I_{\text{ЭМ вкл}}, \quad (5.4)$$

где K_c – расчетный коэффициент (для АВ типа АП50Б с $I_{\text{ном р н/у}} = 10 \dots 25$ А может быть принят в пределах от 0,15 до 0,25); $I_{\text{ЭМ вкл}}$ – ток электромагнита включения выключателя.

Значение $I_{\text{ЭМ вкл}}$ определяется по выражению:

$$I_{\text{ЭМ вкл}} = \frac{n \cdot E_{\text{расч}}}{R_{\text{АВ}} + R'_{\text{КЗ}} + R_{\text{ЭМ вкл}}}, \quad (5.5)$$

где $R_{\text{ЭМ вкл}}$ – сопротивление электромагнита включения.

При выборе $I_{\text{ном р н/у}}$ по выражению (5.4) обеспечивается отключение тока в цепи электромагнита включения в течение 3–12 с. Ток отсечки АВ серии АП50Б принимается кратным десяти ($K_y = 10$) по отношению к $I_{\text{ном р н/у}}$.

В случае защиты электромагнитов включения с помощью предохранителей, номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{\text{ном пл вст}}$ определяется по условию $I_{\text{ном пл вст}} = (0,30 \dots 0,4) I_{\text{ЭМ вкл}}$.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основную нагрузку АВ нижнего уровня.
2. Какие отечественные выключатели применяются в качестве АВ нижнего уровня защиты?
3. Как определяется расчетная величина тока срабатывания максимального расцепителя тока АВ нижнего уровня защиты?
4. Как определяется номинальный ток расцепителя максимального тока АВ нижнего уровня защиты?
5. Что необходимо иметь в виду при выборе аппаратов защиты в цепях электромагнитов включения приводов масляных выключателей?
6. Как находится ток электромагнита включения автоматического выключателя?
7. Каким выражением определяется номинальный ток максимального расцепителя замедленного срабатывания АВ, защищающего электромагнит?
8. Как вычисляется номинальный ток плавкой вставки предохранителя в случае защиты электромагнитов включения с помощью предохранителей?

Глава 6. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ

6.1. Требования к автоматическим выключателям

Автоматические выключатели среднего уровня защиты расположены на щите постоянного тока, подключены к шинкам $\pm EC$ или $\pm EY$ и питают шинки среднего уровня защиты, расположенные на щите управления в ОПУ, на щите РЗА, в ЗРУ и на ОРУ.

Автоматические выключатели среднего уровня защиты должны отключать:

- все КЗ на указанных выше шинках и на питающих эти шинки кабелях; коэффициент чувствительности при этом должен быть не менее двух;
- отключать защищаемые шинки при КЗ на нижнем уровне (например, в цепях управления выключателя или защиты присоединения) и отказе автоматического выключателя нижнего уровня защиты, т. е. осуществлять функции резервирования.

Указанные выше АВ для работы в режиме резервирования должны иметь достаточную чувствительность при КЗ в цепях управления самого удаленного выключателя. Коэффициент чувствительности АВ среднего уровня защиты в режиме резервирования должен учитывать погрешности по току срабатывания и времени срабатывания АВ, которые не превышают 20 %:

$$K_{\text{ч}} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{зап}},$$

где $K_{\text{отс}} = 1,2$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности по току и выдержке времени срабатывания; $K_{\text{зап}} = 1,1$ – коэффициент запаса.

Таким образом, $K_{\text{ч}} = 1,2 \cdot 1,1 = 1,32$.

6.2. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА на щите релейной защиты

Устройства РЗА имеют обычно два комплекта защит: для линий электропередачи – это основная и резервные защиты, для трансформаторов (автотрансформаторов) – первый и второй комплекты. Каждый комплект РЗА имеет отдельный АВ, защищающий все устройства РЗА данного элемента.

В связи с указанным на подстанциях с одной аккумуляторной батареей достаточно иметь две секции шинок, между которыми распределены комплекты устройств РЗА каждого присоединения. Расстояния между ЩПТ, где установлены АВ среднего уровня защиты, шинками, питающими устройства РЗА, и самими устройствами ограничены зданием ОПУ и имеют сравнительно

небольшие величины, а токи КЗ достаточны для надежной работы селективных автоматических выключателей типа АЗ790 с минимально возможными уставками.

Параметры автоматического выключателя выбираются в следующей последовательности:

1. Определяется ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты $I_{ср\ c/y}$, отстроенный от тока нагрузки, в соответствии с выражением (5.1), в котором $I_{нагр}$ – суммарный ток, потребляемый всеми устройствами РЗА, на обеих секциях шинок ± ЕС ЩРЗ (с учетом работы обеих секций через один АВ в ремонтном режиме).

По полученному значению $I_{ср\ c/y}$ и $K_y = 2$ вычисляется по (5.2) ток $I_{нр}$ и выбирается ближайшее большее значение номинального тока АВ по шкале номинальных токов для соответствующего типа АВ.

2. Находится ток срабатывания расцепителя АВ по условию отстройки от тока срабатывания АВ нижнего уровня защиты с учетом 20%-ных погрешностей тока срабатывания АВ среднего и нижнего уровней по выражению:

$$0,8I_{ср\ c/y} = 1,2K_{зап} \cdot I_{ср\ н/y}, \quad (6.1)$$

где $0,8I_{ср\ c/y}$ – ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты с учетом его уменьшения на 20 % за счет погрешности; $1,2I_{ср\ н/y}$ – ток срабатывания расцепителя АВ нижнего уровня защиты с учетом его увеличения на 20 % за счет погрешности; $K_{зап} = 1,1$ – коэффициент запаса.

3. Аналогично определяется и время срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты:

$$0,8t_{ср\ c/y} = 1,2K_{зап} \cdot t_{ср\ н/y} = 1,65t_{ср\ н/y}. \quad (6.2)$$

При $t_{ср\ н/y} = 50$ мс время $t_{ср\ c/y} = 1,65 \cdot 50 = 83$ мс (принимается $t_{ср\ c/y} = 100 \dots 150$ мс).

6.3. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания цепей управления выключателей

Автоматический выключатель, защищающий секцию шинок питания цепей управления выключателей при КЗ, должен также обеспечивать их защиту в режиме резервирования, т.е. при отказе АВ защиты цепей секции шинок ±ЕС ОПУ до привода выключателя. При этом коэффициент чувствительности должен иметь следующие значения:

- при КЗ в основной зоне защиты (секция шинок и питающий её кабель) – не менее 2,0;
- при КЗ в зоне резервирования – не менее 1,32.

Расчет ведется в следующем порядке:

1. Определяется суммарная нагрузка на секцию шинок по выражению (6.2):

$$I_T = I_{\text{откл}} \cdot m_{\text{откл доп}} + I_{\text{нагр}} \cdot m_s, \quad (6.3)$$

где I_T – суммарный толчковый ток одной секции ±ЕС ОПУ; $I_{\text{откл}}$ – ток отключения одного выключателя; $I_{\text{нагр}}$ – ток нагрузки цепей управления одного выключателя; m_s – суммарное количество выключателей, цепи управления которых питаются от одной секции ±ЕС ОПУ; $m_{\text{откл доп}}$ – допустимое количество одновременно отключаемых выключателей, цепи управления которых питаются от одной секции ±ЕС ОПУ.

