

Организация систем оперативного постоянного тока (СОПТ)

В последние десятилетия наблюдаются значительные изменения в организации электропитания релейных защит и устройств автоматики энергосистем. Факторами, обуславливающими пересмотр схмотехнических решений и применение новых видов электрооборудования систем оперативного тока (СОПТ), являются: замена электромеханических реле в устройствах релейной защиты, электроавтоматики, противоаварийной автоматики и оперативных блокировок, на микропроцессорные устройства, снижение мощности и выравнивание графиков нагрузки электроприемников; появление инновационных источников постоянного тока, зарядных устройств, новых типов коммутационных и отключающих защитных аппаратов, новых возможностей мониторинга режимов работы и диагностики технического состояния оборудования СОПТ, изменения структуры и функций эксплуатационного и ремонтного персонала.

В Российской Федерации впервые разработан и с 2010 года введен в действие стандарт с техническими требованиями к СОПТ [1].

Опыт применения нового стандарта в Федеральной сетевой компании единой электроэнергетической сети позволил апробировать новые, ранее не использовавшиеся в России, технические решения по СОПТ:

- Отказ от регулирования напряжения в сети постоянного тока с помощью дополнительных элементов аккумуляторной батареи;
- Переход на модульные зарядные устройства с динамическими характеристиками, позволяющими обеспечить локализацию электрически удаленных коротких замыканий;
- Использование трехуровневых систем защиты от сверхтоков;
- Обеспечение термической стойкости и невозгораемости кабелей, схмотехнические и компоновочные принципы резервирования цепей и устройств СОПТ;
- Инновационные решения по интеграции СОПТ в АСУ подстанции и др.

В 2012 году стандарт был обновлен с учетом опыта применения его в проектировании и в эксплуатации магистральных подстанций.

В 2008 — 2012 годах были проведены массовые обследования СОПТ на действующих подстанциях. Собраны, систематизированы и проанализированы статистические данные по техническому состоянию аккумуляторных батарей, зарядных устройств и по работоспособности автоматических выключателей, степени деградации контактных соединений. Разработаны рекомендации по периодичности и содержанию технических обследований СОПТ в процессе эксплуатации подстанций. Разработаны специальные средства для измерения параметров и диагностики низковольтного оборудования, включая аккумуляторы.

В докладе представлены научные основы эксплуатации и проектирования СОПТ, разработанные и апробированные в России за последнее десятилетие.

ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие положения

Техническое оснащение систем оперативного постоянного тока (СОПТ) на подстанциях и электростанциях существенно изменилось в последние годы [2]. Прежде всего, изменились характеристики электроприемников.

Релейные защиты, электроавтоматика, системы мониторинга и автоматизированного управления на подстанциях используют в основном не электромеханические реле, а микропроцессорные устройства.

Существенно изменились и характеристики приводов включения высоковольтных выключателей. Вместо энергоемких электромагнитных приводов постоянного тока высоковольтные выключатели оснащаются пружинными приводами с заводом пружин электродвигателями переменного тока.

На смену светильникам аварийного освещения с лампами накаливания приходят энергосберегающие светодиодные светильники.

На подстанциях, спроектированных и построенных в конце прошлого века, ток постоянной нагрузки достигал 30 и более ампер, ток кратковременной нагрузки (приводы включения высоковольтных выключателей) мог достигать 1500 А.

На современных подстанциях ток постоянной нагрузки снизился в 2 — 3 раза, а ток кратковременной нагрузки не превышает 70 — 100 А и определяется, в основном, электроприводами включения выключателей среднего напряжения, которые, пока еще, находят применение на подстанциях. В ближайшей перспективе приводы и этих выключателей будут вытеснены пружинными приводами и ток кратковременной нагрузки СОПТ будет еще более низким.

Электронные компоненты, входящие в состав многих электроприемников постоянного тока, имеют более жесткие требования по электромагнитной совместимости [3], по качеству электроэнергии на их входных клеммах.

Наиболее ярким примером, в этом отношении, являются дискретные входы микропроцессорных устройств релейной защиты [4]. Энергия, необходимая для срабатывания микропроцессорных устройств на четыре порядка меньше, чем у электромеханических реле.

Меняются на электростанциях и подстанциях и условия эксплуатации, сокращается численность персонала, уменьшаются частота и объем работ по техническому обслуживанию оборудования.

В значительно большей степени, чем раньше, на подстанциях используются дистанционные методы контроля состояния электрооборудования и управления им. Уменьшение количества дежурного персонала на подстанциях и снижение квалификационных требований к нему компенсируется использованием автоматизированных систем управления электрооборудованием.

