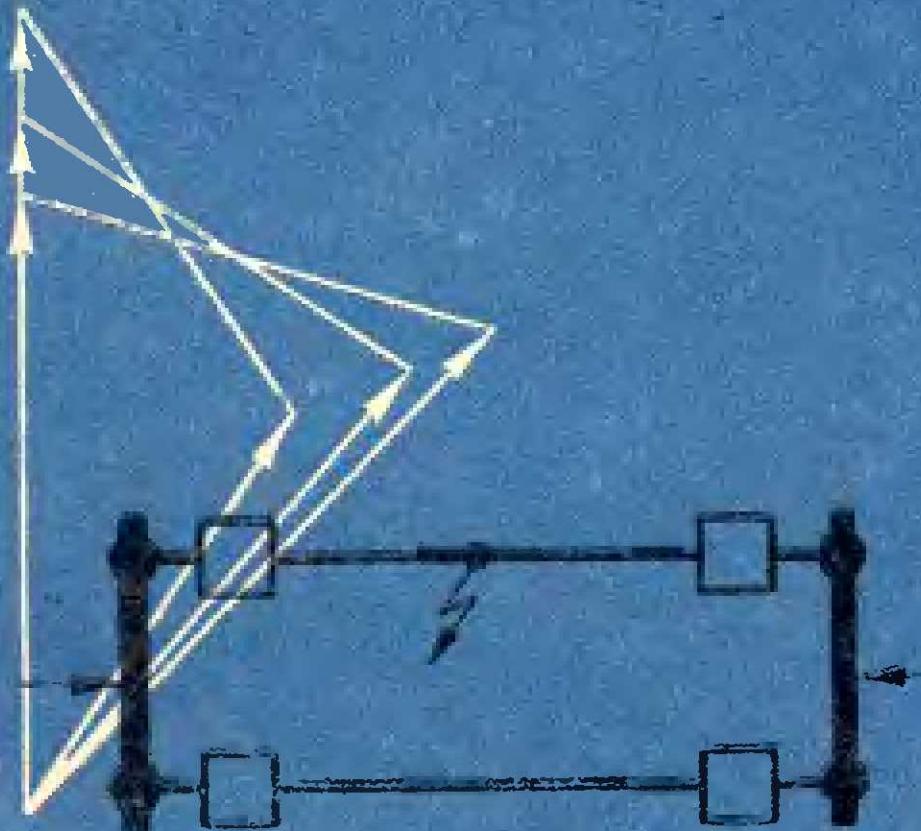


БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



М. Л. ГОЛУБЕВ

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ
ПОВТОРНОЕ
ВКЛЮЧЕНИЕ
В
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
СЕТЯХ**

ЭНЕРГОИЗДАТ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. Н. Андреевский, С. А. Бажанов, Ю. В. Зайцев, Д. Т. Ко-
маров, В. П. Ларинов, Э. С. Мусаэлия, С. П. Розанов,
В. А. Семенов, А. Д. Смирнов, А. Н. Трифонов, П. И. Усти-
нов, А. А. Филатов

Голубев М. Л.

Г62 Автоматическое повторное включение в распре-
делительных сетях. — М.: Энергоиздат, 1982.—96 с.,
ил.
(Б-ка электромонтера; Вып. 546.).
25 к.

Рассматриваются основные схемы и конструкции аппаратуры АПВ
запитанной от трансформаторов. Дается расчет установок АПВ и со-
гласование их с установками релейной защиты и источниками опера-
тивного тока. Приведены основные рекомендации по наладке и экс-
плуатации АПВ.

Для электромонтеров, занимающихся монтажом, наладкой и экс-
плуатацией устройств релейной защиты и автоматики.

Г 2302040000-581
051(01)-82 115-82

ББК 31.27-05

6П2.13

© Энергоиздат, 1982

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятые XXVI съездом КПСС, предусматривают дальнейшее развитие основных и распределительных сетей Единой энергосистемы (ЕЭС) СССР.

В комплекс работ по совершенствованию управления энергетикой важное значение при-
надлежит автоматизации технологических про-
цессов производства и передачи электроэнер-
гии. Большое внимание при этом уделяется
автоматизации распределительных сетей и подстанций. Разнообразные устройства автома-
тики обеспечивают комплексную автомати-
зацию сетей, автоматическое восстановление
питания потребителей при аварийных наруше-
ниях. Одним из основных видов автоматики
является автоматическое повторное включение
(АПВ) линий электропередачи, которому и по-
священа настоящая книга. Материал книги
изложен таким образом, чтобы дать читателю
пред представление об особенностях эксплуатации и
наладки АПВ с учетом конкретных условий
размещения аппаратуры на подстанциях.

Книга содержит описание схем АПВ, широ-
ко применяемых в распределительных сетях.
Материал книги изложен в достаточно полном
объеме.

Все замечания и пожелания по содержанию
книги следует направлять по адресу: 113114,
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоиз-
дат

Автор

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АПВ

Автоматическое повторное включение (АПВ) выключателей в современных энергосистемах является одним из основных средств повышения надежности работы энергосистем и бесперебойности питания потребителей.

Длительный опыт эксплуатации показал, что значительное количество нарушений изоляции электроустановок вообще и воздушных линий в особенности является неустойчивым и самоустраниется после снятия напряжения. Такие повреждения возникают в результате грозовых перекрытий изоляции, склестывания проводов при ветре и сбрасывания гололеда, падения деревьев, задевания проводов линий движущимися механизмами (краны, стогометатели).

Если время действия релейной защиты невелико, то электрическая дуга, возникшая в месте нарушения изоляции, не успеет нанести значительные повреждения (перегорание проводов, полное разрушение изолятора) и включенная повторно линия остается в работе, т. е. происходит успешное АПВ. Устойчивые повреждения, такие как обрыв проводов, замыкание проводов оборванным грозозащитным тросом, поломки и падения опор, происходят значительно реже. В этих случаях АПВ является неуспешным, линия снова отключается релейной защитой. По многолетним данным, успешность АПВ всех типов и напряжений в Советском Союзе доходит до 70—80 %.

Опыт эксплуатации показывает, что успешность АПВ сильно зависит от номинального напряжения линий. На линиях 110—500 кВ успешность АПВ значительно выше, чем на линиях 6—35 кВ. Это объясняется малым временем работы релейной защиты (обычно не более 0,15 с), большим сечением проводов, применяемых на этих линиях, обычно сталиалюминиевых и медных, большими расстояниями между проводами линий, высокой механической прочностью опор.

В сетях 6—35 кВ время работы релейной защиты значительно больше (несколько секунд), сечения проводов значительно меньше, широко применяются алюминиевые провода, расстояние между проводами меньше, меньше и механическая прочность опор. Поэтому больше разрушения, вызываемые электрической дугой в месте короткого замыкания, больше возможности для возникновения устойчивых междуфазных коротких замыканий и повреждений в результате механических нарушений (обрывы, поломки); и успешность действий АПВ значительно ниже.

В кабельных сетях успешные АПВ бывают значительно реже, чем в воздушных. Это объясняется как самой конструкцией кабелей — малым расстоянием между жилами, так и причинами повреждения кабелей. При своевременных испытаниях изоляции кабелей электрический пробой ее случается редко, и основными повреждениями кабелей являются механические повреждения при различных землякопных и строительных работах, обрывы кабелей при оседании грунта и т. п. При таких повреждениях успешного АПВ практически не бывает. Успешное АПВ в кабельных сетях возможно лишь при перекрытиях изоляции распределительных устройств (трансформаторные помещения, распределительные пункты).

Автоматическое повторное включение шин 35—110 кВ обычно бывает успешным, что связано с малым временем работы релейной защиты (дифференциальная защита шин) и большими расстояниями между проводами. Кроме того, практически исключаются такие причины коротких замыканий, как падение деревьев, наезд движущихся механизмов и т. п. Успешность АПВ шин 6—10 кВ значительно ниже из-за большого времени работы релейной защиты, малых расстояний между шинами и затрудненности отвода продуктов горения дуги.

Успешность АПВ при повреждениях трансформаторов ничтожно мала, зато достаточно велика при коротких замыканиях на питающихся от них шинах 6—35 кВ и отказах устройств защиты или выключателей питающихся от этих шин линий.

Весьма эффективно АПВ при ошибочных действиях персонала, а также при проходящих нарушениях изоляции оперативных цепей, вызывающих отключение выключателя. Наряду с другой электроавтоматикой АПВ является одним из основных средств, позволившим на по-

давляющем большинстве подстанций распределительных сетей отказаться от постоянного дежурного персонала и перевести их на обслуживание оперативно-выездной бригадой (ОВБ).

Применение АПВ обеспечило возможность широкого применения в распределительных сетях подстанций 35—110 кВ, выполненных без выключателей на стороне высшего напряжения. Сочетание действия устройств АПВ и релейной защиты позволяет применять неселективную защиту с последующим исправлением неселективного действия, вводить ускорения действия релейной защиты до и после АПВ.

Применение более сложных видов АПВ, таких как быстродействующие АПВ, несинхронное АПВ, однофазное АПВ, различных видов АПВ с проверкой, улавливающим и ожиданием синхронизма, АПВ после работы автоматической частотной разгрузки (АЧР) резко повысило надежность и устойчивость работы энергосистемы в целом.

Все указанные выше достоинства АПВ привели к тому, что в настоящее время Правилами устройства электроустановок [1] и другими директивными материалами применение АПВ признано обязательным на всех воздушных и кабельно-воздушных линиях всех напряжений. Отказ от применения АПВ должен быть в каждом случае обоснован.

В кабельных сетях напряжением 35 кВ и ниже АПВ должно применяться, если линия питает несколько подстанций, не имеющих автоматически включаемого резервного питания. Автоматическое повторное включение шин подстанций обязательно при наличии специальной защиты шин, обычно при наличии дифференциальной защиты шин в различных вариантах. Автоматическое повторное включение обязательно для всех одиночных понижающих трансформаторов мощностью более 1000 кВ·А, имеющих выключатели и релейную защиту со стороны питания.

Опытом эксплуатации и специальными исследованиями установлены основные обязательные требования к схемам и конструкциям АПВ, регламентированные ПУЭ и различными директивными материалами. Ниже приводятся основные требования к АПВ.

1. Устройства АПВ не должны действовать при оперативном отключении выключателя вручную, от ключа уп-

равления и по телеконтролю, а также при оперативном включении выключателя на короткое замыкание любым способом.

2. Должна быть исключена возможность многократного включения на устойчивое короткое замыкание, особенно при различных неисправностях, при отказе любого контакта в схеме АПВ.

3. Схемы устройств АПВ должны обеспечивать ускорение действия устройств релейной защиты до и после АПВ, иметь автоматический возврат для необслуживаемых подстанций, обеспечивать блокировку АПВ при работе некоторых устройств противоаварийной автоматики и релейной защиты (частотная разгрузка, защиты трансформаторов от внутренних повреждений), обеспечивать ввод в работу и вывод из работы оперативным персоналом.

В Советском Союзе устройства АПВ применяются уже около 40 лет. За это время было разработано, изготовлено и проверено длительным опытом эксплуатации в разных энергосистемах множество схем и конструкций устройств АПВ. Некоторые из этих конструкций, как, например, мгновенные механические АПВ грузовых приводов, оказались неудачными и были сняты с производства. Многие представляют в настоящее время лишь исторический интерес. Подробно рассмотреть все эти схемы и конструкции невозможно.

В настоящее время строительство новых подстанций ведется по типовым схемам, выпускаемым промышленностью в виде готовых к установке отдельных панелей или целых комплектных подстанций. Именно такие схемы рассматриваются в дальнейшем.

Для облегчения использования книги при наладке реальных устройств АПВ в ней сохранены условные обозначения аппаратуры, примененные заводами-изготовителями и проектными организациями в своей документации — типовых проектах и заводских каталогах. Не рассматриваются сложные схемы устройств АПВ, почти не применяемые в распределительных сетях, такие как быстродействующее АПВ, несинхронное АПВ, АПВ с улавливанием синхронизма, АПВ воздушных выключателей; эти устройства АПВ рассмотрены в соответствующей технической литературе [2, 3]. Не рассматриваются конструкции таких распространенных реле, как реле временные, промежуточные и подобные, неоднократно описанные

в технической литературе, откуда и взяты основные технические данные рассматриваемых реле, схемы внутренних соединений и обозначение элементов [4, 5].

2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ПРУЖИННЫМИ ПРИВОДАМИ

Одно время промышленность выпускала пружинные и грузовые приводы с встроенным мгновенным механическим устройством АПВ. Конструкция оказалась чрезмерно сложной и ненадежной, сам принцип мгновенного

АПВ противоречил современным требованиям, и приводы были сняты с производства.

Выпускаемые промышленностью комплектные выключатели, например ВС-10 [6] с первичными максимальными реле, пружинным приводом и встроенным механическим двукратным устройством АПВ, в крупных распределительных сетях мало применяются из-за малой разрывной мощности

Рис. 1. Заводская схема устройства АПВ, встроенного в привод ПП-67

и номинального тока выключателя, сложности конструкции, требующей для надежной работы очень тщательного изготовления и наладки, и трудности эксплуатации из-за установки выключателя на опоре. Все эти конструкции АПВ неоднократно описаны в литературе и здесь не рассматриваются.

На рис. 1 приведена схема электрического устройства АПВ с выдержкой времени, встроенного в привод ПП-67. Конструкция привода описана в [7].

Работает схема следующим образом: при отключении выключателя от встроенных вторичных реле прямого действия или электромагнита релейного отключения контакт аварийного отключения выключателя БКА остается замкнутым и создает цепь на включение: 1ШУ—АПВ—БКА—В—КГП—ЭВ—2ШУ. При отключении от механической кнопки отключения или электромагнита дистанционного отключения контакт БКА размыкается и запрещает действие устройства. Такая работа БКА обе-

спечивается отключающим механизмом привода. Часовой механизм устройства АПВ пускается также механизмом привода: КГП—контакт готовности пружин, управляемый электродвигателем завода пружин АМР, замыкается после окончания завода пружин; при успешном АПВ схема возвращается в исходное положение. ЭО и ЭВ—электромагниты дистанционного отключения и включения, КО и КВ—кнопки управления.

Пуск электродвигателя АМР завода пружины производится независимо от положения выключателя конечным контактом ВК, замыкающимся пружинами при включении выключателя. Однократность АПВ при неуспешном первом включении согласно заводской информации предполагалось обеспечить тем, что время срабатывания устройства АПВ меньше времени завода включающих пружин—будет разомкнут временно-замыкающийся контакт устройства АПВ. Однако при включении на короткое замыкание одновременно начинает работать релейная защита и заводится пружина. Если время работы релейной защиты окажется больше времени завода пружины, то к моменту отключения выключателя пружины будут заведены, и произойдет еще одно повторное включение независимо от выдержки времени устройства АПВ. Кроме того, если по любым причинам после первого неуспешного АПВ не разомкнется контакт устройства АПВ, то будет многократное повторное включение независимо от времени работы и времени завода пружин: как только окончится завод пружин, контакт КГП замыкает цепь включения, при этом вспомогательный контакт вала привода В может замыкаться раньше или позже КГП. Такая работа схемы АПВ вызвана тем, что пуск электродвигателя завода пружин производится независимо от положения выключателя только конечным контактом ВК, замыкающимся пружинами при отключении выключателя. Это противоречит требованиям ПУЭ о невозможности многократного включения при неисправности любого контакта.

Из-за этих недостатков заводская схема по рис. 1 в эксплуатации не используется. На рис. 2, а дана измененная схема устройства АПВ для привода ПП-67, примененная одним из заводов для комплектных трансформаторных подстанций в КРУ 6—10 кВ. Основным и принципиальным отличием ее является пуск электродвигателя завода пружин двумя контактами: БКА, замыка-

ющимся пружинами при включении выключателя, и $B.2$ — вспомогательным контактом вала привода, замкнутого при включенном выключателе. Таким образом, завод пружин может закончиться только при длительно включенном выключателе. Принципиальным отличием этой и подобных схем является согласование по времени: максимальное время работы релейной защиты (для

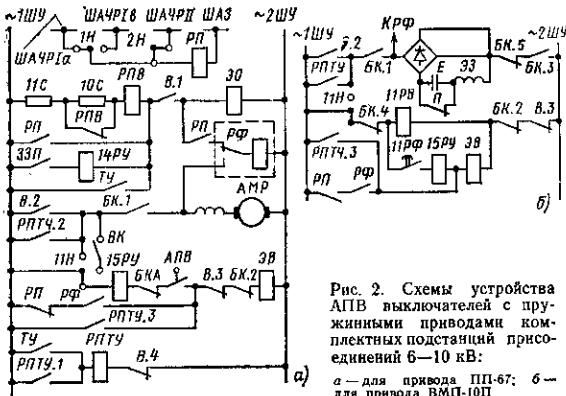


Рис. 2. Схемы устройства АПВ выключателей с пружинными приводами комплектных подстанций присоединений 6—10 кВ:

a — для привода ПП-67; *b* — для привода BMPI-10P

защит с зависимыми характеристиками выдержек времени — время при токе срабатывания) должно быть на несколько секунд меньше минимального времени завода пружин, обычно — при напряжении оперативного тока, равном 1,10 номинального напряжения электродвигателя. Необходимость согласования времен вызвана тем, что для завода пружин применен коллекторный электродвигатель постоянного и переменного тока типа МУН, число оборотов которого, а следовательно, и время завода пружин зависит от напряжения питания: чем выше напряжение питания, тем больше число оборотов двигателя и меньше время завода пружин. Запас в несколько секунд дается потому, что натяжение пружин, а следовательно, и времена их завода зависят от типа выключателя, конструкции механической передачи от вала привода к

валу выключателя, качества регулировки, состояния подшипников и смазки, окружающей температуры и прочих причин. Кроме того, времена измеряются при наладке и каждом новом включении, а после большого количества срабатываний все механические детали постепенно прирабатываются, и время завода пружин уменьшается. Схема на рис. 2, *a* работает следующим образом: при отключении выключателя создается цепь включения АПВ: $1ШУ$ — $1ИН$ — $15РУ$ — $БКА$ — $АПВ$ — $B.3$ — $БК.2$ — $ЭВ$ — $2ШУ$. В этой цепи $1ИН$ — накладка для оперативного вывода устройства АПВ из работы, $БК.1$ — контакт готовности пружин, $15РУ$ — указательное реле, сигнализирующее о работе устройства АПВ. Остальные элементы этой цепи те же, что и в схеме на рис. 1.

Как только включится выключатель, замыкаются контакты $B.2$ и $БК.1$ и пускается электродвигатель AMP . Если АПВ успешно, то выключатель остается включенным, завод пружин заканчивается, размыкается $БК.1$ в цепи AMP , замыкается $БК.2$ в цепи включения, и схема готова к новому циклу АПВ. Если же выключатель включается на $КЗ$, то раньше, чем закончится завод пружин, доработает релейная защита и отключит выключатель. Вспомогательный контакт $B.2$ в цепи AMP разомкнется, завод пружин прекратится, и контакт $БК.2$ в цепи включения останется разомкнутым. Хотя контакт устройства АПВ и замкнется, повторного включения на $КЗ$ не произойдет. Так обеспечивается однократность при неуспешном АПВ. Однократность АПВ обеспечивается и в том случае, если после первого включения не разомкнется контакт устройства АПВ. Однократность АПВ не обеспечивается, если почему-либо не разомкнется вспомогательный контакт $B.2$ в цепи AMP и замкнется такой же контакт $B.3$ в цепи устройства АПВ. Но это мало вероятно, так как вспомогательные контакты типа КСА укреплены на одной оси и управляются одной тягой. Недостатком этой схемы является несовершенство конструкции вспомогательных контактов $БК$: они управляются не включающими пружинами, а заводящим их электродвигателем. Поэтому при заводе пружин вручную эти вспомогательные контакты приходится переключать вручную, что может вызвать ошибки оперативного персонала. Для устранения этого недостатка в эксплуатации применяются различные варианты управления вспомогательными контактами отключающих пружин. Ввод

в цепь АМР вспомогательного контакта В.2 исключил возможность включения выключателя по телеуправлению после неуспешного АПВ, как это требуется современными директивными материалами, ибо пружины его привода остаются незаведенными. Для обеспечения включения выключателя по телеуправлению в заводскую схему добавляется реле РПТУ. При подаче команды на включение по телеуправлению замыкается выходной контакт устройства телеуправления ТУ и включает реле РПТУ. Реле РПТУ самоудерживается своим контактом РПТУ.1, включенным параллельно с контактом ТУ, вторым контактом РПТУ.2 шунтирует вспомогательный контакт В.2 в цепи АМР и этим заканчивает завод пружин, третьим контактом РПТУ.3 замыкает цепь включения. После окончания завода пружин замыкается контакт готовности пружин БК.2, выключатель включается, а его вспомогательный контакт В.4 возвращает реле РПТУ в первоначальное положение.

