ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ЭНЕРГЕТИКИ
Санкт-Петербург

А. А. Лапидус
С. Н. Соловьева

ПРОИЗВОДСТВО ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ЭНЕРГЕТИКИ
Санкт-Петербург

А. А. Лапидус
С. Н. Соловьева

ПРОИЗВОДСТВО ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2023

УДК 621.311.1
ББК 31.27-082
Л24

Авторы:
Кандидат технических наук, доцент СПбПУ *А.А. Лапидус*
Кандидат технических наук, старший преподаватель СПбПУ *С.Н. Соловьева*

Одобрено педагогическим советом Негосударственного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования "Центр подготовки кадров энергетики”

Лапидус А. А., Соловьева С.Н. Производство оперативных переключений в схемах электростанций и подстанций. Учебное пособие. – СПб., издание НОУЧ ДПО ЦПКЭ, 2023. – 76 с.

Рассматриваются правила оперативных переключений в электроустановках электростанций и подстанций. Раскрываются причины установленного порядка операций коммутационными аппаратами. Освещены особенности вывода в ремонт элементов электрической схемы для распределительных устройств различного типа.

Учебное пособие предназначено для электротехнического персонала электростанций и подстанций.

© НОУЧ ДПО ЦПКЭ, 2023

Оглавление

Список условных обозначений 5

Введение.....6

1. Режимы заземления нейтрали 7

1.1. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением до 1 кВ.....7

1.2. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением 6-35 кВ 9

1.3. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением 110 кВ и выше 14

2. Техника операций с разъединителями 16

2.1. Общие положения 16

2.2. Допустимые операции с разъединителями 17

2.3. Особенности включения и отключения разъединителей 19

3. Очередность операций разъединителями и выключателями 20

3.1. Очередность операций разъединителями по фазам 20

3.2. Очередность операций разъединителями при коммутациях в схемах с одним выключателем на присоединение.....22

3.3. Очередность операций при коммутациях трансформаторов 25

4. Вывод в ремонт выключателей 29

4.1. Вывод в ремонт выключателя в схемах с одним выключателем на присоединение 29

4.2. Вывод в ремонт выключателя в схемах с одним выключателем на присоединение и с двойной сборной шиной 30

4.3. Вывод в ремонт выключателя в схемах с обходной шиной.....32

4.4. Вывод в ремонт выключателя в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3.....36

4.5. Вывод в ремонт выключателя в схеме мостика с ремонтной перемычкой.....37

5. Вывод в ремонт сборных шин.....38

5.1. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с одной сборной шиной 39

5.2. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с двумя сборными шинами и с одним выключателем на присоединение 39

5.3. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3 45

6. Вывод в ремонт присоединений, примыкающих к распределительным устройствам 47

6.1. Вывод в ремонт присоединений в схемах с одним выключателем на присоединение 48

6.2. Вывод в ремонт присоединений в схемах с коммутацией присоединения двумя выключателями 50

6.3. Вывод в ремонт присоединений в схемах трансформаторы-шины 54

6.4. Особенность вывода в ремонт присоединений в случае опасности возникновения феррорезонанса 55

7. Оперативная блокировка 59

7.1. Механическая непосредственная блокировка 60

7.2. Механическая замковая блокировка 63

7.3. Электромагнитная блокировка 66

7.4. Электрическая блокировка 74

Заключение 75

Список литературы 75

Список условных обозначений

АТ – автотрансформатор;
ДГР – дугогасящий реактор;
ЗН – заземляющий нож;
КЗ – короткое замыкание;
КРУ – комплектное распределительное устройство;
ОЗЗ – однофазное замыкание на землю;
ОРУ – открытое распределительное устройство;
ОВ – обходной выключатель;
ОСШ – обходная система шин;
ПУЭ – Правила устройства электроустановок;
РЗ – релейная защита;
РПН – регулирование напряжения под нагрузкой;
РУ – распределительное устройство;
ССШ – система сборных шин;
СШ – сборная шина;
ТН – трансформатор напряжения;
ТТ – трансформатор тока;
ШСВ – шиносоединительный выключатель.

Введение

Во всех отраслях производства безопасность человека всегда должна стоять на первом месте. В электроэнергетике помимо рисков, присущих любой сфере деятельности человека, возникает опасность электротравм и ожогов от действия электрической дуги. Причинами таких ситуаций могут быть и отказы электрооборудования, и человеческий фактор – ошибки оперативного персонала энергопредприятия. При выполнении оперативных переключений вероятность электротравм человека и повреждения электрооборудования существенно повышается. Оперативные переключения служат для включения и отключения электрических цепей, вывода электрооборудования в ремонт, а также для изменения режима работы электросети.

Оперативные переключения являются неотъемлемой частью эксплуатации любого электрохозяйства, на сегодняшний день их невозможно полностью автоматизировать и исключить человеческий фактор. Существует много мер по предупреждению, ликвидации и минимизации негативных последствий аварийных ситуаций. Одна из мер – строгое выполнение техники переключений и следование установленной очередности операций с коммутационными аппаратами. В данном учебном пособии приведены подробные объяснения правил оперативных переключений, изложенных в нормативно-технических документах и призванных обезопасить человека и оборудование.

В пособии не рассматриваются автоматические переключения, выполняемые релейной защитой и автоматикой.

В пособии не разъясняются построение и свойства схем распределительных устройств. Предполагается, что читатель имеет знания в данной области.

1. Режимы заземления нейтрали

Правила оперативных переключений в электроустановках имеют свои особенности для различных режимов заземления нейтрали, что в свою очередь тесно связано с номинальным напряжением сети.

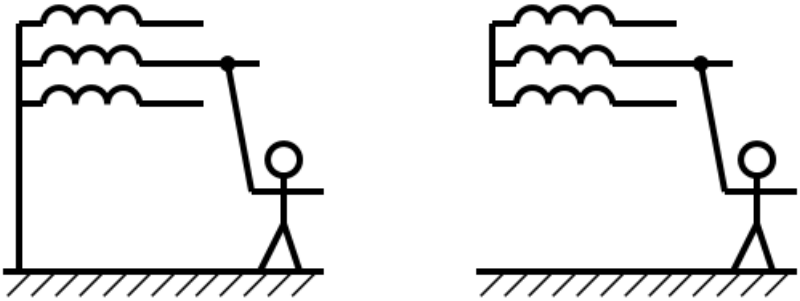
В трехфазной сети нейтралью называется общая точка трех фаз. Исходя из этого определения, можно сказать, что понятие нейтрали тесно связано с соединением фаз, которое происходит в некоторой электрической машине – например, в генераторе, трансформаторе или двигателе. Понятие нейтрали неуместно для линии электропередачи или шины, ведь там фазы не соединяются друг с другом. Также ясно, что нейтраль существует в схеме соединения обмоток «звезда» (хотя бывают менее распространенные схемы с нейтралью, например, схема «зигзаг»). Нейтраль как таковая отсутствует в схеме «треугольник» – в этой схеме нет общей точки соединения трех фаз.

Теперь, когда мы уточнили термин «нейтраль», можно задаться вопросом, в каком случае ее следует заземлять, а в каком – нет. Ответ на этот вопрос базируется на трех главенствующих принципах нашей отрасли: электробезопасность, надежность и экономичность. Для сетей разного класса напряжения на первый план выходит тот или иной принцип.

1.1. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением до 1 кВ

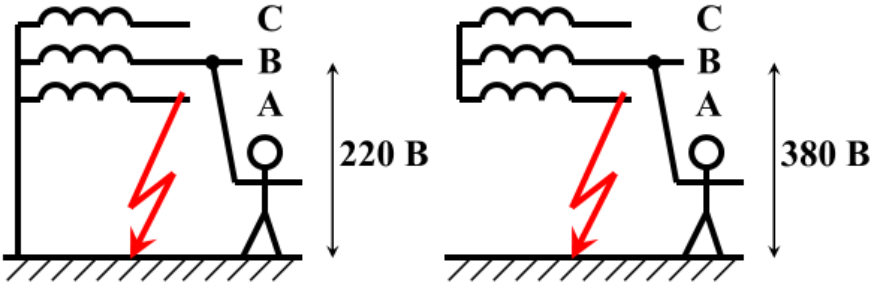
В сетях 0,4 кВ основным требованием является электробезопасность человека. Эти сети не всегда эксплуатируются квалифицированным персоналом. Любой человек в современном мире в обычных бытовых условиях имеет физический доступ к токоведущим частям электроустановок с таким напряжением. Также важно, что именно на этом напряжении сосредоточена основная доля конечных потребителей. Поэтому из соображений электробезопасности нейтраль в сетях напряжением 0,4 кВ, как правило, заземленная.

Если нейтраль заземлена, то касание фазного провода приведет к электрическому удару. При этом между рукой и ногой человека будет приложено фазное напряжение, например, 220 В (см. рис. 1, а). Это напряжение, безусловно, опасное. Если же нейтраль изолирована, электроустановка не повреждена, а человек испытывает прямое прикосновение к одной токоведущей части, например к фазе В, то его не ударит током. Действительно, в этом случае нет контура для замыкания тока, так как нейтраль не связана с землей (см. рис. 1, б). И если бы все ситуации с участием человека исчерпывались бы только такими случаями, то было бы логично применить именно изолированную нейтраль.



а б

Рис. 1. Сравнение опасностей в случае касания человеком токоведущих частей (нормальный режим)
а – прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью
б – прямое прикосновение в сети с изолированной нейтралью



а б

Рис. 2. Сравнение опасностей в случае касания человеком токоведущих частей (однофазное замыкание на землю)
а – прямое прикосновение в поврежденной сети с заземленной нейтралью
б – прямое прикосновение в поврежденной сети с изолированной нейтралью

Однако до касания человеком фазного провода электроустановка может быть уже повреждена. Рассмотрим случай, когда до прямого прикосновения человеком одной фазы произошло однофазное замыкание другой фазы на землю (рис. 2). На рис. 2, а рассмотрена ситуация, когда из-за повреждения изоляции возникает однофазное КЗ фазы А на землю в сети заземленной нейтралью. В этом случае возникнет большой ток повреждения, который в течение десятков миллисекунд будет отключен автоматическим выключателем, предохранителем или устройством защитного отключения. Если за столь краткое время человек успеет коснуться соседней фазы (что весьма маловероятно), то напряжение между рукой и ногой составит 220 В.

На рис. 2, б рассмотрена ситуация, когда из-за повреждения изоляции возникает ОЗЗ фазы А на землю в сети с изолированной нейтралью. Такое замыкание не является коротким, поэтому установка продолжит свою работу. Данное замыкание не сопровождается таким же мощным акустическим и визуальным эффектом, как короткое замыкание, поэтому человек может попросту не догадываться об авариной ситуации. То есть такой режим может существовать довольно долго. Допустим, что в течение такого режима человек касается неповрежденной фазы В (или С). Вероятность прямого прикосновения повышается из-за фактора времени. Поэтому велика вероятность, что человек коснется фазного провода в режиме однофазного замыкания другой фазы. В этом случае он получит сильный удар током, причем между рукой и ногой будет приложено напряжение не фазное (220 В), а уже линейное (380 В), что гораздо опаснее. Вывод из сказанного следующий. Обе сети (с заземленной и изолированной нейтралями) по-своему опасны для человека, но наименее опасна сеть с заземленной нейтралью. Именно поэтому в подавляющем большинстве случаев применяют такие узаконенные правилами ПУЭ системы заземления как TT, TN-C, TN-S, TN-C-S, где первая буква T расшифровывается «terra», «земля», то есть заземленная нейтраль.

На напряжении 0,4 кВ нейтраль изолируют только при выполнении следующих условий. Во-первых, если требуется очень высокая надежность электроснабжения потребителя, то есть недопустимо отключение потребителя при однофазном замыкании на землю. Во-вторых, если такая электроустановка эксплуатируется квалифицированным персоналом, способным быстро находить и ликвидировать однофазные замыкания на землю. В-третьих, если существуют сложности в построении контура заземления с требуемыми параметрами. Примеры: мобильная военная техника, водное или воздушное судно, система собственных нужд подстанции, горные выработки с высокоомным скальным грунтом. Такая система заземления называется IT, где буква I указывает на изоляцию нейтрали относительно земли.

1.2. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением 6-35 кВ

В сетях 6-35 кВ на первый план выходит требование надежности. Поскольку для таких напряжений затраты на изоляцию имеют меньшее процентное соотношение по сравнению с иными затратами, то вопрос экономии на фазной изоляции стоит не столь остро, как в сетях напряжением 110 кВ и выше. В то же время, проблема электробезопасности в сетях 6-35 кВ решается гораздо проще, чем в сетях напряжением 0,4 кВ: токоведущие части находятся вне зоны досягаемости человека, а эксплуатирует такие сети лишь специально обученный персонал, имеющий представление об опасно-

стях поражения электрическим током. Именно поэтому определяющим требованием в сетях 6-35 кВ становится надежность, тем более что такие сети характеризуются близостью к конечному потребителю. А с позиции надежности нейтраль в таких сетях должна быть изолирована. Дело в том, что в этом случае первое однофазное замыкание на землю не является коротким и сеть в таком режиме можно эксплуатировать достаточно долго: все потребители, включенные на линейные напряжения, продолжают свою нормальную работу.

На рис. 3 показана сеть с изолированной нейтралью в нормальном режиме. Схема соединения обмоток трансформатора показана условно: на напряжениях 6-35 кВ может применяться как схема «звезда», так и «треугольник». Условимся здесь и далее на рисунках для напряжений 6-35 кВ изображать схему «звезда», подразумевая при этом в том числе и схему «треугольник». Между каждой фазой и землей имеются емкости, поэтому в нормальном режиме имеют место емкостные токи утечки на землю. Емкости тем больше, чем более длинной и разветвленной является сеть. У кабельных линий емкость на землю больше, чем у воздушных. Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление и, следовательно, больше ток утечки на землю. Обычно токи утечки на землю меньше тока, потребляемого нагрузкой. В редких случаях токи замыкания на землю достигают десятков ампер. В случае симметрии емкостей фаз на землю суммарный ток утечки в нормальном режиме равен нулю, что показано на векторной диаграмме.

На рис. 4 показана сеть с изолированной нейтралью при ОЗЗ в фазе А. Емкость фазы А не показана, так как она зашунтирована замыканием фазы А на землю. При ОЗЗ фазы А фазные напряжения неповрежденных фаз В и С становятся равными линейным напряжениям и повышаются в $\sqrt{3}$ раз, что показано на векторной диаграмме. По закону Ома емкостные токи также повышаются в $\sqrt{3}$ раз по сравнению с нормальным режимом. За счет того, что их вектора складываются под углом 60°, а диагональ соответствующего параллелограмма в $\sqrt{3}$ раз больше стороны, суммарный емкостной ток в месте замыкания на землю в 3 раза больше тока утечки на землю в нормальном режиме. В системе с изолированной нейтралью ток замыкания на землю хоть и больше тока утечки в нормальном режиме, но не превышает тока нагрузки. Поэтому ОЗЗ не называют коротким замыканием. Также из векторной диаграммы видно, что при ОЗЗ не искажаются линейные напряжения.

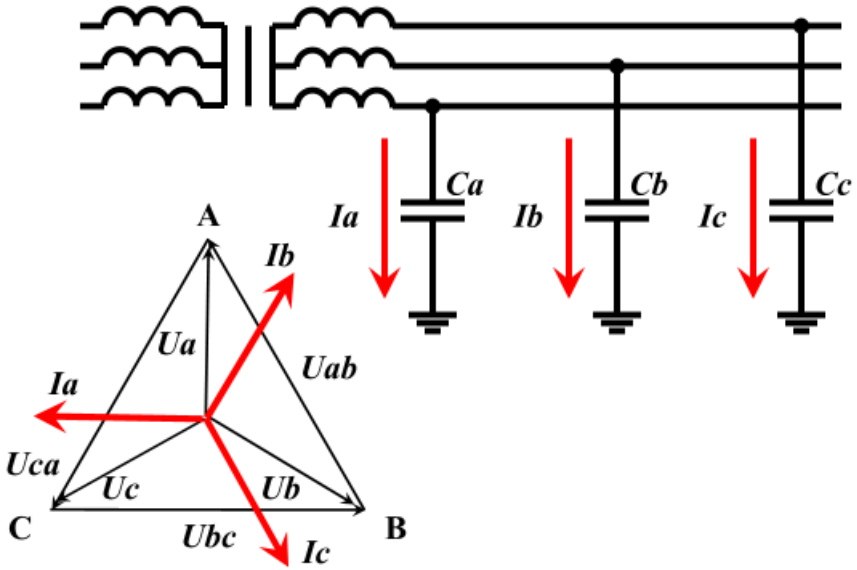


Рис. 3. Сеть с изолированной нейтралью (нормальный режим)

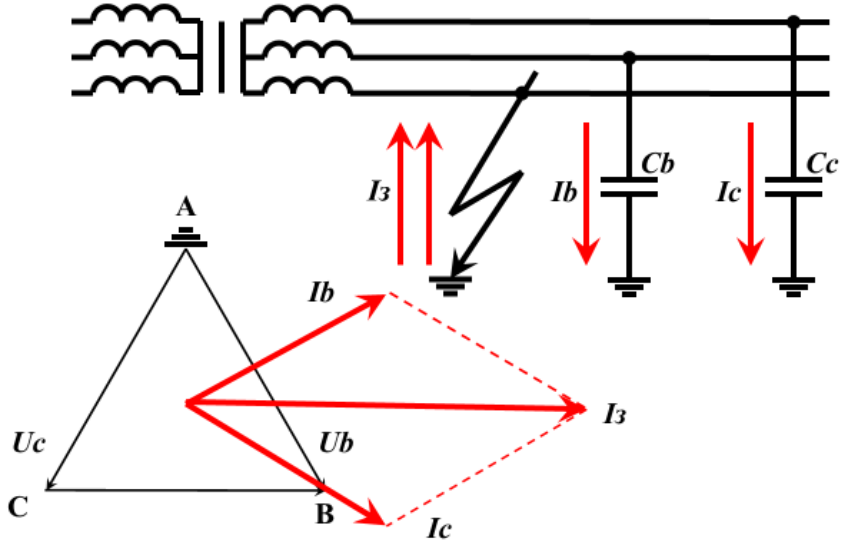


Рис. 4. Сеть с изолированной нейтралью (режим ОЗЗ)

Итак, в связи с малой величиной тока ОЗЗ и нормальной величиной линейных напряжений при таком режиме не требуется немедленного отключения поврежденного участка. У эксплуатационного персонала есть

время на поиск и устранение однофазного замыкания на землю, зачастую без перерыва питания потребителя.

В пункте 425 [2] отмечено, что при появлении замыкания на землю в цепях генераторного напряжения блочных генераторов (компенсаторов) в определенных ситуациях допускается работа данных машин в течение не более 2 часов. Если установлено, что место замыкания на землю находится не в обмотке статора, по решению технического руководителя допускается работа генератора или (компенсатора) с замыканием на землю в сети продолжительностью до 6 часов.

Напомним, что в сетях с заземленной нейтралью однофазное замыкание на землю является коротким и сеть следует немедленно отключить с возможной потерей электроснабжения потребителей.

Вернемся к сетям 6-35 кВ. При однофазном замыкании на землю фазные напряжения неповрежденных фаз повышаются до линейных, то есть в $\sqrt{3} \approx 1{,}73$ раз. Заметим, что речь идет лишь об установившемся значении напряжения, без учета переходных процессов, сопротивления дуги и несимметрии емкостей фаз. Для упрощения выкладок здесь и далее будем рассматривать описанный идеализированный случай. На самом деле перенапряжения могут быть еще больше.

Для оценки кратности перенапряжений вводят такое понятие как коэффициент замыкания на землю $K_{зз}$ – это отношение фазного напряжения неповрежденной фазы при ОЗЗ к номинальному фазному напряжению сети. Как следует из вышесказанного, в сетях с изолированной нейтралью коэффициент замыкания на землю равен 1,73. Это означает, что изолированная нейтраль приводит к проблеме повышения фазного напряжения. Проектировщик, заранее зная об этом, выполняет фазную изоляцию из расчета линейного (то есть повышенного на 73 %) напряжения. Так как удельные капитальные вложения в изоляцию электроустановки среднего напряжения не столь высоки, как в установках высокого напряжения, такое удорожание не приводит к чрезмерному росту стоимости электрооборудования.

Другой проблемой сетей с изолированной нейтралью является шаговое напряжение в месте ОЗЗ. Известно, что растекание тока замыкания в грунте в непосредственной близости к ОЗЗ приводит к неравномерному распределению потенциала на поверхности земли. Особо опасными считаются зоны радиусом 8 метров на открытой местности и 4 метра в помещении – см. пункт 3.7 правил [4]. Внутри таких зон может возникнуть большая разность потенциалов между ступнями человека или конечностями животного. Ток, вызванный этой разностью потенциалов, протекает по телу, вызывает судороги в конечностях, что приводит к падению и последующим

более сильным электроударам. Поэтому если необходимо покинуть указанную зону или, наоборот, войти в нее (например, для спасения человека), используется техника «гусиного шага»: передвижение малыми шагами, ступни касаются друг друга, пятка не отрывается от носка.