В СОПТ подстанций используются зарядные устройства с программируемыми режимами заряда, автоматизированные системы контроля изоляции и поиска «земли», интегрированные в АСУ подстанции комплекты устройств мониторинга состояния аккумуляторных батарей, положения и состояния отключающих защитных аппаратов, устройства регистрации аварийных процессов в СОПТ.

Совокупность вышеуказанных причин обуславливает необходимость коренного пересмотра требований к схемным решениям СОПТ, рис. 1, к выбору оборудования СОПТ и к режимам работы СОПТ.

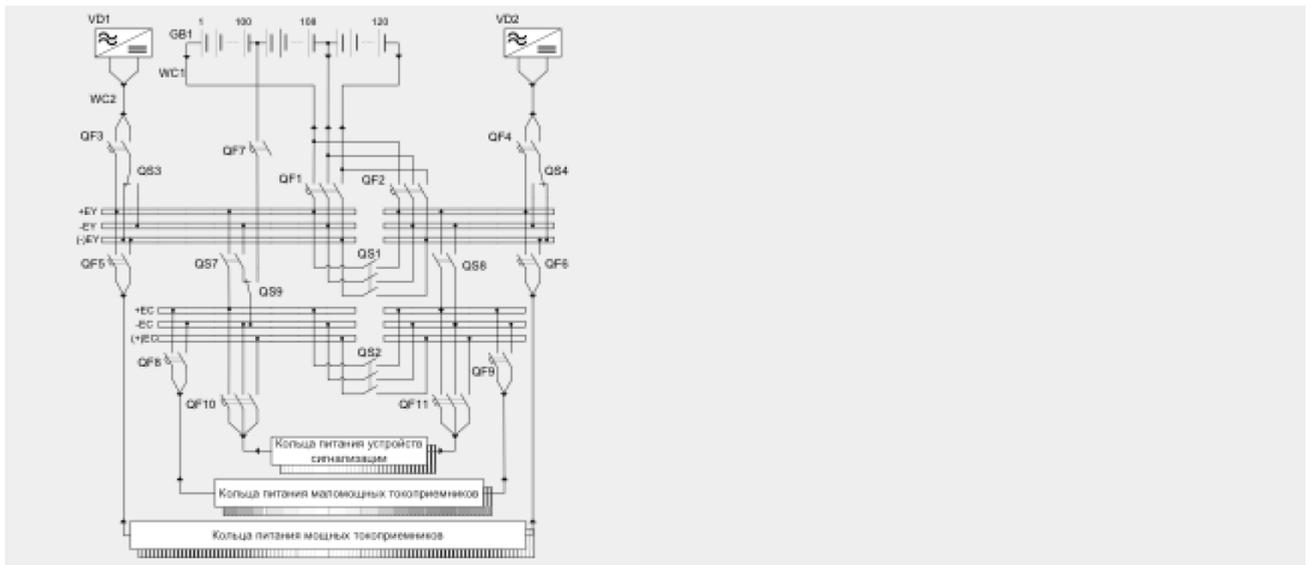


Рис. 1: Типовая схема СОПТ, соответствующая нормативным документам 1987 года

Стандартизация технических требований к схемным решениям СОПТ

В марте 2010 года введен в действие стандарт ОАО «ФСК ЕЭС» Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования [1], разработанные Московским энергетическим институтом. Таких стандартов, регламентирующих весь комплекс вопросов организации СОПТ, ранее в России не было.

Стандарт предлагает, на подстанциях Федеральной сетевой компании, использовать СОПТ напряжением исключительно 220 В. Это напряжение наилучшим образом соответствует применяющимся в России проектным решениям по компоновке основного электрооборудования, с сигнальными кабелями длиной до 800 м и более. Кроме того, при напряжении 220В легко разрушается окисная пленка, образующаяся в процессе эксплуатации на сухих контактах, что способствует повышению надежности работы релейной защиты и автоматики.

Одним из ключевых нововведений, в области схемных решений СОПТ, является подключение наиболее ответственных электроприемников, в частности устройств релейной защиты, подключаемых к шинам управления ($\pm E C$), к сборке связанной с аккумуляторной батареей в обход шин приводов включения выключателей ($\pm E Y$), рис. 2.