Особенностью данной серии КРУН является отсутствие ключей или кнопок дистанционного управления: местное управление выключателем осуществляется только механическими кнопками, хотя это и запрещено заводом-изготовителем [7].

Накладка НН поставляется заводом-изготовителем КРУ только на два положения: (на рис. 2, а — верхнее и нижнее). Установкой ее в нижнее положение вводится в работу устройство АПВ, при установке в верхнее — устройство АПВ выводится из работы. Недостаток этой конструкции проявляется при ремонтах и проверках: для многих работ необходимо заводить пружины не полностью, например, для проверки встроенных реле.

При спущенных пружинах добавочный груз закрывает доступ к реле, при заведенных полностью пружинах обеспечен доступ к реле, но работа становится опасной: случайно спущенные пружины могут ударить грузом работающий персонал. Поэтому целесообразно заводскую накладку на два положения заменить накладкой на три положения, такой, как показано на рис. 2, а. В среднее положение накладка становится при работах с приводом, а пуск и остановка электродвигателя выполняются обычным выключателем ВК любого типа.

Указанная на схеме цепь: 1ШУ—ЗЗП—14РУ — является выходной цепью защиты от замыканий на землю типа ЗЗП. Цепь 1ШУ—11С—10С—РПВ является обычной

цепью реле РПВ (реле положения включено), используемого для сигнализации. Шины АЧР, ШАЗ, реле РП и РФ относятся к автоматической частотной разгрузке (АЧР) и АПВ после нее (ЧАПВ). Работа их рассмотрена далее.

На рис. 2, б дан вариант этой же схемы для пружинных приводов, не имеющих встроенных устройств АПВ, например, для привода ВМП-10П. В этом приводе завод пружин производится не электродвигателем, а заводящим электромагнитом ЭЗ, работающим через выпрямитель. Конденсатор Е облегчает работу контактов прерывателя П, управляемого сердечником заводящего электромагнита. Вместо механически пускаемого часового механизма устройства АПВ в приводе ПП-67 здесь применено реле времени 11РВ, которое пускается при отключении выключателя его вспомогательным контактом В.3 через вспомогательный контакт готовности пружин БК.2 и аварийный вспомогательный контакт БКА. Реле времени включает выключатель по цепи 1ШУ — 11Н — БК.4—11РВ—15РУ—ЭЗ—БК.2—В.3—2ШУ. Остальные элементы схемы такие же, как в схеме на рис. 2, а. Схема работает так же.

В обеих схемах при оперативном включении устройства АПВ выводится из работы контактами готовности пружин до тех пор, пока не закончится завод пружин, после чего схема АПВ автоматически вводится в работу.

На рис. 3 дана схема устройства АПВ, применяемая в другой серии КРУ со щитом управления, ключами управления (КУ) и телеконтролем (ТУ).

В этой и ряде других схем используется двухпозиционное реле фиксации РР. Реле выпускается заводом в двух модификациях: однообмоточные — типа РП-9, РП-12 переменного тока и РП-11 постоянного тока, двухобмоточные — типа РП-351 переменного и РП-352 постоянного тока. Особенностью этих реле является то, что при подаче напряжения на обмотку (или на одну из обмоток) оно срабатывает и в этом положении удерживается своими пружинами независимо от наличия напряжения на обмотке после его срабатывания. Для возврата реле в исходное положение вновь следует подать напряжение на обмотку (или на другую обмотку). Так как положение этих реле не зависит от наличия оперативного тока, их широко используют на подстанциях с переменным оперативным током, где нормальным является его кратковре-

менное исчезновение. Реле $IP\Phi$ также используется для фиксации оперативной команды (см. ниже). При отключении выключателя его вспомогательный контакт $B.2$ по цепи $1ШУ-ЗН-B.2-BKA-IP\Phi-IPB-2ШУ$ пускает реле времени АПВ. Назначение элементов схемы ZN , BKA , KGP , $B.1$ такое же, как в предыдущих схемах. Реле $IP\Phi$ обеспечивает однократность действия АПВ. Продолжающий контакт $IPB.1$ по цепи $1ШУ-ЗН-$

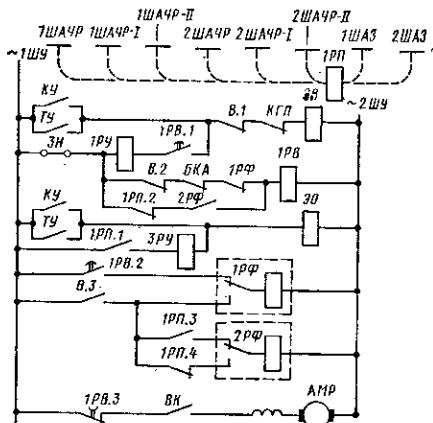


Рис. 3. Схема устройства АПВ выключателя с пружинным приводом комплектных подстанций присоединения 6–10 кВ

$-1РУ-IPB.1-B.1-KGP-3B-2ШУ$ включает выключатель. Если АПВ успешно, то вспомогательный контакт $B.2$ возвращает IPB в исходное положение, его контакт $IPB.3$ замыкает цепь AMP , и после окончания завода пружин схема готова к новому АПВ. Время работы защиты должно быть меньше времени завода пружин. Тогда при неуспешном АПВ снова запустится реле IPB и разорвет цепь AMP , не давая завести пружины до конца. Хотя контакт $IPB.1$ и замкнется, но цепь включения будет разорвана контактом KGP , так как пружины не

заведены. Реле IPB доработает и включит $IP\Phi$, $IP\Phi$ разорвет цепь обмотки IPB , оно вернется в исходное положение и замкнет цепь AMP . После окончания завода пружин выключатель может включаться от ключей KU или TU . После включения выключателя его вспомогательный контакт $B.3$ возвратит реле $IP\Phi$ в исходное положение, и цепь APB будет восстановлена. При включении выключателя от KU или TU АПВ выводится из работы контактом KGP до тех пор, пока не заведутся пружины. Если же выключатель включается от KU или TU на короткое замыкание, то цепь AMP будет разорвана контактом $IPB.3$, так как время работы защиты меньше времени завода пружин. Цепь АПВ будет разорвана контактом KGP . Когда IPB доработает до конца, $IP\Phi$ заблокирует АПВ, а по цепи контакта $IPB.3$ закончится завод пружин. Указанные на схеме цепи $ШАЧР$, $ШНЗ$, реле $IP\Phi$ и $2РФ$ относятся к АПВ после АЧР; работа их рассматривается далее.

Ужесточение требований бесперебойности питания потребителей вызвало появление и широкое распространение на линиях с односторонним питанием двухкратных АПВ. В дальнейшем применение двухкратных АПВ было рекомендовано ПУЭ и другими директивными материалами.

Введение двухкратных АПВ на воздушных линиях 6–10 кВ существенно повысило надежность питания потребителей. Так, например, в системе Мосэнерго успешность однократных АПВ около 45–50 %, успешность же двухкратных АПВ в обоих циклах доходит до 65–70 %. Разными организациями предлагались различные варианты схем двухкратного АПВ, основанные на комбинации мгновенного первого цикла и второго с выдержкой времени. Однако опыт эксплуатации показал малую успешность такой комбинации и большое количество отказов. Вызвано это тем, что за время первого мгновенного цикла такие причины КЗ, как падение деревьев, склывание проводов, наезды на линию различных движущихся механизмов не успевают самоустраниться. Кроме того, при мгновенном АПВ детали привода не всегда успевают прийти в требуемое положение из-за сотрясений и вибраций самого привода и конструкции, на которой он установлен, особенно в металлических КРУ и КРУН. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили схемы двухкратных АПВ с выдержкой времени

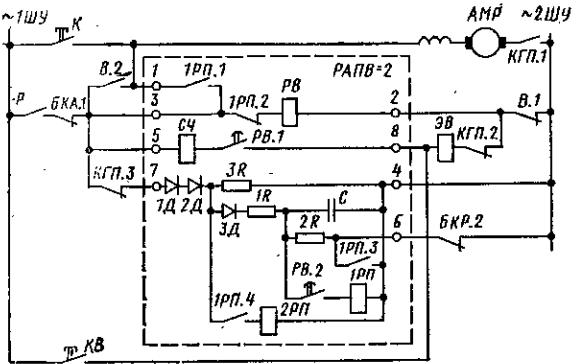


Рис. 4. Схема двукратного устройства АПВ Мосэнерго выключателя с пружинными приводами

в обоих циклах. Для пояснения основных принципов построения таких схем рассматривается один из вариантов, разработанных и применяемых в Мосэнерго.

Схема двукратного АПВ Мосэнерго дана на рис. 4. Устройство АПВ выпускается в виде комплектного устройства под названием РАПВ-2 и предназначено для установки в распределительных устройствах сети 6–10 кВ, не имеющих щитов управления и телеуправления.

При отключении выключателя от релейной защиты его вспомогательный контакт *B.1* по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*3*–*IPPL.2*–*PB*–*2*–*B.1*–*2ШУ* пускает реле времени *PB*, которое по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*5*–*СЧ*–*PB.1*–*8*–*ЭВ*–*KГП.2*–*B.1*–*2ШУ* включает выключатель. Контакт *KГП.2* замкнут при заведенных пружинах, *KГП.1* замыкается только на время завода пружин. В этих цепях *P* – рубильник или накладка для вывода устройства АПВ из работы, *СЧ* – счетчик числа включений. Необходимость установки счетчика вместо обычных указательных реле вызвана тем, что на необслуживаемых подстанциях некому возвращать флагшки указательных реле, поэтому ранее выпавшие, но не возвращенные флагшки указательных реле искажают действительную ра-

боту релейной защиты и автоматики и серьезно затрудняют ее анализ. Кроме того, по счетчикам определяется необходимость внепланового ремонта выключателей в зависимости от количества отключенных КЗ. Отсутствие счетчиков в типовых схемах АПВ, выпускаемых промышленностью, является их серьезным недостатком. При успешном АПВ размыкается контакт *B.1*, возвращается *PB* в исходное положение и по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*B.2*–*AMP*–*KГП.1*–*2ШУ* электродвигатель заводит пружины. После окончания завода пружин замыкается *KГП.2*, и схема готова к новому циклу АПВ. При неуспешном первом цикле выключатель отключается, снова пускается реле времени и замыкается его контакт *PB.1*. Но так как время работы релейной защиты меньше времени завода пружин, а электродвигатель останавливается вспомогательным контактом *B.2*, то контакт *KГП.2* остается разомкнутым, и выключатель не включится. Реле времени дорабатывает и замыкает свой упорный контакт *PB.2*. В нормальном режиме работы по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*KГП.3*–*7*–*1Д*–*2Д*–*3Д*–*IR*–*C*–*4*–*2ШУ* конденсатор *C* был заряжен и при замыкании *PB.2* разряжается на реле *IPPL*. Реле *IPPL* и *2РП* – кодовые реле механически сблокированные друг с другом, так что представляют собой двухпозиционное реле. Реле *IPPL* механически самоудерживается, своим контактом *IPPL.2* размыкает обмотку *PB*, контактом *IPPL.1* по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*3*–*IPPL.2*–*1*–*AMP*–*KГП.1*–*2ШУ* пускает *AMP* и заканчивает завод пружин, а контактом *IPPL.1* готовит цель для срабатывания *2РП*. После окончания завода пружин *KГП.1* останавливает *AMP*, а по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*KГП.3*–*7*–*1Д*–*2Д*–*IPPL.4*–*2РП*–*4*–*2ШУ* обеспечивает срабатывание реле *2РП*.

Реле *2РП* за счет механической блокировки возвращает реле *IPPL* в исходное положение. По цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*3*–*IPPL.2*–*PB*–*2*–*B.1*–*2ШУ* снова пускается реле времени, и по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*5*–*СЧ*–*PB.1*–*ЭВ*–*KГП.2*–*B.1*–*2ШУ* выключатель включается второй раз. Если второй цикл АПВ успешен, то по цепи *1ШУ*–*P*–*BKA.1*–*B.2*–*AMP*–*KГП.1*–*2ШУ* заводятся пружины, вспомогательный контакт *B.1* возвращается реле времени в исходное положение, и после окончания заряда конденсатора схема готова к новому циклу АПВ. При неуспешном втором цикле АПВ контакт *B.1* снова запустит *PB*, но так как пружины еще не заведены, то

цепь включения выключателя разомкнута на $KGP.2$. Реле PB доработает до конца и замкнет C на реле IPR . Но к этому времени конденсатор C еще не успеет зарядиться, и IPR не сработает, цепь завода пружин разомкнется kontaktами $B.2$ и $IPR.1$, и схема останется в таком положении.

Для последующего включения выключателя следует кратковременно отключить и снова включить P , чем возвращается в исходное положение реле PB . Далее кнопкой K заводится пружина, и после окончания завода выключатель включается кнопкой KV . Кнопки K и KV могут быть объединены, но для удобства ремонтных работ лучше применять отдельные кнопки. Если требуется ввести телеуправление, то добавляется реле $RPTU$, как и в предыдущих схемах. Реле $RPTU$ работает от выходного контакта устройства телеуправления и возвращается в исходное положение вспомогательным контактом выключателя после его включения. Размыкающий контакт $RPTU$ включается последовательно с P в цепь $1ШУ$ — P — $RPTU$ — $BKA.1$..., а замыкающие — параллельно кнопкам K и KV .

Если второй цикл АПВ не нужен, то вывод реле b соединяется с $2ШУ$ через контакт $BKA.2$. Этим конденсатор C замыкается на резистор $2R$, реле IPR срабатывать не будет, и второй цикл АПВ не происходит.

Если после неуспешного АПВ во втором цикле до восстановления схемы в нормальный режим произойдет понижение напряжения оперативного тока, то PB возвратится в исходное положение и после восстановления напряжения схема будет работать, как при неуспешном АПВ.

Если при первом цикле неуспешного АПВ не разомкнется контакт $PB.1$, то реле времени не доработает до конца, реле IPR и $2RP$ работать не будут, и схема останется в таком состоянии. При отключении выключателя разомкнется $B.1$, остановится AMP , и так как контакт KGP не переключится, то цепь включения от устройства АПВ будет разомкнута. Недостатком описанной конструкции является сложность изготовления и регулировки реле IPR и $2RP$. Поэтому описанная конструкция заменяется сейчас новой.

3. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПРИВОДАМИ

Для таких выключателей промышленностью выпускается комплектное реле РПВ-58. Схема АПВ с таким реле дана на рис. 5. В этой схеме реле RPO и RPB — реле, указывающие положения выключателя — «отключено» и «включено». Добавочные резисторы, включенные последовательно с ними, предохраняют от ложного отключения или включения выключателя при КЗ в обмотках реле. Для пуска устройства АПВ использован принцип несоответствия положения выключателя и его ключа управления.

Рассматриваемая схема применяется при использовании ключей управления с фиксацией. При квтировании ключа управления в положение «Включено» его контакт I остается замкнутым до следующей оперативной команды. Если при этом выключатель включен, то имеется соответствие между положением ключа управления и выключателем. При включенным выключателе реле RPO обесточено, так как разомкнут вспомогательный контакт выключателя $B.1$, а реле RPB втянуто, поскольку замкнут вспомогательный контакт $B.2$.

При отключении выключателя от релейной защиты ключ остается в положении «Включено» (замкнут его контакт I), обесточивается RPB и срабатывает RPO . Появилось несоответствие между положением ключа KU и выключателем. Происходит пуск устройства АПВ по цепи $(+ШУ)$ — $KU.1$ — RPO — 5 — $1PB$ — $1PB.1$ — 5 — $(-ШУ)$. Добавочный резистор $IR1$ при срабатывании реле времени $1PB$ вводится в цепь его мгновенным контактом $1PB.1$ для обеспечения термической стойкости реле $1PB$. Принципиально возможно вместо реле RPO использовать вспомогательные контакты выключателя. Использование RPO дает экономию контрольного кабеля и повышает надежность работы АПВ, так как конструкция вспомогательных контактов $KСУ$ в цепях электромагнита отключения $ЭО$ и контактора привода KI лучше и надежнее конструкции обычных вспомогательных контактов типа KCA . Кроме того, пуск схемы АПВ происходит только при исправной цепи включения.

При включении выключателя конденсатор C заряжается по цепи $(+ШУ)$ — KU — 7 — $1R2$ — C — 6 — $(-ШУ)$.

Пока конденсатор C не зарядится, не может сработать выходное реле устройства АПВ IPB . Время заряда конденсатора достаточно велико (несколько десятков секунд). По окончании заряда конденсатора устройство АПВ готово к действию. При оперативном включении выключателя АПВ не происходит, так как конденсатор C не заряжен. Вывод из работы схемы АПВ в этом случае вызван весьма малой вероятностью оперативного включения на неустойчивое КЗ.

По истечении установленной выдержки времени $IPB.2$ включает кодовое реле IPB в цепь разряда конденсатора C . Реле IPB — двухобмоточное, при срабатывании оно самоудерживается своей второй обмоткой и замыкает цепь контактора привода KP : $(+ШУ) — KU — 3 — IPB.1 — IPB — 4 — РУ — H — РБМ.1 — B.1 — KP — (-ШУ)$. Самоудерживание IPB необходимо потому, что время включения выключателя велико, доходит до 1 с, разряд конденсатора кратковременный, а удержать-

ся в сработанном положении по цепи $(+ШУ) — KU — 7 — 1R2 — 1PB.2 — 1PB — 6 — (-ШУ)$ реле не может из-за большого значения сопротивления зарядного резистора $1R2$ ($1,1\text{--}3,4 \text{ М}\Omega$). Большое значение $1R2$ необходимо для медленного заряда конденсатора C , чтобы обеспечить блокировку при неуспешном АПВ. При успешном АПВ размыкается $B.1$, отпадает PPO и возвращаются $1PB$ и $1PB$, начиная заряжаться конденсатор C и, когда заряд закончится, АПВ готово к новому циклу.

При неуспешном АПВ реле PPO снова пускает реле IPB , и оно замыкает $1PB$ на конденсатор C . Но конденсатор еще не заряжен, $1PB$ сработать не может, контакт $1PB.2$, замыкая C на $1PB$, препятствует дальнейшему заряду C . В таком положении схема остается до квиртирования ключа управления (перевода его в положение «отключено»). Так обеспечивается однократность АПВ. Если выключатель отключается от ключа KU , то цепь пуска АПВ размыкается на ключе управления, а конденсатор C разряжается по цепи $C — 1R2 — 7 — PPO — 5 — 1PB — 1PB.1 — 6$.

Реле PBM является блокировкой от многократных включений выключателя на короткое замыкание при неисправности цепи включения. Блокировка, применяемая заводами-изготовителями приводов для подстанций без постоянного дежурного персонала, неприменима. Заводская блокировка состоит в том, что при длительном замыкании цепи включения выключателя на КЗ срабатывает релейная защита, и электромагнит отключения своими вспомогательными контактами переключает цепь отключения на самоудерживание. Сердечник электромагнита отключения остается втянутым, препятствуя посадке на защелку механизма свободного расцепления привода. Однако электромагнит отключения может находиться под напряжением лишь кратковременно, обычно около 30 с, после чего сгорает его обмотка, сердечник опускается и замыкает цепь включения. Включившийся выключатель отключить будет нельзя, так как сгорел электромагнит отключения. Кроме того, сама конструкция блокировки мало надежна и не раз была причиной различных отказов.