В сетях напряжением 6-35 кВ кроме упомянутой изолированной нейтрали применяется также резонансно заземленная нейтраль (чаще) и резистивно заземленная нейтраль (реже). Резонансно заземленная нейтраль подразумевает использование дугогасящих реакторов (ДГР), включаемых между нейтралью и землей для снижения (компенсации) тока при ОЗЗ. Название «дугогасящий» подразумевает следующее. При больших емкостных токах при ОЗЗ термическое действие дуги становится настолько значительным, что увеличивается вероятность перехода ОЗЗ в междуфазное КЗ. Дугогасящий реактор снижает ток в месте замыкания на землю и, следовательно, предотвращает такую ситуацию. На рис. 5 видно, что при включении ДГР возникает индуктивный ток, который складываясь в противофазе с емкостным током замыкания, позволяет хотя бы частично снизить ток в месте замыкания на землю. Для полной компенсации необходимо, чтобы ДГР был настроен в резонанс с емкостями на частоте 50 Гц. Отсюда – название способа заземления нейтрали. В практике эксплуатации с учетом неопределенности величины эквивалентной сетевой емкости часто происходит неполная компенсация емкостного тока. Для повышения эффективности компенсации ДГР выполняют с возможностью регулирования индуктивности.

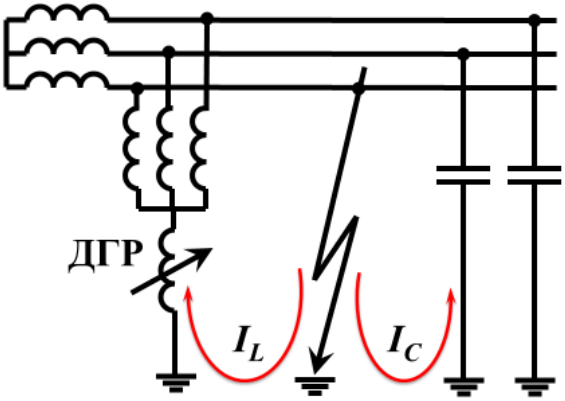


Рис. 5. Резонансно заземленная нейтраль

Резонансно заземленная нейтраль не применяется при малых емкостных токах. В пункте 1.2.16 правил [5] указаны минимальные емкостные токи замыкания на землю, при которых следует устанавливать ДГР.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали позволяет ограничить перенапряжения при дуговых замыканиях на землю. При этом сохраняется способность сети работать во время существования ОЗЗ. Низкоомное резистивное заземление нейтрали позволяет повысить чувствительность релейной защиты при ОЗЗ. При этом в момент однофазного замыкания такая сеть будет отключена релейной защитой.

1.3. Режимы заземления нейтрали в сетях напряжением 110 кВ и выше

В сетях напряжением 110 кВ и выше самое главное – обеспечить экономичность, то есть удешевить конструкцию электроустановок. Поэтому для данных сетей используется глухозаземленная нейтраль. Это позволяет примерно на 70% удешевить фазную изоляцию. Поскольку капитальные затраты на изоляцию в таких сетях являются превалирующими над прочими затратами, то такая экономия весьма уместна. Кроме того, если бы нейтраль на напряжении 110 кВ и выше была бы изолирована, то при ОЗЗ была бы чрезвычайно острой проблема шагового напряжения с недопустимо большими радиусами опасных зон.

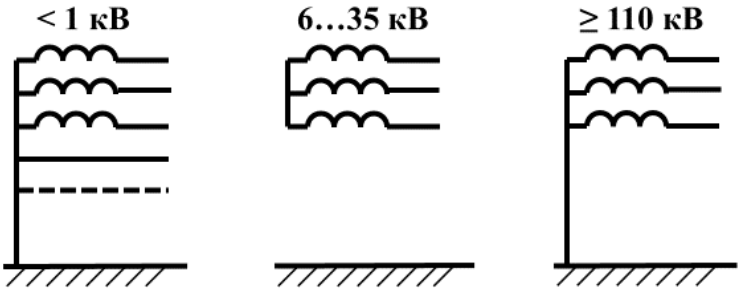
На самом деле, вышеизложенная ситуация является в известной степени упрощенной. В сетях напряжением 110 кВ и выше помимо глухозаземленной нейтрали используется эффективно заземленная нейтраль.

Эффективно заземленная нейтраль – это когда нейтрали нескольких трансформаторов на данном напряжении разземлены, а других трансформаторов – заземлены. Напомним, что у автотрансформаторов нейтраль должна быть обязательно глухо заземлена. Поэтому сказанное относится только к трансформаторам. Частичное разземление нейтралей применяется для снижения токов однофазных КЗ. Действительно, чем больше разземленных нейтралей, тем ближе данная сеть к системе с изолированной нейтралью с минимальным током замыкания на землю. Однако, с ростом разземленных нейтралей повышается коэффициент замыкания на землю. Выше было показано, что в самом крайнем случае, когда разземлены все нейтрали, $K_{зз}$ станет равным 1,73, что для сетей напряжением 110 кВ и выше неприемлемо. Поэтому согласно п. 1.7.4 [5] введен максимально допустимый коэффициент замыкания на землю для таких сетей, равный 1,4. Если $K_{зз} \leq 1{,}4$, то такую сеть называют сетью с эффективно заземленной нейтралью.

Итак, в сетях напряжением 0,4 кВ в очень редких случаях используется изолированная нейтраль. В сетях 6-35 кВ иногда нейтраль соединяется с землей через активное или индуктивное сопротивление. В сетях напряжением 110 кВ и выше не обязательно заземляют все нейтрали. Но все же общая

тенденция такова, что на напряжениях 6-35 кВ нейтраль преимущественно изолируется, а на остальных напряжениях обычно заземляется.

На рис. 6 показаны основные подходы к режиму нейтрали в сетях различного напряжения.



а) б) в)

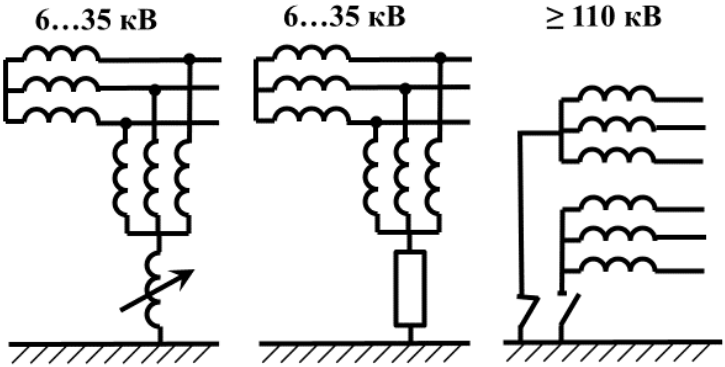
Рис. 6. Основные подходы к режиму нейтрали в сетях различного напряжения

а) глухозаземленная нейтраль в сетях низкого напряжения;

б) изолированная нейтраль в сетях среднего напряжения;

в) глухозаземленная нейтраль в сетях высокого напряжения

На рис. 7 показаны дополнительные способы заземления нейтрали на среднем и высоком напряжениях.



а) б) в)

Рис. 7. Дополнительные способы заземления нейтрали в сетях различного напряжения

а) резонансно заземленная нейтраль в сетях среднего напряжения;

б) резистивно заземленная нейтраль в сетях среднего напряжения;

в) эффективно заземленная нейтраль в сетях высокого напряжения

2. Техника операций с разъединителями

2.1. Общие положения

В отличие от выключателей разъединители не имеют дугогасительной камеры. Поэтому разъединители не предназначены для коммутации токов рабочего режима и, тем более, – токов КЗ. В выключателях имеется дугогасительная камера (элегазовая, воздушная, вакуумная, электромагнитная, масляная). Поэтому при отключении цепи сначала отключается выключатель, а затем – его разъединители. При включении цепи действия выполняются в обратном порядке. Таким образом, разъединителем нельзя (за редким исключением) оперировать под нагрузкой, то есть под током. Обратим внимание, что разъединителем можно и зачастую нужно оперировать под напряжением. Основное назначение разъединителя – создание видимого разрыва в цепи для обеспечения безопасных условий при проведении последующих ремонтных работ. Речь идет о выводе в ремонт элементов сети, прилегающих к данному разъединителю. Для вывода в ремонт данного разъединителя следует создать видимый разрыв другими смежными к нему разъединителями. В некоторых схемах распределительных устройств разъединители используются для изменения перетоков мощности без отключения оборудования.

Особенности оперирования разъединителями описаны в правилах [1]. Требования данных правил составлены для наиболее опасной ситуации, когда разъединители имеют ручной пофазный привод. Поскольку в этом случае коммутация осуществляется оперативным персоналом по месту, возникает существенный риск для жизни и здоровья человека. Помимо непосредственного удара электрическим током, человек подвергается и другим опасностям: термические ожоги и ослепление дугой, ожоги от расплавленного металла, падение с высоты с последующими травмами головы и конечностей.

Разъединители могут быть оборудованы не только ручным местным приводом, но и дистанционным электродвигательным или дистанционным пневматическим приводом. В случае дистанционного привода минимизируется опасность повреждения человека-оператора, однако сохраняется риск повреждения электрооборудования (в первую очередь – самого разъединителя) электрической дугой при ошибочном оперировании под нагрузкой. Важно понимать, что сама по себе дуга между контактами разъединителя не является коротким замыканием – ведь ток, как и в обычном режиме, протекает через нагрузку с большим сопротивлением. Поэтому релейная защита

не среагирует на появление дуги между контактами. Исключение – дуговая защита в ячейках КРУ, реагирующая на вспышку света во время дуги. Однако велика вероятность перехода дуги из межконтактного пространства на соседние фазы под воздействием силы Ампера. Это в свою очередь может привести к междуфазному короткому замыканию. В сетях с заземленной нейтралью также имеется опасность перерастания дуги на контактах разъединителя в однофазное КЗ на землю. В этих случаях по факту резкого повышения тока должна сработать релейная защита и отключить поврежденный участок выключателями.

Таким образом, правильная очередность коммутаций должна обезопасить человека, обеспечить сохранность электрооборудования, а также исключить потерю электроснабжения. Однако на первом месте стоит безопасность человека.

При правильном выполнении всех подготовительных коммутаций включение или отключение разъединителя не должно сопровождаться дугой (за исключением некоторых ситуаций, которые будут рассмотрены позже). Техника операций с разъединителями предполагает ошибку оперативного персонала или отказ оборудования. Ошибка персонала может состоять в том, что человек вошел не в ту ячейку, где до этого произошло отключение выключателя. Также персонал может случайно или преднамеренно вывести из работы блокировку. Отказ оборудования может состоять в том, что не отключился выключатель или неисправна блокировка. В любом случае следует иметь в виду, что может быть совершена попытка ошибочной коммутации разъединителя под током. И хотя блокировка должна предотвращать такие ошибочные операции, опыт эксплуатации доказывает возможность отказа блокировки или ее принудительного вывода из работы человеком. Конструкции и принцип действия различных видов блокировок будут рассмотрены позже.

Существуют ситуации, когда разъединители коммутируются дистанционно. В этом случае риск для оперативного персонала минимизируется, однако остается опасность повреждения электрооборудования – в первую очередь самого разъединителя, а также прилегающей к нему ошиновки.

2.2. Допустимые операции с разъединителями

Итак, основное назначение разъединителя – коммутации без тока. Тем не менее бывают случаи, когда разъединителями разрешено преднамеренно коммутировать небольшие токи. Так, например, разрешено:

- включать и отключать разъединителем зарядный ток ошиновки и оборудования (кроме тока батарей силовых конденсаторов);

- включать и отключать разъединителем ток холостого хода силовых трансформаторов;
- включать и отключать разъединителем измерительные трансформаторы напряжения, нейтрали силовых трансформаторов и дугогасящих реакторов с $U_{ном} \leq 35$ кВ при отсутствии в сети замыкания фазы на землю или резонанса;
- включать и отключать разъединителем измерительные трансформаторы напряжения электромагнитного типа с $U_{ном} \geq 110$ кВ;
- включать и отключать трехполюсным разъединителем наружной установки при $U_{ном} \leq 10$ кВ тока нагрузки до 15 А;
- шунтировать и расшунтировать разъединителем включенный выключатель (с привода которого снят оперативный ток) вместе с прилегающей к нему ошиновкой;
- отключать разъединителем в кольцевых сетях 6-10 кВ уравнительные токи до 70 А;
- замыкать разъединителем сеть 6-10 кВ в кольцо при разности напряжений в момент операции на подстанциях, питающих стороны этого разъединителя, не более 5%;
- дистанционно отключать разъединителем неисправный выключатель с $U_{ном} \geq 220$ кВ, зашунтированный одним выключателем или цепочкой из нескольких выключателей других присоединений системы шин (схема четырехугольника, 3/2 и т.п.), если отключение выключателя может привести к его разрушению или обесточиванию распределительного устройства.

При коммутациях разъединителями намагничивающих и зарядных токов должны быть заранее известны или предварительно определены значения этих токов. О допустимости операций указывается в местных инструкциях и нормативных документах [5].

Намагничивающие токи трансформаторов сильно зависят от подведенного напряжения. С повышением напряжения сверх номинального намагничивающий ток резко возрастает. Так, при наибольшем длительно допустимом в эксплуатации напряжении 1,05 от $U_{ном}$ намагничивающий ток увеличивается почти в 1,5 раза. Поэтому при коммутации ненагруженного трансформатора намагничивающий ток желательно понизить, чтобы уменьшить интенсивность горения дуги. Для этого перед коммутацией намагничивающего тока переключатель РПН трансформатора следует установить в положение, соответствующее номинальному напряжению.

Отметим, что перечисленные случаи следует рассматривать как исключения, как вынужденную меру. Эти исключения не отменяют того, что операция под током будет сопровождаться дугой. При этом оперативный персонал будет подвергаться повышенной опасности, а разъединитель и его

ошиновка – риску повреждения. По возможности надо стремиться выполнять данные операции не разъединителями, а выключателями.

Итак, правила оперативных переключений в электроустановках призваны снизить риск травмы или гибели человека. Безусловно, на любом предприятии энергетики существует много других способов оградить оперативный персонал от таких ситуаций. Это тщательный инструктаж на рабочем месте, беспрекословное соблюдение правил техники безопасности, умение оказывать первую помощь пострадавшему, четкое следование бланку переключений, индивидуальные защитные средства, предупреждающие и указывающие плакаты, барьеры и ограждения, а также блокировка. Правила оперативных переключений являются еще одним звеном в этой цепи.

2.3. Особенности включения и отключения разъединителей

Перечислим особенности включения и отключения разъединителей с ручным приводом.

Включение разъединителей

Включение разъединителей выполняется быстро и решительно, но без удара в конце хода. Начатая операция включения продолжается до конца в любом случае, даже при появлении дуги между контактами. При появлении дуги ножи не следует отводить обратно, так как при расхождении контактов дуга может удлиниться, перекрыть промежуток между фазами и вызвать КЗ. Операция включения во всех случаях продолжается до конца. При соприкосновении контактов дуга погаснет, не причинив особого повреждения оборудованию.

Отключение разъединителей

Отключение разъединителей выполняется медленно и осторожно. Вначале необходимо сделать небольшое движение рычагом привода, чтобы убедиться в отсутствии качаний и поломок изоляторов. Зачастую изоляторы разъединителей имеют скрытые механические повреждения. Так как механизм движения контактов обычно не расхожен, возможна поломка изолятора разъединителя от сильного воздействия человека на его привод. Такая поломка может сопровождаться обрушением конструкции разъединителя, дугой между ножами разъединителя, а также дугой между фазами или на землю. Отметим, что такая ситуация не сопряжена с ошибкой человека и может случиться даже тогда, когда разъединитель отключается не под нагрузкой.

Если при расхождении контактов между ними возникнет дуга, разъединитель возвращается во включенное положение и до выяснения причины возникновения дуги операции с ним не выполняются. Исключением из этого

правила является отключение отделителями и разъединителями намагничивающего тока силовых трансформаторов, зарядного тока воздушных и кабельных линий. Операции в этих случаях должны производиться быстро, чтобы обеспечить погасание дуг на контактах. При этом лицо, выполняющее операцию отключения, располагается под защитным козырьком для ограждения от воздействия электрической дуги. Применение электродвигательных и ручных приводов с червячной передачей при таких операциях не рекомендуется в силу их медленного действия.

3. Очередность операций разъединителями и выключателями

3.1. Очередность операций разъединителями по фазам

Операции отключения однополюсных разъединителей с помощью оперативных штанг выполняются в той очередности, которая обеспечивает наибольшую безопасность для персонала и наименьшую потенциальную повреждаемость электрооборудования. При отсутствии ошибок персонала и отказов электрооборудования очередность коммутации разъединителей в фазах А, В и С не важна, так как к моменту отключения цепь обесточена или к моменту включения не может оказаться под нагрузкой, поэтому дуга между контактами разъединителей не появится. Однако, следует принимать во внимание возможность ошибки человека или отказа оборудования. В этом случае правильная очередность операций позволит минимизировать ущерб для человека и элементов распределительного устройства.

При любом расположении разъединителей первым всегда отключается разъединитель средней фазы.

У разъединителей горизонтально-поворотного типа вторым отключается разъединитель, ножи которого расходятся в наружную сторону. Последним отключается разъединитель, ножи которого расходятся внутрь трехфазной группы разъединителей. На рис. 8, 9 показаны конструкции горизонтально-поворотных разъединителей. Из рис. 9 видно, что у разъединителя фазы А ножи расходятся в наружную сторону.

Операции включения однополюсных разъединителей выполняются в обратном порядке.

Рис. 8. Одна фаза горизонтально-поворотного разъединителя

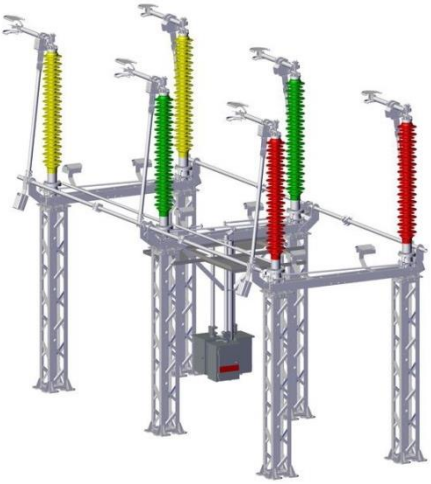


Рис. 9. Трехфазная группа горизонтально-поворотных разъединителей

Поясним эти правила на примере отключения. Относительно безопасно отключение по очереди первого из трех разъединителей, так как при этом не возникает сильной дуги, даже если по цепи проходил ток. В момент выхода ножа из губки между ними может проявиться лишь небольшая разность потенциалов, так как с одной стороны ножа разъединитель будет находиться под напряжением источника питания, в то время как с другой его стороны будет поддерживаться некоторое время электродвижущая сила,

наводимая вращающимися при питании по двум фазам электродвигателями, а также за счет конденсаторных батарей, установленных в распределительных сетях. Даже при отсутствии двигателей и конденсаторных батарей дуга не будет сильной, так как у тока имеется обходной путь по двум оставшимся включенным фазам.

При отключении второго разъединителя появится опасная дуга. В сети с изолированной нейтралью ток может протекать лишь по оставшимся двум фазам. Поэтому в случае коммутации под нагрузкой, дуга будет особенно сильной. Отключение второго по очередности разъединителя представляет собой наибольшую опасность. Поэтому его ножи должны находиться по возможности дальше от разъединителей других фаз.

Третий разъединитель вообще не будет отключать никакой мощности. Сказанное в большей степени относится к сетям с изолированной нейтралью и в меньшей – к сетям с глухозаземленной нейтралью, где возможен неполнофазный режим. Тем не менее чтобы унифицировать очередность операций с разъединителями, правила [1] не разграничивают эти ситуации и требуют одинаковой последовательности действий в любых сетях.

На рис. 10 иллюстрируется правильная очередность отключения разъединителей по фазам с указанием мощности дуги.

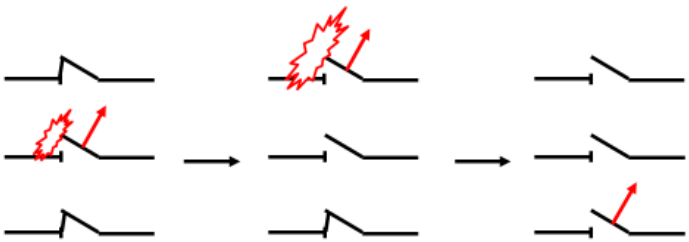


Рис. 10. Правильная очередность отключения разъединителей по фазам

3.2. Очередность операций разъединителями при коммутациях в схемах с одним выключателем на присоединение

Рассмотрим схемы распределительных устройств с одним выключателем на присоединение: одинарная или двойная система сборных шин. Наличие секционирования или обходной шины не имеет значения в данном вопросе.

В таких схемах включение присоединения выполняется в следующей последовательности:

1. включается шинный разъединитель;
2. включается линейный разъединитель;
3. включается выключатель.

Отключение выполняется в обратном порядке:

1. отключается выключатель;
2. отключается линейный разъединитель;
3. отключается шинный разъединитель.

Прокомментируем порядок действий при отключении.

Рассмотрим рис. 11, где показана одинарная система сборных шин, источник питания ИП и несколько отходящих присоединений, каждое из которых находится под нагрузкой. Допустим, требуется вывести в плановый ремонт выключатель В1. Для этого сначала следует снять нагрузку линии Л1. Предположим, действиями персонала подан сигнал на отключение выключателя В1.