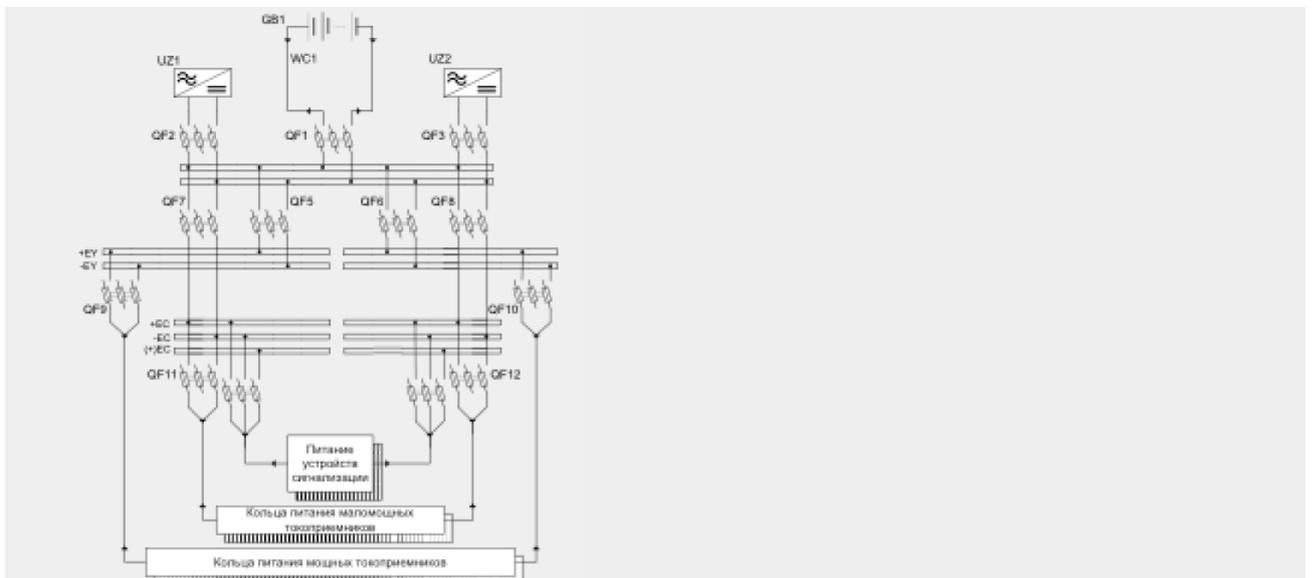


Рис. 2: Рекомендуемый вариант схемы СОПТ с отдельными цепями питания групп слаботочных и сильноточных электроприемников

При такой схеме, отключение сверхтоков, возникающих в цепях приводов включения высоковольтных выключателей, не приводит к обесточиванию устройств релейной защиты, что существенно повышает надежность работы подстанции.

В новом стандарте содержится рекомендация об исключении из схем щитов постоянного тока секционных рубильников и автоматических выключателей. Отказ этих элементов может вывести из строя сразу две секции шин и обесточить ответственные потребители оперативного постоянного тока.

Другим схемотехническим нововведением стало размещение плавких предохранителей цепи ввода аккумуляторной батареи не в щите постоянного тока, а в отдельной распределительной коробке на наружной стене аккумуляторного помещения, рис. 3.

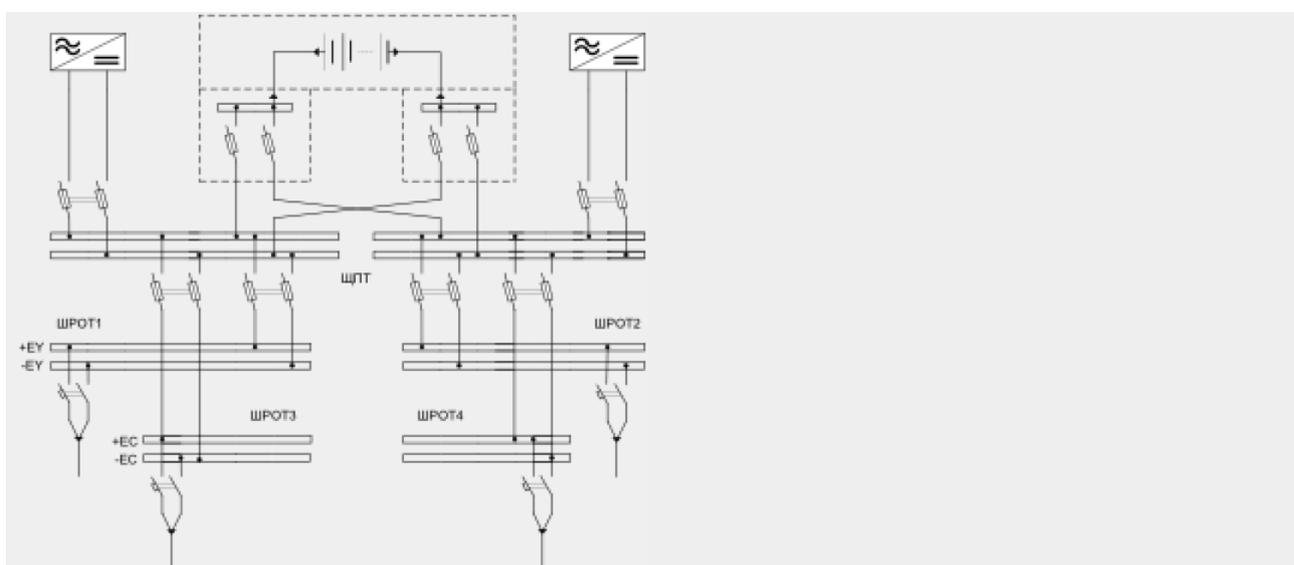


Рис. 3: Вариант схемы СОПТ с отдельными цепями подключения шин щита постоянного тока к аккумуляторной батарее