2. Определяются ток срабатывания и номинальный ток расцепителя автоматического выключателя среднего уровня защиты.

В основном толчковый ток состоит из кратковременного суммарного тока одновременно отключаемых выключателей.

В остальное время, когда отсутствуют коммутации выключателей, ток через АВ определяется потреблением цепей управления всех выключателей данной секции ±ЕС ОПУ. В связи с указанным выбор номинального тока расцепителя АВ производится после определения его тока срабатывания.

Ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты определяется по следующим условиям:

1. По условию отстройки от максимального толчкового тока по выражению:

$$I_{\text{ср с/у}} = K_{\text{отс}} \cdot I_T, \quad (6.4)$$

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

2. По условию отстройки от наибольшего тока срабатывания расцепителя АВ нижнего уровня защиты по выражению (6.1).

Выбирается коэффициент уставки K_y тока срабатывания и определяется номинальный ток расцепителя автоматического выключателя $I_{\text{ном ср с/у}}$ по выражению:

$$I_{\text{ном ср с/у}} \geq \frac{I_{\text{ср с/у}}}{K_y}. \quad (6.5)$$

Далее по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение тока $I_{\text{ном р с/у}}$, которое используется для определения принятого значения:

$$I_{\text{ном р с/у}} = K_y \cdot I_{\text{ном р с/у}} \quad (6.6)$$

6.4. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей

Нагрузка на секцию носит толчковый характер. Расчет производится аналогично подгл. 6.3.

Как правило, на каждом напряжении одновременно могут включаться только один или два выключателя. При двух секциях шинок $\pm EY$ ОРУ или $+EY$ ЗРУ от каждой секции может включаться только один масляный выключатель.

Ток срабатывания расцепителя АВ выбирается по выражению (6.1), в котором $I_{\text{ср н/у}}$ – это ток срабатывания расцепителя АВ защиты наиболее мощного (имеющего наибольший ток включения) масляного выключателя.

Далее по выбранному K_y определяется номинальный ток расцепителя АВ по выражению (6.5), а затем по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение $I_{\text{ном р с/у}}$. Потом по выражению (6.6) вычисляется принятое значение тока срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты $I_{\text{с р прин с/у}}$.

6.5. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА и цепей управления выключателей 6–35 кВ в ЗРУ

Питание шинок $\pm EC$ ЗРУ осуществляется двумя кабелями от шинок $\pm EC$ ЩПТ.

Определяется ток нагрузки $I_{\text{нагр}}$. По выражению (5.1) вычисляется номинальный расчетный ток расцепителя АВ среднего уровня защиты $I_{\text{ном р с/у}}$. Затем по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение $I_{\text{ном р с/у}}$.

По выражению (5.2) для коэффициента уставки $K_y = 2$ определяется ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты $I_{\text{с р с/у}}$.

Контрольные вопросы

1. Где расположены АВ среднего уровня защиты?
2. Каковы функции АВ среднего уровня защиты?
3. В связи с чем на подстанциях с одной АВ достаточно иметь две секции шинок, между которыми распределены комплекты устройств РЗА каждого присоединения?
4. Как определяется ток срабатывания расцепителя АВ по условию отстройки от тока срабатывания АВ нижнего уровня защиты с учетом 20%-ных погрешностей тока срабатывания АВ среднего и нижнего уровней?
5. Как определяется суммарная нагрузка на секцию шинок при выборе АВ для защиты шинок питания цепей управления выключателей?
6. От каких величин отстраивается ток срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты?
7. Каков алгоритм выбора АВ для защиты шинок питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей?
8. Как производится выбор АВ для защиты шинок питания устройств РЗА и цепей управления выключателей 6–35 кВ в ЗРУ?

Глава 7. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ

Автоматические выключатели верхнего уровня защиты («головные АВ») обоих каналов оперативного постоянного тока расположены на щите постоянного тока и подключены со стороны питания к кабелям, идущим от первой (второй) группы выводов аккумуляторной батареи, а с другой стороны – к секциям шинок первого (второго) канала ±ЕС ЩПТ.

К каждой секции шинок ±ЕС ЩПТ через АВ среднего уровня защиты подключены:

- секция шинок ±ЕС ЩРЗ;
- секция шинок ±ЕС ЗРУ;
- одна или несколько секций шинок питания цепей управления выключателей ±ЕС ОПУ;
- секция шинок ±ЕУ ОРУ;
- секция шинок ±ЕУ ЗРУ.

Последние два варианта подключения рассматриваются для случая, когда на ПС установлены масляные выключатели с электромагнитными приводами и количество элементов аккумуляторной батареи равно $n = 106$.

При наличии на АВ дополнительных элементов ($n > 106$), необходимых для надежного включения масляных выключателей, вывод n -го элемента АВ подключен к шинке ±ЕУ ЩПТ через отдельный автоматический выключатель.

К каждой секции шинок ±ЕУ ЩПТ подключены через АВ среднего уровня защиты секция шинок ±ЕУ ОРУ и секция шинок ±ЕУ ЗРУ.

При наличии на подстанции ОРУ нескольких ступеней напряжения у каждого ОРУ (с масляными выключателями с электромагнитами включения) организуются отдельные шинки ±ЕУ ОРУ (например для ОРУ 110 и 35 кВ).

7.1. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок ±ЕС щита постоянного тока

1. Определяется толчковый ток нагрузки секции шинок по выражению:

$$I_T = I_{\text{откл}} \cdot m_{\text{откл доп}} + I_{\text{пост}}, \quad (7.1)$$

где $I_{\text{пост}}$ – постоянная нагрузка постоянного оперативного тока.

Ток нагрузки I_T должен вычисляться в режиме, в котором его значение будет максимальным (в ремонтном режиме, когда АВ, питающий одну из двух секций шинок $\pm EC$ ЩПТ, отключен и вся нагрузка обеих секций питается через АВ второй секции $\pm EC$ ЩПТ, т.е. при одновременном отключении выключателей всех присоединений одной из секций шинок).

2. Определяется ток срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня $I_{ср в/у}$:

- по условию отстройки от суммарного толчкового тока нагрузки по выражению, аналогичному (6.4);

- по условию отстройки от тока срабатывания расцепителя АВ среднего уровня защиты по выражению (6.1).

В качестве расчетного принимается большее из двух значений.

3. Находится номинальный ток расцепителя АВ верхнего уровня защиты $I_{ном р в/у}$ по выражению, аналогичному (6.5), при минимальном значении $K_y = 2$. Затем по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение $I_{ном р в/у}$. Далее по выражению (6.6) вычисляется принятое значение тока срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты $I_{ср прин в/у}$.

7.2. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок $\pm EY$ щита постоянного тока

В случае, когда для питания электромагнитов включения выбирают АВ с $n > 106$ (например с $n = 120$), для питания шинок $\pm EY$ ЩПТ предусматривают отдельный АВ. Его выбор осуществляется по толчковому току при включении выключателей (одного или двух одновременно).

При наличии на ПС только одного распределительного устройства с масляными выключателями головной АВ будет совмещать функции верхнего и среднего уровней защиты, так как может быть соединен непосредственно с шинками питания электромагнитов включения. Параметры срабатывания (по току и выдержке времени) данного АВ должны быть отстроены от параметров срабатывания АВ защиты приводов.