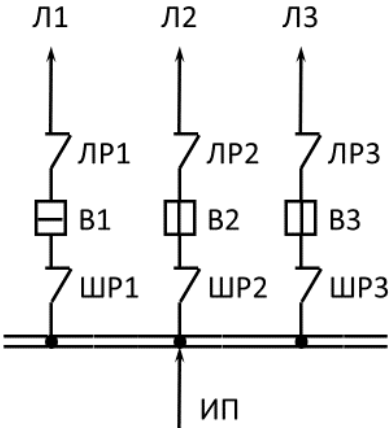
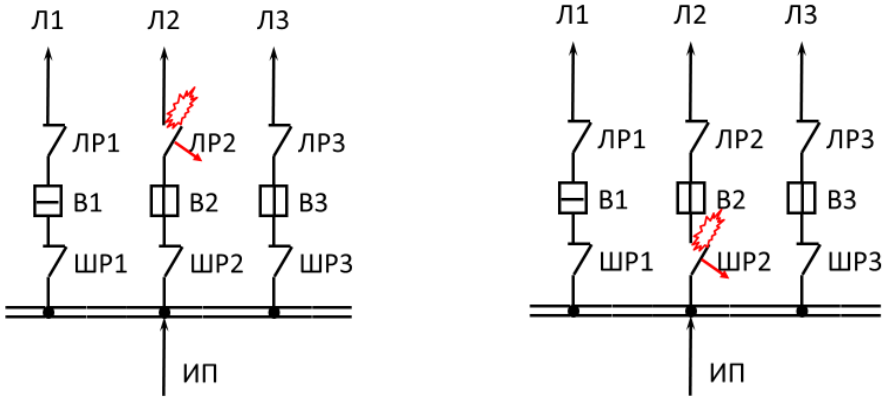


Рис. 11. Исходная схема для вывода в плановый ремонт выключателя В1

Далее, после проверки отсутствия нагрузки, следует создать видимый разрыв его линейным и шинным разъединителями ЛР1 и ШР1. Если выключатель отключился и, допустим, не может самопроизвольно включиться, а персонал, проводящий переключения, вошел в соответствующую первую ячейку, то при любой очередности операций с разъединителями ЛР1 и ШР1 дуги не будет. Однако, следует учитывать, что персонал по ошибке начнет операции с разъединителями (например, ЛР2 и ШР2) в другой ячейке с неснятой нагрузкой. Либо во время действий персонала выключатель может ложно включиться. Либо он не был отключен полнофазно, а достоверный

контроль отсутствия нагрузки не произведен. В этом случае минимизация последствий от неправильных действий будет достигнута тем, что в первую очередь отключат линейный разъединитель. Объясняется это следующим. Рассмотрим рис. 12, где показана ситуация, когда оперативник вошел в соседнюю (необесточенную ячейку) и производит ошибочное отключение разъединителей.



а) б)

Рис. 12. Неправильное отключение разъединителя под нагрузкой
а) отключение в первую очередь линейного разъединителя;
б) отключение в первую очередь шинного разъединителя

В случае пребывания линии Л2 под нагрузкой между ножами линейного разъединителя возникнет дуга, которая как правило перекидывается на соседние фазы или землю, устраивая на линии КЗ. На ток КЗ среагирует релейная защита, подаст сигнал на выключатель линии В2, который отключится (разумеется, в случае исправности выключателя). При этом будет потеряна одна линия Л2. Если же первым отключат шинный разъединитель ШР2, дуга будет гореть дольше, т. е. до тех пор, пока не будут отключены все источники питания, работающие на данной системе шин. Объем повреждения в этом случае будет значительно больше. Кроме того, такая ошибка вызовет повреждение сборных шин и потерю всех присоединений этой шины на время, необходимое для полного восстановления схемы.

Таким образом, первыми должны включаться, а последними отключаться разъединители, неправильное действие которых может привести к более тяжелым последствиям.

3.3. Очередность операций при коммутациях трансформаторов

Оперативные переключения в цепях высокого, среднего и низкого напряжений трансформатора (ВН, СН, НН) неравноценны и поэтому должны выполняться в определенной последовательности.

Очередность операций при включении трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора) такова:

а) включаются шинные и трансформаторные разъединители ВН;

б) включаются шинные и трансформаторные разъединители СН;

в) включаются шинные и трансформаторные разъединители НН;

г) включаются выключатели со стороны ВН, СН и НН трансформатора.

На рис. 13 показаны перечисленные коммутационные аппараты:

- выключатели В-ВН, В-СН, В-НН;
- трансформаторные разъединители ТР-ВН, ТР-СН, ТР-НН;
- шинные разъединители ШР-ВН, ШР-СН, ШР-НН.

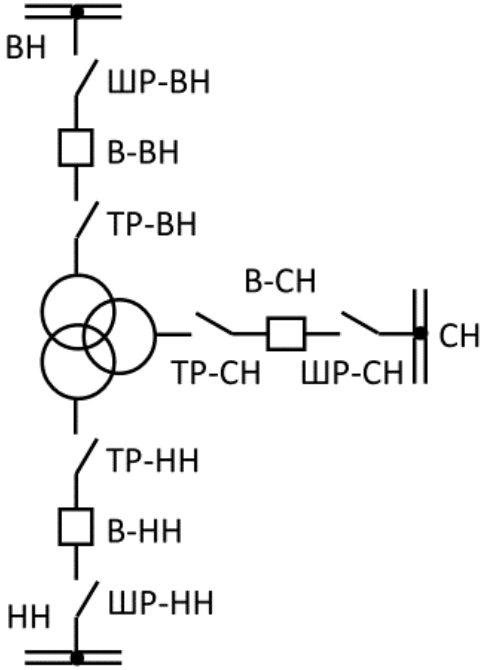


Рис. 13. Коммутационные аппараты на сторонах ВН, СН и НН трехобмоточного трансформатора

Для автотрансформаторов, имеющих недостаточную электродинамическую стойкость при КЗ на стороне высшего напряжения, рекомендуется следующая последовательность включения их выключателей: включаются

выключатели СН, НН, а затем ВН. Следует подчеркнуть, что изначально все трансформаторы и автотрансформаторы должны иметь электродинамическую стойкость при КЗ. Однако, в течение эксплуатации токи короткого замыкания могут увеличиваться из-за развития прилегающей сети, а (авто)трансформаторы – изнашиваться, в том числе – из-за воздействия ударных токов КЗ. Наиболее уязвимыми в этом смысле являются автотрансформаторы, так как они связывают достаточно мощные части энергосистемы, имеют пониженные напряжения короткого замыкания и обладают гальванической связью между сторонами ВН и СН.

Очередность операций при отключении трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора) должна быть следующей:

а) отключаются выключатели со стороны НН, СН и ВН;

б) отключаются трансформаторные и шинные разъединители НН;

в) отключаются трансформаторные и шинные разъединители СН;

г) отключаются трансформаторные и шинные разъединители ВН.

Таким образом, включение трансформатора должно производиться по принципу «сверху вниз», а отключение – «снизу вверх». Поясним эти правила на примере включения двухобмоточного трансформатора. Принцип включения «сверху вниз» сформировался еще в те годы, когда на стороне высокого напряжения для экономии вместо выключателей использовались отделители. С точки зрения конструкции отделители являются по сути разъединителями с пружинным приводом на отключение. Они так же, как и разъединители, не имеют дугогасительной камеры и поэтому не могут коммутировать токи нагрузки, а тем более – токи КЗ. Поэтому сначала включали отделитель на стороне ВН. При этом отделитель коммутировал небольшой разрешенный ток холостого хода трансформатора с некоторой допустимой дугой. А затем под нагрузкой включали выключатель на стороне НН, в дугогасительной камере которого возникает и гаснет дуга.

В современных условиях отделители запрещены на вновь проектируемых объектах. На стороне ВН, как и на стороне НН, устанавливают выключатели. Тем не менее указанная очередность сохранила свою актуальность с точки зрения особенностей срабатывания релейной защиты и поиска места повреждения.

Для пояснения этого тезиса рассмотрим сначала однотрансформаторную подстанцию (рис. 14). В этой ситуации нет смысла включать трансформатор сразу под нагрузку. На момент включения трансформатора выключатели В3, В4, В5 должны быть отключены. В противном случае, если одна из линий до включения повреждена, то при подаче напряжения на шины НН и отказе РЗ данной линии сработает защита шин и отключатся все линии.

Кроме короткого замыкания в качестве повреждения можно рассматривать ОЗЗ, при котором нет необходимости в мгновенном отключении потребителей, однако есть потребность в отыскании места повреждения. Если включена нагрузка одновременно всех линий, то поиск места пробоя изоляции оказывается проблематичным. Поэтому сначала подают напряжение на шины НН, а затем поочередно включают отходящие линии. При выборе очередности включения выключателей В1 и В2 действует схожая логика. Допустим, в нарушение очередности сначала включили выключатель В2, а затем – В1. Предположим, что к моменту включения на шинах НН было невыявленное КЗ. Если в момент включения выключателя В1 откажет РЗ шин и сработает РЗ трансформатора, то будет неясно, где именно производить поиск повреждения. Если же включить сначала В1, а затем В2, то поиск повреждения упрощается. В самом деле: если РЗ сработала при включении В1, то ясно, что КЗ в трансформаторе. Если же включение В1 прошло успешно, а при включении В2 сработала РЗ, то также понятно, что повреждение на шинах. После включения В1 и В2 можно поочередно включать выключатели В3, В4, В5. Если в момент включения некоторого выключателя отходящих линий возникло ОЗЗ или сработала РЗ при междуфазном КЗ, то очевидно, что повреждение следует искать именно за этим выключателем.

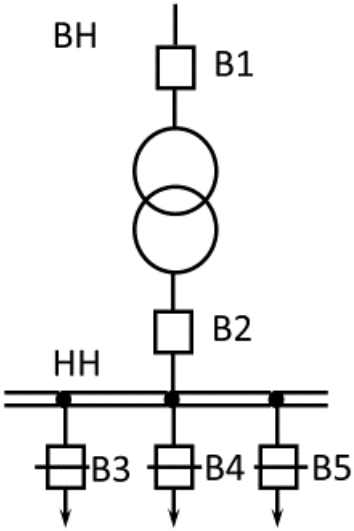


Рис. 14. Однотрансформаторная подстанция

Теперь рассмотрим двухтрансформаторную понижающую подстанцию (рис. 15).

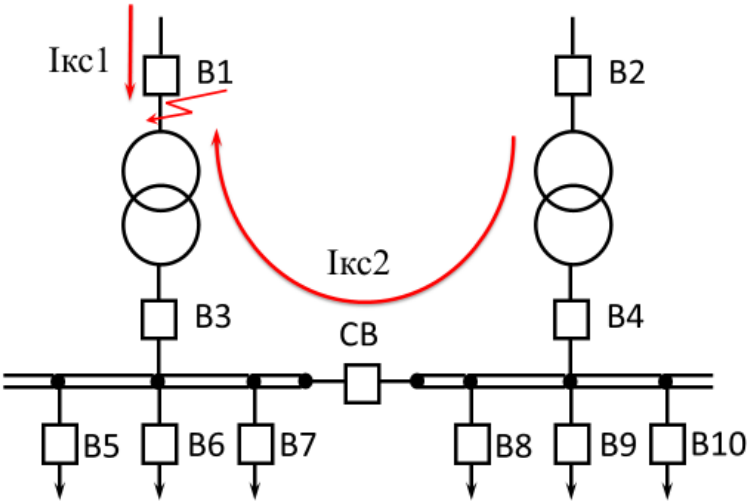


Рис. 15. Двухтрансформаторная подстанция

Здесь уже потребители в момент включения трансформатора включены. Другими словами, в момент коммутации последнего выключателя из пары В1 и В3 потечет ток нагрузки. С точки зрения энергии дуги безразлично, каким выключателем его коммутировать – В1 или В3: ведь они оба рассчитаны на включение даже тока КЗ, не говоря уже о токе нагрузки. Однако, есть большое различие в данной очередности с точки зрения особенностей срабатывания РЗ. Допустим, что на стороне ВН трансформатора Т1 до включения есть невыявленное повреждение. Тогда после включения выключателя В3 произойдет следующее. Условие срабатывания максимальной токовой защиты на стороне ВН не сложится, так как через выключатель В1 не потечет ток КЗ, ведь этот выключатель пока отключен. А чувствительность дифференциальной защиты трансформатора Т1 будет снижена, ибо ток КЗ $I_{кс2}$ ограничен сопротивлениями обоих трансформаторов. Если, наоборот, сначала включить В1, то при этом же сценарии сработает и максимальная токовая защита и дифференциальная защита трансформатора.

Помимо рассмотренных выше понижающих трансформаторов также следует рассмотреть блочные повышающие трансформаторы на электростанциях. Здесь при включении сохраняется тот же принцип «сверху вниз», однако в данном случае это объясняется особенностями синхронизации генераторов при включении на параллельную работу с энергосистемой. Синхронизацию удобнее всего производить на генераторном выключателе, то

есть – со стороны НН блочного повышающего трансформатора. Поэтому последним включается именно генераторный выключатель.

4. Вывод в ремонт выключателей

Вывод в ремонт выключателей присоединений может быть осуществлен одним из способов в зависимости от схемы распределительного устройства:

1. в схемах с одним выключателем на присоединение – отключением присоединения на все время ремонта выключателя (если это допустимо по режиму работы сети);
2. в схемах с одним выключателем на присоединение и с двойной сборной шиной – заменой данного выключателя шиносоединительным;
3. в схемах с обходной шиной – заменой данного выключателя обходным выключателем;
4. в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3 – отключением данного выключателя и выводом его из схемы с помощью разъединителей;
5. в схеме мостика с ремонтной перемычкой – включением в работу перемычки и выводом из схемы секционного выключателя с помощью разъединителей в его цепи.

В первых двух способах имеет место перерыв питания присоединения. В остальных способах выключатель выводится в ремонт без перерыва питания присоединений.

Рассмотрим подробно перечисленные способы. При этом сосредоточимся лишь на основных действиях персонала – коммутациях выключателями и разъединителями. Дополнительные действия – переключения во вторичных цепях, изменения в схеме релейной защиты и автоматики, наложение заземления, вывешивание плакатов и знаков безопасности – для простоты изложения будут пропущены.

4.1. Вывод в ремонт выключателя в схемах с одним выключателем на присоединение

Этот случай уже подробно рассматривался выше. Поэтому кратко повторим основные положения. Рассматриваются схемы РУ с одним выключателем на присоединение: одинарная или двойная система сборных шин без обходной шины. Наличие секционирования не имеет значения. Вывод в ремонт выключателя выполняется в следующем порядке:

- отключается выключатель;
- отключается линейный разъединитель;
- отключается шинный разъединитель.

Следует учитывать, что данное присоединение теряет питание на все время ремонта выключателя. Решение о допустимости такой потери принимается с учетом категорийности электроснабжения потребителя по ПУЭ, резервирования питания потребителя и длительности ремонта выключателя данного типа.

4.2. Вывод в ремонт выключателя в схемах с одним выключателем на присоединение и с двойной сборной шиной

Основная идея – все присоединения кроме данного перевести на одну сборную шину, а данное присоединение оставить на другой сборной шине. На время ремонта данного выключателя он выводится из схемы путем снятия ошиновки, а его функцию выполняет шиносоединительный выключатель.

На рис. 16 показана очередность вывода в ремонт выключателя для схемы с двойной системой сборных шин. Для упрощения линейные разъединители не показаны. Другая условность рисунка – показаны не все присоединения. Опишем этапы вывода в ремонт выключателя В:

а) исходный режим – часть присоединений подключена на 1СШ, другая часть – на 2СШ; ШСВ включен;

б) при включенном ШСВ все присоединения кроме данного переводятся без перерыва питания шинными разъединителями на 2СШ; при этом сначала включается один шинный разъединитель присоединения, а затем отключается соседний шинный разъединитель того же присоединения;

в) отключаются выключатели В и ШСВ; при этом начинается перерыв питания данного присоединения;

г) отключается линейный и шинный разъединители выключателя В;

д) снимается ошиновка с выключателя В; монтируется временная шинная перемычка в обход выключателя В;

е) включаются шинный и линейный разъединители данного присоединения;

ж) включается ШСВ; питание присоединения возобновляется.

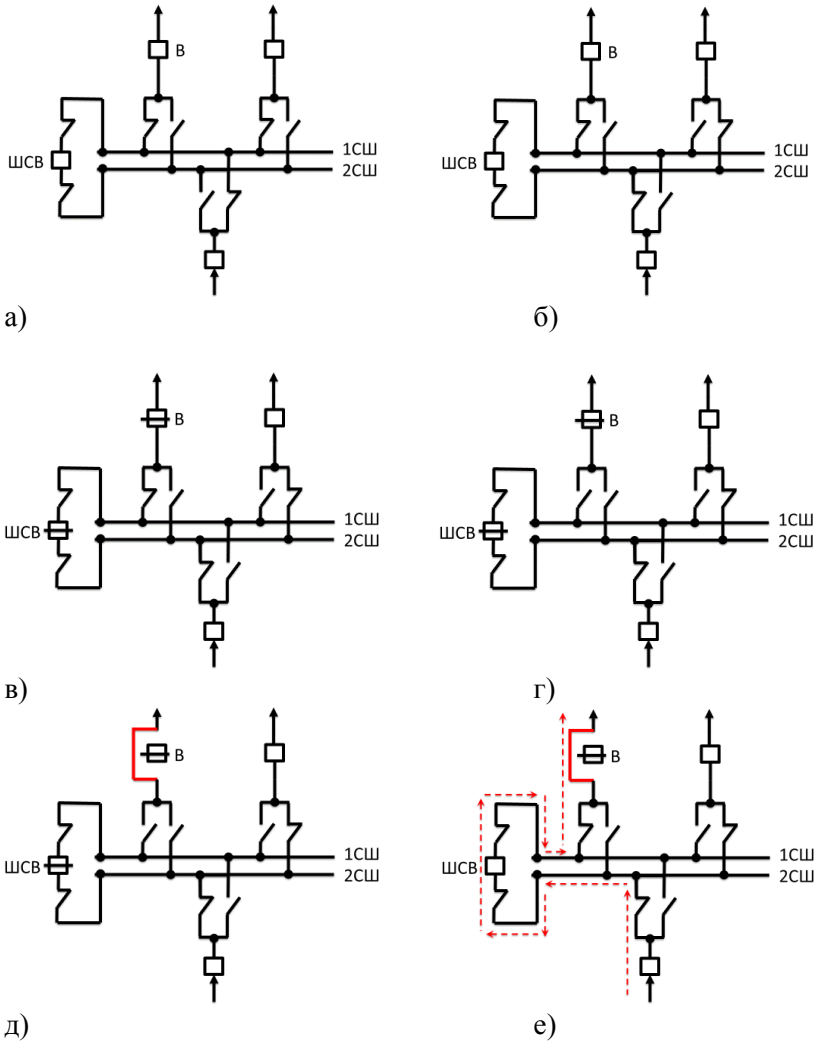


Рис. 16. Вывод в ремонт выключателя в схеме с двумя СШ

На то время, когда ШСВ будет заменять ремонтируемый выключатель присоединения, на ШСВ переводятся все защиты данного присоединения.

Преимущество данного способа перед предыдущим в том, что перерыв питания получается короче, то есть не на время ремонта выключателя, а на время монтажа ошиновки и оперативных переключений. Иногда такое сокращение времени перерыва питания является весьма выгодным.

Данный способ сопряжен с монтажом / демонтажом ошиновки и поэтому применяется крайне редко. Допустимость такого способа вывода в

ремонт выключателя не отменяет того факта, что основное назначение двойной сборной шины – вывод в ремонт шины без перерыва питания присоединений.

4.3. Вывод в ремонт выключателя в схемах с обходной шиной

Речь идет об одинарной или двойной системе сборных шин с ОСШ. Обходная система сборных шин и обходной выключатель предназначены для вывода в ремонт любого (одного) выключателя присоединения без перерыва питания данного присоединения. При этом на все время ремонта функцию данного выключателя выполняет обходной выключатель.

Рассмотрим сначала одинарную систему сборных шин с ОСШ. На рис. 17 представлена схема одинарной системы сборных шин с обходной в ее нормальном (исходном) состоянии. Выключатели В1, В2, В3, В4, шинные разъединители ШР и линейные разъединители ЛР всех присоединений включены. Все обходные разъединители РО отключены. Обходной выключатель ОВ и его разъединители Р1, Р2 отключены. Обходная система сборных шин ОСШ – без напряжения.