По этим причинам заводская блокировка должна быть заменена на блокировку с реле PBM . Демонтируя же заводскую блокировку необходимо потому, что она при работе будет шунтировать обмотку PBM , и

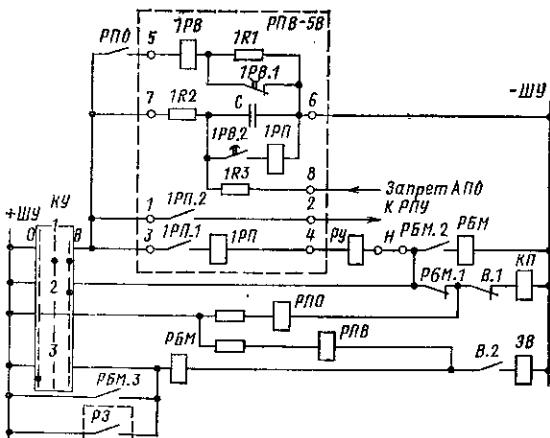


Рис. 5. Схема устройства АПВ с реле РПВ-58 для электромагнитного привода

РБМ обесточится. Блокировка с *РБМ* работает следующим образом. В цепи отключения находится рабочая последовательная обмотка реле типа РП-232. При протекании тока по цепи отключения реле срабатывает, контактом *РБМ.1* разрывает цепь контактора *КП*, а контактом *РБМ.2* включает свою удерживающую обмотку. Эта обмотка термически стойкая и может обеспечить разрывы цепи включения в течение всего времени, пока она замкнута контактами *КУ* или *РПВ-58*. Свободный контакт *РБМ.3* обычно используется для шунтирования выходного контакта релейной защиты *РЗ*. Это делается для того, чтобы исключить разрывы цепи отключения kontaktами *РЗ*. Цепь отключения разрывается вспомогательным контактом *B.2*, так как контакты *РЗ* не рассчитаны на разрыв этой цепи.

Описанная схема не предназначена для использования на подстанциях с телев управлением. Несоответствие между положениями ключа и выключателя в этом случае не может использоваться для устройства АПВ, так как выключатель может включаться и отключаться не только с помощью ключа, но и по телев управлению.

Поэтому схема рис. 5 изменяется: (+ШУ) подается на контакт *РПО* помимо ключа управления. Пуск АПВ производится при всех отключениях выключателя. Но при оперативных отключениях, по телев управлению или от ключа, для запрета действия устройства АПВ на зажиме 8 реле *РПВ-58* контактами ключа управления или выходного реле телев управления подается минус напряжения оперативного тока (−ШУ), и конденсатор *C* разряжается. Схема усложняется, и при длительном отключении выключателя реле времени длительно находится под напряжением. Эта же и ряд других причин обусловили применение в схемах управлений ключей управления с автоматическим возвратом в нейтральное положение после завершения каждой поданной ими команды. Для создания принципа несоответствия в схему вводятся реле фиксации положения выключателя *РФ*, работа которого описана выше. Одна из таких схем дана на рис. 6. Реле *РФ* управляемся kontaktами ключа, телев управления и kontaktами реле *РПВ.2*. При включении выключателя срабатывает реле *РПВ* по цепи (+ШУ) — *R1* — *РПВ* — *РБМ* — *B.2* — *ЭО* — (−ШУ) и своим kontaktом *РПВ.2* ставит реле *РФ* в положение «включено». Kontakt реле *РФ.3* замыкается и подает (+ШУ) на вывод

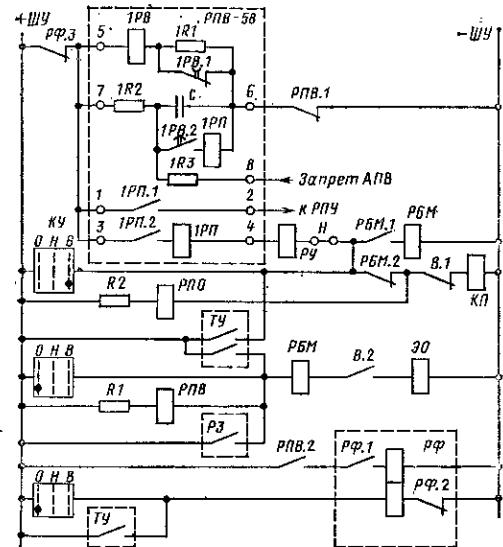


Рис. 6. Схема устройства АПВ с реле РПВ-58 для телев управляемых подстанций

б реле *РПВ-58*, замыкается *РФ.2*, подготавливая цепь возврата *РФ*.

Если выключатель отключится по любой причине, то размыкается его вспомогательный контакт *B.2*, отпадает реле *РПВ* и своим kontaktом *РПВ.1* пускает схему АПВ. Если же выключатель отключается от ключа управления или телев управления, то плюс напряжения оперативного тока (+ШУ) подается на реле *РФ*, *РФ* становится в положение «отключено», его kontakt *РФ.3* в цепи (+ШУ) — РПВ-58 размыкается, и, хотя *РПВ.1* замкнут, пуска схемы АПВ не будет. В остальном схема на рис. 6 работает так же, как и схема на рис. 5. Другие kontaktы реле *РФ* используются в схемах сигнализации положения выключателя.

В последние годы, особенно для питания подстанций 35–110 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения, очень широко применяются двукратные АПВ, для которых промышленность выпускает комплектное реле РПВ-258.

Схема двукратного АПВ с реле РПВ-258 на рис. 7. В этой схеме устройство АПВ пускается контактом реле *RPO.1*. При отключении выключателя замыкается его вспомогательный контакт *B.1*, срабатывает реле *RPO* и подает минус напряжения оперативного тока (*-ШУ*) на вывод 5 реле РПВ-258. Реле времени *IPB* с задержкой времени первого цикла АПВ своим контактом *IPB.2* замыкает цепь разряда конденсатора *IC1* на выходное реле *IPR*. Реле *IPU* и *2РУ* – обычные указательные реле. Реле *IPR* срабатывает и по цепи (*+ШУ*) – *KU* – 3 – *IPR.1* – *IPR* – 4 – *РУ* – *H* – *PBM.2* – *B.1* – *КП* – (*-ШУ*)

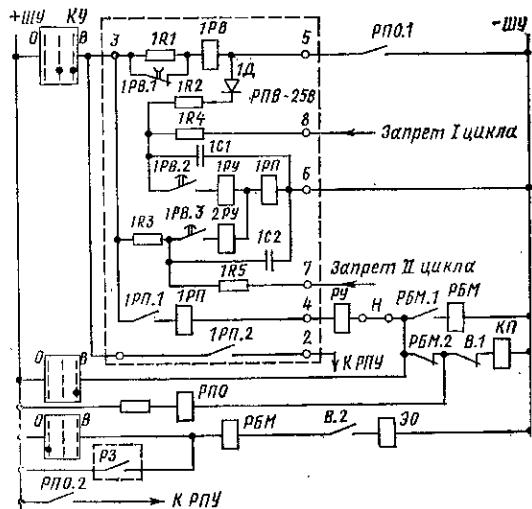


Рис. 7. Схема двукратного устройства АПВ с реле РПВ-258

включает выключатель. При успешном АПВ размыкается *B.1*, возвращается в исходное положение *RPO* и снимает (*-ШУ*) с РПВ-258. Вся схема приходит в исходное положение, конденсатор *IC1* заряжается по цепи (*+ШУ*) – *KU* – 3 – *IPB.1* – *IPB* – *ID* – *IR2* – *IC1* – 6 – (*-ШУ*). Когда конденсатор *IC1* зарядится, устройство АПВ готово к работе.

Если первый цикл АПВ неуспешен, то снова пускается *IPB* и замыкается его временно замыкающий контакт *IPB.2*. Но конденсатор *IC1* еще не успевает зарядиться, и реле *IPB* не срабатывает. Реле *IPB* продолжает работу и своим контактом *IPB.3* замыкает цепь разряда конденсатора *IC2* через *2РУ* на *IPR*. Выключатель включается. Если второй цикл АПВ успешен, то схема возвращается в исходное положение, начинается заряд конденсаторов *IC2* и *IC1* (конденсатор *IC1* был разряжен при замыкании контакта). Если и второе АПВ неуспешно, то снова запускается *IPB* и поочередно включает *IPR* на конденсаторы *IC1* и *IC2*. Но так как они к этому времени еще не заряжены, то АПВ не происходит. Реле времени останется под напряжением, пока не будет квтировано клюв управления, чем будет снят плюс источника оперативного тока (*+ШУ*) с вывода 3 реле РПВ-258.

Пока клюв не квтирован, конденсатор *IC2* замкнут на *IPR* и не может заряжаться; конденсатор *IC1* также замкнут на *IR2* контактом *RPO.1* по цепи (*-ШУ*) – *RPO.1* – 5 – *ID* – *IR2* – *IC1* – 6 – (*-ШУ*) и не может заряжаться. По этой же цепи конденсатор *IC1* замкнут и во время первого цикла АПВ, но он разряжается незначительно, так как время первого цикла мало, а обратное сопротивление диода *ID* велико.

В остальном схема работает так же, как и рассмотренные ранее.

На рис. 8 дана схема с реле РПВ-358 для электромагнитного привода на переменном оперативном токе. Реле РПВ-358 отличается от реле РПВ-258 лишь наличием диода *D*, предотвращающего разряд конденсатора *C* при снижении напряжения питания. В принципе схема рис. 8 работает так же, как ранее рассмотренные. Основные отличия следующие.

Для разделения оперативных цепей применено реле *RП*, работающее от ключа управления. Электромагнит отключения *ЭО* питается от блока конденсаторов *БК-400*,

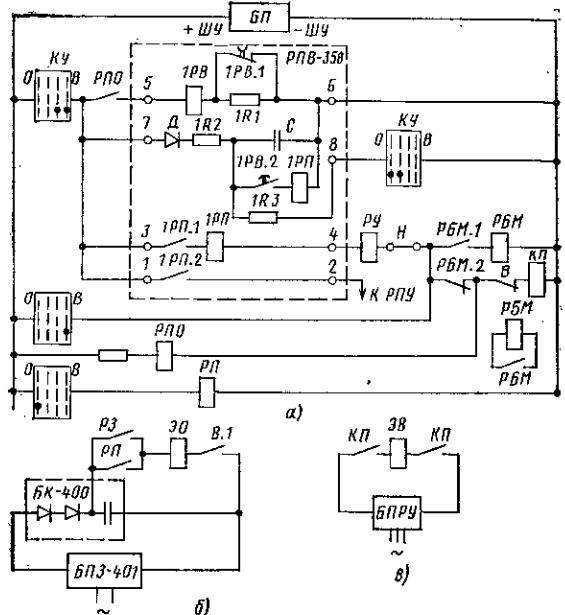


Рис. 8. Схемы устройств АПВ с реле РПВ-358 для электромагнитного привода:

а — схемы устройства АПВ; *б* — схема цепей отключения; *в* — схема цепей включения

заряжаемых блоком питания и заряда БПЗ-401. Так как БПЗ-401 достаточно мощный, то в цепь ЭО введен вспомогательный контакт выключателя *B.1* для разрыва его цепи. Это нужно для того, чтобы контакты релейной защиты *R3* и контакты реле *RП* не размыкали тока подпитки ЭО от БПЗ-401, который примерно вдвое больше номинального тока ЭО. Следует отметить, что разделятельные диоды типа Д226Б в блоке конденсаторов

БК-400 должны быть заменены на более мощные диоды КД202М, такие же, как и в БПЗ-401 [8].

Цепь включения выключателя питается от мощного выпрямительного устройства, например БПРУ-66 [8].

Разряд конденсатора *C* через диод *D* происходит очень медленно. Поэтому при оперативном отключении выключателя конденсатор разряжается по цепи $(-\text{ШУ}) - \text{KU}-8 - 1\text{R}3 - \text{C} - 6 - (-\text{ШУ})$ для того, чтобы при последующем включении выключателя запретить АПВ. После включения конденсатор зарядится по цепи $(+\text{ШУ}) - \text{KU}-7 - \text{D} - 1\text{R}2 - \text{C} - 6 - (-\text{ШУ})$, и устройство АПВ будет введено в работу. Для блокировки от многочтых включений в качестве *RBM* применено реле РП-254 с замедлением при возврате. Это замедление достигается за счет демпферной обмотки реле, замыкаемой накоротко контактами реле при его срабатывании. Замедление необходимо из-за кратковременности разряда блока конденсаторов БК-401 на электромагнит отключения ЭО. Поэтому при включении на КЗ из-за понижения оперативного напряжения самоудерживание реле *RBM* не обеспечивается.

Если схема питается от комбинированных блоков питания тока и напряжения, то может применяться иальная блокировка с реле РП-232,

Недостатком рассматриваемой схемы является возможность нечеткой работы удерживающей обмотки *IPR* из-за питания его выпрямленным напряжением от однофазного блока питания *BP*. Ток в удерживающей обмотке *IPR* в принципе может снижаться до нуля, и реле *IPR* будет срабатывать и возвращаться в исходное положение, замыкая и размыкая цепь контактора *KP*.

Для устранения этого желательно блок питания *BP* выполнить по схеме трехфазного двухполупериодного выпрямления, например, включив по схеме открытого треугольника два однофазных блока. Питание реле РПВ-358 предусмотрено от блока БПН-101/2 с выходным напряжением 110 В, ибо реле РПВ-358 выпускаются только на 110 В. Выпрямители же для включения выключателей выпускаются только с выходным напряжением 220 В. Поэтому возникают затруднения с контактором *KH*, который должен быть на 110 В, а сам электромагнитный привод выключателя на 220 В.

Для устранения этих недостатков возможны следующие пути: для питания всех оперативных цепей и уст-

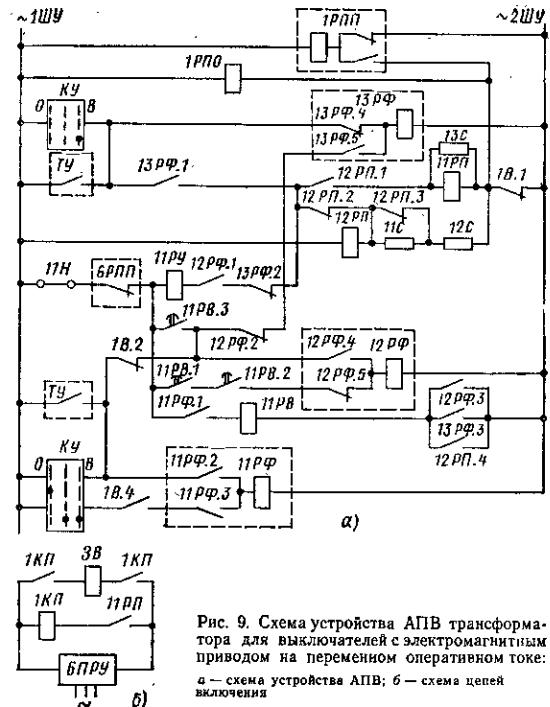
ройства АПВ в том числе применять стабилизированные блоки питания БПНС-1 с выходным напряжением 220 В и трехфазной двухполупериодной схемой выпрямления. При этом возможно отказаться и от АВР шин оперативного тока, подключив два блока БПНС-1 к двум разным трансформаторам собственных нужд, а на стороне выпрямленного тока включить их параллельно [8]. Следует учитывать, что реле РП-254 выпускается с удерживающей обмоткой только на 110 В, поэтому при переходе на 220 В последовательно с удерживающей обмоткой реле РП-254 на 110 В следует включить резистор с сопротивлением 440 Ом и мощностью не менее 3 Вт.

Для питания реле РПВ-58 с добавленным диодом можно использовать те же блоки БПЗ-401, что и для заряда конденсаторов, включив их по схеме открытого треугольника. Следует отметить, что первоначально схема разрабатывалась для заряда конденсаторов от устройства УЗ-401 и питания РПВ-358 от блока БПН-101. В настоящее время устройство УЗ-401 снято с производства и заменено на БПЗ-401. Применение БПЗ-401 для заряда конденсаторов снимает ограничения в выдержке времени устройства АПВ, требовавшиеся при заряде конденсаторов от УЗ-401: теперь устройство АПВ не должно ждать заряда конденсаторов, так как конденсатор емкостью 200 мкФ заряжается от БПЗ-401 до 0,8 номинального напряжения за 0,07 с, что меньше времени включения любого выключателя.

Возможен и такой вариант, когда все цепи управления и устройства АПВ питаются от выпрямителя БПРУ-66. Но так как на холостом ходу выходное напряжение БПРУ-66 около 300 В, то последовательно с обмотками напряжения всех реле следует включить добавочные резисторы.

На рис. 9 дана схема устройства АПВ выключателя трансформатора с электромагнитным приводом на струне 6—10 кВ, применяемая в одной из серий КРУ для подстанций с телев управлением.

В этой схеме блокировка от многократных включений выполнена на реле 12РП, а выходное реле цепи включения является реле 11РП. Выходное реле 11РП разделяет цепи переменного и выпрямленного токов и включает контактор привода по схеме рис. 9, б. Электромагнит включения ЭВ питается от выпрямителя БПРУ-66. На рис. 9, б показан один контакт 11РП.



12РП было в положении после срабатывания по цепи 1ШУ—12РП—11С—12С—2ШУ. Поэтому при замыкании 13РФ.1 и замкнутом 12РП.1 срабатывает 11РП, и выключатель включается. На контакте 1В.1 разрывается цепь 12РП. Через 1В.4 и 11РФ.3 срабатывает 11РФ, замыкаются контакты 11РФ.1 и 11РФ.2. Так как замкнут 13РФ.3, начинает работать реле 11РВ. При замыкании контактов 11РВ.1 и 11РФ.2 (два контакта последовательно исключают повторное замыкание цепи при возврате в исходное положение реле 11РВ) через контакт 12РФ.5 срабатывает 12РФ. При этом замыкаются его контакты 12РФ.1, 12РФ.3, 12РФ.4 и размыкаются 12РФ.2 и 12РФ.5. Когда замкнется 11РВ.3, реле 12РФ вернется в первоначальное положение, замкнув контакт 12РФ.2 и разомкнув контакт 12РФ.1. При замыкании 12РФ.2 вернется в исходное положение 13РФ, замыкая 13РФ.2 и 13РФ.4. После возврата в исходное положение 12РФ и 13РФ обесточится и вернется в исходное положение 11РВ.

При отключении выключателя по ТУ или от КУ по цепи 11РФ.2 сработает 11РФ, размыкает 11РФ.1, а другими своими контактами, не указанными на схеме, замыкает цепь электромагнита отключения ЭО. При любом отключении выключателя срабатывает реле 12РП. Однако если отключение выключателя произошло от релейной защиты или по другой причине (кроме оперативного отключения по ТУ или от КУ), то замкнут 11РФ.1. Поэтому по цепи 1ШУ—11Н—6РПП—11РФ.1—11РВ—12РП.4—2ШУ запускается реле 11РВ. При замыкании контактов 11РВ.1 и 11РВ.2 срабатывает 12РФ и по цепи 1ШУ—11Н—6РПП—11РУ—12РФ.1—13РФ.2—12РП.1—11РП—1В.1—2ШУ срабатывает 11РП, и выключатель включается. Резистор 13С увеличивает ток через 11РУ в цепи АПВ для более четкой работы указательного реле.