При нескольких РУ с масляными выключателями (при наличии у них электромагнитных приводов) необходимо организовать на ЩПТ две секции шинок $\pm EY$ (верхний уровень) и по две секции шинок $\pm EY$ ОРУ (35, 110, 220 кВ) и $\pm EY$ ЗРУ (средний уровень).

1. Определение тока срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты $I_{ср в/у}$ производится по двум условиям:

а) по условию отстройки от максимального толчкового тока по выражению, аналогичному (6.4);

б) по условию отстройки от тока срабатывания расцепителя АВ среднего уровня (или нижнего уровня, если средний уровень отсутствует) по выражению:

$$I_{ср в/у} = 1,65I_{ср с/у} (ср н/у). \quad (7.2)$$

Далее в расчетах используется большее значение тока срабатывания $I_{ср в/у}$.

2. Учитывая, что постоянная нагрузка на шинках $\pm EY$ практически отсутствует, номинальный ток расцепителя АВ верхнего уровня защиты можно выбирать в широком диапазоне, однако более выгодным будет выбор при $K_y = 2$ по выражению:

$$I_{ном р в/у} = 0,5I_{ср в/у}. \quad (7.3)$$

Далее по шкале номинальных токов выбирается ближайшее большее значение тока $I_{ном р в/у}$.

Контрольные вопросы

1. Какие секции шинок подключены к каждой секции шинок $\pm EC$ ЩПТ через АВ среднего уровня защиты?

2. От каких величин отстраивается ток срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня $I_{ср в/у}$?

3. В случае, когда для питания электромагнитов включения выбирают АВ с $n > 106$ (например с $n = 120$), для питания шинок $\pm EY$ ЩПТ предусматривают отдельный АВ. Как он выбирается?

4. При наличии на ПС только одного РУ с масляными выключателями может ли головной АВ совмещать функции верхнего и среднего уровней защиты?

5. По каким условиям определяется ток срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты $I_{ср в/у}$?

Глава 8. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ КАБЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Минимально возможное сечение кабелей в СОПТ зависит от потребления цепей управления высоковольтных выключателей, количества одновременно отключаемых, а для масляных выключателей, от расстояний между ОПУ и выключателями в ОРУ и ЗРУ.

Поэтому для технико-экономического обоснования выполняемых расчетов сечений кабелей в СОПТ необходимо иметь электрические схемы всех ОРУ, ЗРУ, план ПС, параметры используемого оборудования и др.

Автоматические выключатели, защищающие шинки \pm ЕС ОПУ, от которых питаются цепи управления выключателей, должны защищать кабели и указанные шинки (основная зона защиты, $K_{\text{ч}} \geq 2$), также они должны резервировать АВ защиты цепей управления высоковольтного выключателя в случае отказа АВ при КЗ в конце кабеля у привода выключателя ($K_{\text{ч}} \geq 1,32$ в зоне резервирования).

Указанное резервирование будет обеспечено при необходимой величине тока КЗ, которая ограничивается сечением защищаемого кабеля.

8.1. Выбор сечения кабеля от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока

Сечение кабеля от выводов АВ до ЩПТ задается в зависимости от тока нагрузки и расстояния, которое обычно не превышает 20–30 м.

Поскольку количество кабеля невелико, оно не может влиять на экономику при организации системы ОПТ на ПС, и поэтому достаточно пользоваться сечениями кабелей, указанными в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Сечения жил кабеля от аккумуляторной батареи до ЩПТ

Величина толчкового тока, А	60–170	170–440	500	750
Сечение жил кабеля от АВ до ЩПТ, мм ²	70	120–185	240	2×240

Величина толчкового тока I_{T} складывается из максимально возможной величины толчкового тока на ПС (например, при отключении всех выключателей в схеме «две рабочие и обходная система шин» в режиме нарушенной фиксации присоединений) и суммарного тока постоянной нагрузки в СОПТ на ПС $I_{\text{нагр}}$:

$$I_T = I_{\text{откл}} \cdot m + I_{\text{нагр}}, \quad (8.1)$$

где $I_{\text{откл}}$ – ток, потребляемый электромагнитом отключения одного выключателя (при наличии у выключателя двух электромагнитов отключения – суммарный ток обоих электромагнитов); m – число одновременно отключаемых выключателей.

Для ПС 330 кВ и выше при отсутствии проектных данных о нагрузке в режиме постоянного подзаряда АБ она принимается равной 30–50 А и до 100 А в течение основных 0,5 часа в режиме разряда батареи.

Например, для ПС 500 кВ со схемой ОРУ 500 кВ «Полуторная» с четырьмя цепочками выключателей ВНВ 500, имеющих по два электромагнита отключения, при КЗ на шинах 500 кВ максимально возможный суммарный толчковый ток от аккумуляторной батареи будет равен, согласно (8.1):

$$I_T = 32 \cdot 2 \cdot 4 + 50 = 306 \text{ А.}$$

Согласно данным табл. 8.1, величине $I_T = 306 \text{ А}$ соответствует сечение кабеля 150 мм².

8.2. Выбор сечения кабелей от шинок ±ЕС щита постоянного тока до шинок среднего уровня защиты

Шинки среднего уровня защиты, питающиеся от шинок ±ЕС ЩПТ – это шинки ±ЕС ОПУ, ±ЕС ЩРЗ, ±ЕС ЗРУ и ±ЕУ ЗРУ (последние только при отсутствии шинок ±ЕУ ЩПТ, т. е. при числе элементов АБ $n = 106$).

При КЗ на шинках среднего уровня защиты или в питающем их кабеле АВ верхнего уровня защиты головной АВ работает в режиме резервирования, т. е. отключает поврежденный канал при отказе АВ среднего уровня защиты.

Учитывая большую ответственность АВ верхнего уровня защиты, их коэффициент чувствительности следует принимать менее двух как в основной зоне защиты (шинки ±ЕС ЩПТ), так и в зоне резервирования.

Расчет ведется в следующем порядке:

1. Определяется минимально допустимая величина тока КЗ с учетом сопротивления дуги, обеспечивающая коэффициент чувствительности в конце зоны резервирования для АВ верхнего уровня защита не менее двух:

$$I_{\text{КЗ д}} = K_{\text{ч}} I_{\text{с р в/у}} = 2I_{\text{с р в/у}}. \quad (8.2)$$

Находится сопротивление всей цепи КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ:

$$R_{\text{КЗ д}} \geq \frac{nE_{\text{расч}}}{I_{\text{КЗ д}}} \quad (8.3)$$

По кривой (см. рис. 4.1) для полученной величины $R_{\text{КЗ д}}$ определяется коэффициент K_c , после чего рассчитывается ток металлического КЗ $I_{\text{КЗ м}}$ по выражению:

$$I_{\text{КЗ м}} \geq \frac{I_{\text{КЗ д}}}{K_c} \quad (8.4)$$

2. Вычисляется сопротивление всей цепи при металлическом КЗ с учетом коэффициента K_c :

$$R_{\text{КЗ м}} = R_{\text{КЗ д}} \cdot K_c = \frac{E_{\text{расч}} \cdot n}{I_{\text{КЗ м}}} \quad (8.5)$$

3. Находится максимальная величина допустимого сопротивления кабеля от шин $\pm\text{ЕС}$ ЩПТ до шин $\pm\text{ЕС}$ среднего уровня защиты.