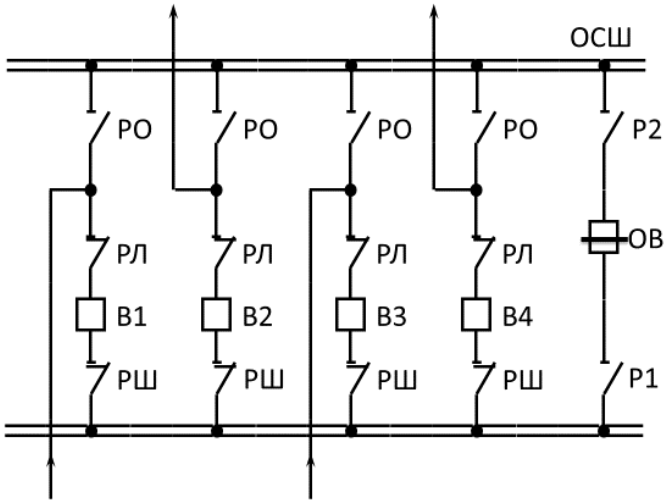
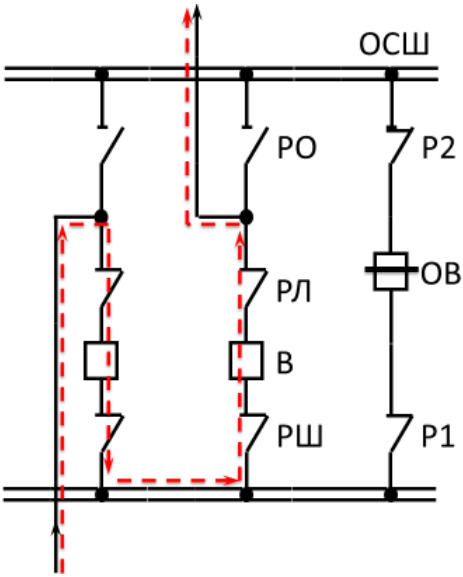
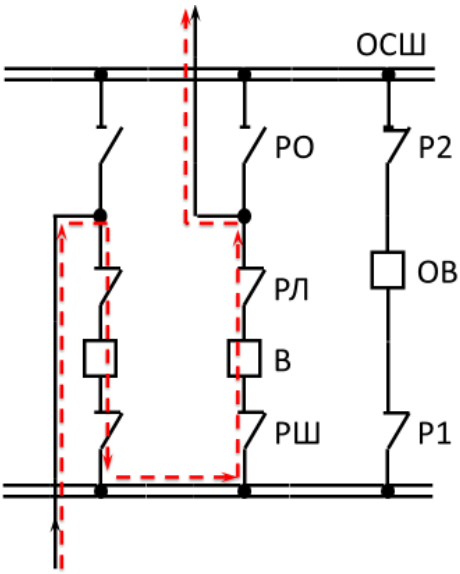


Рис. 17. Схема одинарной системы сборных шин с обходной

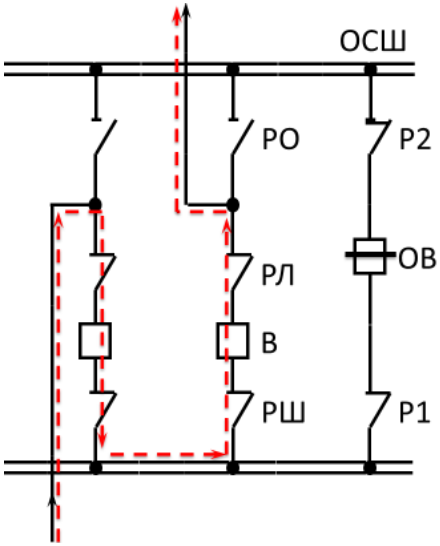
На рис. 18 показаны этапы вывода в ремонт выключателя В. При этом для удобства восприятия показана не вся схема, а лишь ее фрагмент с двумя присоединениями.


ОСШ
РО
Р2
ОВ
РЛ
В
РШ
Р1

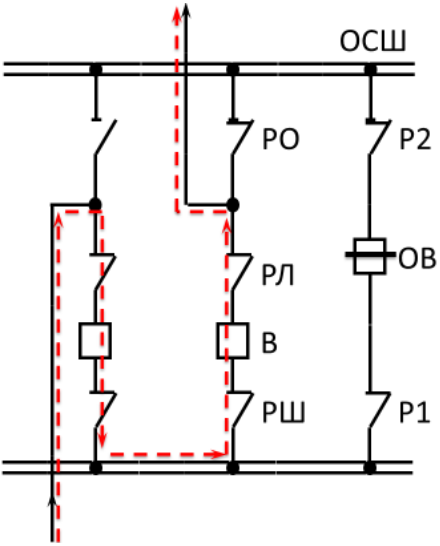
а)


ОСШ
РО
Р2
ОВ
РЛ
В
РШ
Р1

б)


ОСШ
РО
Р2
ОВ
РЛ
В
РШ
Р1

в)


ОСШ
РО
Р2
ОВ
РЛ
В
РШ
Р1

г)

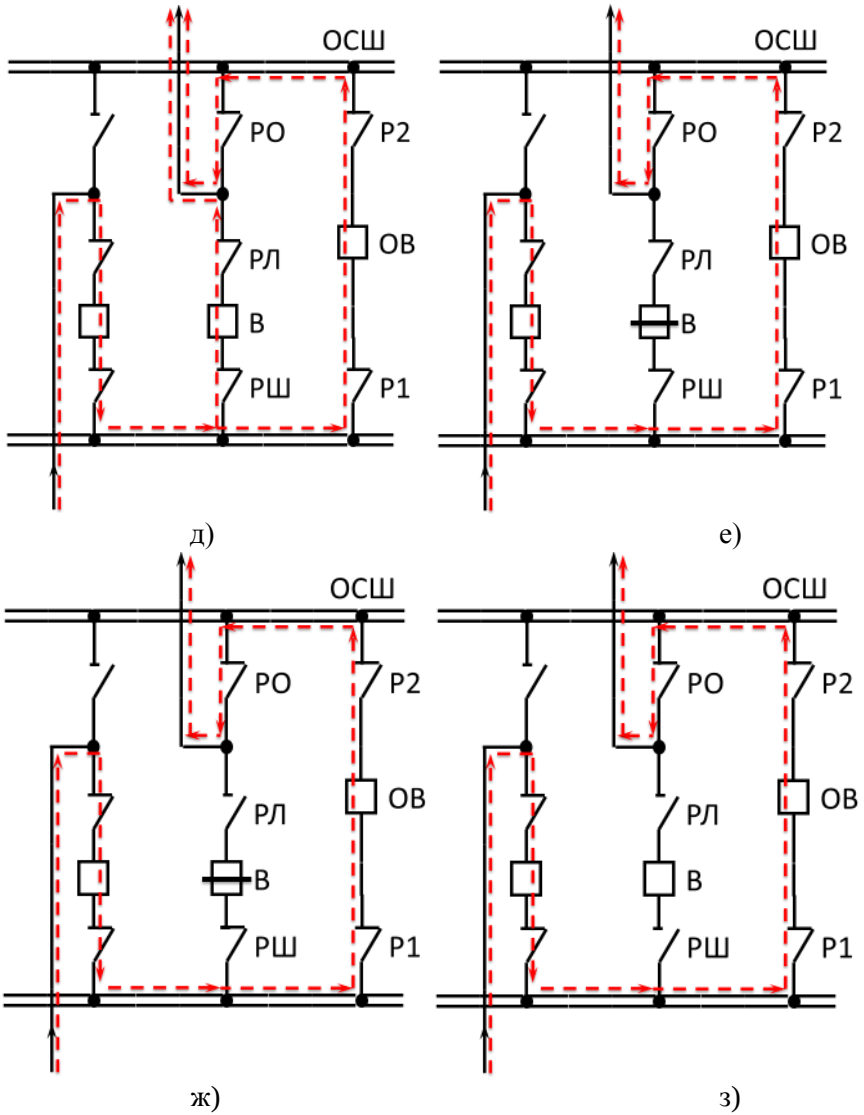


Рис. 18. Вывод в ремонт выключателя в схеме одинарной системы сборных шин с обходной

Опишем этапы вывода в ремонт выключателя В по рис. 18:

а) включаются разъединители обходного выключателя;

б) включается обходной выключатель, тем самым происходит опробование ОСШ на предмет отсутствия КЗ; если КЗ есть, то сработает защита

шин и отключит выключатель ОВ, при этом дальнейшие переключения прекращаются до устранения причин КЗ;

в) если ОСШ исправна, то оперативный персонал отключает выключатель ОВ;

г) включается обходной разъединитель РО данного присоединения;

д) включается обходной выключатель ОВ; при этом питание данного присоединения осуществляется двумя путями – через рабочую шину и выключатель В, а также через ОСШ и выключатель ОВ;

е) отключается выключатель В; при этом питание присоединения продолжается через ОВ и ОСШ;

ж) отключается линейный разъединитель ЛР;

з) отключается шинный разъединитель ШР.

В случае двойной системы сборных шин с обходной шиной принцип переключений для вывода в ремонт выключателя остается таким же. Единственная особенность будет состоять в том, что обходной выключатель запитан от рабочих шин через развилку из двух разъединителей (так же, как и присоединения). В связи с этим цепь обходного выключателя следует запитать от той шины, к которой подключено присоединение с выводимым в ремонт выключателем. Например, если присоединение, выключатель которого выводится в ремонт, подключено к первой СШ, то и цепь ОВ подключается к первой СШ соответствующим шинным разъединителем. Соседний шинный разъединитель будет отключен.

На то время, когда ОВ будет заменять ремонтируемый выключатель присоединения, на обходной выключатель переводятся все защиты данного присоединения. На время опробования ОСШ измерительные трансформаторы тока в цепи ОВ выводятся из схемы дифференциальной защиты шин, а их вторичные выводы закорачиваются для недопущения пробоя изоляции. Если данные трансформаторы тока оставить в схеме защиты шин, то при КЗ на ОСШ в момент ее опробования релейная защита зафиксирует такое повреждение как внешнее КЗ. При этом в реле протечет ток небаланса, близкий к нулю и защита не сработает. Если же, наоборот, вывести трансформаторы тока из действия, то при КЗ на ОСШ в токовом реле сформируется большой трансформированный ток короткого замыкания и защита сработает, отключив выключатель ОВ.

4.4. Вывод в ремонт выключателя в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3

Во всех указанных схемах имеются фрагменты, изображенные на рис. 19. При этом в случае отключения одного из выключателей и включенном состоянии другого выключателя присоединение П не теряет питания.

На рис. 19 показаны этапы вывода в ремонт выключателя В1. Сначала отключается выключатель В1, а затем в произвольном порядке отключаются его разъединители Р1 и Р2. Как видно, вывод в ремонт происходит достаточно просто. На все время ремонта выключателя В1 присоединение П питается через выключатель В2. При этом надежность такого питания снижена по отношению к нормальной схеме.

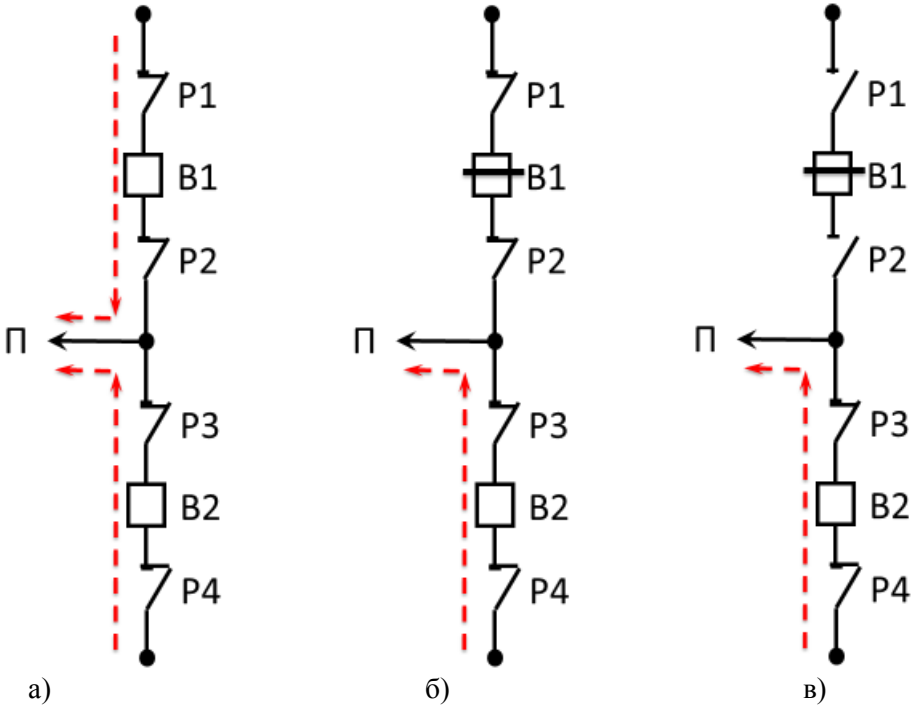


Рис. 19. Вывод в ремонт выключателя в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3 (линейные разъединители не показаны)

а) исходное состояние;

б) отключение выключателя;

в) отключение разъединителей данного выключателя.

4.5. Вывод в ремонт выключателя в схеме мостика с ремонтной перемычкой

Речь идет о секционном (среднем) выключателе. В этом случае осуществляется включение в работу перемычки, а секционный выключатель выводится в ремонт с помощью разъединителей в его цепи.

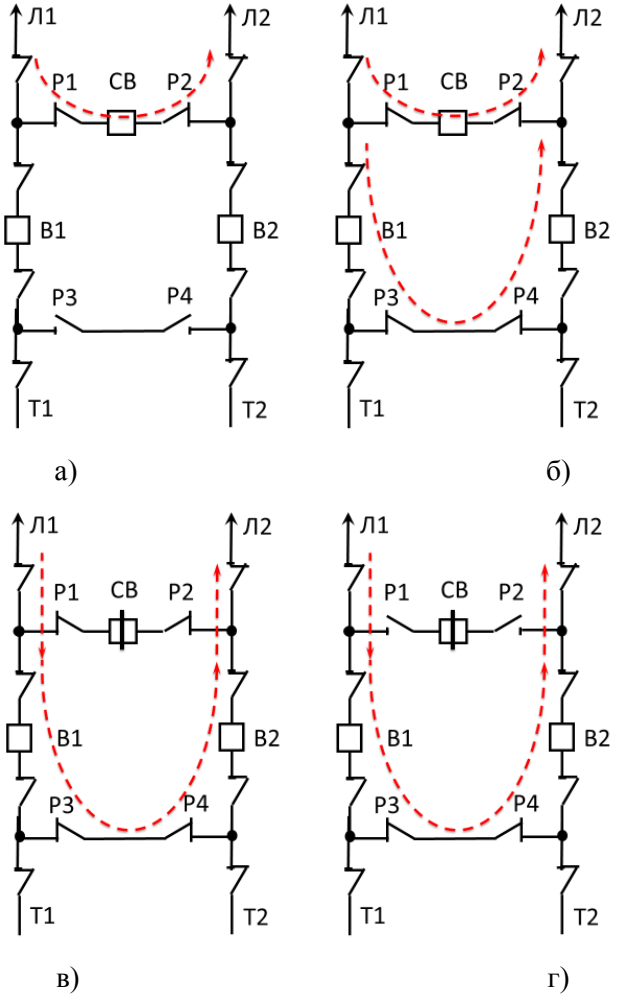


Рис. 20. Вывод в ремонт выключателя в схеме мостика с ремонтной перемычкой. а) исходная схема; б) включение ремонтной перемычки (разъединителей Р3 и Р4); в) отключение СВ; г) отключение разъединителей Р1 и Р2

На рис. 20 (а) показана нормальная схема мостика с выключателями со стороны трансформаторов и ремонтной перемычкой с разъединителями Р3 и Р4. Переток мощности показан только между линиями Л1 и Л2. Перетоки мощности через трансформаторы Т1 и Т2 также имеют место, но условно не показаны. На рис. 20 показаны основные этапы вывода в ремонт секционного выключателя СВ. С включенного выключателя СВ снимается оперативный ток. Включаются разъединители Р3 и Р4 ремонтной перемычки. Так как ремонтная перемычка зашунтирована контактами выключателя СВ, то включение разъединителей Р3 и Р4 проходит без дуги. Теперь токи между линиями Л1 и Л2 протекают не только через СВ, но и через ремонтную перемычку. Далее на привод выключателя СВ подают оперативный ток. Отключают выключатель СВ. При этом ток между линиями Л1 и Л2 продолжает протекать через перемычку без перерыва транзита. После этого отключают разъединители Р1 и Р2. Выключатель СВ выведен в ремонт без перерыва питания присоединений.

Здесь мы рассмотрели схему мостика с выключателями и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов. В схеме с выключатели и перемычкой со стороны линий все переключения выполняются аналогично.

5. Вывод в ремонт сборных шин

Вывод в ремонт сборных шин может быть осуществлен одним из способов в зависимости от схемы распределительного устройства:

1. в схемах с одной сборной шиной – отключением присоединений данной шины (или секции, если шина секционирована) на все время ремонта;

2. в схемах с двумя системами сборных шин и одним выключателем на присоединение – переключением присоединений с выводимой в ремонт шины на другую шину без перерыва питания с помощью шиносоединительного выключателя;

3. в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3 – отключением данной сборной шины выключателями и шинными разъединителями без перерыва питания присоединений.

Рассмотрим подробно перечисленные способы.

5.1. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с одной сборной шиной

Речь идет о несекционированной или секционированной одинарной системе сборных шин с наличием ОСШ или без ОСШ. Если система сборных шин не секционирована, то будем говорить о выводе в ремонт целой шины. Если система сборных шин секционирована, то подразумевается вывод в ремонт одной из секций системы сборных шин. Так как обходная шина не предназначена для вывода шин в ремонт, то ее наличие в данном контексте не является принципиальным.

Если шина не секционирована, то ее вывод в ремонт осуществляется отключением выключателей всех присоединений, а далее – отключением всех шинных разъединителей. На время ремонта шины все присоединения будут претерпевать перерыв питания.

Если шина секционирована, то вывод в ремонт одной из ее секций осуществляется отключением выключателей присоединений данной секции, а также секционного выключателя, а далее – отключением всех шинных разъединителей, в том числе разъединителя в цепи секционного выключателя. На время ремонта секции примерно половина присоединений данного распределительного устройства будут претерпевать перерыв питания.

5.2. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с двумя сборными шинами и с одним выключателем на присоединение

Преимуществом двойной системы сборных шин перед одинарной является возможность вывода в ремонт шины без перерыва питания присоединений. На рис. 21 показана очередность действий при выводе в ремонт сборной шины в схеме с двумя сборными шинами. Рассматривается режим, когда одна из шин рабочая, а другая резервная. Видно, что присоединения переведены с рабочей на резервную шину без перерыва питания.

При режиме с фиксированным подключением присоединений в целом действия те же с той разницей, что ШСВ может быть в этом режиме нормально включен (тогда на время переключений с его привода следует снять оперативный ток) или отключен (тогда следует включить его разъединители, включить сам ШСВ и на время переключений снять с его привода оперативный ток). Также, очевидно, в случае фиксированного подключения операции с шинными разъединителями нужно проводить только для присоединений, которые были подключены к выводимой в ремонт шине.

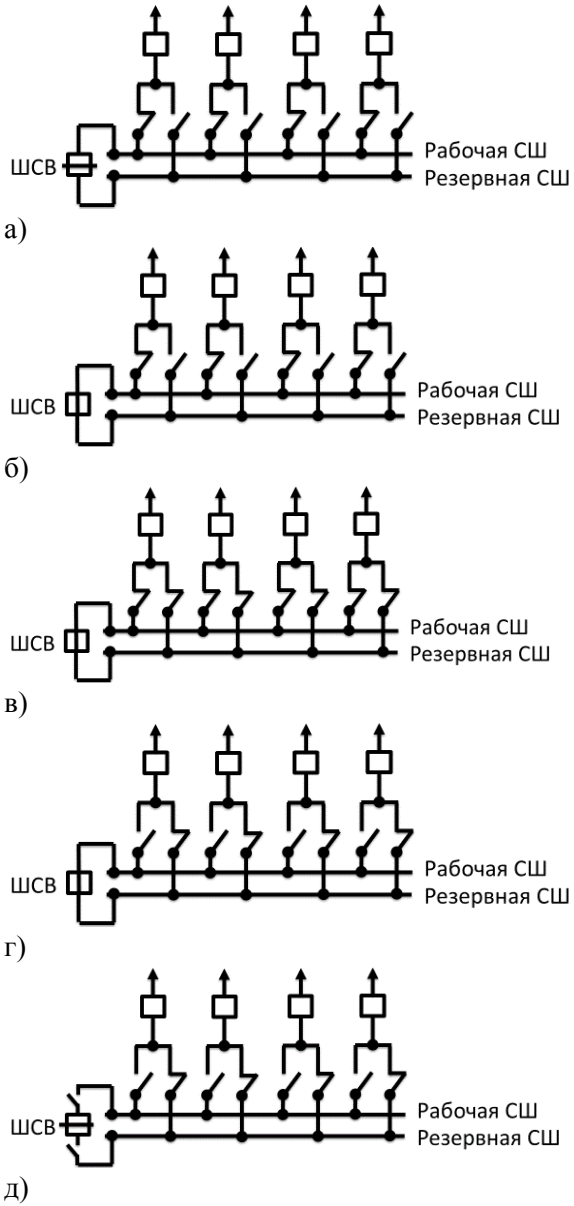


Рис. 21. Перевод присоединений в схеме с двойной системой сборных шин с рабочей шины на резервную без перерыва питания при выводе рабочей СШ в ремонт. а) исходная схема; б) включение ШСВ (после включения его разъединителей); в) включение шинных разъединителей резервной шины; г) отключение шинных разъединителей рабочей шины; д) отключение ШСВ и его разъединителей

Особенно следует прокомментировать рис. 21 б, на котором отображено включение ШСВ. Как известно, разъединители нельзя включать под нагрузкой. С другой стороны, переключения необходимо выполнять, не теряя присоединения. Чтобы разрешить это противоречие, пользуются тем правилом, что допускается шунтировать и расшунтировать разъединителем включенный выключатель (с привода которого снят оперативный ток) вместе с прилегающей к нему ошиновкой. Это значит, что контакты включенного выключателя пропускают через себя практически весь ток в параллельной схеме «выключатель-разъединитель». Очень важно, что при включении ШСВ естественным образом уравниваются потенциалы на обеих сборных шинах, что является гарантией отсутствия дуги при включении и отключении разъединителей в развилке.