Если выключатель включится на КЗ и отключится своей защитой (разомкнется 1В.1), а цепь включения по каким-либо причинам останется замкнутой, то реле 12РП отпадает, контактом 12РП.2 шунтирует свою обмотку, а контактом 12РП.1 разрывает цепь включения. Резисторы 11С и 12С повышают термическую стойкость реле 12РП и предотвращают КЗ в цепях управления при шунтировании обмотки реле 12РП. Как только цепь включения разорвется на ТУ, КУ или 13РФ.1, сработает реле

12РП и восстановит цепь включения. Если АПВ успеш но, то дорабатывает 12РВ и возвращает 12РФ в исходное положение. При неуспешном АПВ выключатель отключается, замыкается вспомогательный контакт 1В.2, по цепи 1ШУ—11Н—6РПП—11РВ.3—1В.2—11РФ.2—11РФ—2ШУ срабатывает 11РФ и разрывает цепь обмотки 11РВ, блокируя устройство АПВ. Так обеспечивается однократность АПВ. Для возврата схемы в исходное положение следует кинетировать КУ, после чего выключатель можно снова включить. Чтобы РВ доработало при неуспешном АПВ, контакт 12РФ.3 шунтирует 12РП.4.

При оперативном отключении от ТУ или КУ срабатывает 11РФ и разрывает цепь реле времени контактом 11РФ.1, выводя из работы устройство АПВ. Другим контактом 11РФ замыкает конденсаторы на электромагнит отключения, так же как в схеме рис. 8, б эту цепь замыкает реле РВ. Реле 1РПО и 1РПП повторяют положения выключателей; их контакты используются в других схемах автоматики и сигнализации. Цепь пуска устройства АПВ блокируется контактами реле 6РПП, которое повторяет положения короткозамыкателя: при срабатывании защиты от внутренних повреждений трансформатора включается короткозамыкатель, и управляемое его вспомогательным контактами реле 6РПП замыкает свой контакт, запрещая действие устройства АПВ.

4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ С КОНТРОЛЕМ СИНХРОНИЗМА

В ряде случаев для АПВ выключателей линий с двусторонним питанием требуется проверять отсутствие напряжения на включаемой линии, отсутствие или наличие напряжения на шинах при АПВ шин, синхронность напряжений на вводах включаемого от устройства АПВ выключателя. Для контроля синхронности напряжений промышленность выпускает реле контроля синхронизма РН-55. Магнитная и контактная системы этого реле такие же, как у реле РТ-40. Реле имеет две обмотки, каждая из которых состоит из двух секций — внутренней, находящейся у магнитопровода, и внешней, намотанной сверху внутренней секции другой обмотки. Обе секции каждой обмотки имеют одинаково

вое количество витков и включены последовательно. Каждая обмотка включается на одно из синхронизуемых напряжений через добавочные резисторы. Параметры обмоток и их полярность подобраны так, что при подаче на обе обмотки совпадающих по фазе номинальных напряжений магнитные потоки их взаимно уничтожаются и электромагнитный момент на подвижной системе реле равен нулю.

Для срабатывания реле необходимо, чтобы одно из напряжений было больше другого или они были бы сдвинуты между собой по фазе. Таким образом создается результирующий магнитный поток, и реле срабатывает.

Реле выпускаются в различных исполнениях, которые отличаются номинальными напряжениями обмоток и предназначены для включения на разные источники питания. Шкала реле градуируется в градусах угла сдвига между номинальными напряжениями обмоток, от 20 до 40°. Номинальные напряжения обмоток могут быть 30, 60, 100 В. Со стороны шин подстанции реле включается на шинный трансформатор напряжения, со стороны линии реле может включаться на трансформатор напряжения и через специальные устройства отбора напряжения на измерительные обкладки трансформаторов тока и вводов аппаратуры 300—500 кВ, на конденсаторы связи, применяемые для высокочастотной релейной защиты, связи, телеуправления и телеметрий.

Напряжение 300—500 кВ в распределительных сетях практически не применяется, установка на линиях трансформаторов напряжения слишком дорога. Поэтому в распределительных сетях практически применяется только отбор напряжения от конденсаторов связи. Для этого промышленностью выпускаются специальные устройства ШОН (шкаф отбора напряжения) в нескольких вариантах, различающихся количеством трансформаторов отбора и их назначением. Эти устройства используются для АПВ с отбором напряжения или для питания устройств синхронизации генераторов и могут включаться и на конденсаторы связи и на измерительные обкладки аппаратуры 300—500 кВ. Основная схема подключения ШОН к конденсатору связи дана на рис. 10, а.

В этой схеме: 3 — высокочастотный заградитель, не пропускающий ток высокой частоты к шинам; C_c — кон-

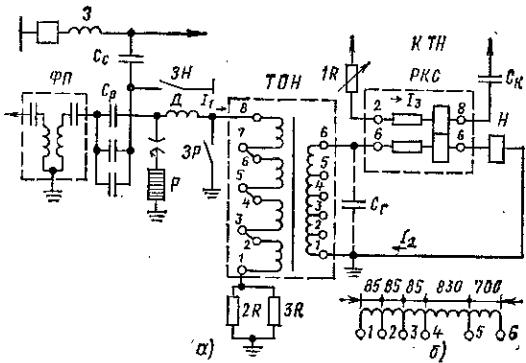


Рис. 10. Принципиальная схема ШОН:

а — схема подключения ШОН к конденсатору связи; б — схема вторичной обмотки ТОН

денсатор связи в различных вариантах исполнения; C_p — разделительный конденсатор, состоящий из трех конденсаторов по 10 000 пФ $\pm 20\%$, на напряжение 4 кВ, пропускающий ток высокой частоты в фильтр присоединения FP и не пропускающий ток промышленной частоты; R — разрядник РВН-0,5 для защиты аппаратуры ШОН от перенапряжений; D — высокочастотный дроссель (3000 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,44 мм, $R=10\text{--}12$ Ом, $L=100$ мГн), не пропускающий ток высокой частоты в устройство отбора напряжения; ZP — заземляющий рубильник, включаемый при работах в устройстве отбора; $2R$ и $3R$ — резисторы ПЭ 2,2 кОм $\pm 5\%$ для подавления явлений резонанса напряжений при переходных процессах; TOH — трансформатор отбора напряжения. В зависимости от варианта исполнения ШОН в нем могут быть один или два включенных последовательно трансформатора отбора.

Первичная обмотка TOH состоит из четырех однаковых секций по 1850 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,15 мм. Секции перемычками могут включаться последовательно или параллельно в зависимости от значения первичного тока отбора. Первичный же ток отбора опре-

деляется напряжением сети, количеством и емкостью конденсаторов связи.

Вторичная обмотка TOH имеет 1785 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,35 мм с несколькими отпайками для более точного подбора коэффициента трансформации. На вторичную обмотку TOH включается реле HL , контролирующее напряжение на линии, и одна из обмоток реле контроля синхронизма RKC . Вторая обмотка реле RKC подключается к шинному трансформатору напряжения.

В качестве реле HL используется обычное реле тока типа РТ-40/0,2 с переключающим контактом: $HL.1$ замкнут при отсутствии напряжения на линии, а $HL.2$ замкнут при напряжении на линии, близком к номинальному. В качестве RKC используется реле типа РН-55.

Переменный реостат IR служит для выравнивания токов в обмотках RKC ; конденсатор C_r емкостью 2 мкФ в ранее приведенных схемах предназначался для компенсации индуктивности обмоток RKC .

В дальнейшем этот конденсатор был исключен. Контакты реле PT и RKC включаются в цепь пуска устройства АПВ, разрешая или запрещая АПВ. Конденсатор C_r заводом не поставляется и устанавливается в некоторых случаях для пропускания токов высших гармоник.

Принцип работы реле RKC поясняется векторной диаграммой рис. 11, а и б. Пусть конденсатор связи подключен на напряжение фазы A линии $\dot{U}_{A,л}$. Емкостное сопротивление применяемых на практике конденсаторов связи для тока частотой 50 Гц очень велико, порядка 0,5–3 МОм; сопротивление $2R$, $3R$ и TOH по сравнению с ним очень мало, поэтому первичный ток отбора i

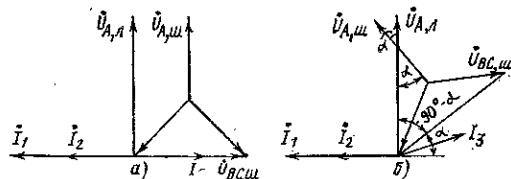


Рис. 11. Векторные диаграммы реле контроля синхронизма:
а — при совпадающих по фазе напряжениях шин в линии; б — при сдвиге по фазе напряжений шин и линий

практически можно считать чисто емкостным, опережающим напряжение фазы A на 90° . Угловая ошибка трансформатора отбора мала, поэтому вторичный ток TOH — i_2 практически совпадает с первичным.

Внутреннее сопротивление TOH неизмеримо больше сопротивления включенной нагрузки — обмоток RKC и HL , поэтому TOH является практически трансформатором тока, а не трансформатором напряжения. Вторая обмотка реле RKC включена на междуфазное напряжение шин $\dot{U}_{B,C,ш}$ через резистор с большим сопротивлением. При равных по модулю и совпадающих по фазе токах i_2 и i_3 в обмотках RKC его индуктивное сопротивление близко к нулю. Поэтому ток i_4 совпадает по фазе с обусловливающим его напряжением $\dot{U}_{B,C,ш}$ (рис. 11, а). Следовательно, если напряжения по сторонам отключенного выключателя совпадают по фазе (угол между $\dot{U}_{A,л}$ и $\dot{U}_{B,C,ш}$ равен 90°), а токи i_2 и i_3 равны по модулю, то, подобрав полярность включения обмоток RKC , обеспечивающую вычитание магнитных потоков, получим результирующий магнитный поток равным нулю. Реле RKC работать не будет и разрешит пуск схемы АПВ.

При сдвиге напряжений $\dot{U}_{A,л}$ и $\dot{U}_{B,C,ш}$ на угол α (рис. 11, б) угол между $U_{A,л}$ и $U_{B,C,ш}$ будет равен $(90^\circ - \alpha)$, а угол между током i_2 и $\dot{U}_{B,C,ш}$ равен $(180^\circ - \alpha)$. Ток i_3 будет отставать от $\dot{U}_{B,C,ш}$, так как при сдвиге токов i_2 и i_3 индуктивное сопротивление RKC отлично от нуля. Отличный от нуля окажется и результирующий магнитный поток. Если результирующий момент на подвижной системе реле превысит его уставку срабатывания, определяемую возвратной пружиной, то реле сработает и разомкнет цепь пуска устройства АПВ.

Работа устройства АПВ с контролем синхронизма поясняется на примере сети по рис. 12, а. При отключении линии AB со стороны подстанции B ток нагрузки будет проходить по оставшимся линиям между подстанциями A и B .

Напряжения одноименных фаз на подстанциях A и B за счет падения напряжения в линиях AB будут сдвинуты между собой на угол α и различны по величине. Появится разность напряжений ΔU (рис. 12, б). Если теперь включить линию AB , то разность напряжений вы-

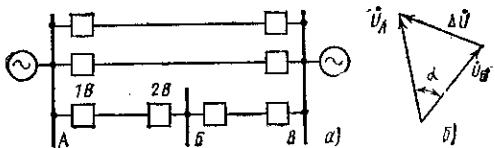


Рис. 12. Схема сети с двухсторонним питанием:
а — схема сети; б — векторная диаграмма

зовет уравнительный ток, который может быть причиной серьезных нарушений работы энергосистемы. Для ограничения уравнительного тока включение допускается лишь при определенных значениях угла α .

Схемы устройства АПВ с проверкой синхронизма работают следующим образом. На одном из концов линии, например *A* (рис. 12, а), устанавливается устройство АПВ с проверкой отсутствия напряжения на линии, на другом — устройство АПВ с проверкой синхронизма. Первым включается выключатель на подстанции *A*. На другом конце линии реле контроля синхронизма измеряет угол между напряжением на шинах подстанции *B* и напряжением на линии от подстанции *A*. Если этот угол не превышает допустимого, то РКС разрешает АПВ. Если же этот угол больше угла срабатывания реле, то АПВ запрещается. Схема включения в рассмотренную ранее схему рис. 5 реле контроля синхронизма и отсутствия

напряжения на линии $НЛ$ дана на рис. 13. Обычно на обоих концах линии устанавливаются оба реле: контроля синхронизма и контроля напряжения, а накладкой $ИН$ вводится в работу одно из них. На выключателе, включающемся первым, накладка $ИН$ шунтирует контакты реле $РКС$. При полном отключении линии реле $НЛ$, включенное на устройство отбора напряжения, замыкает свой контакт $НЛ.1$ и пускает устройство АПВ по цепи: $(+ШУ) — КУ — РПО — НЛ.1 — ИН — 1РВ — 1РВ.1 — 6 — (-ШУ)$. На другом конце линии накладка $ИН$ разомкнута и пуск устройства АПВ возможен лишь тогда, когда напряжение на линии близко к нормальному (замкнут контакт $НЛ.2$) и угол между напряжениями меньше угла срабатывания реле $РКС$ (замкнут его контакт).

При однополюсном КЗ на фазе, от которой питается устройство отбора напряжения, реле *НЛ* может пустить устройство АПВ раньше, чем линия отключится с другого конца. Поэтому необходимо согласование по времени действия релейной защиты и АПВ.

Второй контакт реле *НЛ.2* включен последовательно с контактом *РКС* и предотвращает пуск устройства АПВ при неисправности реле *РКС*, почему-либо не разомкнувшего свой контакт за время отсутствия напряжения на линии. В схеме АПВ выключателя, включающегося первым, сохраняется цепь пуска устройства АПВ через контакты *НЛ.2* и *РКС*. Это обеспечивает пуск схемы АПВ и при одностороннем отключении линии, когда линия находится под напряжением с другого конца.

Более сложные схемы АПВ с ожиданием или улавливанием синхронизма в распределительных сетях применяются редко и здесь не рассматриваются.

5. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ПОСЛЕ АЧР

В современных энергосистемах в обязательном порядке применяется автоматическая частотная разгрузка (АЧР). При понижении частоты в энергосистеме срабатывают реле понижения частоты и через определенное время отключают часть потребителей. Общая нагрузка энергосистемы уменьшается, и частота восстанавливается. По мере восстановления частоты отключенные потребители включаются устройствами АПВ после АЧР (ЧАПВ).

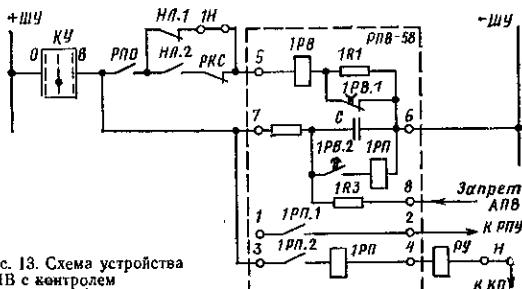


Рис. 13. Схема устройства АПВ с контролем синхронизма

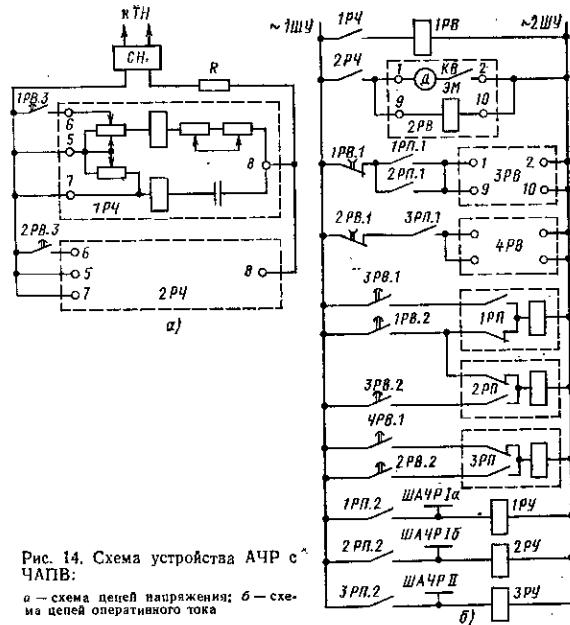


Рис. 14. Схема устройства АЧР с ЧАПВ:
а — схема цепей напряжения; б — схема цепей оперативного тока

В разных энергосистемах и разными организациями разрабатывались и применялись различные схемы как самой частотной разгрузки, так и ЧАПВ. Поэтому ниже рассматриваются лишь основные схемы, применяемые наиболее часто, например, в комплектных подстанциях.

На рис. 14 дана схема АЧР с ЧАПВ, применяемая в одной из серий КРУ. Реле частоты типа ИВЧ-3 [4, 5] IP_4 и $2P_4$ пытаются через стабилизатор напряжения CH от трансформатора напряжения шин. Резистор R снижает выходное напряжение стабилизатора 127 В до номинального напряжения реле частоты — 100 В. Стабилизатор применяется потому, что при понижении напряжения до 60—70 % номинального реле частоты дают по-

грешность по частоте срабатывания до 0,5 Гц, а при еще большем снижении вообще не работают.

Реле IP_4 — реле снижения частоты потребителей первой категории. На разных подстанциях уставки этого реле по частоте срабатывания устанавливаются в пределах 46,5—48,5 Гц, а выдержки времени минимально возможные — 0,3—0,5 с. Реле $2P_4$ — реле снижения частоты потребителей второй категории. Уставки по частоте для этой категории одинаковы для всех подстанций, обычно равны верхней уставке первой категории, но не более 48,8 Гц. Выдержка времени колеблется в пределах от 5—10 до 70—90 с для разных подстанций.

При понижении частоты срабатывает реле IP_4 и пускает реле времени IP_8 . Реле времени своим контактам $IP_8.2$ включает реле $1PP$ и $2PP$, которые подают напряжение на проложенные в ячейках шины $ШАЧ_1a$ и $ШАЧ_1b$. Подключенные к этим шинам реле PP (см. схему рис. 2) отключают свои выключатели с пружинными приводами. Одновременно срабатывает реле PF , фиксируя отключение от АЧР. Реле PP должно воздействовать на электромагнит дистанционного отключения пружинного привода с тем, чтобы разомкнулся контакт BKA и запретил действие устройства АПВ. Упорный контакт $IP_8.3$ изменяет уставку IP_4 с частоты срабатывания на частоту АПВ после АЧР. Если после отключения нагрузки первой категории частота не восстановится, то дорабатывает моторное реле времени $2PB$, пущенное одновременно с IP_8 реле понижения частоты $2P_4$. Реле $2PB$ включает реле $3PP$, которое подает напряжение на шину $ШАЧ_1I$, и подключенные к ней реле PP отключают свои присоединения. Далее $2PB$ переключает $2P_4$ на частоту срабатывания устройства АПВ после АЧР.

После восстановления частоты до 49,2—50 Гц реле $2P_4$ размыкает свой контакт, реле $2PB$ возвращается в исходное положение и через контакт $3PP$ пускает реле времени $4PB$. Реле $4PB$ возвращает реле $3PP$ в исходное положение, чем снимает напряжение с шин $ШАЧ_1II$. Реле PP (см. рис. 2) обесточивается и включает свой выключатель, а через контакты B_2 и BK_1 возвращается в исходное положение реле PF .

При дальнейшем повышении частоты размыкает свой контакт IP_4 , возвращается в исходное положение IP_8 , пускается $3PB$ и возвращаются в исходные положения $1PP$ и $2PP$. Снимается напряжение с шин

ШАЧР1, а и *ШАЧР1б*. обесточиваются реле *РП* и включаются выключатели.

Указательные реле *IPU*, *2Ру*, *3Ру* указывают сработавшую очередь АЧР. Недостатком схемы является одновременное отключение и включение нескольких выключателей с приводами ПП-67. Электромагнит дистанционного отключения привода ПП-67 потребляет кратковременно до 500 В·А при 220 В, электродвигатель завода пружин — до 270 В·А длительно, электромагнит включения — до 400 В·А. В рассматриваемой конструкции КРУ оперативные цепи пытаются через два стабилизатора напряжения С-0,9 общей мощностью 1800 В·А. Поэтому одновременное отключение или завод пружин большего количества выключателей могут перегрузить стабилизаторы, их выходное напряжение снизится, и электродвигатели могут остановиться, ибо они работают надежно при снижении напряжения только до 80 % номинального. Поэтому при распределении выключателей по очередям следует учитывать мощность стабилизаторов, не допуская их перегрузки.