Сопротивление петли КЗ от АБ до шин $\pm\text{ЕС}$ ЩПТ определяется по выражению:

$$R'_{\text{КЗ м в/у}} = R_{\text{ош}} + R_{\text{кб1}} + R_{\text{АВ в/у}} + R_{\text{к с руб}} + R_{\text{конт}} \quad (8.6)$$

При КЗ на шинках среднего уровня защиты сопротивление петли КЗ будет находиться по выражению:

$$R'_{\text{КЗ м с/у}} = R'_{\text{КЗ м в/у}} + R_{\text{кб2}} + R_{\text{АВ с/у}} + R_{\text{к с руб}} + R_{\text{ш с/у}} \quad (8.7)$$

Величины $R'_{\text{КЗ м с/у}}$, $R'_{\text{КЗ м в/у}}$, $R_{\text{АВ с/у}}$, входящие в выражение (8.7), известны.

Далее определяется суммарное сопротивление кабеля и шин среднего уровня защиты:

$$R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш с/у}} = R'_{\text{КЗ м с/у}} - R'_{\text{КЗ м в/у}} - R_{\text{АВ с/у}}$$

Сечение шин и питающего их кабеля рекомендуется брать одинаковым, тогда

$$S_{(\text{ккб} + \text{ш в/у})} = \frac{\rho \cdot 2l}{R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш в/у}}}, \quad (8.8)$$

где $2l$ – длина петли кабеля $I_{\text{кб2}}$ и секции шин среднего уровня защиты $I_{\text{ш с/у}}$.

4. Общее сечение кабеля от шинок $\pm EY$ ЩПТ до шинок $\pm EY$ ЗРУ определяется в соответствии с рекомендациями пп. 1–3.

Однако в данном случае при выбранном сечении указанных кабеля и шинок необходимо проверить, что при включении наиболее удаленного масляного выключателя остаточное напряжение на электромагните включения будет не менее $0,85U_{\text{ном}}$ в соответствии с выражением:

$$0,85U_{\text{ном}} \leq E_{\text{расч}} \cdot n - \left(2I_{\text{ЭМ вкл}} + I_{\text{нагр}} \right) \cdot R'_{\text{КЗ м в/у}} - 2I_{\text{ЭМ вкл}} \left(R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш в/у}} \right), \quad (8.9)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение оперативного постоянного тока; $R'_{\text{КЗ м в/у}}$ – сопротивление внешней цепи при металлическом коротком замыкании до шинок верхнего уровня защиты; $R_{\text{кб2}}$ – сопротивление кабеля от ЩПТ до шинок управления в ЗРУ или до шинок, питающих электромагнит включения масляного выключателя в ЗРУ; $R_{\text{ш с/у}}$ – сопротивление шинок $\pm EY$ ЗРУ.

В том случае, если неравенство (8.9) не выполняется, то необходимо либо повысить количество элементов в аккумуляторной батарее со 106 до 120, либо увеличить сечение рассматриваемого кабеля. При этом нужно определить значение сопротивления $\left(R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш с/у}} \right)$, удовлетворяющее требованиям по остаточному напряжению, по выражению:

$$R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш в/у}} \leq \frac{E_{\text{расч}} \cdot n - 0,85U_{\text{ном}} - \left(2I_{\text{ЭМ вкл}} + I_{\text{нагр}} \right) \cdot R'_{\text{КЗ м в/у}}}{2I_{\text{ЭМ вкл}}}. \quad (8.10)$$

Затем вычисляется новое значение сечения $S_{(\text{кб2+ш}) \text{ с/у}}$ по выражению (8.8).

8.3. Выбор сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до индивидуальных потребителей

Индивидуальными потребителями являются устройства РЗА, цепи управления высоковольтными выключателями и др.

Расчет производится в том же порядке, что и в подгл. 8.2.

1. Определяется значение минимально допустимого тока КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ, при котором обеспечивается коэффициент чувствительности в конце зоны резервирования для АВ среднего уровня защиты, равный $K_{\text{ч}} = 1,32$:

$$I_{\text{КЗ min д}} \leq K_{\text{ч}} \cdot I_{\text{с р с/у}} = 1,32 \cdot I_{\text{с р с/у}}. \quad (8.11)$$

Увеличение $K_{\text{ч}}$ сверх указанной величины повлечет за собой необходимость повышения тока КЗ, а следовательно, и сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до потребителей нижнего уровня защиты. Указанное необходимо для возможности резервирования отказа АВ нижнего уровня защиты автоматическим выключателем среднего уровня защиты.

Вычисляется сопротивление $R_{\text{КЗ д}}$ по выражению (8.3), затем по кривой на рис. 4.1 определяется величина $K_{\text{с}}$ для полученного значения сопротивления $R_{\text{КЗ д}}$.

2. Находится сопротивление цепи при металлическом КЗ $R_{\text{КЗ м}}$ с учетом $K_{\text{с}}$ по выражению (8.5).

3. Определяется величина максимально допустимого сопротивления кабеля от шинок среднего уровня защиты до потребителя нижнего уровня защиты:

$$R'_{\text{КЗ м н/у}} = R'_{\text{КЗ м с/у}} + R_{\text{кб3}} + R_{\text{АВ н/у}}. \quad (8.12)$$

Из выражения (8.12) определяется:

$$R_{\text{кб3}} = R'_{\text{КЗ м н/у}} - R'_{\text{КЗ м с/у}} - R_{\text{АВ н/у}}. \quad (8.13)$$

Сечение кабеля нижнего уровня защиты должно быть не менее:

$$S_{\text{кб3}} \geq \frac{\rho \cdot 2l}{R_{\text{кб3}}}, \quad (8.14)$$

где $2l$ – длина петли кабеля от любой секции шинок среднего уровня защиты до потребителя (устройств РЗА, ПА, привода выключателя и др.).

Для случая, когда от шинок +ЕУ ЩПТ питаются только шинки ±ЕУ ЗРУ (ОРУ), в сопротивление петли при КЗ у наиболее отдаленного выключателя, кроме $R_{\text{кб2}}$, следует также включать сопротивление шинок ±ЕУ ЗРУ (ОРУ) (сопротивление «кольца соленоидов»). В этом случае выражение (8.7) будет иметь вид:

$$R'_{\text{КЗ м с/у}} = R'_{\text{КЗ м в/у}} + R_{\text{кб2}} + R_{\text{ш с/у}} + R_{\text{АВ н/у}}. \quad (8.15)$$

Контрольные вопросы

1. В зависимости от каких величин задается сечение кабеля от выводов аккумуляторной батареи до щита постоянного тока?
2. Какие шинки, питающиеся от шинок $\pm EC$ ЩПТ, относятся к шинкам среднего уровня защиты?
3. Как определяется минимально допустимая величина тока КЗ с учетом сопротивления дуги?
4. Как рассчитывается сопротивление петли КЗ от АБ до шинок $\pm EC$ ЩПТ?
5. Как вычисляется сопротивление петли КЗ при КЗ на шинках среднего уровня защиты?
6. Как определяется значение минимально допустимого тока КЗ с учетом сопротивления дуги в месте КЗ, при котором обеспечивается коэффициент чувствительности в конце зоны резервирования для АВ среднего уровня защиты, равный $K_{\text{ч}} = 1,32$?
7. Как находится величина максимально допустимого сопротивления кабеля от шинок среднего уровня защиты до потребителя нижнего уровня защиты?