Это позволило защитить от сверхтоков, ранее не защищенный, участок цепи батареи. Часть цепи аккумуляторной батареи, находящаяся в аккумуляторном помещении, остается не защищенной, но конструктивное исполнение межэлементных электрических соединений батареи исключает возможность коротких замыканий в этой зоне и отсутствие отключающих защитных аппаратов со стороны аккумуляторов является не критичным фактором.

Уменьшение токов кратковременной нагрузки на новых подстанциях позволило отказаться от дополнительных элементов в аккумуляторной батарее, необходимых ранее для обеспечения срабатывания соленоидов включения масляных баковых выключателей.

Отпала необходимость и в отводе от 100-ого элемента батареи, предусматривавшаяся ранее для поддержания в допустимых пределах напряжения на электроприемниках, при уравнивающих зарядах. Соответствие отклонений напряжения нормативным требованиям обеспечивается либо увеличением емкости аккумуляторов, либо использованием диодных секций, включаемых в цепь питания электроприемников и шунтируемых по мере необходимости управляемыми ключами, например, контакторами.

Теперь все аккумуляторы батареи имеют идентичные условия заряда и разряда, что способствует продлению срока их службы.

Защита от сверхтоков

Вместо автоматических выключателей, для защиты от сверхтоков в современных СОПТ, новый стандарт рекомендует использовать комбинированные аппараты объединяющие функции предохранителя, выключателя и разъединителя.

Ранее в СОПТ, при использовании автоматических выключателей, во многих случаях, не удавалось обеспечить дальнейшее резервирование и надежную защиту от дуговых коротких замыканий. Кроме того, провалы напряжения на шинах щита постоянного тока, при коротких замыканиях, могли иметь продолжительность, неприемлемую по условиям электромагнитной совместимости. Использование предохранителей, с независимым срабатыванием плавких вставок в полюсах защищаемой цепи, позволяет отказаться от дальнего резервирования отключающих защитных аппаратов и обеспечить надежную локализацию коротких замыканий с помощью резервирующих друг друга плавких вставок одного предохранителя.

Плавкий предохранитель, с плавкими вставками в двух полюсах, можно рассматривать и как основной отключающий защитный аппарат и как аппарат, выполняющий функции ближнего резервирования защиты от сверхтоков.

Существенным преимуществом плавких предохранителей, по отношению к автоматическим выключателям, является уменьшение объема и частоты технического обслуживания. Даже современные, высокотехнологичные автоматические выключатели нуждаются, не реже 1 раза в год, в опробовании для разрушения окисной пленки на поверхности контактов и устранения возможного закоксовывания механизмов расцепителей. Техническое обслуживание плавких предохранителей сводится к замене перегоревших плавких вставок и плавких вставок, подвергавшихся воздействию сверхтока.

Режим заземления СОПТ и ложные срабатывания релейной защиты

Важной проблемой СОПТ является режим заземления сети постоянного тока. На большинстве действующих СОПТ электростанций и подстанций используется сеть с изолированными от земли полюсами.

Типовое устройство контроля изоляции полюсов сети относительно земли, в таких СОПТ, содержит цепь, с микроамперметром и резистором, сопротивлением 7 — 20 кОм, соединяющую полюса сети с землей. Большинство современных устройств контроля изоляции имеют гораздо более высокоомные цепи, связывающие их с землей. С одной стороны, увеличение сопротивлений между полюсами и землей благоприятно влияет на защиту СОПТ от помех, обусловленных однофазными короткими замыканиями в первичной сети подстанций и работой молниеприемников. В обоих случаях возникают большие динамические перепады напряжения между элементами контура заземления подстанции.

Через распределенную емкость сети постоянного тока и гальванические связи с относительно малым сопротивлением между землей и полюсами сети такие и подобные им помехи могут приводить к отказам микропроцессорных устройств, в частности, к ложным срабатываниям релейной защиты. Наоборот, при больших сопротивлениях полюсов относительно земли, трудно контролировать симметрию напряжений полюсов относительно земли. Распределенная емкость полюсов сети относительно земли может заряжаться до напряжений достигающих напряжение срабатывания релейных защит и, при появлении в сети случайных замыканий на землю, также вызывать ложное срабатывание релейных защит.