Второй недостаток схемы заключается в следующем: если во время сниженной частоты, когда реле *РП* в ячейках находятся под напряжением, произойдет снижение напряжения в сети, например при близком КЗ, то сработает АВР шин обеспеченного питания и кратковременно снимет напряжение с реле *РП*. Реле возвращается в исходные положения и замкнут цепь включения. Напряжение надежной работы реле *РП* и электромагнита включения и время их срабатывания одинаковы. Поэтому возможно при восстановлении напряжения включение выключателя прежде, чем сработает *РП* и разомкнет цепь включения. В современных сетях часто несколько оточекных подстанций питаются от одной линии 110 кВ, и при КЗ в близко лежащей сети такая работа устройств АПВ может нарушить систему разгрузки.

Схема устройства АПВ после АЧР, показанная на рис. 3, работает аналогично. Реле *1РП* подключается к одной из шин АЧР, проложенных в ячейках, и также отключает выключатели при работе АЧР, фиксирует отключение от АЧР работой реле *2РФ* и, замыкая цепь электромагнита дистанционного отключения, выводит из работы устройство АПВ размыканием контакта *БКА*. Включение выключателя от ЧАПВ производится по цепям: по цепи *1ШУ—3Н—1РП.2—2РФ—1РВ—2ШУ* пус-

кается реле времени устройства АПВ и включает выключатель по цепи *1ШУ—3Н—1РУ—1РВ.1—B.1—КГП—ЭВ—2ШУ*. Следовательно, если по любым причинам обычное устройство АПВ выведено из работы наладкой *3Н*, то выводится из работы устройство ЧАПВ. Кроме того, общее указательное реле *1РУ* может привести к ошибкам при анализе АПВ: неизвестно, от какого устройства АПВ оно сработало. Также нельзя определить вывести из работы устройство ЧАПВ.

Потребляемая мощность электромагнита или электродвигателей завода пружин современных приводов, например ВМП-10П, ВММ-10 и подобных, доходит до 1000 В·А, и этим еще больше ограничивается количество одновременно включаемых выключателей. Поэтому может оказаться целесообразным при большом количестве выключателей цепи электродвигателей или электромагнитов завода пружин питать от трансформаторов собственных нужд помимо стабилизаторов. Возможно применить более мощные стабилизаторы, например С-3С мощностью 3 кВ·А, хотя они значительно дороже. При перерывах питания схема на рис. 3 работает так же, как и схема на рис. 2.

На рис. 15 дана внешняя схема АЧР с ЧАПВ, разработанная в Мосэнерго, которая обеспечивает включение и отключение выключателей не одновременно, а с заданными интервалами по времени. В этой схеме: *РЧ* — реле понижения частоты типа ИВЧ-011 или ИВЧ-3; *КЛ-1* — комплект промежуточных реле и реле времени; *1У* и *2У* — обычные указательные реле; *РП* — выходные промежуточные реле любого типа. Накладки ЧАПВ и АЧР служат для оперативного ввода и вывода из работы устройств АЧР и ЧАПВ. Зажимы *33—34* предназначены для включения реле, блокирующих устройства АЧР, например реле направления мощности для запрета действия устройства АЧР при потере питания от сети подстанции, питающей крупные синхронные электродвигатели. Сами реле *РЧ* и комплект *КЛ-1* пытаются от трансформатора напряжения. Выходные цепи на схеме указаны для питания от аккумуляторов. Но так как эти цепи полностью выделены, то оперативный ток может быть любым. Приводы выключателей также могут быть любого типа. Описываемое устройство обычно применяется на мощных подстанциях, питающих кабельную сеть городов или промышленных предприятий. Обычно в таких

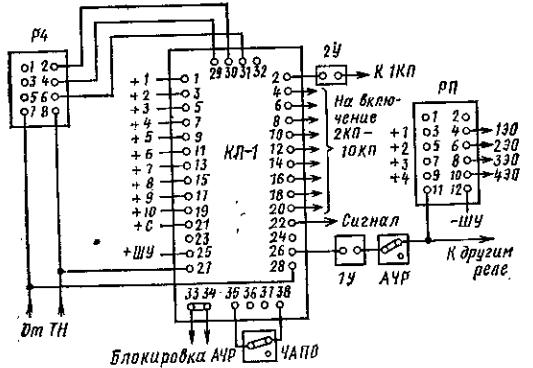


Рис. 15. Схема устройства АЧР с ЧАПВ Мосэнерго

сетях вместо АПВ применяется АВР, поэтому схема дается для выключателей без устройства АПВ. Но ее можно легко приспособить и для работы на выключатель с АПВ, введя блокировку АПВ при работе АЧР.

Описываемая схема может выполнять ряд приводимых ниже функций. При снижении частоты с регулируемой задержкой времени от 0,3 до 120 с отключается любое количество выключателей присоединений, а реле частоты перестраивается на частоту срабатывания ЧАПВ. При восстановлении частоты с регулируемой задержкой времени от 5 до 120 с поочередно включаются до 10 выключателей. Продолжительность замыкания цепи включения около 1 с, интервалы между включениями регулируются в пределах 5–20 с. При включениях контролируется напряжение сети; если оно ниже 80 % номинального, то включения прекращаются и продолжаются после восстановления напряжения. Если в процессе включения снова понизится частота, то включение прекращается. В зависимости от продолжительности снижения частоты все ранее включенные присоединения вновь отключаются или же после восстановления частоты продолжается включение оставшихся присоединений.

Количеством одновременно отключающихся выключа-

телей определяются тип и количество выходных реле РП. Если требуется включение более чем 10 выключателей, а источники оперативного тока допускают одновременное включение двух и более выключателей, то выходные цепи КЛ-1 могут работать на промежуточные реле, включающие одновременно два или более выключателей. Внутренняя схема комплекта реле КЛ-1 дана на рис. 16. Основой его является шаговый искатель ШИ с четырьмя полями ШИ1–ШИ4 на 12 положений.

В качестве реле времени применены RC-контакты и тиатроны с холодным катодом. Диоды D1–D4 составляют выпрямитель для питания промежуточных реле. Переменное напряжение 100 В от трансформатора напряжения поддерживается постоянными стабилитронами СТ1–СТ10 и балластным резистором R12 до 50 В. Для питания тиатронов используется выпрямленное напряжение 210 В, получаемое от схемы учетверения напряжения. Схемы учетверения выполнены на диодах и конденсаторах. Для тиатрона 1T — на D9–D13 и С4–С7, для 2T — на D11–D18 и С10–С13. Напряжение питания контролируется неоновой лампой НЛ и реле 2РП. Реле 1РП включается для размыкания контактов реле частоты, реле 3РП производит отключение, а реле 4РП — включение выключателей. Реле 5РП — двухпозиционное поляризованное, выбирает операцию — «включение» или «отключение».

В исходном положении схема находится под напряжением, горит неоновая лампа, сердечник 2РП втянут, шаговый искатель стоит в положении 11. При снижении частоты замыкает свои контакты РЧ и включает 1РП. Контакт 1РП.1 возвращает в исходное положение 2РП, контакт 1РП.2 включает на заряд конденсаторы С8, С9 через зарядные резисторы R16, R17, R18, R10. Перемычками П2, П3, П4 при наладке набирается заданное время АЧР. Когда конденсаторы С8, С9 заряжаются до напряжения зажигания тиатрона 2T, тиатрон зажигается, срабатывает 5РП_в (обтекается током его рабочая обмотка) и включает 3РП. Контакт 5РП.2 разывает цепь обмотки 4РП. Контакты 3РП выведены на зажимы 25–26 и включают выходные промежуточные реле РП, с помощью которых производится отключение выключателей. Другими контактами 3РП готовят возврат в исходное положение 5РП (5РП_в — возвращающая обмотка) и включает конденсатор С3 на заряд через ре-

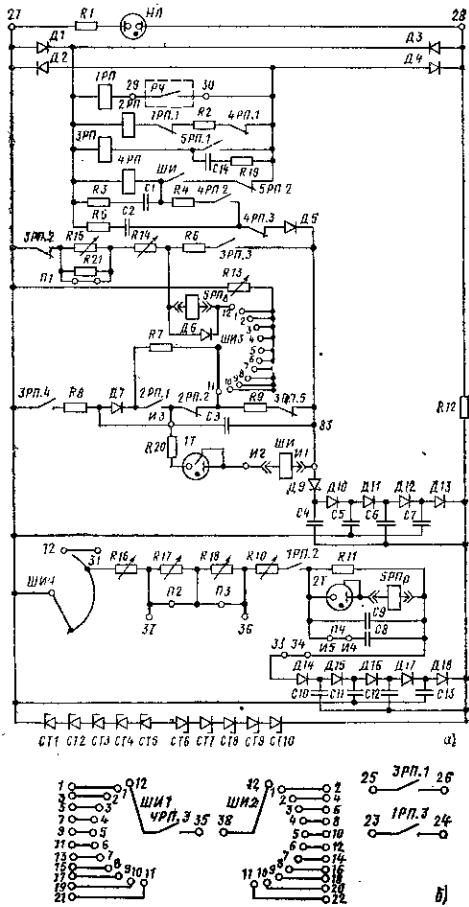


Рис. 16. Схема комплектного реле КЛ-1:
 а — схемы устройства АЧР и ЧАПВ; б — выходные цепи устройства АПВ

зистор $R8$. Конденсатор заряжается до напряжения зажигания тиатрона IT . Тиатрон зажигается и замыкает цепь обмотки электромагнита шагового испытателя $ШИ$.

Шаговый искатель переходит в положение 12, контакт **ШИ4** замыкает цепь **27—ШИ4—12—31** и этим пе-рестраивает уставку реле **РЧ** на частоту срабатывания АПВ, замыкая пакоротко резисторы обмоток **РЧ**. Кон-такт **ШИ3** включает возвращающую обмотку **5РП_в** по цепи **27—ЗРП.4—R8—D7—R7—ШИ3—12—5РП_в—R6—ЗРП.3—83—D9—Д13—R12—28**. Реле **5РП_в** возвращается в начальное положение, и его контактом **5РП.1** возвращается в исходное положение **ЗРП**. В таком по-ложении замкнуты контакты **РЧ** и **1РН**, ШИ стоит в по-ложении 12, схема ожидает восстановления частоты.

Когда частота сети повысится до уставки устройства ЧАПВ, размыкаются контакты РЧ, обесточивается 1РП и, если напряжение сети не ниже 80 % номинального, срабатывает 2РП. Своим контактом 2РП.1 оно подключает конденсатор С3 на заряд по цепи 27—3РП.2—R15—R14—Д6—12—ШИЗ—R7—2РП.1—С3—83. Перемычкой П1 и регулировкой резисторов R15, R14 регулируется время ЧАПВ.

Зажигается тиатрон IT и включает обмотку электромагнита шагового искателя $ШИ$. Шаговый искатель переходит в положение 1. Его контакт $ШИ4$ размыкает цепь $27-ШИ4-12-31$ и этим восстанавливает уставку $РЧ$ на частоту срабатывания $АЧР$, а переходом в положение 1 готовят цепь конденсаторов $C8$, $C9$ реле времени $АЧР$ на случай снижения частоты в цикле ЧАПВ. Контакт $ШИ3$ переключает $C3$ на заряд через резистор $R13$, регулированием сопротивления которого устанавливается выдержка времени между замыканиями цепей включения. Контакты $ШИ1$ и $ШИ2$ (рис. 16, б) готовят цепь включения первого выключателя. Мгновенный контакт $ШИ$ кратковременно замыкается и включает $4РП$. Контакт $4РП,3$ примерно на 1 с замыкает цепь включения, подготовленную $ШИ1$ и $ШИ2$, и включается первый выключатель. Другим контактом $4РП,1$ отключается обмотка $2РП$. Реле $2РП$ возвращается в исходное положение и гасит тиатрон IT контактом $2РП,1$. После возвращения реле $4РП$ в исходное положение срабатывает $2РП$ и подключает $C3$ на заряд через резистор $R13$. Снова зажигается IT , шаговый искатель переходит в

положение 2, и включается второй выключатель. Далее все повторяется, пока ШИ не дойдет до положения 11 и не замкнет цепь сигнала «окончание ЧАПВ», выведенную на зажим 21–22. После этого вся схема возвращается в исходное положение.

Если в цикле ЧАПВ частота снизится и сработает РЧ, то 1РП разорвет цепь обмотки 2РП, которое включит на заряд конденсаторы С8, С9. Если время понижения частоты меньше времени АЧР, то после восстановления частоты возвращаются в исходное положение РЧ и 1РП, срабатывает 2РП, и включение выключателей продолжается.

Если снижение частоты длительно, то зажигается 2Т, срабатывают реле 5РП и 3РП и отключают все ранее включенные выключатели. Шаговый искатель продолжает свое движение до положения 12, конденсатор С3 заряжается через R8, цепь включения разомкнута на контакте 4РП.3. Дойдя до положения 12, ШИ4 возвратит реле 5РП в исходное положение, и схема подготовится к новому циклу ЧАПВ.

Если снижение напряжения произойдет в процессе включения, то обесточится реле 2РП, после восстановления напряжения до 0,8 номинального будет продолжаться цикл ЧАПВ.

6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

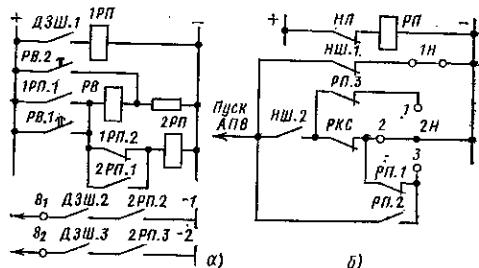
Хотя КЗ на шинах по сравнению с КЭ на воздушных линиях очень редки, последствием их является потеря большого количества потребителей. Поэтому АПВ шин можно считать обязательным почти во всех случаях. Различаются два типа АПВ шин: АПВ шин 35–220 кВ, имеющих специальную защиту шин, обычно дифференциальную или дистанционную, и АПВ шин 6–35 кВ, не имеющих специальной защиты. По количеству включаемых выключателей также имеются два основных типа АПВ: в первом — ограничиваются включением одного-двух выключателей, необходимых для того, чтобы только подать напряжение потребителям, во втором — включаются все выключатели, и полностью восстанавливается нормальная схема подстанции. Второй тип наиболее распространен, особенно для подстанций без постоянно-го дежурного персонала. Для АПВ шин, имеющих диф-

ференциальную защиту, наиболее целесообразно использовать устройство АПВ линий. Одна из таких схем приведена на рис. 17, а.

При срабатывании дифференциальной защиты шин ее выходное реле контактом ДЗШ.1 включает промежуточное реле 1РП, пускающее реле времени РВ. Реле времени самоудерживается своим контактом РВ.1. После отключения всех выключателей реле ДЗШ возвращается в исходное положение, и реле 1РП, отпадая, пускает 2РП, готовящее цепь блокировки устройства АПВ. Включается от своего устройства АПВ первый выключатель, и, если АПВ успешно, по очереди включаются остальные. Реле РВ дорабатывает до конца, своим контактом РВ.2 шунтирует свою обмотку, и схема возвращается в исходное положение. Если включение первого выключателя было неуспешным, то снова срабатывает ДЗШ и через замкнутые контакты 2РП.2, 2РП.3 блокирует устройство АПВ всех отключившихся выключателей, например, подавая минус источника оперативного тока на зажим 8 реле РПВ.8

Основными достоинствами этой схемы являются ее простота и надежность. Кроме того, схема не требует специальных операций при отключении на ремонт линии, включающейся первой.

Если устройства АПВ линий имеют реле контроля напряжения и синхронизма, то они могут использоватьсь для АПВ шин без блокировки устройств АПВ линий



при устойчивом КЗ на шинах. Схема этого случая дана на рис. 17, б. Реле *НЛ* контролирует напряжение на линии. Его контакт *НЛ* замкнут при отсутствии напряжения на линии. Контакт реле контроля синхронизма *РКС*, описанного выше, замкнут при допустимом угле расхождения векторов напряжений шин и линий. Реле *НШ* контролирует напряжение на шинах. В качестве реле *ИШ* используется обычное реле минимального напряжения типа РН-54/160 с переключающим контактом: контакт *НШ.1* замкнут при отсутствии напряжения на шинах, а *ИШ.2* замкнут при напряжении шин, близком к номинальному. На выключателях всех линий, отключаемых дифференциальной защитой шин, обычно устанавливается все три реле, а нужная схема контроля набирается накладками *ИH* и *2H*.

На устройстве АПВ выключателя, включаемого первым, замыкается накладка *ИH*. Это устройство АПВ включает выключатель при отсутствии напряжения на шинах по цепи $(-) - ИH - НШ.1 \dots$, на остальных выключателях *ИH* размыкается, а *2H* ставится в положение, определяемое режимом работы подстанции в общей схеме сети. При установке *2H* в положение 1 устройство АПВ пускается по цепи $(-) - 2H - 1 - РП.3 - НШ - 2$ при наличии напряжения на шинах и линии без контроля их синхронизма. При установке *2H* в положение 2 устройство АПВ пускается при наличии напряжения на шинах и на линии и проверке синхронизма по цепи $(-) - 2H - 2 - РКС - НШ.2$.

При установке *2H* в положение 3 схема АПВ пускается при отсутствии напряжения на линии по цепи $(-) - 2H - 3 - РП.2$ либо при наличии напряжения на шинах и линии и проверке их синхронизма по цепи $(-) - 2H - 3 - РП.1 - РКС - НШ.2$.

Для АПВ шин накладка *2H* ставится в положение 2.

При таком положении накладок схемы АПВ работают следующим образом: если первое включение будет успешным, то устройства АПВ остальных линий проверят наличие и синхронность напряжений на шинах и линии и включают свои выключатели.

Если же первое АПВ будет неуспешным, то пуск остальных устройств АПВ будет заблокирован контактом *НШ.2* (отсутствует напряжение на шинах) и контактом *РКС*, который разомкнется так как есть напряжение на линии.

К недостаткам схемы можно отнести необходимость операций с накладками устройств АПВ других линий, если первая линия не может быть включена, например, из-за отключения на ремонт, что требует выезда оперативно-выездной бригады на подстанцию без постоянного дежурного персонала.

После неуспешного АПВ и устранения повреждения производится, как правило вручную, по указанию диспетчера, восстановление схемы подстанции и данного участка сети.

В зависимости от вида повреждения (поврежден выключатель или шинный разъединитель линии, одна из систем шин и т. п.) предусмотренная расчетом установок устройств АПВ шин последовательность включения линий может оказаться неприемлемой (например, из-за перераспределения нагрузок). Если подать напряжение на шины, не учитывая эту особенность, то сработают устройства АПВ всех остальных линий. При этом может нарушиться порядок включения линий, намеченный диспетчером. Перегрузка аккумуляторной батареи из-за одновременного включения нескольких выключателей может привести к отказу устройства АПВ. Для устранения этого может потребоваться отключение устройств АПВ линий, что затрудняет оперативный персонал и может вызвать отказ устройства АПВ при КЗ на линиях, на которых отключены эти устройства. Необходимость операций с накладками затрудняет и телесуправление. По всем этим причинам такую схему АПВ шин целесообразно применять только на основных подстанциях сети с постоянным дежурным персоналом.

Важной особенностью АПВ шин является выбор линии, включаемой первой. Ток короткого замыкания при неуспешном АПВ должен обеспечить работу защиты шин, а так как первая линия может быть по любым причинам отключена, то работу защиты шин должна обеспечивать и линия, включающаяся второй и даже третьей. В ряде случаев это обеспечить невозможно. Тогда устанавливается второй, более чувствительный комплект защиты шин, вводимый в работу только на время цикла АПВ.