На рис. 22 объясняется этот тезис. На рис. 22 а показан фрагмент принципиальной схемы РУ с двумя сборными шинами. На рис. 22 б, в приведена упрощенная адаптация этой схемы для объяснения безопасности операций с разъединителями под нагрузкой. На рис. 22 б видно, что при включенной цепи ШСВ потенциалы точек *а* и *б* на шинах вблизи ШСВ равны друг другу. Отсюда следует, что потенциалы точек a' и $б'$ на контактах отключенного разъединителя будут также равны, потому что потенциал точки *а* равен потенциалу точки a', а потенциал точки *б* равен потенциалу точки $б'$. На рис. 22 в показано включение данного разъединителя. При равенстве потенциалов между его контактами дуги не будет. Это можно также доказать с помощью рассмотрения токораспределения в параллельной цепи, в одну ветвь которой входят ШСВ и включенный разъединитель, а во вторую – включаемый разъединитель. Если допустить, что на контактах включаемого разъединителя возникнет дуга со своим ненулевым сопротивлением, то по закону Ома ток в цепи данного разъединителя будет пренебрежимо мал. Это следует из равенства падений напряжения в ветвях рассматриваемой параллельной цепи:

$I_1 \cdot R_к = I_2 \cdot R_д$;

$I_2 = I_1 \cdot \frac{R_к}{R_д} \approx 0$,

где I_1 – ток нагрузки присоединения;

I_2 – ток в цепи включаемого разъединителя нагрузки присоединения;

$R_к$ – сопротивление контактов ШСВ и включенного разъединителя; $R_к \approx 0$;

$R_д$ – сопротивление дуги на контактах включаемого разъединителя; $R_д \neq 0$.

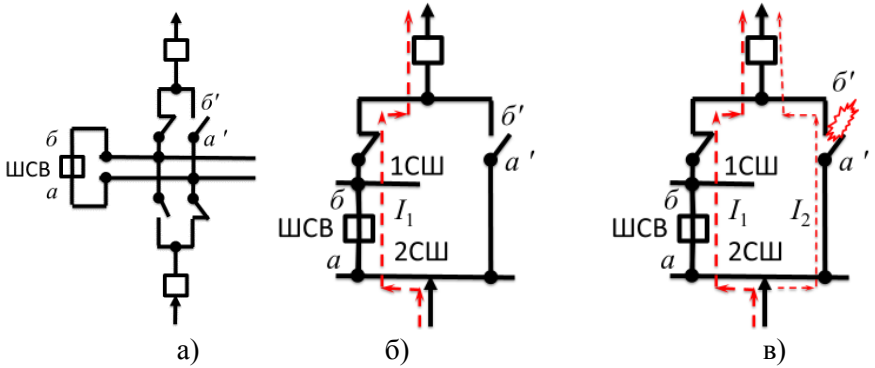


Рис. 22. К вопросу об отсутствии дуги на шинных разъединителей при замкнутом ШСВ

Разумеется, после включения разъединителя сопротивление дуги исчезнет и токи распределятся примерно поровну, так что ток I_2 станет большим. Но это уже произойдет после замыкания контактов, когда опасность появления дуги исчезнет. При отключении разъединителя можно провести аналогичное доказательство.

Итак, подытожим сказанное и перечислим этапы вывода в ремонт сборной шины в схеме с двумя сборными шинами и одним выключателем на присоединение:

1. включают разъединители в цепи ШСВ (если они были отключены), включают сам ШСВ (если он был отключен), с привода ШСВ снимают оперативный ток;

2. в развилках шинных разъединителей присоединений, переводимых с одной шины на другую, включают шинные разъединители;

3. в развилках шинных разъединителей присоединений, переводимых с одной шины на другую, отключают шинные разъединители, относящиеся к выводимой в ремонт шине;

4. подают оперативный ток на привод ШСВ, отключают ШСВ, отключают его разъединители.

Выше мы рассмотрели перевод присоединений без перерыва их питания с одной сборной шины на другую посредством шиносоединительного выключателя. Однако, правила [1] позволяют осуществлять перевод присоединений без перерыва их питания с одной сборной шины на другую без ШСВ. Речь идет о ситуации, когда ШСВ не установлен (то есть не предусмотрен в проекте РУ) или когда он находится в ремонте. Несмотря на отсутствие ШСВ, присоединения можно перевести на другую сборную шину,

уравнивая потенциалы между шинами шинными разъединителями самих присоединений. В этом случае имеется два очень важных ограничения:

- резервная шина до переключений должна быть без напряжения;
- на резервную шину переводятся все (не часть) находящиеся в работе присоединения.

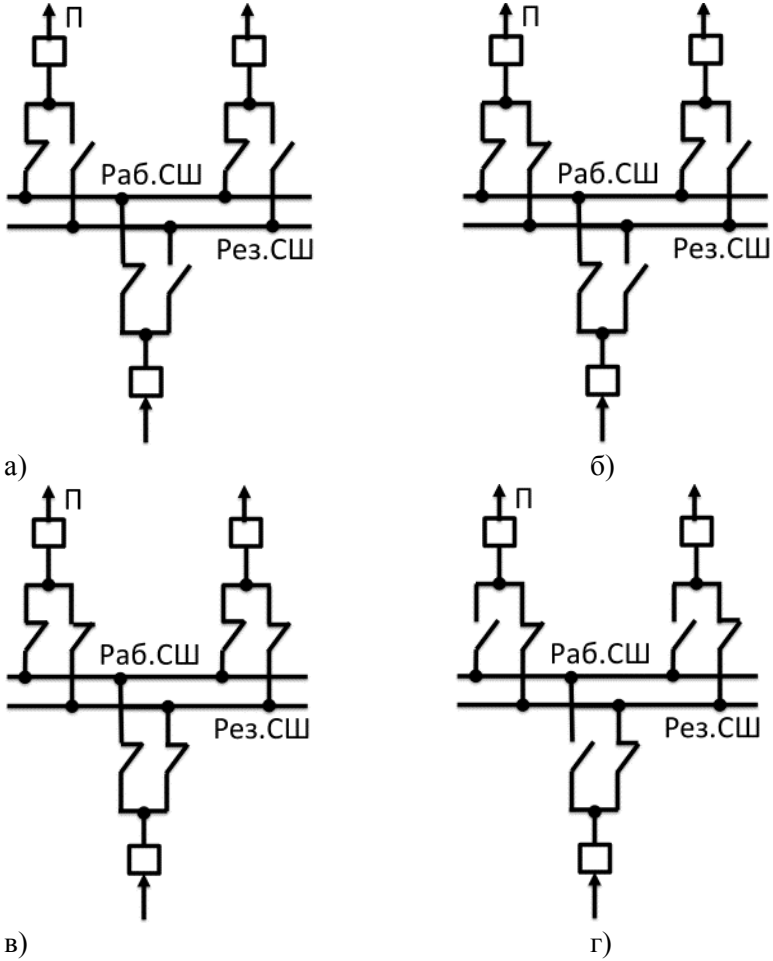


Рис. 23. Перевод присоединений без потери их питания с одной сборной шины на другую в схеме с двойной сборной шиной без ШСВ

а) исходная схема;

б) включение шинного разъединителя выбранного присоединения П на резервную шину;

в) включение шинных разъединителей остальных присоединений на резервную шину;

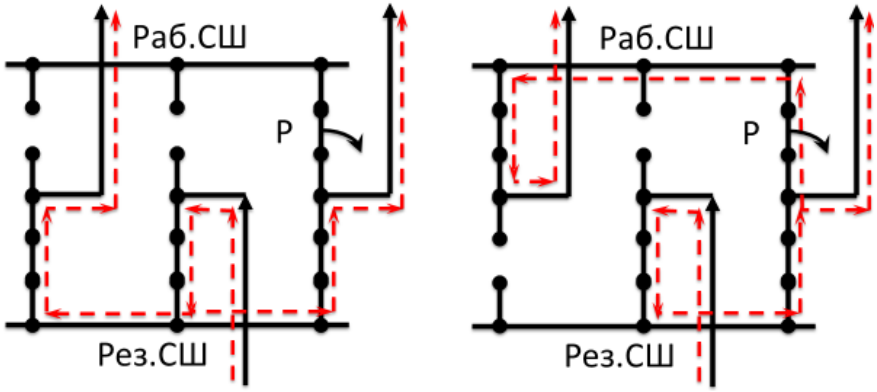
г) отключение разъединителей всех присоединений от рабочей шины

На рис. 23 показаны основные этапы перевода всех присоединений без перерыва их питания с рабочей шины на резервную в схеме с двумя СШ без ШСВ. Для такого перевода выбирается наиболее удобное с точки зрения местных условий присоединение (обозначим его П), шинный разъединитель которого будет участвовать в уравнивании потенциалов между шинами. Поскольку при включении данного разъединителя происходит подача напряжения на резервную сборную шину без возможности предварительного опробования этой шиной выключателем, то перед таким включением следует:

- проверить наружным осмотром готовность резервной СШ к включению под напряжение (обязательно);

- опробовать резервную СШ напряжением, подаваемым от смежной подстанции по одной из линий, которая предварительно переключается (с отключением) на резервную СШ (по возможности).

После этого включают выбранный шинный разъединитель (рис. 23 б), в результате чего уравниваются потенциалы на сборных шинах, и остальные коммутации разъединителями происходят без дуги. Заметим, что поскольку до переключений резервная шина была без напряжения и без нагрузки, то при включении выбранного шинного разъединителя дуги не будет. Далее включают шинные разъединители всех остальных присоединений на резервную СШ (рис. 23 в). После этого отключают шинные разъединители всех присоединений от рабочей СШ (рис. 23 г).



а) б)

Рис. 24. К вопросу частичного и полного перевода присоединений с одной шины на другую в схеме с двумя СШ без ШСВ

а) полный перевод всех присоединений (нет дуги на разъединителе Р);

б) частичный перевод присоединений (есть дуга на разъединителе Р)

Очень важным с точки зрения безопасного проведения операций с разъединителями является требование полного (а не частичного) перевода всех присоединений с одной шины на другую. Это обусловлено тем, что если перевести часть присоединений на одну СШ, а часть оставить на второй, то при отключении последнего разъединителя на нем возникнет дуга. На рис. 24 показан правильный (а) и неправильный (б) перевод присоединений, где буквой Р обозначен последний отключаемый шинный разъединитель. Рассматривая пути протекания тока, можно заметить, что при полном переводе всех присоединений дуги на разъединителе Р не возникает, а при частичном переводе – возникает. Если по какой-то причине необходимо перевести часть присоединений с шины на шину, то в рассматриваемой схеме это можно выполнить только с перерывом питания присоединений.

Важно отметить, что перевод присоединений с шины на шину без ШСВ невозможно осуществить в схеме с фиксированным подключением присоединений, так как в этом случае при первом же включении шинного разъединителя возникнет дуга.

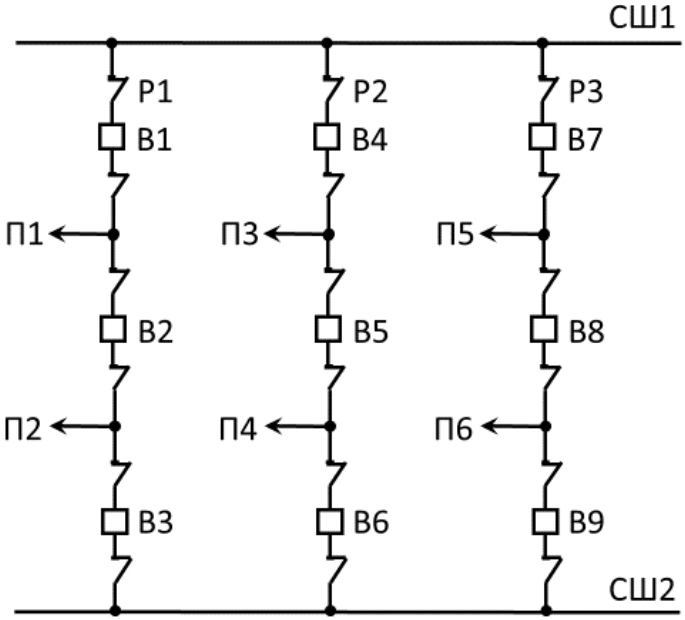
В заключение заметим, что схемы с двумя сборными шинами без ШСВ эксплуатируются крайне редко. При проектировании схемы с двумя СШ и одним выключателем на цепь стремятся устанавливать ШСВ. А в эксплуатации стараются не выводить сборную шину в ремонт во время ремонта ШСВ.

5.3. Вывод в ремонт сборной шины в схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схемах 3/2 и 4/3

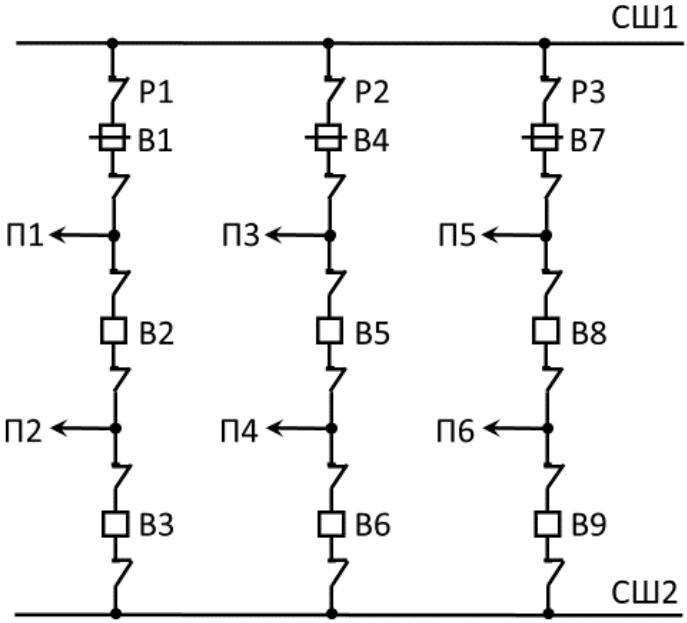
В данном случае вывод в ремонт сборной шины осуществляется крайне просто и без перерыва питания присоединения – отключением данной сборной шины выключателями и шинными разъединителями (рис. 25).

Рассматривая рис. 25, можно понять, что на время ремонта сборной шины СШ1 существенно снизится надежность питания присоединений, особенно – П1, П3, П5, которые раньше питались от обеих шин, а теперь только от шины СШ2. Так например, при КЗ на присоединении П2 во время ремонта шины СШ1 релейная защита отключит выключатели В2 и В3, обесточив неповрежденное присоединение П1. Если же во время ремонта шины СШ1 произойдет КЗ на шине СШ2, а выключатель В3 откажет в отключении, то будут потеряны два неповрежденных присоединения П1 и П2.

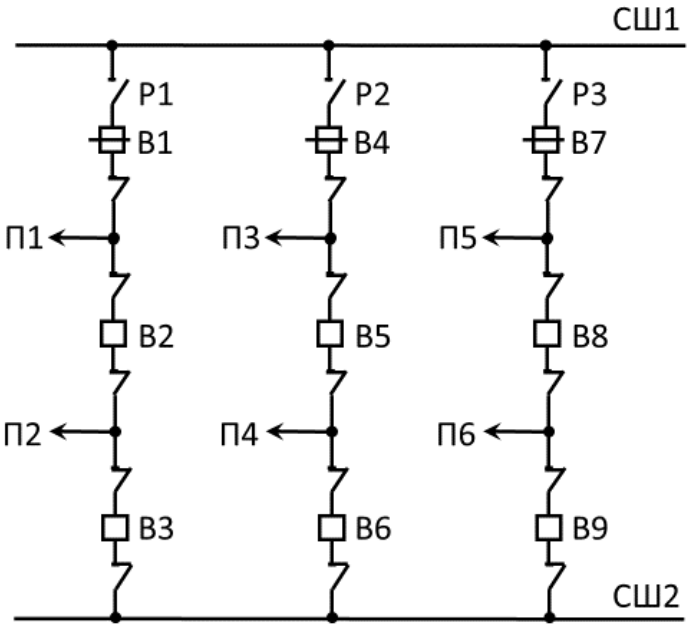
В схемах с двумя выключателями на цепь, в кольцевых схемах, в схеме 4/3 вывод в ремонт шины осуществляется аналогично.


СШ1
Р1
Р2
Р3
В1
В4
В7
П1
П3
П5
В2
В5
В8
П2
П4
П6
В3
В6
В9
СШ2

а)


СШ1
Р1
Р2
Р3
В1
В4
В7
П1
П3
П5
В2
В5
В8
П2
П4
П6
В3
В6
В9
СШ2

б)



в)

Рис. 25. Вывод в ремонт сборной шины СШ1 в схеме 3/2 (линейные разъединители не показаны)

а) исходная схема;

б) отключение верхнего ряда выключателей В1, В4, В7;

в) отключение шинных разъединителей Р1, Р2, Р3

6. Вывод в ремонт присоединений, примыкающих к распределительным устройствам

Под такими присоединениями будем подразумевать линии электропередачи, трансформаторы, автотрансформаторы и прочее электрооборудование, а также примыкающие к ним элементы, которые не отделены коммутационными аппаратами. Например, при выводе в ремонт установленных на линии электропередачи высокочастотного заградителя и конденсатора связи приходится отключать саму линию, потому что между ними нет коммутационных аппаратов. Для простоты будем рассматривать вывод в ремонт линии и трансформаторов.

6.1. Вывод в ремонт присоединений в схемах с одним выключателем на присоединение

В схемах с одним выключателем на присоединение (одинарная и двойная сборные шины с обходной шиной или без, мостик) вывод в ремонт линий и трансформаторов уже рассмотрен в предыдущих разделах. Коротко говоря, отключается выключатель данного присоединения, после чего отключается разъединитель между выключателем и присоединением.

Исключением является схема экономичного мостика. Строго говоря, такая схема не является схемой с одним выключателем на присоединение. Но поскольку она является разновидностью мостика – схемы с одним выключателем на присоединение, – то рассмотрим ее в этом разделе.

На рис. 26 показан пример вывода в ремонт линии Л1 в схеме экономичного мостика с выключателями на стороне трансформаторов. Ремонтная перемычка с разъединителями не показана, так как она не влияет на переключения. Так как со стороны линий нет выключателей, то вывод линии в ремонт осуществляется более сложно, чем в стандартной схеме с одним выключателем на присоединение. Рассмотрим порядок переключений по рис. 26:

1. отключают выключатели В1 и В3, смежные с линией Л1; ток нагрузки линии снят; кроме того, отключен трансформатор Т1, питание которого надо как можно быстрее восстановить;

2. отключают линейный разъединитель Р1, линия Л1 выведена в ремонт; осталось восстановить питание трансформатора Т1;

3. включают выключатели В1 и В3, питание трансформатора восстановлено.

Из этого примера видно, что за экономичность такой схемы мы платим кратковременным погашением трансформатора при выводе в ремонт линии. Если же выключатели установлены со стороны линий, а не со стороны трансформаторов, то при выводе трансформатора в ремонт будет кратковременно отключена линия. Эти особенности учитывают при обосновании выбора указанных схем.

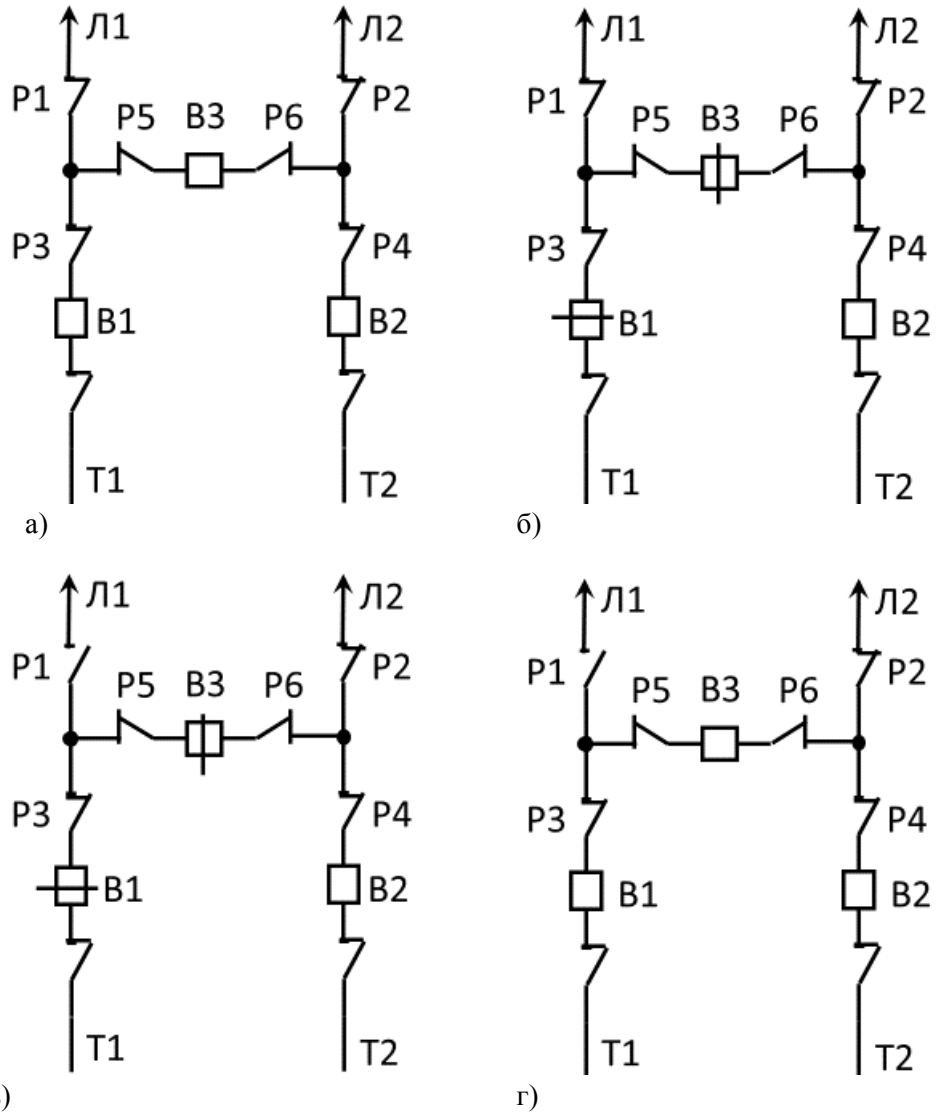


Рис. 26. Вывод в ремонт линии в схеме экономичного мостика с выключателями со стороны трансформаторов

а) исходная схема;

б) отключение выключателей В1, В3;

в) отключение разъединителя Р1;

г) включение выключателей В1, В3

6.2. Вывод в ремонт присоединений в схемах с коммутацией присоединения двумя выключателями

В схемах 3/2, 4/3, в кольцевых схемах вывод в ремонт присоединения имеет свои особенности. В каждой из упомянутых схем имеется фрагмент, показанный на рис. 27.