Глава 9. ПРОВЕРКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Выбранные автоматические выключатели всех уровней защиты должны удовлетворять требованиям чувствительности. При этом чувствительность (коэффициент чувствительности $K_{\text{ч}}$) должна проверяться при КЗ в пределах основной зоны, а также в пределах зоны резервирования.

В случаях, когда чувствительность АВ будет ниже требуемого значения, следует увеличить сечение соответствующего кабеля.

Чувствительность АВ при КЗ в пределах верхнего уровня защиты (в основной зоне) вычисляется коэффициентом чувствительности по выражению:

$$K_{\text{ч в/у}} = \frac{I_{\text{КЗ д в/у}}}{I_{\text{с р в/у}}}, \quad (9.1)$$

где $I_{\text{КЗ д в/у}}$ – ток короткого замыкания в пределах верхнего уровня защиты с учетом сопротивления дуги; $I_{\text{с р в/у}}$ – ток срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты; определяется по выражению (7.2).

Требуемое значение $K_{\text{ч в/у}} = 2$.

Чувствительность АВ при КЗ в пределах зоны резервирования (кабели и шинки среднего уровня защиты) определяется как отношение тока КЗ с учетом сопротивления дуги в наиболее удаленной точке к току срабатывания расцепителя АВ верхнего уровня защиты.

9.1. Проверка чувствительности автоматических выключателей верхнего уровня защиты

$$K_{\text{ч в/у}} = \frac{I_{\text{КЗ д в/у}}}{I_{\text{с р в/у}}}. \quad (9.2)$$

Коэффициент чувствительности для данного режима должен быть не менее двух, что обеспечивается изначально при определении сечения кабеля от ЩПТ до секции шинок среднего уровня защиты (см. п. 9.2).

9.2. Проверка чувствительности автоматических выключателей среднего уровня защиты

Коэффициент чувствительности АВ в пределах своей зоны защиты (кабели и секции шинок \pm ЕС ОПУ, \pm ЕС РЗА, \pm ЕС ЗРУ, \pm ЕУ ОРУ, \pm ЕУ ЗРУ) должен быть не менее двух и определяется как

$$K_{ч\ c/y} = \frac{I_{КЗ\ д\ c/y}}{I_{с\ p\ c/y}}, \quad (9.3)$$

где $I_{КЗ\ д\ c/y}$ – ток короткого замыкания с учетом сопротивления дуги у самой отдаленной точки секции шинок среднего уровня защиты.

Чувствительность АВ среднего уровня защиты при КЗ в зоне резервирования, т. е. в зоне нижнего уровня защиты должна быть не менее 1,32, что обеспечивается изначально при определении сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до потребителя.

9.3. Проверка чувствительности автоматических выключателей нижнего уровня защиты

Коэффициент чувствительности АВ нижнего уровня защиты $K_{ч\ н/y}$ рассчитывается аналогично подгл. 9.1 и 9.2, т. е. как отношение минимального тока КЗ в данной точке $I_{КЗ\ н/y}$ к току срабатывания расцепителя АВ.

В большинстве случаев АВ среднего уровня защиты в режиме резервирования защищают нижний уровень системы ОПТ с $K_{ч\ c/y} = 1,32$. В связи с указанным достаточно, чтобы выполнялось условие:

$$1,32I_{с\ p\ c/y} \geq 2I_{с\ p\ н/y}, \quad (9.4)$$

где $I_{с\ p\ н/y}$ – ток срабатывания расцепителя АВ нижнего уровня защиты с наибольшим током срабатывания. Выполнение условия (9.4) обеспечивает $K_{ч\ н/y} = 2$ для всех остальных автоматических выключателей, питающихся от данной секции шин.

Контрольные вопросы

1. Как определяется чувствительность АВ при КЗ в пределах верхнего уровня защиты (в основной зоне)?
2. Какая формула является проверкой чувствительности автоматических выключателей верхнего уровня защиты?
3. Какая формула является проверкой чувствительности автоматических выключателей среднего уровня защиты?
4. В большинстве случаев АВ среднего уровня защиты в режиме резервирования защищают нижний уровень системы ОПТ с $K_{ч\ c/y} = 1,32$. В связи с указанным выполнение какого условия является достаточным?
5. Как называется величина $I_{с\ p\ н/y}$?

Глава 10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОДСТАНЦИИ

10.1. Организация питания цепей оперативного постоянного тока устройств РЗА

Устройства релейной защиты линий электропередачи содержат две группы защит: основные и резервные, цепи оперативного постоянного тока которых питаются через отдельные автоматические выключатели, выполняющие функции защиты. Устройства РЗА автотрансформаторов (трансформаторов) по цепям питания оперативным постоянным током также условно разбиты на две группы.

К основным в работе отнесены защиты абсолютной селективности, защищающие всю линию (например, дифференциально-фазные или продольные дифференциальные токовые защиты с высокочастотными каналами) либо автотрансформатор (трансформатор) (например, дифференциальные защиты и газовые защиты).

Остальные защиты, в том числе и дополнительные, отнесены к категории резервных при распределении защит между каналами питания и секциями шинок системы ОПТ.

Принято следующее разделение устройств РЗА между двумя питающими каналами или между двумя секциями шинок ОПТ при наличии на каждом его канале по одной секции шинок $\pm EC$ РЗА.

Для линий 110–220 кВ с одним выключателем на присоединение, оснащенных основными и резервными защитами (ступенчатыми защитами от многофазных и однофазных замыканий на землю), основная защита каждого присоединения должна питаться от одной секции $\pm EC$ РЗА, а резервные – от другой.

Устройства РЗА трансформаторов 110–220/35/6–10 кВ условно разделены на две группы.

К первой группе относятся:

- газовые защиты трансформатора и его устройства РПН;
- максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения от внешних многофазных КЗ на стороне высшего напряжения;
- токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне ВН;
- защита от перегрузки;
- первая группа выходных промежуточных реле.

Ко второй группе относятся:

- дифференциальная токовая защита трансформатора;
- максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения в цепи каждого ответвления к выключателю низшего напряжения трансформатора;
- максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения на стороне среднего напряжения;
- вторая группа выходных промежуточных реле.

Устройства РЗА автотрансформаторов 220/110/6–10 кВ разделены на следующие две группы.

К первой группе относятся:

- дифференциальная токовая защита автотрансформатора;
- дифференциальная токовая защита цепей стороны НН;
- максимальные токовые защиты с комбинированным пуском напряжения от многофазных КЗ на стороне НН;
- защита от перегрузки;
- первая группа выходных промежуточных реле.

Ко второй группе относятся:

- дифференциальная токовая защита ошиновки стороны ВН;
- газовые защиты автотрансформатора, его устройства РПН и линейного регулировочного трансформатора;
- токовая направленная (или ненаправленная) защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальная токовая защита с пуском напряжения от трехфазных КЗ на стороне ВН;
- трехступенчатая токовая направленная (или ненаправленная) защита нулевой последовательности от замыканий на землю на сторонах ВН и СН;
- двухступенчатая дистанционная защита от многофазных КЗ;
- защита от неполнофазного режима на стороне ВН;
- вторая группа выходных промежуточных реле.