Производители микропроцессорных устройств релейной защиты предпринимают меры по повышению их помехоустойчивости, но эффективного решения пока не найдено, помехозащищенность многих устройств не соответствует реальным условиям эксплуатации. Относительно более высокой устойчивостью к помехам обладают современные терминалы релейной защиты с униполярными дискретными входами, с достаточно высоким напряжением гарантированного не срабатывания и задержкой переключения дискретных входов на 5 мс и более. Для «гашения» энергии помехи создается специальный режективный импульс входного тока, дополнительно обеспечивающий разрушение окисных пленок на поверхности сухих контактов, рис. 4.

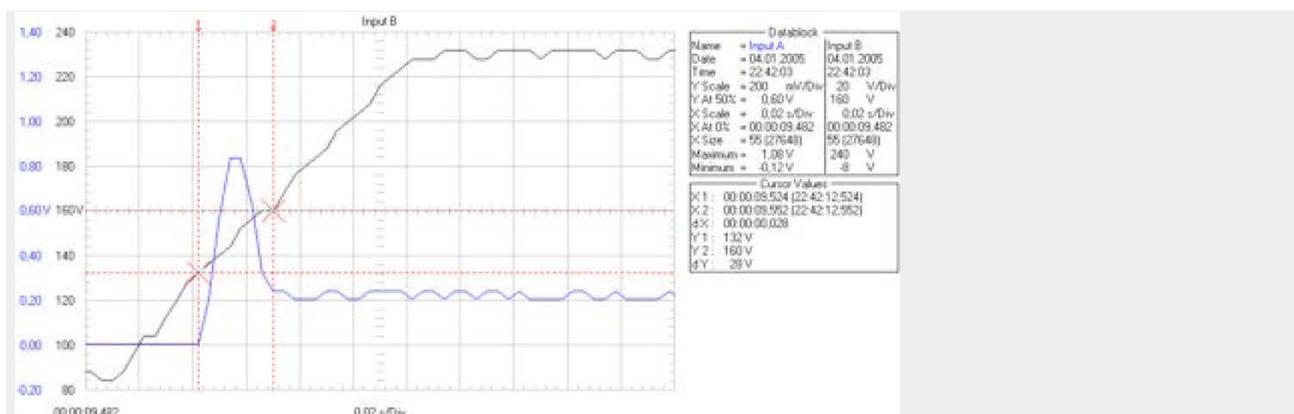


Рис. 4: Входные напряжение и ток дискретного входа микропроцессорного терминала релейной защиты

На рис. 5 изображена схема, иллюстрирующая процессы перезаряда емкостей сети относительно земли, приводящих к ложным срабатываниям релейных защит.

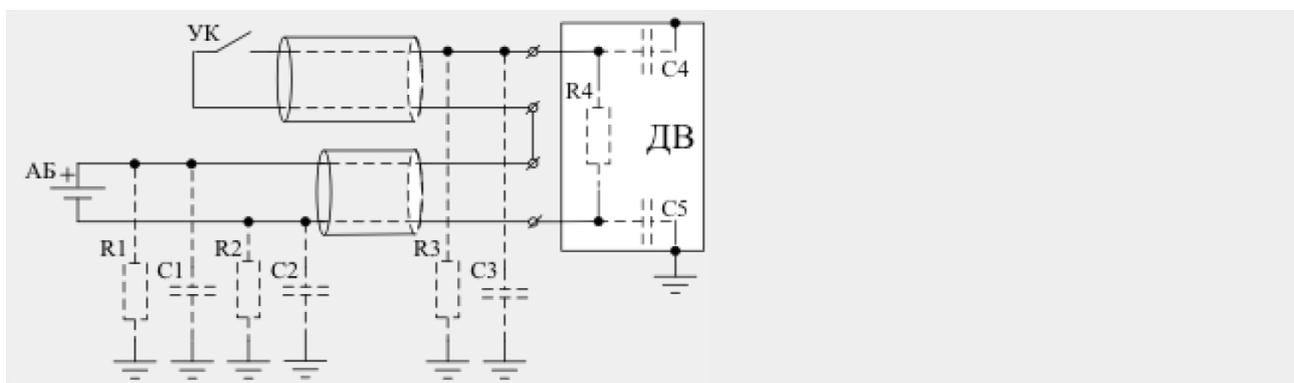


Рис. 5: Схема сети СОПТ с подключенным дискретным входом (ДВ):

АБ – аккумуляторная батарея;

УК – управляющий контакт;

ДВ – дискретный вход;

R1 – R3, C1 – C3 – распределенные сопротивления изоляции и ёмкости на землю участков сети СОПТ;

R4 – внутреннее сопротивление входной цепи ДВ;

C4 и C5 – конденсаторы ДВ.

Самыми опасными являются замыкания на участке между УК и ДВ.