Здесь очень важным элементом является разъединитель присоединения (допустим, линейный разъединитель ЛР в случае вывода в ремонт линии). Именно этот разъединитель позволяет вывести в ремонт присоединение без снижения надежности функционирования схемы РУ в течение ремонта.

Перечислим основные операции по рис. 27:

1. отключают два выключателя, смежные с данным присоединением; при этом ток нагрузки исчезает;

2. отключают линейный разъединитель ЛР;

3. включают обратно два выключателя, смежные с данным присоединением; при этом восстанавливается переток мощности в данной ячейке.

Обратите особое внимание, что разъединителями Р2 и Р3 никакие операции не производятся. Данные разъединители предназначены для другой задачи – для вывода в ремонт выключателей В1 и В2.

Вернемся к описанным операциям. Строго говоря, включение выключателей В1 и В2 не является частью действий по выводу присоединения в ремонт. Однако, такое включение позволяет сохранить надежность функционирования РУ на все время ремонта присоединения, а в случае КЗ на присоединении – создать надежный послеаварийный режим с перетоком мощности по ячейке. Поясним этот тезис с помощью рис. 28, где показан вывод в ремонт присоединения П1 в схеме 3/2.

Для демонстрации важности линейного разъединителя ЛР остальные включенные линейные разъединители присоединений П2…П6 не показаны. После вывода в ремонт присоединения П1 выключатели В1 и В2 включают. Конкретно для схемы рис. 28 эта процедура увеличивает число колец от одного до трех. Как следствие, присоединение П2 запитывается не только от СШ2 (как это было бы при отключенных выключателях В1 и В2), но и от СШ1. Даже если в течение ремонта присоединения П1 возникнет КЗ на СШ2, то питание присоединения П2 сохранится.

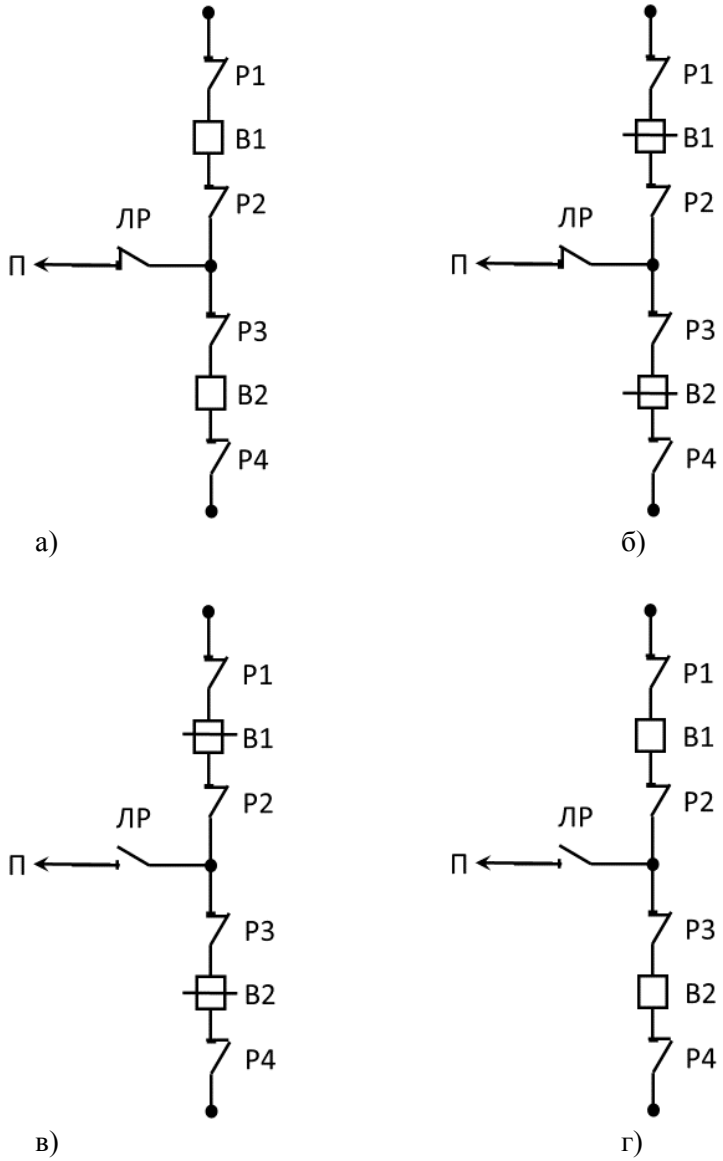


Рис. 27. Вывод в ремонт присоединения, отходящего от РУ со схемой кольца, 3/2, 4/3

а) исходная схема;

б) отключение выключателей В1, В2;

в) отключение разъединителя присоединения ЛР;

г) включение выключателей В1, В2

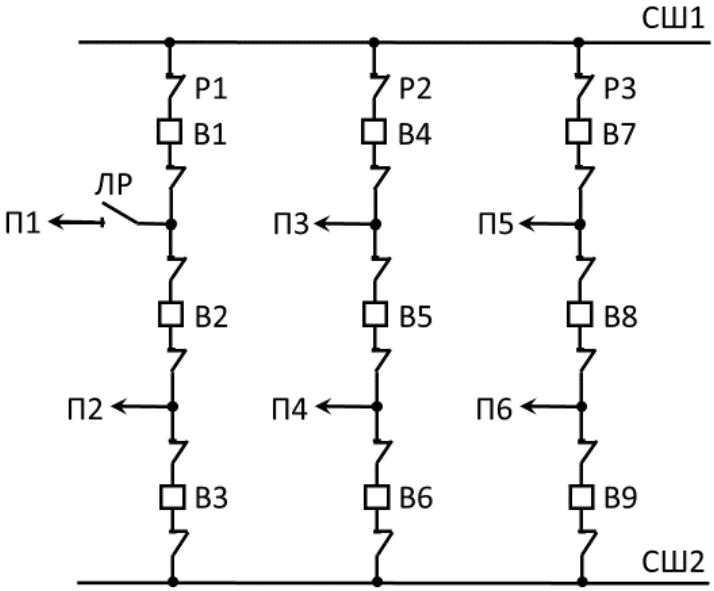


Рис. 28. К вопросу о необходимости включенного положения выключателей В1 и В2 на время ремонта присоединения П1

Если бы линейного разъединителя ЛР не было, то на все время ремонта П1 нам пришлось бы держать выключатели В1 и В2 отключенными. Если бы в такой ситуации случилось КЗ на сборной шине СШ2, то присоединение П2 было бы отключено действием релейной защиты шин. При этом восстановить питание П2 можно было бы лишь после окончания ремонта шины СШ2 или после окончания ремонта присоединения П1. Аналогичные рассуждения можно провести и для других схем, имеющих кольцевые связи: 4/3, треугольник, квадрат, шестиугольник.

Исключением является ситуация, когда в схеме 3/2 имеется неполная ячейка из двух (а не трех, как обычно) выключателей. В таком случае установка линейного разъединителя желательна, но необязательна. На рис. 29 показана такая схема.

Анализируя рис. 29, видим следующее. Так как кроме П1 никаких других присоединений в неполной ячейке нет, то на время ремонта присоединения П1 можно держать выключатели В1 и В2 отключенными. Разумеется, для создания видимого разрыва должны быть также отключены разъединители Р4, Р5. При этом надежность схемы практически не снижается.

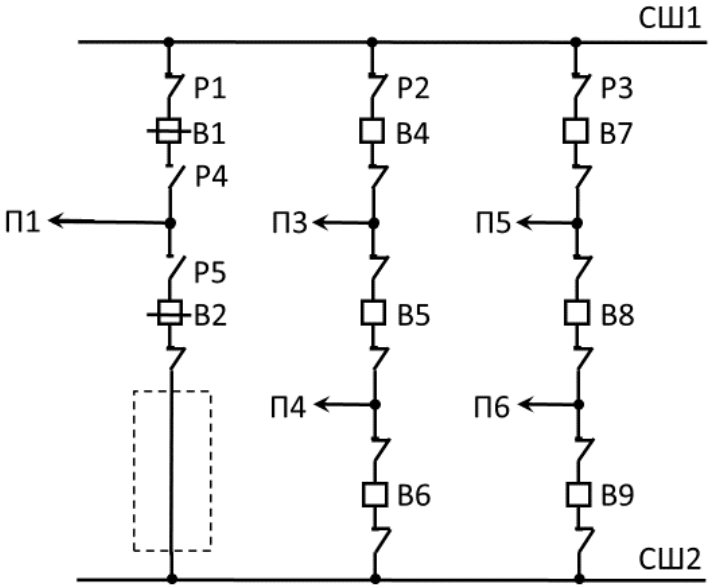


Рис. 29. К вопросу о выводе в ремонт присоединения П1 в схеме 3/2 с неполной ячейкой (пунктиром показано возможное место для подключения присоединения П2 при расширении РУ)

Тем не менее, устанавливать линейный разъединитель желательно даже в такой схеме. Во-первых, при такой установке унифицируются операции во всех ячейках. Во-вторых, снижается общее число коммутаций разъединителями. В-третьих, разъединитель ЛР станет актуальным после расширения схемы с добавлением присоединения П2 (показано на рис. 29 пунктиром). В-четвертых, надежность схемы, хоть и незначительно, но возрастет. В самом деле, если в течение ремонта присоединения П1 при отключенной цепочке В1-В2 возникнет надобность в ремонте выключателя В7, за время которого произойдет КЗ на П4, то будет потеряно присоединение П3. Очевидно, при включенной цепочке В1-В2 такой потери не будет. Комбинация таких событий имеет весьма малую вероятность. Тем не менее такая ситуация возможна.

Что касается схемы с двумя сборными шинами и двумя выключателями на линию, то здесь специальный линейный разъединитель не нужен. Вывод линии в ремонт производят отключением двух выключателей и двух разъединителей, как на рис. 29.

6.3. Вывод в ремонт присоединений в схемах трансформаторы-шины

Схема трансформаторы-шины с подключением линий через два выключателя и схема трансформаторы-шины с подключением линий через цепочки 3/2 имеют свои особенности по выводу в ремонт трансформаторов. В этих схемах трансформаторы подключаются к шинам через разъединитель без выключателя. Это значит, что при выводе трансформатора в ремонт следует отключить все выключатели, смежные с данной шиной (то есть с данным трансформатором); затем отключают трансформаторный разъединитель, затем включают выключатели обратно.

На рис. 30 показана схема трансформаторы-шины с подключением линий через два выключателя.

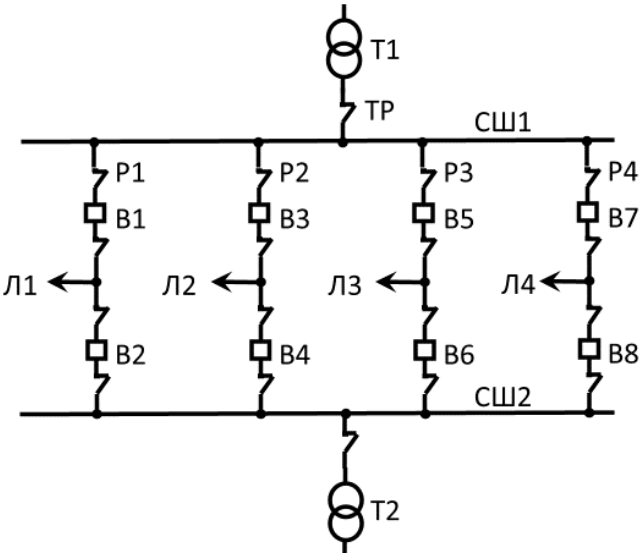


Рис. 30. Схема трансформаторы-шины с подключением линий через два выключателя

Для вывода в ремонт трансформатора Т1 отключают примыкающие к шине СШ1 и к трансформатору Т1 выключатели В1, В3, В5, В7. Затем отключают трансформаторный разъединитель ТР. Затем включают выключатели В1, В3, В5, В7.

6.4. Особенность вывода в ремонт присоединений в случае опасности возникновения феррорезонанса

Существует особенность вывода в ремонт (авто)трансформатора в схеме 3/2, 4/3 и в кольцевых схемах в случае опасности возникновения феррорезонанса между электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения.

В данном пособии проблема феррорезонанса подробно не рассматривается. Вкратце, природа феррорезонанса в сетях напряжением 110 кВ и выше такова. Нелинейная индуктивность электромагнитных (не емкостных) трансформаторов напряжения резонирует с емкостью конденсаторов, шунтирующих контакты отключенного выключателя. При этом возникает сверхток, разрушающий первичную обмотку трансформатора напряжения. Корень «ферро» подразумевает, что обмотка ТН намотана на железный (точнее, стальной) сердечник, и поэтому индуктивность изменяется в широком диапазоне, а значит индуктивное сопротивление X_L невозможно отстроить от емкостного X_C. При случайном совпадении указанных сопротивлений ($X_L = X_C$) возникает сверхток.

Это явление имеет место только в том случае, когда выключатель не отделен от источника питания и от шины разъединителями, трансформатор напряжения также не отделен от шины разъединителем, а кроме указанных элементов к шине ничего не подключено. Такая ситуация может возникнуть как раз при выводе шины или (авто)трансформатора в ремонт. Пока к шине подключено хотя бы одно присоединение, резонансный контур ТН и конденсаторов выключателей не представляет опасности: ведь дополнительное индуктивное или емкостное сопротивление присоединения нарушает равенство $X_L = X_C$.

В инструкции [6] предлагаются различные способы предотвращения такого феррорезонанса. Одним из способов является изменение обычного порядка оперативных переключений при выводе (авто)трансформатора в ремонт. При этом выполняют нестандартную процедуру – деблокирование разъединителя и выключателя. Деблокирование – это вывод из действия блокировки, запрещающей операции с разъединителем при включенном выключателе. Пока блокировка есть, такие операции запрещены. После деблокирования такие операции становятся возможными. Конструкции и принцип действия различных видов блокировок будут рассмотрены позже.

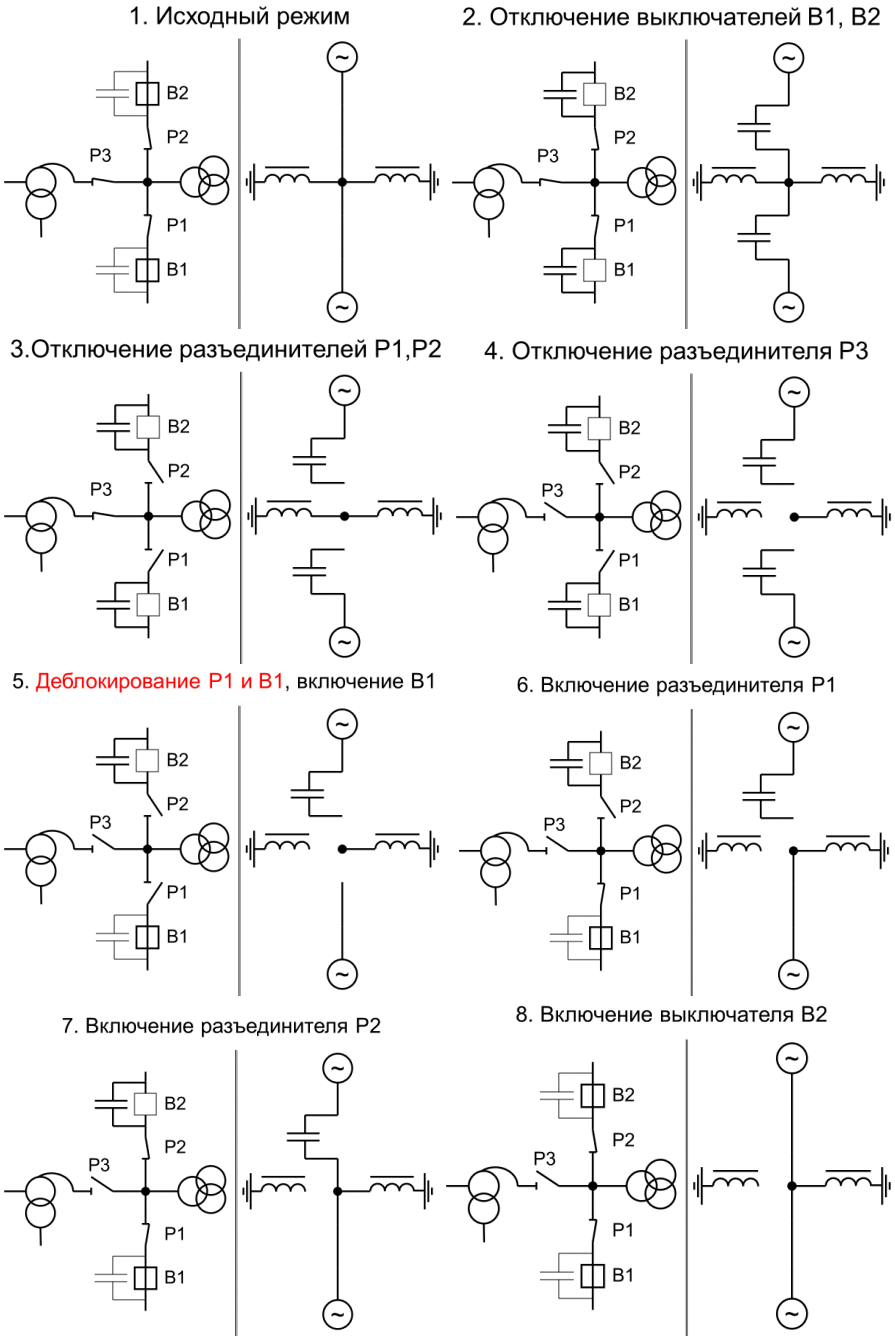


Рис. 31. Вывод в ремонт автотрансформатора в схеме 3/2 в случае возможности возникновения феррорезонанса

На рис. 31 на примере вывода в ремонт автотрансформатора в схеме 3/2 показаны особенности переключений, связанные с предотвращением феррорезонанса. Наряду с принципиальной электрической схемой для каждого этапа переключений показана электротехническая схема, на которой для наглядности отображены источники питания, индуктивности, емкости, точки заземления нейтралей. Обратим внимание, что схема спроектирована не вполне удачно: из соображения экономии или уменьшения габаритов РУ трансформатор напряжения подключен непосредственно, без разъединителя.

Разберем особенности вывода АТ в ремонт согласно позициям рис. 31.

1. Исходный режим. АТ питается через выключатели В1 и В2. Конденсаторы этих выключателей зашунтированы контактами выключателей, поэтому в схеме они пока отсутствуют. Нейтраль АТ всегда заземляется, поэтому показана связь индуктивности обмотки АТ и земли. Также на схеме справа показана индуктивность первичной обмотки ТН, нейтраль которой на напряжениях 110 кВ и выше также заземляется.

2. Отключение выключателей В1, В2. Это стандартная операция для такой схемы. Однако, важным является то, что при размыкании контактов выключателей в схеме появляются емкости конденсаторов. Пока феррорезонанса нет, так как наряду с сопротивлением X_L трансформатора напряжения присутствует индуктивное сопротивление обмотки АТ.

3. Отключение разъединителей Р1, Р2. Эта операция нестандартная. Она нужна для того, чтобы устранить связь между емкостями и индуктивностью ТН. Если бы вместо отключения Р1, Р2 мы бы отключили Р3, то возникла бы опасность феррорезонанса из-за совпадения X_L и X_C оставшихся в схеме элементов.

4. Отключение разъединителя Р3. Теперь все элементы схемы отделены друг от друга, АТ выведен в ремонт, осталось восстановить целостность ячейки с выключателями В1, В2 и трансформатором напряжения.

5. Деблокирование разъединителя Р1 и выключателя В1, включение В1. При замыкании контактов выключателя В1 выводится из действия его емкость.

6. Включение разъединителя Р1. Феррорезонанса нет, так как нет связи емкости с индуктивностью ТН. В предыдущих разделах говорилось, что нельзя включать разъединитель при включенном выключателе. Однако, здесь в виде исключения такая операция разрешена, поскольку контакты разъединителя Р1 зашунтированы кольцевыми цепочками контактов выключателей и других разъединителей. Если же таких колец нет (в случае ремонта элементов схемы РУ), то данная операция, конечно, запрещена.

7. Включение разъединителя Р2. Казалось бы, возникает связь между сопротивлениями X_L и X_C с появлением опасности феррорезонанса. Однако, емкостное сопротивление (сверху) оказывается параллельно включенным с закороткой (снизу). Поэтому эквивалентное сопротивление между источником питания и точкой включения ТН равно нулю. В связи с этим опасности феррорезонанса нет.