Второй особенностью АПВ шин является поочередное включение линий. Обычно аккумуляторные батареи не допускают одновременное включение нескольких выключателей, поэтому необходимо иметь разные выдерж-

ки, времени устройств АПВ линий, чтобы исключить одновременное включение сразу двух выключателей. При большом количестве выключателей эти времена получаются большими, что в свою очередь увеличивает время срабатывания устройств АПВ при КЗ на линиях и вызывает затруднения при согласовании с ними выдержек времени устройств АПВ других концов линий. Для уменьшения этих выдержек времени и повышения надежности принято вообще не отключать от защиты шин присоединения с односторонним питанием — тупиковые линии и трансформаторы. Одновременно это повышает и эффективность АПВ, так как при успешном АПВ первой линии сразу подается напряжение большому количеству потребителей.

Вторым типом АПВ шин 10—35 кВ является АПВ выключателя трансформатора, питающего эти шины. Назначение этого АПВ — повторное включение трансформатора, отключенного своей максимальной токовой защитой при КЗ на шинах или при КЗ на питающейся от них линии и отказе ее защиты или выключателя. Выполняется это устройство АПВ по одной из рассмотренных ранее схем, например по схеме рис. 9. Обязательным условием является запрет действия устройства АПВ при повреждении самого трансформатора.

В схеме рис. 9 блокировка действия устройства АПВ выполняет реле 6РПП, являющееся повторителем положения короткозамыкателя; при работе защиты от внутренних повреждений трансформатора (газовая, дифференциальная, отсечка) включается короткозамыкатель, и реле 6РПП разрывает цепь устройства АПВ выключателя.

Некоторым недостатком такой схемы является ненадежный запрет АПВ при ложных действиях газовой защиты или при неустойчивом повреждении наружной части вводов трансформатора и ошиновки между трансформатором и его ячейкой со стороны низкого напряжения в зоне действия дифференциальной защиты. Поэтому в некоторых схемах устройство АПВ пускается при действии всех защит трансформатора, а запрещается АПВ сигнальным контактом газового реле. Это основано на том, что сигнальный контакт газовой защиты срабатывает при всех внутренних повреждениях трансформаторов. В некоторых схемах действие устройства АПВ запрещается от реле напряжения, питающегося от трансфор-

матора собственных нужд, подключенного между выводом 6—10 кВ трансформатора и его выключателем. Это реле находится под напряжением, если отключен только выключатель низшего напряжения, а сам трансформатор исправен со стороны питания. В этом случае реле напряжения разрешает пуск устройства АПВ. Если же трансформатор отключен и со стороны питания, то реле напряжения запрещает пуск устройства АПВ.

Если схема АПВ выполняется с помощью реле РПВ-58, то запрет АПВ выполняется подачей минуса напряжения оперативного тока на вывод 8. В этом случае контакты блокирующих устройств АПВ реле должны не размыкаться, а замыкаться.

ПУЭ рекомендует применять АПВ для одиночных трансформаторов мощностью более 1000 кВ·А, отключение которых приводит к обесточению потребителей. При наличии у трансформатора выключателя и максимальной токовой защиты на стороне питания на ней также используется АПВ. Хотя в этом случае допускается АПВ трансформатора и при внутренних повреждениях, но блокировка все же выполняется, например от газовой защиты.

7. УСКОРЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ АПВ

В настоящее время используются два основных вида ускорения действия устройств релейной защиты: после АПВ и до АПВ. Обязательным условием для АПВ почти всех типов является ускорение действия релейной защиты после АПВ. Объясняется это стремлением уменьшить размеры повреждений и уменьшить продолжительность ненормального режима при неуспешном АПВ. Ускорение действия защиты может выполняться двумя основными способами. У защит с независимой характеристикой предусматриваются две выдержки времени: одна, работающая во всех режимах и согласованная с выдержками времени смежных защит (селективная), и вторая, меньшая, чем первая, вводимая в действие на небольшое время при работе АПВ. Так, например, ускоряются вторые ступени дистанционных и токовых защит в сетях 35—110 кВ. Основным требованием к ускорению действия защиты является охват ею всей линии с необходимой чувствительностью. Выдержка времени этих защит обычно принимается около 0,5 с для обеспечения селек-

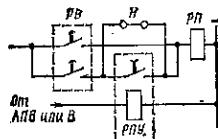


Рис. 18. Схема ускорения действия защиты после АПВ

ности со смежными мгновенными защитами. Вызвано это тем, что такое ускорение действия используется не только после АПВ, но и в нормальном режиме, например, при отключении быстродействующих защит линий.

Принципиальная схема ускорения действия релейной защиты дана на рис. 18. При срабатывании устройства АПВ включается реле *РПУ*, которое своим контактом замыкает цепь проскальзывающего контакта реле времени *РВ* второй ступени защиты. Реле *РПУ* должно иметь замедление на размыкание своего контакта большее, чем сумма времен релейной защиты ускоренного действия отключения выключателя. Обычно такое замедление, около 1 с, обеспечивает реле РП-252. Пуск реле *РПУ* выполняется или выходным контактом схемы АПВ, например РПВ-58, или вспомогательным контактом выключателя *B*, замкнутым при отключенном выключателе. Второй способ пуска лучше, так как обеспечивает ускорение действия защиты и при оперативном включении выключателя. Наладка *H* служит для оперативного ввода ускорения (нормально она разомкнута). С обеих выдержками времени защита действует на выходное реле *РП*. В обеих целях устанавливаются указательные реле, не показанные на схеме рис. 18.

Если II ступень защиты не обеспечивает необходимой чувствительности, то производят ускорение действия III ступени.

Для защит с зависимой характеристикой (рис. 18) указанный принцип неприменим. Поэтому вместо ускорения действия такой защиты устанавливается дополнительный комплект защиты, например токовая отсечка, мгновенная или с выдержкой времени около 0,5 с.

Схема выполняется так же, как и на рис. 18, только вместо проскальзывающего контакта реле времени II ступени реле *РПУ* замыкает цепь отключения отдельного комплекта релейной защиты. Ток срабатывания защиты должен быть отстроен не только от тока нагрузки включаемой линии, но и от тока намагничивания включаемых трансформаторов. Обычно для отстройки от тока намагничивания ток срабатывания мгновенной токо-

вой отсечки должен быть в 3—5 раз больше суммы номинальных токов включаемых трансформаторов. Во многих случаях такая отсечка оказывается нечувствительной, поэтому отстройку от токов намагничивания целесообразно выполнить по времени. Для этого обычно оказывается достаточной выдержка времени 0,5—0,7 с.

При отстройке от тока самозапуска электродвигателей следует учитывать требования ПУЭ: все электродвигатели мощностью 10 кВт и более должны пускаться магнитными пускателями или аналогичными аппаратами. Простым рубильником могут запускаться электродвигатели мощностью не более 10 кВт. Поэтому в цикле АПВ сердечники магнитных пускателей отпадут, и ток самозапуска оставшихся двигателей будет значительно меньше.

Для защит с независимой характеристикой, выполненной на переменном оперативном токе, например, с реле РВМ-12 или РВМ-13, схема ускорения действия релейной защиты выполняется так же, только реле *РПУ* должно быть типа РП-256.

Защиты с использованием реле РТ-85 и РТ-95, работающие по схеме дешунтирования, и защиты с реле прямого действия РТВ применяются в распределительных сетях повсеместно. В разветвленных сетях выдержки времени защите доходят до 2,8—3,5 с, и ускорять их действие было бы весьма полезно. Выполнить ускорение действия на реле РТ-85 (95) и РТВ невозможно ввиду отсутствия необходимых контактов. Принционально можно установить второй комплект защиты с меньшей выдержкой времени или мгновенный с реле РТМ и вводить его в работу контактами реле типа РП-341 или РП-342 с блоками питания. Замедление на вывод из работы можно выполнить с реле типа РП-256. Но типовыми проектами ускорение действия таких защит не предусматривается и в комплектных подстанциях, выпускаемых промышленностью, не применяется.

Ускорение действия защиты до АПВ уменьшает размеры повреждений и их влияние на остальных потребителей при успешном АПВ, а также позволяет значительно уменьшить количество устройств АПВ в сетях, что дает значительную экономию. Принцип ускорения действия защиты до АПВ заключается в том, что на головном выключателе присоединения устанавливаются два комплекта защиты: комплект, селективный со смежными

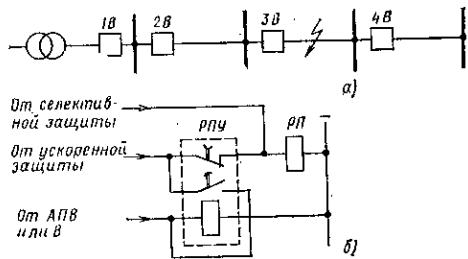


Рис. 19. Ускорение действия защиты до АПВ:
а — схема сети; б — схема ускорения действия защиты

защитами, и комплект защиты ускоренного действия, обычно неселективный, зона действия которого охватывает все участки сети (рис. 19, а). Устройство АПВ устанавливается только на выключателе головного участка 2В, на всех остальных выключателях (3В и 4В) устанавливаются обычные, селективные релейные защиты. При КЗ на любом участке работает ускоренная, неселективная защита и отключает 2В. Запускается устройство АПВ, и неселективная защита выводится из работы на время, достаточное для работы селективной защиты. При успешном АПВ вся схема возвращается в исходное положение, при неуспешном — работает только селективная защита и отключает поврежденный участок. Принцип действия схемы поясняется на рис. 19, б. Обе защиты работают на общее выходное реле РР, неселективная защита ускоренного действия введена в работу контактом РРУ. Реле РРУ включается или контактом выходного реле АПВ или вспомогательным контактом выключателя В, замкнутым при отключенном выключателе. Замедление на возврат реле РРУ должно быть больше времени работы релейной защиты ускоренного действия. Так как время работы защиты ускоренного действия меньше (обычно 0,5 с), то она срабатывает раньше селективной и удерживает реле РРУ до тех пор, пока не сработает селективная защита при неуспешном АПВ. При успешном АПВ неселективная защита вводится в работу, как только возвратится РРУ.

Защита ускоренного действия включена всегда, поэтому при расчете ее следует учитывать полный ток самозапуска всех электродвигателей и намагничающий ток трансформаторов. Хотя эта защита и выводится из действия после АПВ и при оперативном включении выключателя, но намагничающий ток трансформаторов может появиться при включенной защите ускоренного действия при КЗ на других присоединениях подстанции.

Во всех рассмотренных схемах ускорения действия релейной защиты вместо вспомогательных контактов выключателя могут применяться контакты реле-повторителей или контакты реле положения выключателей.

8. ИСПРАВЛЕНИЕ НЕСЕЛЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ АПВ

Способы ускорения действия релейной защиты, рассмотренные выше, также требовали исправления возможной неселективной работы защиты с помощью АПВ. При ускорении действия до АПВ обязательно используется неселективная защита. При ускорении после АПВ, если устанавливается отдельный комплект ускоренного действия, он также работает неселективно.

Далее рассмотрены более сложные случаи взаимодействия неселективной релейной защиты и АПВ, исправляющие ее неселективную работу. В настоящее время используется несколько способов сочетания действия неселективной защиты и АПВ.

Принципы исправления неселективности релейной защиты с помощью АПВ показаны на рис. 20. Участок сети, показанный на рис. 20, имеет питание со стороны подстанций А, Б и Г. На выключателях 1В и 3В установлены селективные релейные защиты. На выключателе

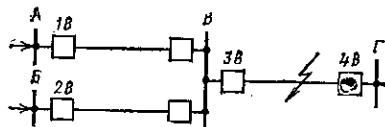


Рис. 20. Схема сети с исправлением неселективности действия релейной защиты с помощью АПВ

ле $2B$ установлена быстродействующая неселективная защита, срабатывающая при КЗ на линии BG ранее защищены, установленной на выключателе $3B$. Такое выполнение возможно, если защита на $3B$ обладает достаточной чувствительностью при КЗ на линии BG и отключеной линии BV . На всех выключателях установлены устройства АПВ. При КЗ на линии BG отключается выключатель $2B$, а затем — выключатель $3B$. Устройство АПВ включает $3B$. Если КЗ устойчиво, то своей защитой $3B$ отключается вновь. После этого включается $2B$. Как следует из рассмотренного, выдержка времени на срабатывание АПВ выключателя $2B$ должна быть больше суммы времен (с учетом разбросов по времени): разницы в выдержках времени защит выключателей $3B$ и $4B$, времени включения из АПВ выключателя $3B$ и времени работы защиты $3B$ при неуспешном АПВ.

Вторым способом исправления неселективности может быть АПВ с проверкой отсутствия напряжения на линии на выключателе $4B$ и АПВ с проверкой синхронизма или наличия напряжения на линии на выключателе $3B$. Тогда при устойчивом КЗ на линии BG первым включится и отключится выключатель $4B$, выключатель же $3B$ включаться вообще не будет. В этом случае согласовывать время АПВ выключателя $2B$ с временами защиты и автоматики выключателя $3B$ не нужно. Третий способ исправления неселективности заключается в согласовании времен ускорения действия защиты выключателей $2B$ и $3B$. Время АПВ выключателя $2B$ выбирается таким, чтобы выключатели $3B$ и $2B$ включались одновременно. На обоих выключателях вводится ускорение действия защиты после АПВ, но время действия защиты выключателя $2B$ выбирается с необходимым запасом больше времени срабатывания защиты ускоренного действия выключателя $3B$. Выключатель $3B$ при неуспешном АПВ отключается, а $2B$ остается в работе.

Следующим способом исправления неселективности может быть установка на выключателе $3B$ однократного АПВ, а на выключателе $2B$ — двукратного. Тогда при устойчивом КЗ на линии BG включаются от устройства АПВ и отключаются своими защитами оба выключателя $3B$ и $2B$. Но выключатель $3B$ после этого остается отключенным, а $2B$ включается успешно вторым циклом АПВ. Выдержка времени второго цикла АПВ согласно ПУЭ должна быть не менее 10—15 с; в большинстве слу-

чаев за счет такой большой выдержки времени согласования времен релейной защиты и АПВ выключателей $2B$ и $3B$ не требуется.

9. РАСЧЕТ УСТАВОК УСТРОЙСТВ АПВ

Под выдержкой времени на срабатывание устройства АПВ ($t_{\text{апв}}$) понимается время отпуска устройства АПВ до замыкания цепи включения выключателя.

По условиям бесперебойности питания потребителей и надежности работы энергосистемы это время желательно иметь минимальным. Однако минимально возможное значение $t_{\text{апв}}$ ограничивается рядом факторов: напряжением сети, временем полного отключения места КЗ от всех источников питания, конструкцией привода и выключателя, типом реле, входящих в схему АПВ, местом установки устройства АПВ (отапливаемое или неотапливаемое помещение) и т. д.

Выдержка времени на возврат устройств АПВ в исходное положение ($I_{\text{в,апв}}$) после его срабатывания называется временем готовности к новой работе.

Ниже рассматривается ряд условий, определяющих минимально возможные времена срабатывания и возврата АПВ.

Для одиночных линий с односторонним питанием:

а) Время срабатывания АПВ должно быть больше времени полного отключения КЗ и времени деионизации среды I_d в месте КЗ после полного его отключения. ПУЭ определяют время деионизации $I_d = 0,15 \div 0,2$ с. Однако по опытным данным в сетях напряжением до 220 кВ это время составляет не менее 0,2 с при токе КЗ до 15 кА и увеличивается до 0,3—0,4 с при токах более 15 кА. На линиях 330 и 500 кВ I_d также составляет 0,3—0,4 с. При расчетах рекомендуется учитывать приведенные повышенные значения I_d .

При определении времени отключения КЗ следует считаться с токами подпитки места КЗ от различных двигателей. Продолжительность подпитки от асинхронных двигателей обычно не превышает 0,1 с и практически может не учитываться. Мощные синхронные электродвигатели и компенсаторы могут длительно питать место КЗ (например, двигатели питаемые от тупиковой линии или

отпаечной подстанции), и при расчете уставок устройства АПВ их необходимо учитывать.

Для уменьшения времени срабатывания устройства АПВ и исключения несинхронного включения синхронных двигателей или синхронных компенсаторов должны приниматься специальные меры. Например, при отключении трансформатора его релейной защитой или при работе защиты шин, от которых питается трансформатор, отключаются и питающиеся от этого трансформатора компенсаторы. Использовать защиту от понижения напряжения для уменьшения времени подпитки места КЗ электродвигателями практически нельзя, потому что синхронные электродвигатели могут длительно поддерживать напряжение на шинах, препятствуя работе этой защиты. ПУЭ рекомендует следующие уставки защиты двигателей от понижения напряжения. Защита минимального напряжения электродвигателей неответственных потребителей, отключающая часть их для обеспечения самозапуска остальных, имеет напряжение срабатывания 0,7 номинального и выдержку времени в пределах 0,5–1,5 с. Для электродвигателей ответственных потребителей ПУЭ предусматривают защиту минимального напряжения с напряжением срабатывания 0,5 номинального и выдержкой времени 5–10 с, а для синхронных компенсаторов — защиту с напряжением срабатывания 0,1–0,2 номинального и выдержкой времени 10 с.

При питании места КЗ и другой нагрузки двигатели постепенно тормозятся, но процесс снижения напряжения практически трудно поддается расчету и не может быть учтен при определении уставок устройства АПВ.

Для исключения подпитки места КЗ на синхронных электродвигателях следует устанавливать защиту от понижения частоты с минимально возможной выдержкой времени, действующую на отключение. При этом устройство АПВ, устанавливаемое на выключателе линии, питающей подстанцию с синхронным двигателем, должно выполняться с контролем отсутствия напряжения на линии, а расчет уставок устройства АПВ следует вести, как для линий с двусторонним питанием (см. ниже), принимая за выдержку времени устройства противоположного конца линии выдержку времени защиты от понижения частоты.

При расчете выдержки времени устройств АПВ следует учитывать разброс в выдержках времени Δt_p , ис-

пользуемых в схеме реле времени. Под разбросом Δt_p понимается разность между максимальным и минимальным временами работы реле при десяти измерениях на одной и той же уставке по шкале, при температуре окружающей среды +20°C и nominalном напряжении на реле.

В современных АПВ в большинстве случаев используются реле времени серии ЭВ в различных вариантах исполнения. Для этих реле со шкалой до 9 с разброс Δt_p равен 0,25 с, для реле со шкалой до 20 с разброс Δt_p равен 0,8 с при работе реле в отапливаемом помещении с температурой +15÷+25°C (например, на щитах управления, релейных щитах). При колебаниях температуры окружающей среды в пределах -20÷+40°C разброс увеличивается на ±50%, а действительная выдержка времени может отличаться на ±20% от выдержки времени, настроенной при +15÷+25°C.

Устройства АПВ часто устанавливаются в неотапливаемых РУ или в отапливаемых КРУН, где отопление включается лишь при температуре воздуха около -20°C. Настройка устройств АПВ в таких помещениях обычно производится в теплое время года, поэтому следует считаться с повышенными разбросами Δt_p и изменением настроенной выдержки времени t_{APV} .

При расчете выдержки времени устройства АПВ на срабатывание, определяемой по условиям деионизации t_d , следует учитывать время включения выключателя $t_{v,b}$: пока выключатель не включился, еще имеются условия для деионизации. Поэтому время t_{APV} может быть ученоено на $t_{v,b}$. Время $t_{v,b}$ в условиях эксплуатации согласно ПУЭ может отличаться от заводских гарантий на ±10%.

Время срабатывания устройства АПВ по условию $t_{APV} > t_d$ должно определяться по выражению, с:

$$t_{APV} \geq k_{ote} (t_d - 0,9t_{v,b} + k_p \Delta t_p), \quad (1)$$

где k_{ote} — коэффициент, учитывающий изменение выдержки времени реле ЭВ от температуры окружающей среды; k_p — коэффициент, учитывающий увеличение Δt_p от температуры окружающей среды.

Для теплых помещений $k_{ote} = k_p = 1$; для неотапливаемых (холодных) помещений $k_{ote} = 1,25$, $k_p = 1,5$.

Примеры. Определить время срабатывания устройства АПВ t_{APB} по условию отстройки его t_{d} для реле РПВ-258.