На основе анализа данных, полученных расчетным и экспериментальным путем, были разработаны рекомендации по предотвращению неправильной работы релейных защит, табл. 1.

Таблица 1

Требования к параметрам дискретных входов микропроцессорных релейных защит

Наименование параметра	Нормативное значение	Минимально допустимое значение	Максимально допустимое значение
Общие требования:			
Полярность ДВ	униполярный		
Внутреннее сопротивление входной цепи в дежурном режиме, кОм	40	—	60
Емкость внутренних цепей относительно корпуса, нФ	—	—	2,2
Параметры импульса режекции:			
Количество электричества импульса режекции, мкКл	200	200	—
Напряжение запуска импульса режекции*, В	143	143	154
Напряжение выключения импульса режекции*, В	—	—	143
Параметры срабатывания дискретного входа:			
Напряжение срабатывания ДВ, В	170	158	170
Продолжительность задержки срабатывания ДВ, мс	5	0	20
Напряжение возврата ДВ в исходное состояние, В	154	132	154

* Для дискретных входов с задержкой срабатывания менее 5 мс.

Предотвращение ложной работы релейных защит обеспечивается, при напряжениях полюсов сети СОПТ в пределах, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые разности напряжений полюсов СОПТ относительно земли

При суммарной ёмкости на землю полюсов СОПТ, мкФ	Допустимая разность напряжений, В,
--	------------------------------------

	при сопротивлении ДВ и задержке срабатывания									
	40 кОм					60 кОм				
	0мс	2мс	5мс	10мс	20мс	0мс	2мс	5мс	10мс	20мс
2	65	67	123	176	219	65	65	114	160	204
4	65	65	82	108	144	65	65	77	102	130
6	65	65	70	85	108	65	65	68	82	99
8	65	65	65	75	93	65	65	65	72	85
10 и более	65	65	65	70	82	65	65	65	65	77

Зарядные устройства

Зарядные устройства (ЗУ) в СОПТ подстанций являются основным источником постоянного тока. К наиболее современной разновидности ЗУ, относятся полупроводниковые преобразователи, осуществляющие тройное преобразование рода тока: сначала переменный ток выпрямляется, затем полученный постоянный ток преобразуется в переменный ток высокой частоты и, наконец, переменный ток снова выпрямляется.

Доля высокочастотных, или, как их часто называют, импульсных ЗУ (из-за наличия у них регуляторов, использующих принцип широтно-импульсной модуляции) растет.

Классические тиристорные ЗУ практически исчерпали ресурсы улучшения своих характеристик, они уступают импульсным ЗУ по многим параметрам. Надежность импульсных ЗУ устройств растет, некоторые производители таких ЗУ декларируют наработку на отказ — 150 тысяч часов.

Стоимость импульсных ЗУ снижается и уже сейчас она сопоставима со стоимостью тиристорных ЗУ. В ближайшие годы можно ожидать, что большинство электросетевых компаний для подстанций нового строительства и при комплексной реконструкции будет предпочитать импульсные ЗУ.

Важной характеристикой ЗУ является степень сглаживания пульсаций тока поддерживающего заряда. В соответствии с рекомендациями ассоциации производителей аккумуляторов ЕВРОБАТ, эти пульсации не должны превышать 5 А на 100 А·ч емкости.

Максимально допустимые пульсации напряжения на аккумуляторах зависят от их внутреннего сопротивления. Чем меньше внутреннее сопротивление аккумулятора, тем меньше должны быть пульсации напряжения. Удельное внутреннее сопротивление аккумуляторов, в зависимости от типа и технологии их изготовления находится в диапазоне от 40 до 600 мОм·А·ч. Следовательно, для аккумуляторов закрытых типов, например, изготовленных по технологии AGM, пульсации напряжения ЗУ не должны превышать 0,1%, а для аккумуляторов по технологии GroE – 0,25%.

Часто указываемое, в качестве нормированного значения пульсация напряжения 1% приемлемо лишь для некоторых типов аккумуляторов, изготовленных по технологии OPzS. Превышение допустимых значений пульсаций тока в режиме поддерживающего заряда приводит к снижению срока службы АБ.

Современные ЗУ должны обеспечивать ограничение тока на начальной стадии заряда разряженной АБ. Начальный ток заряда полностью разряженной батареи должен находиться в диапазоне $(0,1-0,3) \cdot C_{10}$, где C_{10} – емкость 10 часового разряда АБ.

Необходимость еще более значительного принудительного ограничения тока заряда возникает при выводе АБ из режимов глубокого разряда или при восстановлении пассивированных (засульфатированных) аккумуляторов после длительного хранения без подзаряда.