8. Включение выключателя В2. Целостность ячейки восстановлена. Емкости выведены из схемы.

Указанные действия характерны для любой схемы с кольцевыми связями: 3/2, 4/3, треугольник, квадрат, шестиугольник.

В приведенной последовательности операций следует особо прокомментировать пункты 5 и 6, потому что деблокирование разъединителя с выключателем – это потенциально опасная операция. Деблокирование может применяться только в случае крайней необходимости. Дальнейшие рассуждения покажут, что такая необходимость здесь имеется.

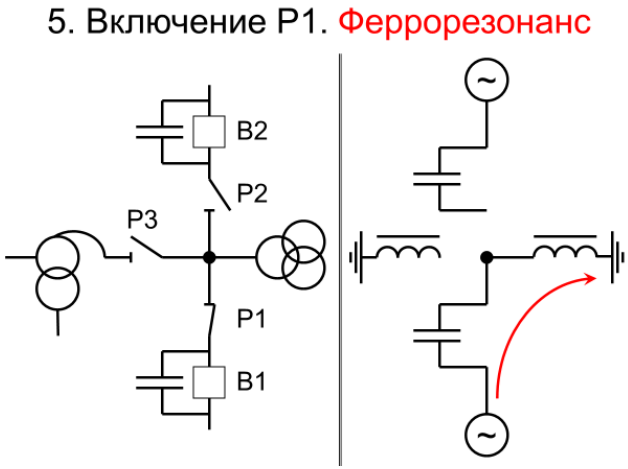


Рис. 32. К вопросу о необходимости деблокирования разъединителя Р1 с выключателем В1

При невыполнении деблокирования разъединителя Р1 с выключателем В1 включение разъединителя приведет к созданию цепочки: источник питания – емкость шунтирующего конденсатора выключателя В1 – индуктивность ТН. При этом возможен феррорезонанс. На рис. 32 показана ситуация, когда соблюдена обычная очередность включения разъединителя и выключателя: разъединитель Р1 уже включен, а выключатель В1 пока отключен. В момент включения Р1 возникнет феррорезонанс между конденса-

торами выключателя В1 и индуктивностью ТН. Чрезмерно возросший ток термически разрушит тонкую первичную обмотку ТН, что в худшем случае повлечет взрыв трансформатора напряжения. Раньше отечественные заводы выпускали только маслонаполненные ТН, поэтому на большинстве энергообъектов такая опасность существует.

Напомним, что такие сложные переключения возникают из-за проектного недочета – отсутствия разъединителя в цепи трансформатора напряжения. Если такой разъединитель имеется, то вышеприведенный алгоритм теряет актуальность. При наличии разъединителя в цепи ТН следует отключить этот разъединитель перед отсоединением автотрансформатора. Другими словами, очередность вывода в ремонт АТ становится стандартной с небольшим дополнением: отключение выключателей В1 и В2, отключение разъединителя ТН, отключение разъединителя Р3, включение выключателей В1 и В2, включение разъединителя ТН. Поскольку на время отключения ТН снижается надежность релейной защиты, то отключение Р3 и включение В1, В2 следует произвести как можно быстрее.

Обобщая вышесказанное, можно сформулировать общее правило коммутаций при наличии разъединителя в цепи ТН для любой схемы РУ (в том числе и для схем с одним выключателем на присоединение): разъединитель трансформатора напряжения следует отключить перед отключением последнего питающего присоединения.

Следует отметить, что изменение порядка оперативных переключений не является единственным методом борьбы с феррорезонансом. В методических указаниях [6] приведены другие многочисленные мероприятия.

7. Оперативная блокировка

Оперативная блокировка – это технические меры по предотвращению неправильных действий персонала при оперативных переключениях. За счет особой конструкции блокировка делает физически невозможным нарушение очередности тех или иных операций. Наряду с организационными мерами (инструкция по переключениям, бланки переключений, барьеры, плакаты и знаки безопасности) блокировка является чрезвычайно важной составляющей по обеспечению безопасности в ходе оперативных переключений.

Оперативная блокировка предотвращает следующие неправильные действия, которые могут привести к появлению дуги и короткого замыкания:

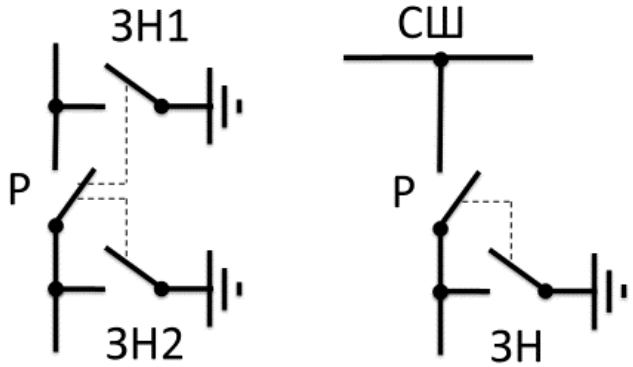
- включение и отключение разъединителя при включенном выключателе;
- вкатывание и выкатывание тележки включенного выключателя в ячейку КРУ;
- включение разъединителем заземленного участка схемы;
- включение заземляющего ножа участка схемы, находящегося под напряжением [7].

По принципу действия различают следующие виды блокировок.

• механическая:
  - непосредственная;
  - замковая;
• электромагнитная;
• электрическая.

7.1. Механическая непосредственная блокировка

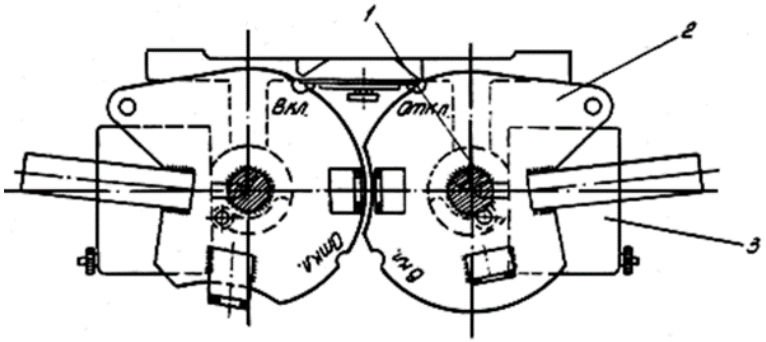
Механическая непосредственная блокировка основана на кинематической связи между приводами электрических аппаратов. Такая блокировка применяется лишь в том случае, когда эти аппараты находятся близко друг к другу или составляют единый аппарат. Самым ярким примером механической непосредственной блокировки является блокировка разъединителя с примыкающими к нему заземляющими ножами. На рис. 33 такая блокировка обозначена пунктирными линиями. Здесь имеется в виду, что ЗН является неотъемлемой частью разъединителя как покупного изделия. Если разъединитель не является шинным, то по обеим его сторонами должны быть установлены ЗН (рис. 33 а). Если разъединитель шинный, то ЗН со стороны шины не устанавливается, а с другой стороны устанавливается (рис. 33 б). Это объясняется тем, что для шины как для одной электрической точки достаточно одного заземляющего ножа, который предусматривают в специально выделенной ячейке измерительного трансформатора напряжения. Ставить ЗН со стороны шины на каждом присоединении не принято. Во-первых, это неэкономично. Во-вторых, это опасно, так как увеличивается вероятность включения заземленной шины под напряжение или наложения заземления на участок схемы под напряжением.



а) б)

Рис. 33. Обозначение механической непосредственной блокировки
а) разъединителя с двумя ЗН;
б) разъединителя с одним ЗН

Для определенности рассмотрим конструкцию механической непосредственной блокировки между одним разъединителем и одним ЗН (рис. 34). Диск слева сцеплен с подвижной частью привода разъединителя, а справа – с приводом заземляющего ножа. В дисках имеются выемки, которые препятствуют или разрешают поворот соседнего диска. Видно, что в данном случае можно свободно поворачивать диск разъединителя, но нельзя повернуть диск заземляющего ножа. Это значит, что даже прикладывая значительное мускульное усилие к приводу ЗН, оперативник не сможет им управлять.



1 - вал; 2 - диск; 3 - блокировочный замок

Рис. 34. Конструкция механической непосредственной блокировки разъединителя с заземляющим ножом

Теперь рассмотрим принцип действия механической непосредственной блокировки между одним разъединителем и одним ЗН (рис. 35).

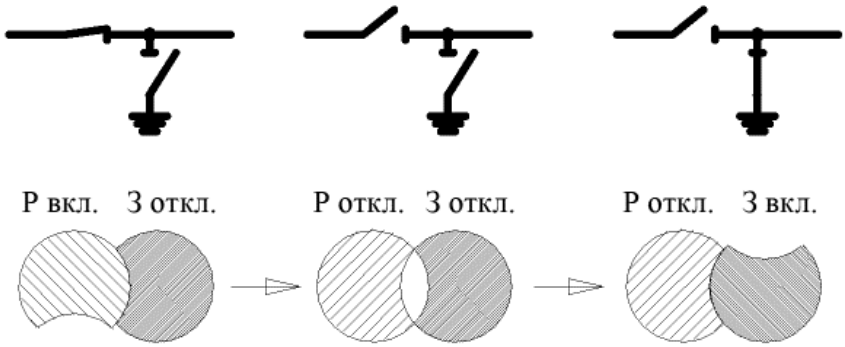


Рис. 35. Принцип действия механической непосредственной блокировки разъединителя с заземляющим ножом

Допустим, исходная схема такова, что разъединитель включен, а ЗН отключен. Разъединитель может быть под напряжением. В этой ситуации правила разрешают отключить разъединитель, но не разрешают включить ЗН, так как иначе возникнет КЗ на землю. И кинематическая схема также разрешает повернуть подвижную часть привода разъединителя, но не разрешает поворачивать диск ЗН. Таким образом, мы видим совпадение организационного запрета (разрешения) и физической невозможности (возможности) совершения действий.

Далее, когда мы отключили разъединитель, а ЗН также остался отключенным, можно включить любой аппарат. Выемки в диске, как видно, этому не препятствуют. Допустим, включили ЗН. Теперь разъединитель включить нельзя. Организационно – потому что иначе мы подадим напряжение на заземленную часть электроустановки. Физически – потому что мешает выемка диска разъединителя. При этом можно отключить ЗН.

Другим примером механической непосредственной блокировки является блокировка между подвижным элементом ячейки КРУ и положением контактов выключателя. Когда выключатель включен, его тележку невозможно вкатить в ячейку. Этому препятствуют специальные штифты, а также закрытое положение защитных шторок между токоведущими частями и втычными контактами подвижного элемента. Также тележку невозможно выкатить из ячейки. Этому препятствуют штифты.

Если выключатель отключен, то штифт переходит в утопленное положение и не препятствует выкатыванию тележки. И, наоборот, тележку можно вкатить в ячейку, так как шторки открыты.

Достоинство механической непосредственной блокировки заключается в простоте и надежности. Недостатком является нецелесообразность ее реализации для аппаратов, находящихся на большом расстоянии друг от друга. Поэтому для таких аппаратов применяют иные виды блокировок.

7.2. Механическая замковая блокировка

Механическая замковая блокировка основана на запирании привода аппарата специальным ключом с определенным секретом. Этот ключ имеется в единственном экземпляре. Ключ можно вынуть из гнезда замка лишь при выполнении некоторых условий. Освобожденным ключом можно отпирать приводы аппаратов и производить операции с ними.

На рис. 36 показана конструкция механической замковой блокировки. Видно, что привод электрического аппарата сопряжен с подвижной гребенкой с пазами. Контакты аппаратов могут двигаться синхронно с гребенками (если те не заблокированы штифтом). В замке привода выключателя находится ключ. Его можно вынуть только в том случае, когда штифт входит в предназначенное для него отверстие. Штифт может втягиваться в замок с помощью поворота ключа и выходить из замка в свободное пространство под действием пружины в замке.

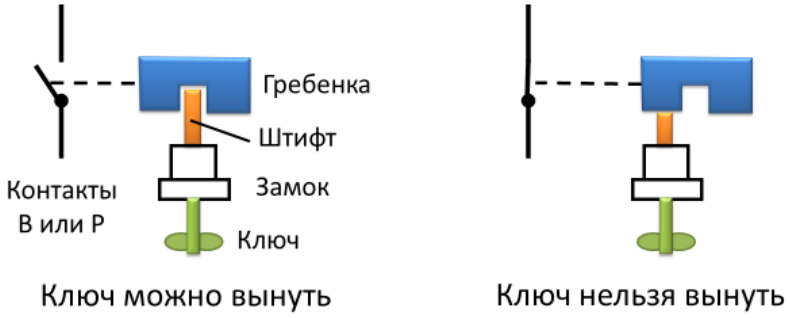


Рис. 36. Конструкция механической замковой блокировки

На рис. 37 показаны этапы отключения выключателя и его разъединителей (линейного ЛР и шинного ШР) с учетом действия механической замковой блокировки. Как известно, сначала следует отключить выключатель, затем отключить ЛР и после этого отключить ШР. Прокомментируем позиции рис. 37:

а) исходная схема, когда все аппараты включены; ключ невозможно вынуть, а значит, разъединители отключить невозможно;

б) после отключения выключателя штифт входит в отверстие гребенки и фиксирует контакты выключателя в отключенном положении; ключ можно вынуть;

в) оперативник вынимает ключ и вставляет его в гнездо замка линейного разъединителя;

г) поворотом ключа штифт втягивается, гребенка освобождается;

д) оперативник отключает ЛР;

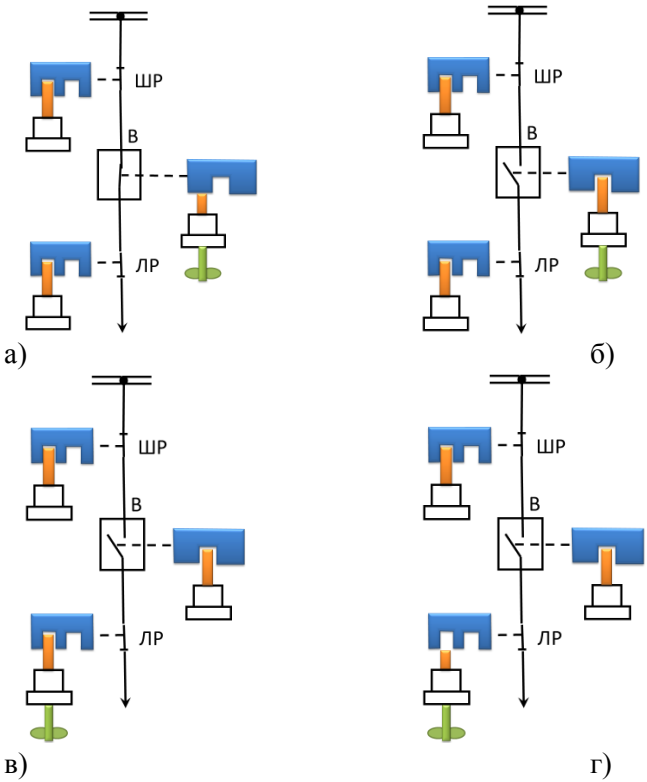
е) штифт входит в следующий паз гребенки, запирая тем самым привод ЛР; ключ можно вынуть из замка;

ж) оперативник вынимает ключ и вставляет его в замок шинного разъединителя;

з) поворотом ключа штифт втягивается, гребенка освобождается;

и) оперативник отключает ШР;

к) штифт входит в следующий паз гребенки, запирая тем самым привод ШР.



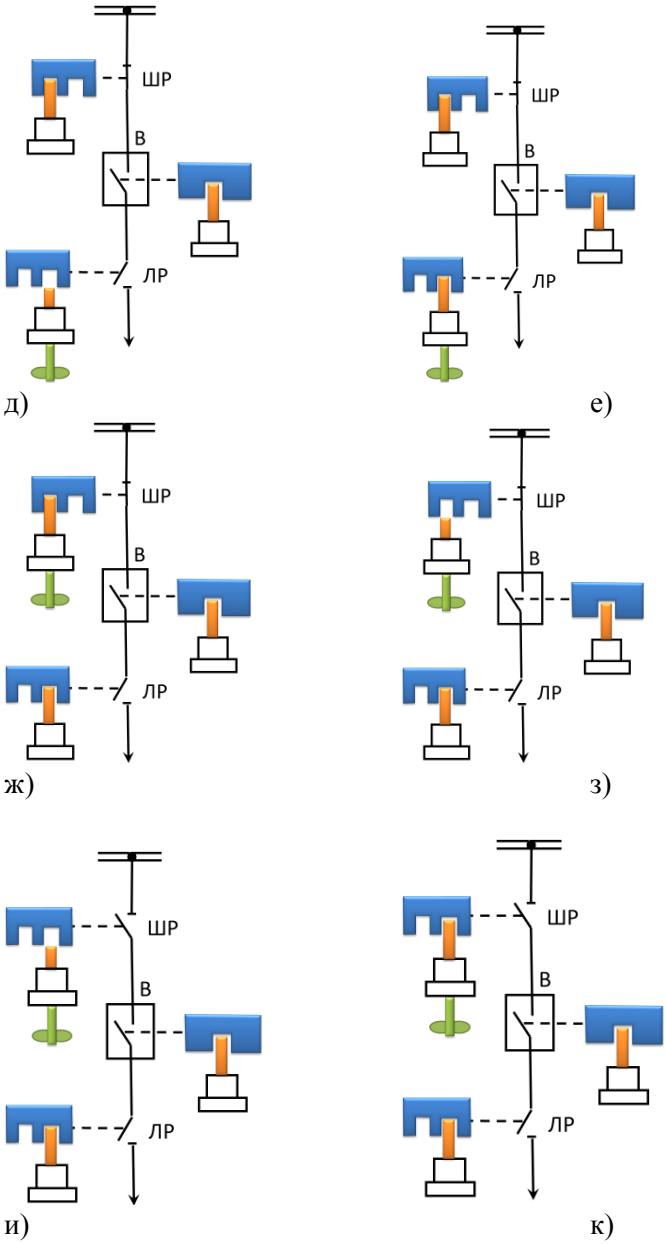


Рис. 37. Отключение выключателя и его разъединителей при использовании механической замковой блокировки

Недостатками такой блокировки является потенциальная возможность изготовления дубликата ключа, физическая возможность операций разъеди-

нителями ЛР и ШР в обратном порядке, невозможность создания сложных алгоритмов разрешающих операций. Механическая замковая блокировка применяется в простейших схемах РУ с малым количеством присоединений.

7.3. Электромагнитная блокировка

Недостатки механической замковой блокировки можно устранить, если вместо обычного ключа использовать электромагнитный ключ, а вместо механического замка применить электрический блокировочный замок.

На рис. 38 упрощенно показан электромагнитный ключ и блокировочный замок. Электромагнитный ключ состоит из диэлектрического корпуса, подвижного стального сердечника с кольцом для ручного перемещения, вилки и катушки, намотанной вокруг сердечника. Если по катушке потечет ток, то сердечник намагнитится, а ключ станет активным, то есть сможет отпереть блокировочный замок. Замок состоит из диэлектрического корпуса, гнезда (розетки) и подвижного подпружиненного штифта, который можно втянуть внутрь замка лишь в том случае, если на клеммах розетки появится напряжение и вставленный ключ станет активным. Напряжение на клеммах розетки может появиться только при выполнении строго определенных условий – при конкретных положениях других коммутационных аппаратов. В выдвинутом положении штифт препятствует перемещению гребенки и, по сути, запирает привод данного коммутационного аппарата. Втягивая штифт в замок, мы тем самым освобождаем подвижную гребенку, отпираем привод коммутационного аппарата и можем включить его либо отключить.

На рис. 39 показана процедура отпирания блокировочного замка. Оперативник с электромагнитным ключом подходит к ручному приводу разъединителя или заземляющего ножа, вставляет в гнездо блокировочного замка ключ и вдвигает стержень в утопленное положение. Если в розетке замка присутствует напряжение, то сердечник намагничивается и притягивает к себе штифт. При этом привод коммутационного аппарата отпирается, после чего оперативник производит включение или отключение этого аппарата. Далее оперативник вынимает ключ из гнезда, а штифт в замке под действием пружины выдвигается из замка и тем самым фиксирует гребенку в новом положении. Таким образом, привод коммутационного аппарата вновь запирается до последующего воздействия оперативного персонала.