При наличии двух комплектов защиты шин 220 кВ их оперативные цепи должны быть подключены к разным каналам ОПТ.

Защиты секций шин 110–220 кВ должны питаться от разных каналов ОПТ.

Первая и вторая группы защит автотрансформаторов должны быть так распределены между двумя каналами ОПТ, чтобы при отказе защиты секции шин 110–220 кВ из-за отсутствия оперативного постоянного тока (потеря одного канала ОПТ) поврежденная секция шин 110–220 кВ была бы отключена резервными защитами автотрансформатора (вторая группа).

Первая группа защит автотрансформатора и защиты присоединений секции шин НН, питающейся от данного АТ, должны питаться от разных каналов ОПТ для резервирования устройств РЗА стороны НН при снятии с них ОПТ.

К каждому каналу ОПТ должны быть подключены основные защиты половины из числа линий, подключенных к каждой секции (системы) шин 110–220 кВ, что позволит сохранить в работе основные защиты у половины линий 110–220 кВ при потере одного канала ОПТ и исключить неселективное отключение этих линий при внешнем КЗ от высокочастотных защит с противоположных концов линий.

Основные (резервные) защиты параллельных линий 110–220 кВ должны питаться от разных каналов ОПТ.

Питание цепей оперативного постоянного тока УРОВ, общего для секции (системы) шин, должно быть организовано от того же канала ОПТ, от которого питается защита шин данной секции (системы) шин. От этого же канала ОПТ должны питаться резервные защиты присоединений данной секции (системы) шин.

10.2. Организация питания цепей управления высоковольтных выключателей

Цепи управления высоковольтных выключателей питаются от шинок \pm ЕС ОПУ через автоматические выключатели без выдержки времени (например, типа ВА19-29).

В случае, когда при одновременном отключении выключателей суммарный ток отключения не превышает 120–140А, достаточно иметь только две секции шинок \pm ЕС ОПУ – по одной на каждом канале ОПТ.

Для подстанций с РУ, имеющими схемы: «Две рабочие и обходная системы шин» или «Одна рабочая, секционированная выключателем и обходная системы шин», питание цепей управления выключателей распределено между каналами ОПТ так, чтобы при совпадении аварийного отключения высоковольтных выключателей присоединений секции (системы) шин с потерей одного из каналов питания ОПТ, половина присоединений поврежденной секции (системы) шин отключалась от ОПТ второго канала питания.

Указанное распределение потребителей постоянного тока по секциям шинок \pm ЕС ОПУ вдвое снижает толчковую нагрузку на каждую секцию ОПТ при КЗ на секции (системе) шин или при работе УРОВ на секции шин при отказе выключателя присоединения к данной секции.

При большом количестве воздушных выключателей на подстанции, на каждом канале ОПТ может быть по две и более секции шинок \pm ЕС ОПУ. При этом не следует учитывать возможность возникновения КЗ одновременно в РУ разных напряжений (например, высшего и среднего напряжений).

Указанный принцип распределения питания цепей управления воздушных выключателей с большими токами отключения (до 66 А у одного выключателя типа ВВБК 220) позволит от каждой секции шинок \pm ЕС ОПУ питать 6-8 воздушных выключателей при толчковом токе отключения только двух выключателей высшего напряжения и трех – среднего напряжения от каждой секции шинок \pm ЕС ОПУ.

На рис. 10.1 приведен пример подключения цепей управления выключателей для схем типовых ОРУ220 и 110 кВ «Одна рабочая, секционированная выключателями и обходная системы шин». Здесь схематично показано распределение питания цепей отключения высоковольтных выключателей от двух секций шинок \pm ЕС ОПУ.

При использовании высоковольтных выключателей с малыми токами потребления (2,5–10 А), достаточно иметь две секции шинок \pm ЕС ОПУ, между которыми должна быть распределена указанная нагрузка даже при максимальном количестве присоединений ОРУ, проектируемых по типовым схемам.

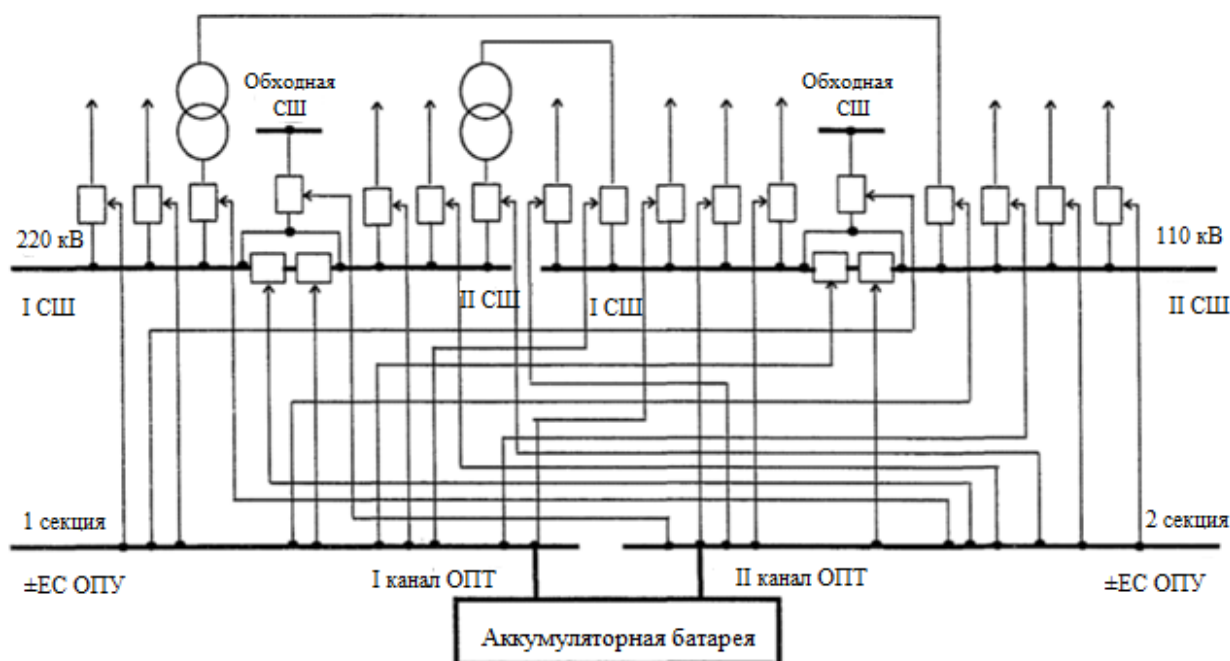


Рис. 10.1. Схема питания цепей управления высоковольтных выключателей в системе оперативного постоянного тока на подстанции

При рассмотрении рис. 10.1 видно, что при КЗ на любой из секций шин 220 или 110 кВ от каждой из секций шинок \pm ЕС ОПУ получают питание не более двух выключателей в ОРУ 220 кВ или трех выключателей 110 кВ. При этом суммарная толчковая нагрузка на каждую из секций шинок \pm ЕС ОПУ не будет превышать $2 \cdot 66 = 132$ А для выключателей типа ВВБК220 и $3 \cdot 36 = 118$ А для выключателей типа ВВБ110.