В этих случаях желательно ограничить ток заряда на уровне $(0,01-0,03) \cdot C_{10}$. Если ЗУ не позволяет реализовать такой режим, то АБ можно потерять окончательно, а подстанция может остаться без опертока.

Аккумуляторные батареи для современных СОПТ

Аккумуляторные батареи (АБ) в СОПТ подстанций являются резервным источником постоянного тока и предназначены для питания электроприемников постоянного тока при отсутствии питания от зарядного устройства и, при необходимости, для покрытия импульсов тока нагрузки, превышающих возможности зарядного устройства.

В большинстве стран, включая Россию, на электростанциях и подстанциях преимущественно используют стационарные свинцово-кислотные аккумуляторы [7, 8].

Наилучшим образом условиям применения в СОПТ современных электростанций и подстанций отвечают аккумуляторы с поверхностными электродами, изготовленными по технологии GroE.

У АБ OPzS в 2 — 3 раза меньше срок службы, чем у GroE. Если при выборе АБ учесть затраты на замену АБ, учесть сложность работ по замене АБ на действующей подстанции, то окажется выгодным приобретать более дорогую АБ GroE с нормативным сроком службы 25 лет.

АБ с гелевым электролитом и с адсорбированным электролитом имеют относительно низкую надежность и риск теплового разгона. Тепловой разгон герметизированных аккумуляторов возникает спонтанно, в процессе поддерживающего заряда. Если зарядные устройства во время не отключить, то может возникнуть пожар.

Методика расчета коротких замыканий в СОПТ

Отраслевые методические указания по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций 1983 года (МУ 34-70-035-83) и дополнения 1987 года базируются на упрощенной модели коротких замыканий (КЗ).

Устаревшая отраслевая методика не учитывает ряд факторов, значительно влияющих на ток КЗ [8,9]. К сожалению, несмотря на введение в действие с 01.07.1992 года стандарта ГОСТ 29176-91 «Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока», основанного на современных представлениях о коротких замыканиях, отраслевая методика расчета КЗ и выбора отключающих защитных аппаратов для СОПТ не была пересмотрена и, формально, действует до сих пор.

Применение отраслевой методики приводит к завышению расчетных значений токов короткого замыкания и, как следствие, к ошибкам в выборе параметров расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей.

В отраслевых методических указаниях расчет КЗ основан на предположении, что КЗ являются металлическими, т.е. на предположении, что, при повреждении изоляции, соединение проводников тока происходит с пренебрежимо малым переходным сопротивлением.

В действительности, даже если КЗ вызвано соприкосновением металлических проводников, оно в процессе нарастания тока, еще до достижения им максимального значения, становится дуговым, рис. 6.

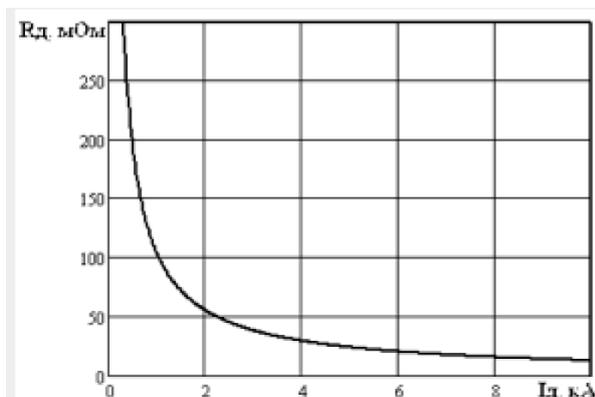


Рис. 6: Сопротивление электрической дуги постоянного тока

Кроме сопротивления электрической дуги на ток КЗ существенное влияние оказывает увеличение сопротивления проводников, обусловленное увеличением их температуры в процессе КЗ.

Старая методика расчета предусматривает учет кабелей на основе удельных сопротивлений, соответствующих наибольшей рабочей температуре изоляции.

Расчет КЗ в СОПТ из-за наличия элементов с нелинейными и параметрическими характеристиками является сложным и трудоемким. В настоящее время для расчета КЗ многие проектные организации используют компьютерную программу GuDCsets, разработанную на кафедре «Электрические станции» МЭИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СОПТ

Для обеспечения эксплуатационной надежности подстанций предусмотрены регулярные проверки состояния и работоспособности СОПТ:

- 1) Производится визуальный осмотр элементов СОПТ, проверяется соответствие схемам типов и длин кабелей, типов, номинальных токов и уставок отключающих защитных аппаратов.
- 2) Проверяется аккумуляторная батарея: производится внешний осмотр; измеряется двухимпульсным методом внутреннее сопротивление, для оценки остаточной ёмкости; измеряются напряжения на каждом из аккумуляторов батареи; измеряются плотности и температуры электролита в каждом аккумуляторе; измеряется падение напряжения при толковых токах.
- 3) Проверяется работоспособность зарядных устройств: измеряются ток и напряжение в выходных цепях при нормальном режиме работы; проверяется взаимное резервирование зарядных устройств; измеряются пульсации тока в режиме поддерживающего заряда; проверяется стабильность напряжения поддерживающего заряда; проверяется правильность

установленного напряжения заряда; проверяются пределы и плавность регулирования выходного напряжения в автономном режиме.