1) Реле ЭВ на шкале 20 с установлено в неотапливаемом помещении, включает выключатель 6-35 кВ с $t_{\text{v.e}}=0,2$ с,

$$t_{\text{APB}} \geq 1,25(0,2 - 0,9 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,8);$$

$$t_{\text{APB}} \geq 1,53 \text{ с.}$$

2) Реле ЭВ на шкале 9 установлено в теплом помещении, включает выключатель 110 кВ с $t_{\text{v.e}}=0,65$ с,

$$t_{\text{APB}} \geq 1(0,2 - 0,9 \cdot 0,65 + 1 \cdot 0,25),$$

$$t_{\text{APB}} \geq -0,13 \text{ с.}$$

Полученное отрицательное значение указывает, что в рассмотренном примере t_{APB} не определяется отстройкой от t_{d} .

В приведенной ниже табл. 1 дается с округлением сводка расчетных величин $t_{\text{APB}} > t_{\text{d}}$ для различных условий работы АПВ.

Таблица

Тип выключателя	Время включения выключателя $t_{\text{v.b}}$, с	Время срабатывания устройства АПВ t_{APB} , с, для				
		неотапливаемого помещения		отапливаемого помещения		
		Шкала реле				
		9	20	9	20	
ВМП-10П; ВМП-10; ВМП-35	0,2	0,5	1,5	0,3	0,8	
МГТ-10-45; МГТ-10-63к	0,45	0,2	1,25	0,05	0,6	
МКТ-110	0,65	0	1	-0,1	0,4	

б) Выдержка времени АПВ должна быть больше времени готовности привода выключателя $t_{\text{r,n}}$ к повторному включению после отключения.

Для новых правильно отрегулированных приводов масляных выключателей напряжением 110 кВ и ниже $t_{\text{r,n}}$, как правило, не превышает 0,1—0,2 с. Однако в условиях эксплуатации это время оказывается больше. Увеличение времени $t_{\text{r,n}}$ определяется следующими причинами. Приводы работают по многу лет, детали и изнашиваются, ослабевают пружины, меняется вязкость смазки в зависимости от температуры, срока службы

запыления. На готовность привода влияют конструкция механической передачи от вала привода к валу выключателя, качество сборки и регулировки выключателя вместе с приводом и прочие, не поддающиеся точному учету причины. Следует также учитывать и конструкцию РУ, в котором установлен привод. Так, некоторые конструкции КРУН имеют малую массу и недостаточную жесткость конструкции, и при отключении тяжелых выключателей возникают вибрации всей ячейки, препятствующие подготовке привода к выключению.

С учетом этого, если нет специальных данных, время готовности приводов масляных выключателей обычно принимается $t_{\text{r,n}} \approx 0,4 \div 0,5$ с.

Время срабатывания устройства АПВ по условию $t_{\text{APB}} > t_{\text{r,n}}$ должно определяться по выражению, с:

$$t_{\text{APB}} \geq k_{\text{отс}}(t_{\text{r,n}} + k_p \Delta t_p). \quad (2)$$

Для условий примера 1 при $t_{\text{r,n}}=0,5$ с

$$t_{\text{APB}} \geq 1,25(0,5 + 0,5 \cdot 0,8),$$

$$t_{\text{APB}} \geq 2,1 \text{ с.}$$

Для примера 2 при $t_{\text{r,n}}=0,2$ с

$$t_{\text{APB}} \geq 1(0,2 + 1 \cdot 0,25),$$

$$t_{\text{APB}} \geq 0,45 \text{ с.}$$

В приведенной ниже табл. 2 дается с округлением сводка расчетных величин $t_{\text{APB}} > t_{\text{r,n}}$. У воздушных выключателей время готовности привода мало и практически может не учитываться.

Таблица 2

Время готовности привода $t_{\text{r,n}}$, с	Время срабатывания устройства АПВ t_{APB} , с, для			
	неотапливаемого помещения		отапливаемого помещения	
	Шкала реле			
9	20	9	20	
0,2	0,7	1,75	0,45	1,0
0,5	1,1	2,1	0,75	1,3

в) Выдержка времени устройства АПВ должна быть больше времени готовности выключателя $t_{v,p}$. После отключения КЗ масляным выключателем необходимо некоторое время для удаления продуктов горения дуги и заполнения гасительных камер маслом. Опыт эксплуатации показал, что для однократного АПВ время готовности выключателя всегда меньше суммы времен $t_{r,v}$ и $t_{v,p}$. Поэтому для однократного АПВ это условие не является определяющим и не учитывается.

Для двухкратного АПВ условия отключения КЗ значительно утяжеляются, поэтому ГОСТ на выключатели указывают минимально допустимое время между циклами АПВ. Так как ГОСТ регулярно пересматривается, то к настоящему времени в разных изданиях оказались и разные цифры $t_{r,v}$. Так, для выключателей, выпускавшихся по ГОСТ 687-41 и действовавших до 1.01.68, минимальное время между первым и вторым циклом АПВ указывалось 15 с, а между вторым и третьим — 60 с. Согласно ГОСТ 687-67 с, действующему с 1.01.68, минимальное время между первым и вторым циклом увеличено до 20 с, а третье включение вообще не предусматривается. В ПУЭ-76 (разд. III) для выключателей 35 кВ и ниже минимальное время между циклами АПВ указано 10—15 с.

В общем случае рекомендуется, если нет специальных указаний, выдержку времени между первым и вторым циклом АПВ принимать не менее 20 с.

г) Выдержка времени АПВ должна быть больше разности времени возврата в исходное положение реле: защиты $t_{v,p}$ и времени включения выключателя $t_{v,v}$. Если это условие не выполняется, то при медленном возврате релейной защиты возможно ее неправильное действие при неуспешном АПВ.

Это условие может быть пояснено следующим примером. На трансформаторе понижающей подстанции установлена максимальная токовая защита с реле типа ИТ-80 (РТ-80), а на отходящих от шин низшего напряжения подстанции линиях — максимальная токовая защита с реле типов РТ-40 или РТВ. Время возврата в исходное положение РТ-40, РВТ не превышает 0,1 с. Для реле ИТ-80 (РТ-80) время возврата обычно составляет 0,25 с, но может доходить до 0,4—0,5 с, если оставшаяся нагрузка с учетом тока самозапуска двигателей близка к току возврата реле.

При устойчивом КЗ на отходящей линии запускаются обе защиты, отключается выключатель линии и от устройства АПВ включается обратно. Если за время паузы АПВ не успеет вернуться реле защиты трансформатора, то он будет неселективно отключен своей защитой при неуспешном АПВ.

Время срабатывания устройства АПВ по этому условию должно определяться по выражению, с:

$$t_{\text{АПВ}} \geq h_{\text{отс}} (t_{v,p} - 0,9 t_{v,v} + k_p \Delta t_p). \quad (3)$$

В приведенной ниже табл. 3 дается сводка расчетных величин $t_{\text{АПВ}} > t_{v,p}$ для $t_{v,v}=0,5$ с.

Таблица 3

Время включения выключателя $t_{v,p}$, с	Время срабатывания устройства АПВ $t_{\text{АПВ}}$, с, для			
	неотапливаемого помещения		отапливаемого помещения	
	Шкала реле, с			
	9	20	9	20
0,2	0,85	1,9	0,7	1,4
0,45	0,6	1,6	0,45	1,15
0,65	0,35	1,4	0,25	0,9

д) Если выключатель отключается от предварительного заряженных конденсаторов, то для обеспечения его отключения при неуспешном АПВ время срабатывания устройства АПВ должно быть больше времени заряда конденсаторов $t_{z,k}$. В старых конструкциях зарядных устройств (например, УЗ-401) для ограничения токов при КЗ в заряжаемых конденсаторах в цепь заряда вводится добавочный резистор. При этом время заряда конденсаторов с емкостью 200 мкФ доходит до 10 с, и время срабатывания устройства АПВ получается недопустимо большим. Для снижения $t_{\text{АПВ}}$ добавочный резистор в УЗ-401 при пуске устройства АПВ шунтируется контактами реле, пускающего устройство АПВ, что снижает время заряда конденсатора $t_{z,k}$ примерно до 1,5 с.

Время заряда конденсаторов с емкостью 200 мкФ от БПЗ-401 не превышает 0,1 с.

Принципиально следовало бы учитывать зависимость времени заряда от температуры, влажности и напряжения питания. Однако практически эти зависимости не учитываются, так как они перекрываются запасом по напряжению заряда: заводы-изготовители дают время заряда конденсаторов до 0,8 номинального напряжения 400 В. При наладке проверяется надежность отключения выключателя при зарядке до 0,65—0,7 номинального

напряжения. Время срабатывания устройства АПВ по условию $t_{\text{АПВ}} > t_{\text{зак}}$ должно определяться по выражению, с:

$$t_{\text{АПВ}} \geq k_{\text{отс}} (t_{\text{з.в}} - 0,9t_{\text{з.в}} + k_p \Delta t_p). \quad (4)$$

Для реле выключателя на шкале 9 с, установленного в неотапливаемом помещении ($k_{\text{отс}}=1,25$, $k_p=1,5$, $\Delta t_p=0,25$ с), с $t_{\text{з.в}}=0,2$ с и $t_{\text{з.в}}=1,5$ с (УЗ-401)

$$t_{\text{АПВ}} \geq 1,25 (1,5 - 0,9 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,25);$$

$$t_{\text{АПВ}} \geq 2,12 \text{ с.}$$

Для тех же условий и заряда конденсаторов от БПЗ-401

$$t_{\text{АПВ}} \geq 1,25 (0,1 - 0,9 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,25);$$

$$t_{\text{АПВ}} \geq 0,37 \text{ с.}$$

С учетом изложенного выбор выдержки времени на срабатывание устройства АПВ должен производиться следующим образом: устанавливается тип выключателя и привода; по заводским данным определяются $t_{\text{з.в}}$ и $t_{\text{р.п.}}$, предварительно определяются шкала реле времени, место установки АПВ для выбора значения коэффициентов $k_{\text{отс}}$ и k_p , определяется источник оперативного тока для отключения выключателя. Далее по полученным данным определяется $t_{\text{АПВ}}$ по выражениям (1) — (4) или по таблицам. За расчетное значение $t_{\text{АПВ}}$ применяется наибольшее из полученных.

При окончательном выборе $t_{\text{АПВ}}$ следует учесть неизбежные различные отклонения действительных значений от расчетных из-за качества регулировки и состояния привода выключателя, погрешностей измерительных приборов при настройке времен и пр. Например, обычно применяемый для измерения времен электрический секундомер при номинальной частоте сети может давать погрешность до 0,05 с, а при изменении частоты эта ошибка может увеличиваться. В некоторых случаях для определения $t_{\text{АПВ}}$ приходится измерять до трех времен (см. далее линии с двусторонним питанием), при этом погрешности измерения времен секундомером могут складываться и доходить до 0,15 с.

Поэтому ко всем определениям по расчетам или таблицам времени $t_{\text{АПВ}}$ добавляется время запаса, учитывающее все указанные выше возможные отклонения

действительных значений от измеряемых. Обычно принимается $t_{\text{зап}} \approx 0,5$ с.

В последние годы для воздушных линий с односторонним питанием и однократным АПВ выдержка времени увеличивается и принимается примерно 3—5 с. Это объясняется стремлением повысить успешность АПВ при таких повреждениях, как наезд на линию различных механизмов, падение деревьев (особенно вблизи городов, где ширина трассы в лесу ограничивается), схлестывание проводов от ветра и сбрасывания гололеда и подобных причин. Увеличение времени первого цикла целесообразно и для двукратных АПВ, так как это уменьшает количество КЗ, отключаемых выключателями, что повышает срок их службы и облегчает работу других потребителей.

Для бытовой нагрузки такое увеличение выдержки времени АПВ не имеет значения. Согласно ПУЭ все электродвигатели мощностью выше 10 кВ должны иметь магнитные пускатели или подобные пусковые аппараты с удерживающей обмоткой. Напряжение возврата пусковых аппаратов сравнительно высокое, поэтому при КЗ на питающей их линии многие электродвигатели отключаются из-за понижения напряжения даже раньше, чем срабатывает релейная защита линии, а остальные электродвигатели отключаются в цикле АПВ при любом времени $t_{\text{АПВ}}$ (так как время отпадания электромагнита пускателей не превышает 0,1 с). Для обратного включения электродвигателей, выполняемого обычно вручную персоналом, увеличение $t_{\text{АПВ}}$ до 3—5 с практически значения не имеет.

Наиболее опасно увеличение выдержки времени АПВ для промышленных предприятий, работающих при электрическом освещении (например, ночью): большинство механизмов при отключении электродвигателя еще продолжает двигаться, что при отсутствии освещения может вызвать несчастные случаи. Поэтому увеличение выдержки времени АПВ линий, питающих такие предприятия, не всегда целесообразно. Выдержка времени второго цикла АПВ с реле времени типа ЭВ обычно принимается равной 20 с.

Время автоматического возврата в исходное положение после срабатывания (время готовности) должно быть больше максимально возможного времени работы

релейной защиты. Для защит с независимыми характеристиками выдержек времени это время определяется по установке реле времени защиты. Для реле с зависимыми характеристиками выдержек времени следует учитывать время при токе срабатывания реле, доходящее до 20 с и более.

Время возврата в исходное положение устройства АПВ зависит от его конструкции и не выбирается, а проверяется при наладке устройства АПВ. Завод-изготовитель гарантирует времена возврата устройства АПВ при температуре окружающей среды +20 °C, влажности 80 % иnominalном напряжении для реле РПВ-58 — 20—30 с, для РПВ-258 — 60—100 с. Так как в эксплуатации возможно повышение напряжения, то при наладке обязательно проверяется время возврата при 1,1 $U_{\text{ном}}$ и сравнивается с временем работы релейной защиты. При двухкратном АПВ время готовности устройства АПВ должно быть больше времени готовности выключателя.

Рассмотренные условия выбора времени срабатывания и возврата в исходное положение устройства АПВ справедливы как для линий с односторонним питанием, так и для всех прочих с учетом излагаемых ниже особенностей.

Особенности выбора выдержек времени устройства АПВ для линий с двусторонним питанием, параллельных линий и шин:

а) Для линий с двусторонним питанием условие $t_{\text{APV}} > t_d$ должно определяться специальным расчетом, учитывающим время отключения КЗ релейной защитой с противоположного конца линии.

На таких линиях 35—110 кВ в качестве резервной релейной защиты обычно применяются трехступенчатые дистанционная и токовая защиты нулевой последовательности (для линий 110 кВ) с независимыми характеристиками выдержек времени. Для расчета выдержек времени устройства АПВ не учитывается основная быстродействующая защита, т. е. рассматривается худший случай, обусловливющий наибольшие выдержки времени устройства АПВ. Расчетным является случай, когда с того конца, для которого производится расчет (t_c — «своего» конца), линия отключается I ступенью токовой защиты (отсечкой) или дистанционной с временем действия в среднем 0,1—0,15 с. С противоположного конца

линия отключается обычно с выдержкой времени II ступени защиты, имеющей коэффициент чувствительности не менее 1,2 для дистанционной и 1,5 для токовой. Если же защиты имеют меньшие коэффициенты чувствительности, то следует учитывать выдержку времени III ступени.

Время отключения выключателя конца линии, для которой ведется расчет $t_{\text{c},\text{в},\text{с}}$, не учитывается, так как многие схемы АПВ пускаются при замыкании цепи отключения раньше, чем полностью отключится выключатель. С учетом изложенного выдержка времени устройства АПВ по условию $t_{\text{APV}} > t_d$ должна определяться по выражению, с:

$$t_{\text{APV}} \geq k_{\text{отс}} (t_d + t_{\text{p},\text{s},\text{n}} + k_p \Delta t_{\text{p},\text{s},\text{n}} + 1,1 t_{\text{o},\text{в},\text{n}} - t_{\text{p},\text{s},\text{c}} - 0,9 t_{\text{b},\text{в},\text{c}} + k_{\text{дл}} t_{\text{p},\text{c}}), \quad (5)$$

где $t_{\text{p},\text{s},\text{n}}$, $t_{\text{p},\text{s},\text{c}}$ — время срабатывания релейной защиты своего и противоположного конца линии; $\Delta t_{\text{p},\text{s},\text{n}}$ — разброс выдержек времени реле времени релейной защиты противоположного конца линии; $\Delta t_{\text{p},\text{c}}$ — разброс выдержек времени реле времени устройства АПВ своего конца линии.

Обычно большинство устройств АПВ и релейной защиты линий 35—220 кВ устанавливается в отапливаемых помещениях, и для них принимается $k_{\text{отс}} = k_p = 1$. Если же они установлены в неотапливаемых помещениях, то $k_{\text{отс}}$ и k_p соответственно увеличиваются.

Примеры. 1) Определить t_{APV} по условию (5) для линии 35 кВ с выключателями ВМП-35 (ВМПЭ-35) с $t_{\text{c},\text{в},\text{с}} = 0,2 \div 0,3$ с. Время отключения современных выключателей до гашения дуги обычно находится в пределах 0,08—0,12 с. Время работы I ступени защиты своего конца линии принимается равным 0,1 с. Для II ступени защиты противоположного конца линии обычно применяется реле времени до 3,5 с с разбросом 0,12 с.

$$t_{\text{APV}} \geq 1(0,2 + t_{\text{p},\text{s},\text{n}} + 1 \cdot 0,12 + 1 \cdot 0,1 - 0,1 - 0,9 \cdot 0,2 + 0,25);$$

$$t_{\text{APV},\text{c}} \geq t_{\text{p},\text{s},\text{n}} + 0,4 \text{ с.}$$

2) Определить t_{APV} по условию (5) для линии 110 кВ с выключателем МКП-110 с $t_{\text{c},\text{в},\text{с}} = 0,65$ с.

$$\begin{aligned} t_{\text{APV},\text{c}} &\geq 1(0,2 + t_{\text{p},\text{s},\text{n}} + 1 \cdot 0,12 + 1 \cdot 0,1 - 0,1 - \\ &- 0,9 \cdot 0,65 + 0,25); \\ t_{\text{APV},\text{c}} &\geq t_{\text{p},\text{s},\text{n}}. \end{aligned}$$

б) Расчет уставок устройств АПВ параллельных линий с поперечной дифференциальной токовой направленной защитой имеет свои особенности. Оперативные цепи этой защиты подключаются через вспомогательные контакты выключателей $1B$ — $3B$ и $2B$ — $4B$ (рис. 21), соединенные последовательно, или через контакты реле положения выключателей. Цепь защиты замкнута, если включения оба выключателя. При этом следует учитывать, что вспомогательные контакты цепи включения или сигнальные контакты КСА регулируются с запасом так, что они размыкаются или замыкаются раньше, чем закончится включение выключателя. Если выдержки времени устройства АПВ по концам линии одинаковы, то при устойчивом КЗ на одной из линий возможна неправильная работа защиты. Так, например, если выключатель $1B$ уже включился, а у выключателя $2B$ замкнута цепь защиты, и сам он еще не включен, тогда одновременно от поперечной дифференциальной токовой направленной защиты правильно отключится $1B$ и неправильно $4B$ (так как в линии со стороны $2B$ ток отсутствует). Для исключения этого выдержка времени устройства АПВ выключателя, включающегося вторым, $t_{\text{апв}2}$ должна быть больше суммы времен АПВ первого выключателя $t_{\text{апв}1}$, разброса выдержек времени его реле времени $\Delta t_{\text{р.1}}$, максимального разброса по времени включения первого выключателя $(1,1-0,9)t_{\text{в.1}}$, времени срабатывания защиты $1B$ $t_{\text{в.1}}$, времени отключения выключателя $1B$ и разброса выдержек времени реле времени устройства АПВ у выключателя $2B$ — $\Delta t_{\text{р.2}}$, с:

$$t_{\text{апв2}} \geq k_{\text{орг}} [t_{\text{апв1}} + k_p \Delta t_{\text{р.1}} + (1,1 - 0,9) t_{\text{в.1}} + t_{\text{р.2}} + + + 1,1 t_{\text{о.1}} + k_p \Delta t_{\text{р.2}}]. \quad (6)$$

Для реле РПВ-58 (со шкалой 9 с), установленного в теплом помещении, и выключателя МКПЛ110:

$$t_{\text{апв2}} > 1(t_{\text{апв1}} + 1,0,25 + 1,1,0,65 + 0,1 + 1,1,0,1 + 1,0,25) \text{ с};$$

$$t_{\text{апв2}} > t_{\text{апв1}} + 1,42 \text{ с.}$$

С учетом времени запаса $t_{\text{зап}} = 0,5$ с и округлением

$$t_{\text{апв2}} \approx t_{\text{апв1}} + 1,9 \text{ с.}$$

Время $t_{\text{зап}}$ учитывает и время работы реле положения выключателя. Аналогично выбираются и выдержки времени устройства АПВ для выключателей $3B$ и $4B$.