В случае, когда на ПС имеется ОРУ со схемой «Две рабочие и обходная системы шин» (например, ОРУ 110 кВ на рис. 10.1), при работе дифференциальной защиты шин в режиме нарушенной фиксации присоединений или в ремонтном режиме, когда все присоединения включены на одну систему шин, отключаются все присоединения ОРУ данного напряжения, что вдвое увеличивает толчковую нагрузку на секции шинок \pm ЕС ОПУ. При указанных условиях необходимо либо удвоить количество секций шинок \pm ЕС ОПУ, либо вдвое увеличить сечение кабелей от секций шинок \pm ЕС ОПУ до приводов выключателей рассматриваемого ОРУ.

10.3. Организация питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей

Для питания электромагнитов включения масляных выключателей на щите постоянного тока имеются шинки \pm ЕУ ЩПТ, от которых через АВ среднего уровня защиты и соответствующие кабели питаются шинки \pm ЕУ ОРУ и \pm ЕУ ЗРУ. Масляные выключатели 35–220 кВ, как правило, включаются по одному, а в ЗРУ 6–10 кВ могут одновременно включаться от устройства АВР два секционных выключателя, что должно быть учтено при распределении питания электромагнитов включения между двумя секциями шинок \pm ЕУ ЗРУ. Каждая секция шинок \pm ЕУ ОРУ (ЗРУ) питается от соответствующей секции шинок \pm ЕУ ЩПТ (т. е. от первого или второго канала питания).

Контрольные вопросы

1. Какие защиты отнесены к основным, а какие к резервным при распределении защит между каналами питания и секциями шинок системы ОПТ?
2. Какое принято разделение устройств РЗА между двумя питающими каналами или между двумя секциями шинок ОПТ при наличии на каждом канале ОПТ по одной секции шинок \pm ЕС РЗА?
3. На какие две группы условно разделены устройства РЗА трансформаторов 110–220/35/6–10кВ?

4. На какие две группы условно разделены устройства РЗА автотрансформаторов 220/110/6–10 кВ?

5. Каковы требования к питанию основных (резервных) защит параллельных линий 110–220 кВ?

6. Какое требование предъявляется к распределению между каналами ОПТ питания цепей управления выключателей на подстанциях с РУ, имеющими схемы: «Две рабочие и обходная системы шин» или «Одна рабочая, секционированная выключателем и обходная системы шин»?

7. Что необходимо учесть при распределении питания электромагнитов включения между двумя секциями шинок $\pm EY$ ЗРУ 6–10кВ?

ГЛОССАРИЙ

Аварийный разряд – режим питания электроприемников постоянного тока от аккумуляторной батареи при пропадании напряжения на выходе зарядных устройств (на стороне выпрямленного напряжения).

Аккумулятор закрытого типа – аккумулятор, который герметично закрыт в обычных условиях, но имеет устройство, позволяющее выделяться газу, когда внутреннее давление превышает определенное значение. Обычно доливка электролита в такой аккумулятор невозможна.

Аккумулятор открытого типа – аккумулятор, в котором газы, выделяющиеся в процессе заряда, могут свободно выходить наружу. Доливка электролита в такой аккумулятор возможна.

Безразрывное включение – перевод электроприемников с одного источника питания на другой без их отключения.

Гальваническая связь – наличие одно- или двухполюсной кондуктивной электрической связи между двумя цепями.

Глубина разряда аккумулятора – показатель, характеризующий соотношение его энергии, переданной во внешнюю цепь или поглощенной в процессе саморазряда, и энергии полностью заряженного аккумулятора. Косвенным показателем глубины разряда является величина напряжения между полюсами аккумулятора – плотность электролита.

Ёмкость сети СОПТ относительно земли – суммарная ёмкость полюсов сети СОПТ относительно земли.

Зарядное устройство – преобразователь переменного тока в постоянный ток, обеспечивающий заряд аккумуляторной батареи и электропитание нагрузок СОПТ.

Импульс тока разряда – кратковременное резкое увеличение тока разряда аккумуляторной батареи.

Инъектируемый ток – составляющая тока в цепи СОПТ, обусловленная влиянием источников помех, устройств мониторинга или диагностики.

Кислотостойкая изоляция – изоляция кабеля, стойкая к воздействию электролита и его парам, например, резиновая изоляция.

Коэффициент термокомпенсации – коэффициент, характеризующий связь между напряжением поддерживающего заряда и температурой.

Остаточная емкость аккумулятора – фактическая ёмкость, учитывающая деградацию электродов аккумулятора в процессе эксплуатации.

Перезаряд емкости кабельной сети – процесс заряда ёмкости одного полюса сети за счет разряда ёмкости другого полюса сети относительно земли.

Поддерживающий заряд – заряд аккумулятора небольшим током с целью компенсировать саморазряд и поддерживать его в полностью заряженном состоянии.

Полус сети СОПТ – совокупность проводников сети, имеющих электрическое соединение с положительным (отрицательным) выводом аккумулятора или зарядного устройства.

Пульсация тока – переменная составляющая выпрямленного тока.

Резекция помех – ограничение помех.

Саморазряд – процесс внутренней химической реакции аккумулятора, сопровождающийся снижением его степени заряженности.

Сборка – ряд электрических клемм, объединяющих три или более проводника в общий эквипотенциальный узел.

Секция шин – часть сборных шин распределительного щита, отделенная от другой ее части коммутационным аппаратом

Система оперативного постоянного тока – электроустановка, обеспечивающая питание электроприемников постоянного тока.

Термокомпенсация напряжения заряда – регулирование величины напряжения поддерживающего заряда в зависимости от температуры аккумулятора.

Толчок нагрузки – резкое кратковременное увеличение тока нагрузки

Удельное внутреннее сопротивление аккумулятора – электрическое сопротивление аккумулятора, выраженное в мОм, приведенное к $1\text{А}\cdot\text{ч}$ ёмкости.

Уравнительный заряд – заряд аккумулятора с целью выравнивания напряжения на элементах батареи.

Уровень защиты – количество отключающих защитных аппаратов между источником питания и защищаемым участком радиальной электрической цепи.

Ускоренный заряд – заряд аккумулятора за минимально допустимое по условиям неповреждения время после полного или частичного разряда.

Устройство местной сигнализации системы оперативного постоянного тока (индикации) – устройство, обеспечивающее сигнализацию (индикацию) о неисправности оборудования СОПТ по месту его расположения.

Шкаф распределения оперативного тока – распределительное устройство постоянного тока, устанавливаемое в непосредственной близости от группы электроприемников.