4) Проверяется работоспособность устройств контроля изоляции и поиска «земли»: проверяются, заявленные в техническом паспорте устройства, параметры срабатывания сигнализации при снижении сопротивления изоляции каждого из полюсов и при симметричном снижении сопротивления изоляции двух полюсов до критического уровня; проверяется соответствие реально измеряемых сопротивлений диапазону сопротивлений изоляции, заявленным в технической документации производителя; проверяется способность определять присоединения с пониженным сопротивлением изоляции и замеряется время измерения сопротивлений изоляции.

5) С помощью компьютерной программы проводится расчет токов короткого замыкания, а для подтверждения правильности исходных данных выборочно проводятся измерения реальных токов короткого замыкания. Результаты расчетов используются для проверки чувствительности и отключающей способности защитных аппаратов, а также для проверки термической стойкости и невозгораемости кабельных линий СОПТ. Строится и анализируется карта селективности отключающих защитных аппаратов.

6) На основе сравнения расчётных значений металлических токов КЗ и измеренных токов оценивается состояние разборных и ръемных контактных соединений в основных цепях СОПТ.

7) Экспериментальным путем проверяется работоспособность автоматических выключателей и измеряется время срабатывания электромагнитных расцепителей.

8) Расчетно-экспериментальным способом определяются уровни электромагнитных помех в сети СОПТ, проверяется электромагнитная совместимость:

- по провалам и прерываниям напряжения электропитания;
- по пульсациям напряжения постоянного тока;
- по кондуктивным помехам;
- по микросекундным и наносекундным импульсным помехам;
- по колебательным затухающим помехам.

9) Измеряется ёмкость полюсов сети СОПТ на «землю».

При проведении натурных измерений применяются как стандартные средства измерений (осциллографы, токоизмерительные клещи, вольтметры и т.п.), так и специально разработанные устройства: устройство с электронным ключом, позволяющее на несколько миллисекунд подключать нагрузочный резистор к контрольной точке сети; транзисторное коммутационное устройство, формирующее двухступенчатый импульс тока, длительностью до 40 мс; генераторы, имитирующие импульсные помехи.

По разработанной методике было проведено обследование более 200 СОПТ электростанций и подстанций, табл. 3.

Таблица 3

Основные статистические данные, полученные в результате обследования СОПТ

Объект контроля	Характерные дефекты	Процент СОПТ, на которых
-----------------	---------------------	--------------------------

		обнаружены дефекты
Исполнительная схема СОПТ	Отсутствие секционирования в цепях ГЩУ, РЩ и РУ.	90
Аккумуляторные батареи	Емкость АБ менее 70%.Перезаряженные и «отстающие» элементы.	15 29
Защита от сверхтоков.	Неисправны автоматические выключатели.	26
Селективность защиты от сверхтоков	Использование в качестве аппаратов 1-ой и 2-ой ступеней защиты автоматических выключателей с одинаковым временем срабатывания в диапазоне токов КЗ; использование в качестве аппаратов защиты 2-ой и 3-ей ступеней защиты плавких предохранителей с близкими номинальными значениями токов; использование в одной цепи в качестве аппаратов 2-ой и 3-ей (3-ей и 4-ой) ступеней защиты разнотипных аппаратов.	95
Термическая стойкость кабелей	Использование проводников малого сечения и нечувствительность основной защиты.	40
Невозгораемость кабелей	Использования проводников малого сечения и большое время срабатывания автоматических выключателей; неправильный выбор плавких предохранителей.	58
Зарядные устройства	Резервные устройства не запустились и не приняли на себя нагрузку.	5
Контактные соединения	Повышенные переходные сопротивления.	94
Электромагнитная совместимость	Высокий уровень электромагнитных помех и пульсаций.	98

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СОПТ электростанций и подстанций в России уделяется недостаточное внимание со стороны генерирующих и сетевых компаний.

Медленно обновляется нормативная база, используемая при проектировании и эксплуатации СОПТ. Ощущается дефицит технической литературы по тематике СОПТ, что тормозит технический прогресс в области СОПТ, сдерживает формирование спроса на инновационные технические решения и современное электрооборудование для СОПТ.

Опыт российских специалистов, накопленный в процессе разработки и промышленной апробации новых нормативных документов по СОПТ мог бы быть использованным для совершенствования документов международной электротехнической комиссии.