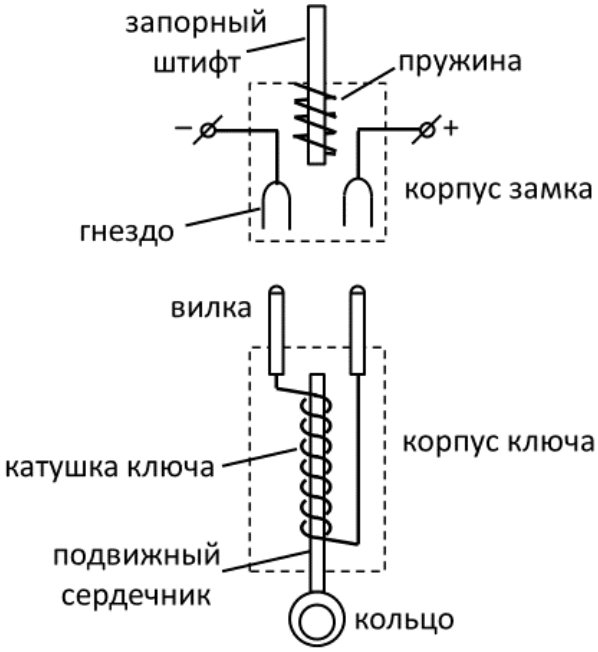


Рис. 38. Электромагнитный ключ и блокировочный замок

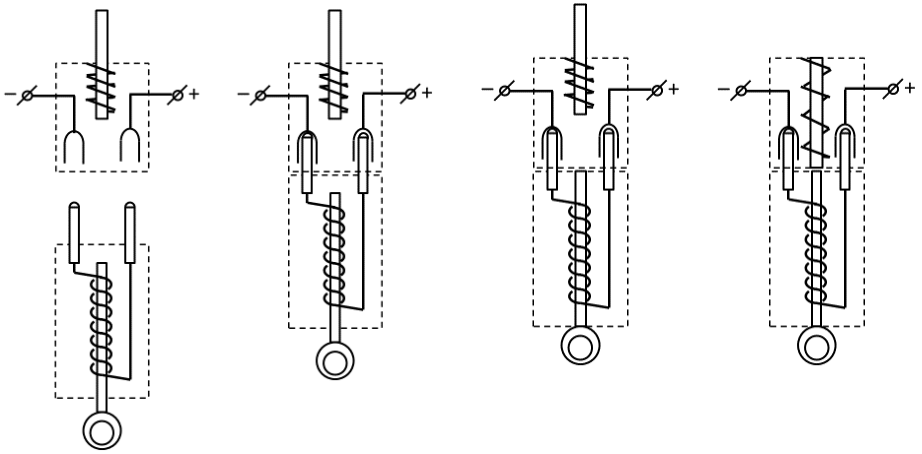
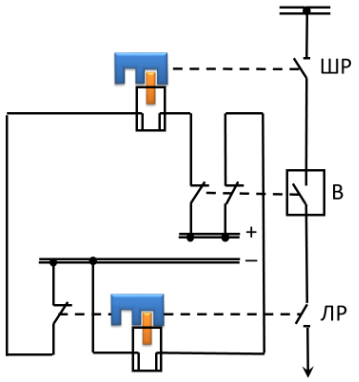


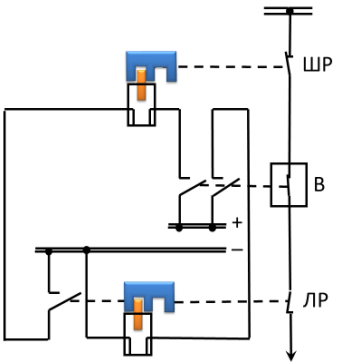
Рис. 39. Отпирание блокировочного замка
а) исходное положение;
б) электромагнитный ключ вставляют в блокировочный замок;
в) вдвигают подвижный стержень;
г) запорный штифт притягивается к намагниченному стержню

Перейдем к описанию алгоритмов подачи напряжения на клеммы блокировочных замков. Источником питания клемм замков являются шинки блокировки постоянного тока. Подача напряжения на клеммы замков осуществляется в зависимости от положения блок-контактов выключателей и разъединителей. Вторичная контактная схема разрабатывается с таким расчетом, чтобы запретить опасные операции. При определенном положении коммутационных аппаратов (а значит – и их блок-контактов) «плюс» или «минус» от шинки блокировки не поступят на клеммы замка.

На рис. 40 а показана первичная схема одного из присоединений к одинарной СШ с выключателем, шинным и линейным разъединителем, а также вторичная схема блокировки. Обычно схемы блокировок, как и релейно-контактные схемы, изображаются для отключенного положения всех первичных коммутационных аппаратов. Если на схеме блокировки изображен, например, нормально замкнутый блок-контакт выключателя, это означает, что такое замкнутое положение сохраняется на время отключенного положения самого выключателя. На рис. 40 показаны шинки блокировки («плюс» и «минус»). Остальные обозначения аналогичны рис. 37 с той лишь разницей, что теперь вместо обычного замка использует электрический блокировочный замок, а вместо обычного ключа используется электромагнитный ключ К.



а)



б)

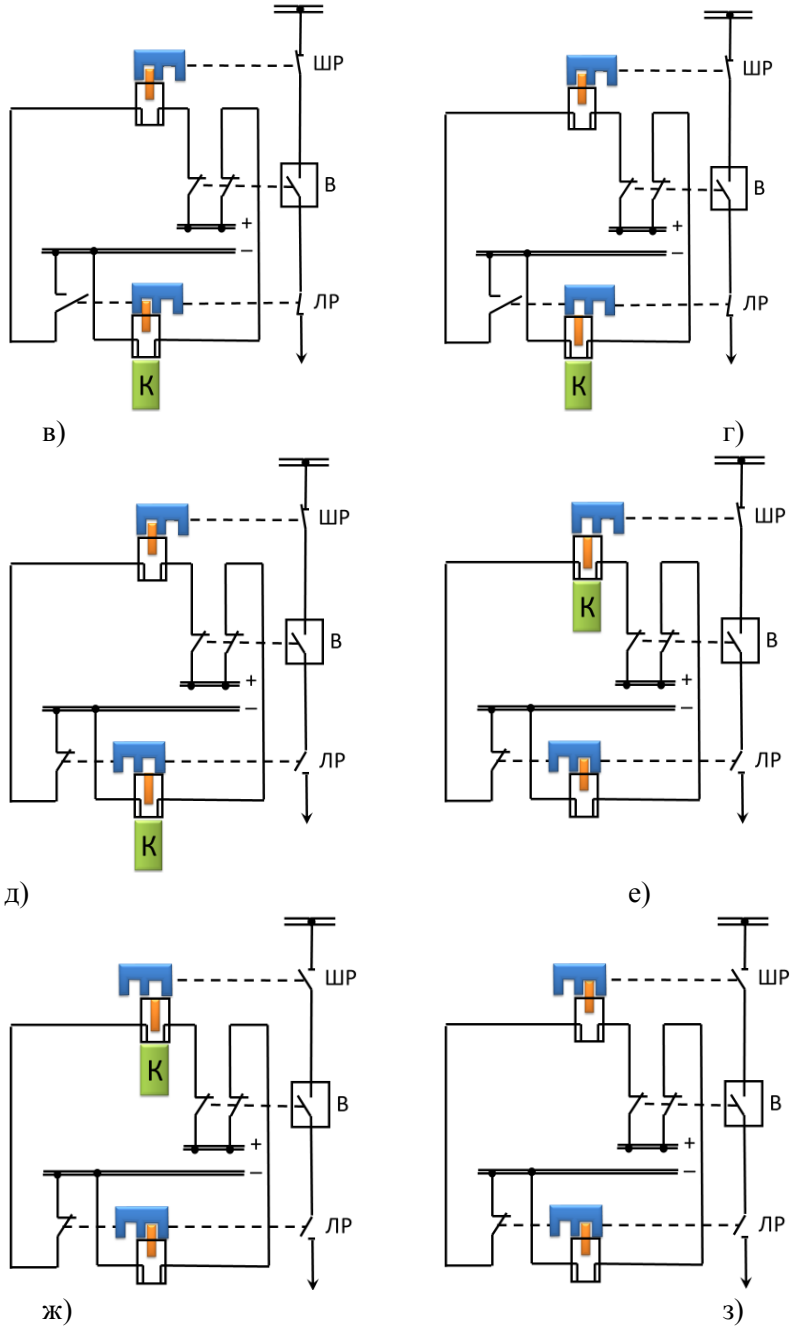


Рис. 40. Отключение выключателя и его разъединителей при использовании электромагнитной блокировки

На рис. 40 показаны этапы отключения выключателя и его разъединителей (линейного ЛР и шинного ШР) с учетом действия электромагнитной блокировки. Напомним, сначала следует отключить выключатель, затем отключить ЛР и после этого отключить ШР. Прокомментируем позиции рис. 40:

а) нормальная схема (соответствует отключенному положению коммутационных аппаратов В, ШР, ЛР);

б) исходная схема – выключатель и разъединители включены, линия под нагрузкой; нормально замкнутые блок-контакты разомкнуты;

в) оперативник отключает выключатель; соответствующие блок-контакты замыкаются, подавая «плюс» на розетки приводов ЛР и ШР; в розетке замка привода ЛР появляется разность потенциалов, в розетке замка привода ШР пока не появляется разность потенциалов; оперативник вставляет электромагнитный ключ в розетку ЛР;

г) оперативник с помощью электромагнитного ключа втягивает штифт, удерживающий гребенку привода разъединителя ЛР; гребенка освобождается, разъединитель готов к отключению;

д) оперативник отключает ЛР, соответствующий блок-контакт замыкается, подавая «минус» в розетку замка ШР;

е) оперативник вынимает электромагнитный ключ из замка ЛР; штифт под действием пружины заходит в паз гребенки, фиксируя отключенное положение ЛР; оперативник вставляет электромагнитный ключ в розетку ШР и втягивает штифт, удерживающий гребенку привода разъединителя ШР; гребенка освобождается, разъединитель готов к отключению;

ж) оперативник отключает ШР;

з) оперативник вынимает электромагнитный ключ из замка ШР; штифт под действием пружины заходит в паз гребенки, фиксируя отключенное положение ШР.

Видно, что особая контактная схема при отключении присоединения не позволяет отключить ШР при включенном ЛР, а при включении присоединения запрещает включить ШР при включенном ЛР.

На рис. 40 для упрощения не показаны заземляющие ножи и их блокировка. Также не отображена блокировка шинного разъединителя с заземляющим ножом шины.

На рис. 41 приведена первичная схема одинарной системы сборных шин, одного присоединения с выключателем, разъединителями и заземляющими ножами, а также шинный заземляющий нож в ячейке трансформатора напряжения. На схеме показана механическая непосредственная блокировка разъединителей со своими заземляющими ножами.

На рис. 42 показана вторичная схема блокировки, где значками –< >– показаны гнезда розеток блокировочных замков коммутационных аппаратов [8].

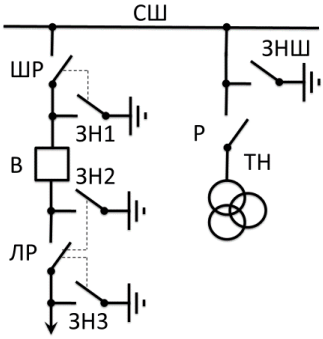


Рис. 41. Фрагмент первичной схемы одинарной системы сборных шин

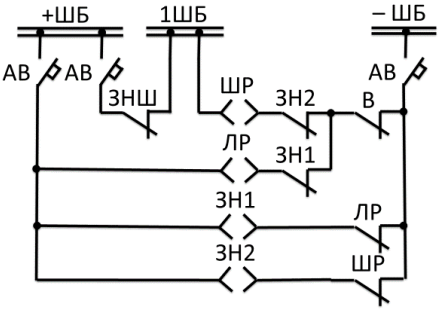


Рис.42. Схема блокировки для одинарной системы сборных шин

При чтении схемы блокировки следует иметь в виду, что физически гнезда розеток и блок-контакты коммутационных аппаратов находятся в непосредственной близости к эти аппаратам. Так, например, розетка «ШР» смонтирована на приводе шинного разъединителя ШР, а блок-контакт «В» является конструктивной частью выключателя В. Для защиты вторичных цепей от КЗ схема оборудована автоматическими выключателями, которые в нормальном режиме включены.

Механическая непосредственная блокировка не имеет электрической схемы, поэтому на рис. 42 не показана. Напомним, что механическая непосредственная блокировка не позволяет блокировать аппараты, расположенные на большом расстоянии друг от друга. Поэтому на рис. 42 показана перекрестная электромагнитная блокировка разъединителей с заземляющими ножами других разъединителей, которая запрещает:

- включение разъединителя на участок схемы, отделенной от включенного ЗН только выключателем;

- включение ЗН на участок схемы, отделенной от включенного разъединителя только выключателем.

Проще говоря, даже если ЗН отделен от разъединителя выключателем, то такой ЗН тем не менее считается смежным с разъединителем.

По рис. 41 с помощью электромагнитной блокировки сблокированы следующие пары аппаратов: ШР-ЗН2, ЛР-ЗН1

Также обратим внимание на односторонний и двусторонний характер блокировки.

Блокировка разъединителей с выключателями односторонняя. То есть существует запрет операций разъединителем при включенном выключателе. Но не существует запрета на операции выключателем в зависимости от положения разъединителя.

Аналогично блокировка выкатного элемента КРУ с выключателями односторонняя. То есть существует запрет перемещения тележки КРУ при включенном выключателе. Но не существует запрета на операции выключателем в зависимости от положения тележки КРУ.

А блокировка разъединителей с заземляющими ножами, напротив, двусторонняя. То есть существует запрет на включение разъединителя при включенном ЗН. И существует запрет на включение ЗН при включенном разъединителе. Этот принцип хорошо виден на рис. 42. Также можно заметить, что привод ШР активизируется лишь в случае отключенного положения шинного заземляющего ножа ЗНШ. Для этого предусмотрена шинка 1ШБ, от которой при отключенном ЗНШ «плюс» подается к гнездам «ШР» всех присоединений (на рис. 42 цепи блокировок других присоединений не показаны).

Иным способом выполняется блокировка линейного заземляющего ножа ЗН3. Согласно ПУЭ на заземлителях линейных разъединителей со стороны линии допускается иметь только механическую блокировку с приводом разъединителя: ведь элементы, с которыми следовало бы сблокировать ЗН3, находятся на расстоянии километров на соседней электростанции (подстанции). Для безопасного наложения заземления в этом случае пользуются указателем высокого напряжения, а также включают нож ЗН3 по согласованию с диспетчером.

Обратите внимание, что в отличие от схемы рис. 40 схема рис. 42 разрешает коммутировать ШР и ЛР в произвольном порядке, главное – чтобы был отключен выключатель. Чтобы обеспечить строго заданную последовательность при отключении В-ЛР-ШР и при включении В-ШР-ЛР достаточно

в цепь розетки ШР последовательно включить нормально-замкнутый блок-контакт ЛР. Тогда в правое гнездо «ШР» минус не попадет при включенном разъединителе ЛР.

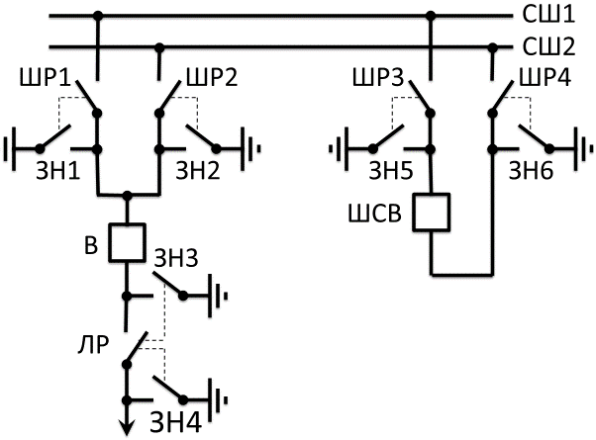


Рис. 43. Фрагмент первичной схемы двойной системы сборных шин с одним выключателем на присоединение

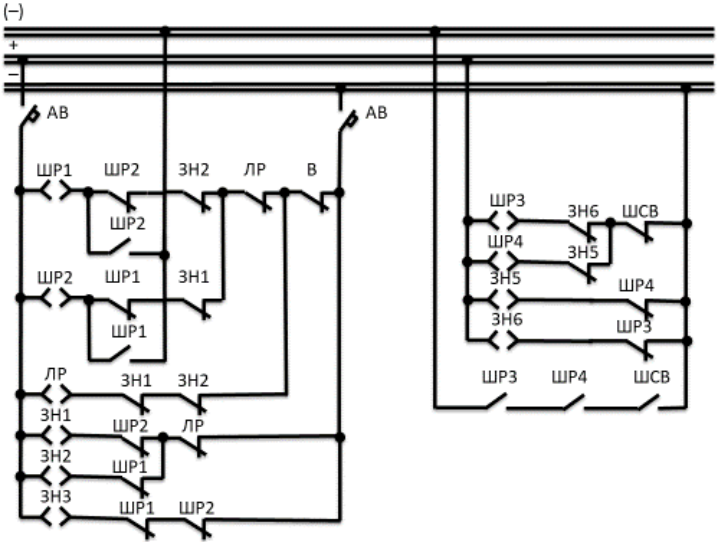


Рис. 44. Схема блокировки для двойной системы сборных шин с одним выключателем на присоединение

В случае с двойными системами сборных шин блокировка становится гораздо сложнее. На рис. 43 приведена первичная схема двойной системы сборных шин с одним выключателем на присоединение. Показано одно присоединение с выключателем, разъединителями и заземляющими ножа-

ми, а также ячейка шиносоединительного выключателя со своими разъединителями и заземляющими ножами. Шинные заземляющие ножи в ячейках трансформаторов напряжения условно не показаны, так как основная задача – сделать акцент на особенностях блокировки в схеме двойной системы сборных шин. На схеме показана механическая непосредственная блокировка разъединителей со своими заземляющими ножами.

На рис. 44 показана вторичная схема электромагнитной блокировки для двойной системы сборных шин с одним выключателем на присоединение.

Сложность построения блокировок в таких схемах обусловлена тем, что запрещенные операции становятся разрешенными в зависимости от режима: при отключенной или включенной ячейке ШСВ. Также запрет на коммутацию шинным разъединителем может сниматься при включенном положении соседнего шинного разъединителя. Например, ШР1 нельзя коммутировать при отключенном ШСВ, отключенном ШР2 и включенных В и ЛР. Однако при ШР1 можно коммутировать при включенной ячейке ШСВ и включенном ШР2 в независимости от положения В и ЛР.

Поэтому на рис. 44 помимо шинок «плюс» и «минус» показана шинка «условный минус», обозначено (–). Эта шинка приобретает «минус» только в случае одновременного включенного положения ШСВ и его разъединителей ШР3, ШР4.

Напомним, что на этой схеме не показана блокировка шинных разъединителей с шинными заземляющими ножами, установленными в ячейках трансформаторов напряжения. Для реализации такой блокировки необходимо выполнить синтез схем по рис. 42 и рис. 44. Предоставляем читателю сделать это самостоятельно.

7.4. Электрическая блокировка

Электрическая блокировка применяется в случае необслуживаемой подстанции, когда сигналы на коммутацию выключателей, разъединителей, заземляющих ножей приходит посредством телеуправления с удаленного объекта. Такая же ситуация характерна для дистанционного управления приводами разъединителей и заземляющих ножей в рамках одного энергообъекта. Электрическая блокировка не имеет в своем составе электромагнитных ключей, блокировочных замков, кинематических связей между подвижными частями электроустановки. Электрическая блокировка представляет собой совокупность контактов в схеме управления коммутационным аппаратом, запрещающих прохождение сигнала при определенных положениях соседних коммутационных аппаратов.

Заключение

Соблюдение принципов переключений в электроустановках является обязательным условием обеспечения безопасности труда электротехнического персонала, безаварийной эксплуатации энергообъектов и надежного электроснабжения потребителя.

В настоящем учебном пособии рассмотрены базовые правила проведения оперативных переключений в электроустановках электростанций и подстанций. Данные правила могут иметь особенности, которые не вошли в пособие в связи с огромным разнообразием электрических схем и условий применения.

В учебном пособии большое внимание уделено объяснению необходимости следования определенному порядку операций коммутационными аппаратами. При этом требования инструкций тесно увязаны с исполнением конкретных схем распределительных устройств.

Список литературы

1. Правила переключений в электроустановках / утв. приказом Минэнерго России от 13.09.2018 №757. – М. : Мин. энергетики, 2018. - 111 с.

2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / утв. приказом Минэнерго России от 04.10.2022 № 1070. — М. : Мин. энергетики, 2022. – 186 с.

3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии / утв. приказом Минэнерго России от 12.08.2022 № 811. — М. : Мин. энергетики, 2022. – 26 с.

4. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок / утв. приказом Минтруда России от 15.12.2020 № 903н. – М. : Мин. труда и социальной защиты, 2020. – 108 с.

5. Правила устройства электротехнических установок. 7-е изд. – М. : Энергия, 2002.

6. Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110-500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения. МУ-34-70-163-87. – М. : СПО «Союзтехэнерго», 1987. – 54 с.

7. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения. РД 34.35.512. – М. : СПО «Союзтехэнерго», 1979 – 75 с.

8. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 614 с.

Учебное пособие

Александр Анатольевич Лапидус

Светлана Николаевна Соловьева

ПРОИЗВОДСТВО ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Издание НОУЧ ДПО ЦПКЭ. Тел. (812) 959-98-43
E-mail: cpke@yandex.ru, Internet: www.cpk-energo.ru
Подписано к печати 01.03.2023. Формат 60×90/16
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Печ.л.4,37
Тираж 750 экз.

Александр Анатольевич Лапидус

Родился в 1977 году в семье электроэнергетиков. В 2001 году закончил кафедру «Электрические станции и автоматизация энергетических систем» Санкт-Петербургского Политехнического университета по направлению «Электроэнергетика и электротехника». В 2004 году защитил кандидатскую диссертацию под руководством профессора А.К. Черновца на тему «Совершенствование систем электроснабжения электрических станций при их реконструкции и продлении ресурса». Начиная с 2003 года преподает в Политехническом университете и в Центре подготовки кадров энергетики. Имеет более 50 печатных работ, в том числе 6 учебных пособий.

Светлана Николаевна Соловьева

В 2006 году закончила Электромеханический факультет Псковского государственного политехнического института по специальности «Электроснабжение» и начала работать в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого на кафедре «Электрические станции и автоматизация энергосистем» в должности ассистента. В настоящее время является старшим преподавателем Высшей школы высоковольтной энергетики. Кандидат технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы». С 2015 года преподаватель кафедры РЗА и ПА Центра подготовки кадров энергетики. Имеет более 20 печатных трудов.