Щит постоянного тока – распределительное устройство постоянного тока, коммутирующее вводы источников питания и кабельные линии групп электроприемников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Электронный ресурс]. – Введ. 2017-08-25. – М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2017. – 135 с. – Режим доступа: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017_.pdf (дата обращения: 10.09.2018).
2. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. ОАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Введ. 2010-03-29. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. – 21 с. – Режим доступа: https://www.fsk-ees.ru/about/management_and_control/test/STO_56947007-29.120.40.041-2010_s_izm_14122012_28012015.pdf (дата обращения: 11.11.2018).
3. СТО РусГидро 02.02.105-2013. Гидроэлектростанции. Системы оперативного постоянного тока. Технические требования, типовые технические решения [Электронный ресурс]. – Введ. 2014-02-06. – М., 2014. – 150 с. – Режим доступа: http://www.rushydro.ru/upload/iblock/c72/091_STO-RusGidro-02.02.105-2013_SOPT-GES.pdf (дата обращения: 22.09.2018).
4. Техническая политика ОАО «МРСК Центра»: утв. приказом ген. дир. ОАО «МРСК Центра» от 27 января 2010 г. № 15 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mrsk-1.ru/docs/tech_politic.pdf (дата обращения: 05.09.2018).
5. Положение о Единой технической политике в электросетевом комплексе ОАО «Россети»: утв. Советом директоров ОАО «Россети» (протокол от 22 февраля 2017 г. № 252) [Электронный документ]. – М., 2017. – 196 с. – Режим доступа: <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (дата обращения: 05.09.2018).
6. ГОСТ ИЕС 60050-151-2014. Международный электротехнический словарь. Часть 151. Электрические и магнитные устройства. – Введ. 2015-10-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
7. ГОСТ Р МЭК 60050-826-2009. Установки электрические. Термины и определения. – Введ. 2009-11-27. – М.: Стандартинформ, 2010. – 27 с.
8. ГОСТ 26881-86. Аккумуляторы свинцовые стационарные. Общие технические условия. – Введ. 1988-01-01. – М.: М.: Изд-во стандартов, 1986. – 32 с.
9. СТО 56947007-29.120.40.262-2018. Руководство по проектированию систем оперативного постоянного тока (СОПТ) ПС ЕНЭС. Типовые проектные решения [Электронный ресурс]. – Введ. 2018-12-18. – М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2018. – 133 с. – Режим доступа: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.40.262-2018.pdf (дата обращения: 23.12.2018).

10. Антонов, Л.Е. Обоснование выбора решения по организации оперативного постоянного тока на примере выпущенных проектов / Л.Е. Антонов // Энергоэксперт. – 2009. – № 2. – С. 44–49.
11. Антонов, Л.Е. Электромагнитные помехи в сети оперативного постоянного тока. Влияние аккумуляторной батареи / Л.Е. Антонов, А.Н. Ворошилов, П.Н. Смирнов // Новости Электротехники. – 2015. – № 2. – С. 40–44.
12. СТО 56947007-29.120.40.216-2016. Методические указания по выбору оборудования СОПТ [Электронный ресурс]. – Введ. 2016-03-18. – М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. – 70 с. – Режим доступа: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.40.216-2016.pdf (дата обращения: 10.09.2018).
13. Схемы и панели постоянного тока для ПС напряжением до 750 кВ: типовой проект. Альбом 1. Методика выбора источников постоянного тока: альбом. – Инв. номер 12982 тм-т1. – Л., 1987.
14. ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. – Введ. 1992-12-19. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 36 с.
15. Жуков, В.В. Экспериментальные исследования дуговых коротких замыканий в системе постоянного тока электростанций и подстанций / В.В. Жуков, М.А. Шиша, Н.Н. Корючина // Электрические станции. – 1992. – № 10. – С. 51–57.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА И ЕЕ ПОТРЕБИТЕЛИ	6
1.1. Возникновение термина «система оперативного постоянного тока»	6
1.2. Область применения систем оперативного постоянного тока	8
1.3. Требования, предъявляемые к системе оперативного постоянного тока.....	8
1.3.1. Требования, предъявляемые к аккумуляторным батареям.....	10
1.3.2. Требования, предъявляемые к щитам постоянного тока	11
1.4. Режимы работы системы оперативного постоянного тока	12
1.4.1. Нормальный режим работы системы оперативного постоянного тока.....	12
1.4.2. Расчетные аварийные режимы работы системы оперативного постоянного тока	12
1.4.3. Аварийный режим работы системы оперативного постоянного тока.....	14
1.5. Классификация схем питания оперативным током.....	15
1.6. Состав потребителей оперативного тока, их классификация с точки зрения требований надежности	21
1.7. Принципы построения РЗА, оказывающие максимальное влияние на конфигурацию системы оперативного постоянного тока.....	23
1.8. Пример структурной схемы системы оперативного постоянного тока с одной аккумуляторной батареей	28
Глава 2. РАСЧЕТЫ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ	30
2.1. Выбор параметров аккумуляторной батареи	30
2.1.1. Расчет максимального толчкового тока.....	34
2.1.2. Расчет минимального напряжения, приходящегося на один элемент аккумуляторной батареи.....	34
2.2. Определение номера аккумуляторной батареи.....	37
2.3. Схемы и режимы работы щита постоянного тока	41

Глава 3. УРОВНИ ЗАЩИТЫ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА	43
3.1. Выбор схемы оперативного постоянного тока на подстанциях с одной аккумуляторной батареей.....	46
Глава 4. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА	49
4.1. Расчет токов при коротком замыкании на верхнем уровне защиты (на главных шинках щита постоянного тока)	51
4.2. Расчет токов при коротком замыкании на среднем уровне защиты....	51
4.3. Расчет токов при коротком замыкании на нижнем уровне защиты	52
Глава 5. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЖНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ	53
5.1. Выбор автоматических выключателей для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей.....	54
Глава 6. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ	56
6.1. Требования к автоматическим выключателям.....	56
6.2. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА на щите релейной защиты	56
6.3. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания цепей управления выключателей	57
6.4. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей	59
6.5. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок питания устройств РЗА и цепей управления выключателей 6–35 кВ в ЗРУ	59
Глава 7. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ЗАЩИТЫ	61
7.1. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок ±ЕС щита постоянного тока	61
7.2. Выбор автоматических выключателей для защиты шинок ±ЕУ щита постоянного тока	62
Глава 8. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ КАБЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	64
8.1. Выбор сечения кабеля от аккумуляторной батареи до щита постоянного тока	64
8.2. Выбор сечения кабелей от шинок +ЕС щита постоянного тока до шинок среднего уровня защиты	65
8.3. Выбор сечения кабеля от шинок среднего уровня защиты до индивидуальных потребителей	67

Глава 9. ПРОВЕРКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА	70
9.1. Проверка чувствительности автоматических выключателей верхнего уровня защиты	70
9.2. Проверка чувствительности автоматических выключателей среднего уровня защиты	70
9.3. Проверка чувствительности автоматических выключателей нижнего уровня защиты	71
Глава 10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОДСТАНЦИИ	72
10.1. Организация питания цепей оперативного постоянного тока устройств РЗА.....	73
10.2. Организация питания цепей управления высоковольтных выключателей.....	74
10.3. Организация питания цепей электромагнитов включения масляных выключателей	76
ГЛОССАРИЙ.....	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	80

Учебное издание

СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Учебное пособие

**Составители: Ярыш Равия Фоатовна,
Абдуллазянов Рустем Эдвардович**

Кафедра релейной защиты и автоматизации
электроэнергетических систем КГЭУ

Редактор *М.С. Беркутова*
Корректор *И.В. Краснова*
Компьютерная верстка *И.В. Красновой*

Подписано в печать 25.10.2019.
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 4,94. Уч.-изд. л. 2,99. Заказ № 257/эл

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51