Если условия выбора одинаковы, то время срабатывания устройства АПВ выключателя $3B$ принимается равным времени срабатывания АПВ выключателя $2B$, а для устройства АПВ выключателя $4B$ — равным времени срабатывания устройства АПВ $1B$. При этом времена для каждой пары выключателей $2B$ — $4B$ и $1B$ — $3B$ оказываются различными. Это необходимо потому, что от аккумуляторной батареи не могут одновременно включаться два выключателя. Если на каждой линии установлены индивидуальные резервные защиты и при КЗ на шинах противоположной подстанции отказывает защита ее шин или она отсутствует, то два выключателя могут отключаться одновременно. Два выключателя отключаются также суммарной резервой защитой (последняя работает, если выведена или отказалась поперечная дифференциальная токовая направленная защита).

Если же по концам линии установлены выключатели разных типов, то расчет для пары выключателей $3B$ — $4B$ производится при выполнении условия

$$t_{\text{апв3}} \geq t_{\text{апв4}}.$$

в) Для АПВ с проверкой синхронизма или отсутствия напряжения, кроме расчета времени срабатывания устройства АПВ, производится расчет уставок реле контроля синхронизма и устройства отбора напряжения.

Первичный ток I_1 , мА, трансформатора ТОН определяется по номинальному напряжению сети $U_{\text{ном}}$, кВ, и номинальной емкости конденсатора C_k , мкФ: $I_1 = \frac{U_{\text{ном}}}{V_3} \omega C_k$.

Действительный ток I_1 может отличаться от расчетного на 5–10 %, что обусловлено наличием допуска на емкость конденсатора C_k . Далее выбираются коэффициент трансформации и схема включения секций первичной обмотки трансформатора ТОН. Этот трансформатор выполнен как трансформатор тока, что следует учитывать при расчетах, наладке и эксплуатации. Полное число витков вторичной обмотки ТОН $w_2 = 1785$. К обмотке

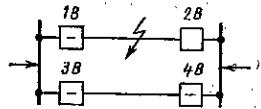


Рис. 21. Схема сети с поперечной дифференциальной направленной защитой и АПВ

Таблица 4

Напряжение се- ти, кВ	Тип конденсатора	Количество кон- денсаторов	Емкость комп- лекта C_A , мкФ	$1/\omega C_A$, МОм	I_1 , мА	Расчетное число витков w_1	Действительное число витков	Схема включе- ния секций ω_1
110	CMP-55/ $\sqrt{3}$ -0,0044	2	0,0022	1,44	44	5680	5550	3 секции
110	CMP-110/ $\sqrt{3}$ -0,0022	1	0,0022	1,44	44	5680	5550	по 1850 витков последо- вательно
220	CMP-110/ $\sqrt{3}$ -0,0022	2	0,0011	2,88	44	5680	5550	
110	CMP-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064	1	0,0064	0,496	128	1950	1850	4 секции по 1850 витков парал- лельно
220	CMP-110/ $\sqrt{3}$ -0,0064	2	0,0032	0,995	128	1950	1850	

подключается реле контроля синхронизма РН-55 с номинальным напряжением 30 В и током 0,14 А. Необходимое число витков первичной обмотки ТОН определяется как

$$w_1 = \frac{\omega_1 I_2}{I_1} = \frac{1785 \cdot 0,14}{I_1} = \frac{250}{I_1}. \quad (7)$$

Первичная обмотка ТОН имеет четыре секции по 1850 витков, которые перемычками могут включаться последовательно или параллельно в разных помещениях. Для повышения термической стойкости следует включать параллельно наибольшее возможное количество секций первичной обмотки.

Схема включения и число секций первичной обмотки подбираются на основании рассчитанного значения w_1 . По выбранному значению w_1 уточняется отпайка ω_2 , к которой подключаются реле (см. рис. 10, б). Результаты расчетов для типовых случаев приведены в табл. 4.

В качестве реле контроля отсутствия напряжения на линии используется реле типа РТ-40/0,2 с последовательным включением секций обмоток. Его ток срабатывания I_{cp} определяется из условия коэффициента чувствитель-

ности $k_s \geq 1,5$ при напряжении 0,8 $U_{ном}$ (что соответствует и снижению вторичного тока I_2 до 0,8 своего номинального значения):

$$I_{cp} = \frac{0,8 I_2}{k_s} = \frac{0,8 \cdot 0,14}{1,5} = 0,075 \text{ А.}$$

Так как реле РТ включено последовательно с РН-55, то значение I_{cp} должно быть неизменным при использовании РН-55 с номинальным напряжением 30 В.

Дополнительно следует проверить, что при отключеной линии ток $I_2 < I_{cp}$ реле РТ. В этом режиме в реле РТ проходит ток, трансформируемый из одной обмотки РН-55, находящейся под напряжением шин, в другую обмотку, с которой последовательно включена обмотка реле РТ. Сопротивление холостого хода трансформатора ТОН значительно, поэтому оно ограничивает ток в РТ до 5—10 мА. Больших значений (до 30—40 мА) этот ток достигает при повреждении кабеля между РН-55 и ТОН. Однако и в этом случае он меньше тока срабатывания реле РТ примерно в 2 раза.

Угол срабатывания φ_{cp} реле РН-55 (угол между напряжениями шин и линии) рекомендуется принимать согласно ПУЭ не более 60—70°, реле РН-55 имеет шкалу на 20—40°. Обычно принимается угол срабатывания 40°. Однако в процессе эксплуатации значение угла может существенно отличаться от установленного при настройке реле.

Разброс угла срабатывания реле РН-55 не превышает 5 % установки. При изменениях температуры в пределах $-20 \div +40^{\circ}\text{C}$ угол срабатывания может отличаться от измеренного при $+20^{\circ}\text{C}$ на 8 %. После длительного пребывания реле под напряжением 1,1 $U_{ном}$ угол срабатывания может изменяться на 10 %. В худшем, хотя и достаточно редком, случае действительный угол срабатывания может отличаться от настроенного на 5—8+10=—23 % и доходить до 1,23·40=49,5°, что даст запас к рекомендаемым ПУЭ $60 \div 70^{\circ}$ в $\frac{80 - 70}{49,5} = 1,21 \div 1,41$.

Кроме этих отклонений угла срабатывания, предельные значения которых гарантированы заводом-изготовителем, угол срабатывания сильно зависит от значения напряжения на шинах и линии. Изменение угла срабатывания может быть получено построением векторной диаграммы по рис. 22: неизменной величиной является напряже-

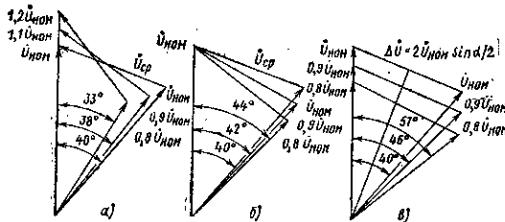


Рис. 22. Векторные диаграммы реле контроля синхронизма:
а — при повышении одного и снижении второго напряжения; б — при повышении обоих напряжений; в — при снижении обоих напряжений

ние срабатывания \dot{U}_{cp} , определяемое затяжкой пружины реле. Если реле настроено при номинальных напряжениях на угол срабатывания 40° , то при снижении обоих напряжений до $0,8 \dot{U}_{1\phi}$ угол срабатывания увеличивается до 51° , а с учетом разброса в 5% — до 53° . В этом случае коэффициент запаса по отношению к углу, рекомендуемому ПУЭ, составляет $(60-70)/53 = 1,13-1,32$. При совпадении всех неблагоприятных условий угол срабатывания реле может увеличиваться до $51^\circ + 40(0,05+0,08+0,1) = 60$, что является пределом допустимых углов срабатывания по ПУЭ.

Уменьшение угла срабатывания, настроенного при номинальных напряжениях до $40(1-0,23) = 31^\circ$, вызывает напрасный запрет АПВ. При повышении одного и снижении другого напряжения на 20% угол между ними снижается с 40 до 38° , а с учетом гарантий завода в худшем случае до $38(1-0,23) \approx 29^\circ$.

г) Расчет уставок устройства АПВ шин выполняется с учетом следующих особенностей.

Так как аккумуляторные батареи не обеспечивают одновременного включения двух и более выключателей, то времена срабатывания устройств АПВ, включающих линии при АПВ шин, должны быть разными. Время срабатывания устройства АПВ выключателя, включаемого вторым, t_{APB2} , с, должно быть больше времени срабатывания устройства АПВ выключателя, включаемого первым, t_{APB1} , на время включения его выключателя с учетом разброса $1,1 t_{APB1}$, времени возврата в исходное положение контактора этого выключателя $t_{b,k}$, разбросов выдержек времени реле времени каждого из устройств АПВ — Δt_{p1} и Δt_{p2} :

$$t_{APB2} \geq k_{otc} (t_{APB1} + 1,1t_{APB1} + t_{b,k} + k_p \Delta t_{p1} + k_p \Delta t_{p2}).$$

Устройства АПВ шин обычно устанавливаются в теплых помещениях. Поэтому $k_{otc} = k_p = 1$. При времени запаса $t_{zap} = 0,5$ с, разница времен срабатывания устройств АПВ двух выключателей должна быть, с:

$$t_{APB2} - t_{APB1} \geq 1,1t_{APB1} + t_{b,k} + \Delta t_{p1} + \Delta t_{p2} + t_{zap}.$$

Для выключателей МКП-110 $t_{b,k} \approx 0,1$ с при использовании рел времени со шкалой на 9 с:

$$t_{APB2} - t_{APB1} \geq 1,1 \cdot 0,65 + 0,1 + 0,25 + 0,25 + 0,5;$$

$$t_{APB2} - t_{APB1} \geq 1,8 \text{ с}.$$

На такое же значение 1,8 с должны отличаться и t_{APB} остальных линий.

В схеме АПВ шин на рис. 17, а выдержка времени реле PB , возвращающего схему в исходное положение, должна обеспечить полное отключение всех выключателей с учетом разброса их времен отключения $1,1t_{o,b}$, включение от АПВ выключателя, подающего напряжение на шину $t_{APB} + 1,1t_{o,b}$, работу защиты шин $t_{d,z,w}$ и отключение всех выключателей $1,1t_{o,b}$. Так как линия, включающаяся обычно первой, может быть по любым причинам отключена, то в расчете принимается t_{APB} линии, включающейся второй, причем $t_{APB2} > t_{APB1}$. При расчете $t_{o,b}$, с, учитываются также разбросы выдержек времени реле времени устройств АПВ линии, включающейся первой, Δt_{p2} и реле времени, для которого производится расчет Δt_{p1} :

$$t_{o,b} \geq k_{otc} (1,1t_{o,b} + t_{APB2} + k_p \Delta t_{p2} + 1,1t_{o,b} + t_{d,z,w} + 1,1t_{o,b} + k_p \Delta t_{p1}).$$

Приняв $k_{otc} = k_p = 1$ (для теплых помещений) и $t_{zap} = 0,5$ с, получим

$$t_{o,b} \geq 1,1t_{o,b} + t_{APB2} + \Delta t_{p2} + 1,1t_{o,b} + t_{d,z,w} + 1,1t_{o,b} + \Delta t_{p1} + k_{zap}. \quad (8)$$

Для выключателей МКП-110 при использовании реле времени со шкалой на 9 с

$$t_{o,v} \geq 1,0 \cdot 1 + t_{APB} + 0,25 + 1,1 \cdot 0,65 + 0,1 + \\ + 1,1 \cdot 0,1 + 0,25 + 0,5; \\ t_{p,v} \geq t_{APB} + 2c.$$

Особенности выбора выдержек времени АПВ для линии с отпайками на отдельителях и короткозамыкателях. Если к линии подключен трансформатор с помощью короткозамыкателя и отдельителя, то выдержка времени устройства АПВ линии должна согласовываться с временем включения короткозамыкателя и отключения отдельителя.

Короткие замыкания в значительной части обмотки трансформатора входят в зону действия быстродействующей защиты линии, обеспечивающей отключение этого КЗ примерно за 0,2–0,25 с. Время быстродействующей защиты трансформатора примерно 0,1 с, а время включения короткозамыкателя $t_{b,k} \approx 0,4 \div 0,5$ с, поэтому короткозамыкатель включается полностью при уже отключенной линии. Если быстродействующая защита линии при КЗ в трансформаторе не работает, то отключение выключателя линии произойдет после срабатывания омсечки или дифференциальной защиты трансформатора временем 0,1 с, отключения короткозамыкателя и последующей работы быстродействующей защиты линии.

Время срабатывания устройства АПВ линии t_{APB} зависит от схемы отключения отдельителя. Если схема отключения отдельителя выполнена с реле БРО, то на линии используется двукратное АПВ. Первый цикл АПВ при КЗ в трансформаторе, отключающем быстродействующей защитой линии, неуспешный, и выключатель включается на устойчивое КЗ, вызванное включением короткозамыкателя. В этом цикле заводятся пружины реле БРО, и после отключения выключателя реле БРО отключает отдельитель. Второй успешный цикл АПВ восстанавливает схему сети. Время первого цикла АПВ, с, должно быть согласовано с временем включения короткозамыкателя:

$$t_{APB} \geq k_{oto} (1,1t_{b,k} - 0,9t_{b,v} + k_p \Delta t_p).$$

Времена работы быстродействующих защит линии трансформатора примерно одинаковы и не учитываются

Для реле времени со шкалой на 20 с (РПВ-258), установленного в теплом помещении ($k_{oto}=k_p=1$), действующего на включение выключателя МКП-110, при $t_{oto} \approx 0,45 \div 0,5$ с

$$t_{APB} \geq 1,1 \cdot 0,5 - 0,9 \cdot 0,65 + 0,8 + 0,45; \\ t_{APB} \geq 1,2 \text{ с.}$$

Выдержка времени второго цикла АПВ не менее 20 с. Отделитель за это время успевает отключаться, так как время отключения отдельителей $t_{o,o}$ на линии напряжений 35, 110, 220 кВ составляет соответственно 0,5; 0,7; 1 с.

Если схема отключения отдельителя выполнена с контролем прекращения тока КЗ, а источником оперативного тока являются предварительно заряженные конденсаторы, то на выключателе линии используется однократное АПВ. Выдержка времени устройства АПВ, с, при этом должна быть больше суммы времен включения короткозамыкателя и отключения отдельителя с учетом их разброса ($1,1 t_{b,k} + 1,1 t_{o,o}$), разброса уставки реле времени устройства АПВ Δt_p за вычетом времени выключения выключателя:

$$t_{APB} > k_{oto} (1,1t_{b,k} + 1,1t_{o,o} + t_{p,o} + k_p \Delta t_p - 0,9t_{b,v}), \quad (10)$$

где $t_{p,o}$ — выдержка времени промежуточного реле, отключающего отдельитель $t_{p,o} \approx 0,3 \div 0,4$ с.

Для реле времени устройства АПВ со шкалой на 9 с, установленного в теплом помещении, и выключателя МКП-110 при $t_{oto} = 0,3$ с по этому условию

$$t_{APB} \geq 1 (1,1 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 0,7 + 0,4 + 1 \cdot 0,25 - 0,9 \cdot 0,65 + 0,5);$$

$$t_{APB} \geq 1,9 \text{ с.}$$

Если устройство двукратного АПВ установлено на линии, поврежденный участок которой выделяется отдельителями, то выдержка времени первого цикла определяется по рассмотренным выше условиям как для линии с двухсторонним питанием, а за время второго цикла, составляющего 20 с, успевает сработать автоматика и отключить необходимые отдельители.

Уставки устройств АПВ, действующих после АЧР, в соответствии с ПТЭ задаются центральным диспетчерским управлением по условиям работы энергосистемы в целом, и выбор их здесь не рассматривается.

10. НАЛАДКА УСТРОЙСТВ АПВ

Проверка схемы и маркировки, сопротивления и электрической прочности изоляции, регулировка механизмов реле и подобные проверки описаны в технической литературе и инструкциях [9, 18] и здесь не рассматриваются. Не рассматриваются конструкции реле и приводов. В настоящем разделе даются рекомендации по наладке отдельных реле и схем, специфических для устройств АПВ.

а) При наладке приводов выключателей измеряются напряжения срабатывания контактора и электромагнитов управления, а также потребляемый ими ток при номинальном напряжении. Для электромагнитов переменного тока потребление измеряется дважды — при опущенном и поднятом сердечнике. С измеренными токами сравниваются токи срабатывания и удерживания рабочих и удерживающих обмоток реле, включенных последовательно с электромагнитами. Ток срабатывания рабочих обмоток должен быть не более 0,8 значения тока, потребляемого электромагнитом. Для электромагнитов переменного тока учитывается ток при поднятом сердечнике, который всегда меньше, чем при опущенном. Это вызвано стремлением повысить надежность работы реле. Ток удерживающих обмоток также должен быть не более 0,8 номинального тока электромагнита. Напряжение на электромагнитах переменного тока должно регулироваться автотрансформатором. Вызвано это большим потреблением электромагнитов и искажением формы тока в них при регулировке потенциометром, вызывающим неправильное измерение тока. Ток во всех случаях регулируется реостатом.

Для всех пружинных приводов определяется время завода пружин при 0,8; 1 и 1,1 номинального напряжения. Переменное напряжение регулируется автотрансформатором; секундомер останавливается вспомогательными контактами готовности привода.

Для всех электромагнитов отключения, работающих от предварительно заряженных конденсаторов, определяется время заряда конденсатора. Зарядное устройство включается на автотрансформатор, и на его выходе устанавливается 110 % номинального напряжения, обычно 440 В.

Рис. 23. Схема магазина емкостей.

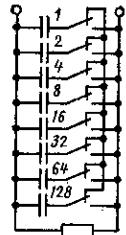
Секундомер пускается одновременно с подачей напряжения на первичную обмотку зарядного устройства, что соответствует его режиму работы при близких КЗ. На выводы конденсаторов подключается вольтметр постоянного тока с классом точности не хуже 2,5 и сопротивлением не менее 20 000 Ом/В. Для этого могут использоваться приборы типов АВО-5М1, Ц-4313, Ц-4324 и подобные. Замечаются показания секундомера, когда вольтметр покажет напряжение 0,8 номинального напряжения за ряда и номинальное напряжение 400 ± 20 В. Измерения повторяются несколько раз.

Время заряда до напряжения, равного 0,8 номинального, входит в расчет выдержки времени устройства АПВ. Напряжение, равное 0,8 номинального, указано заводами-изготовителями в своей документации и используется для оценки исправности всего устройства. Такое значение напряжения выбрано потому, что заряд до номинального напряжения происходит очень медленно, что напрасно увеличивает выдержку времени устройства АПВ.

Надежность же работы электромагнита проверяется при заряде конденсатора до напряжения, равного 0,65—0,7 номинального, и обеспечивается подбором емкости конденсатора.

Наиболее удобно пользоваться магазином емкостей, схема которого дана на рис. 23. Магазин набирается из бумажно-масляных конденсаторов в металлическом герметичном корпусе, например МБГЦ с номинальным напряжением 400 В постоянного тока. Точность подбора емкости $\pm 5\%$. Каждый конденсатор имеет свой переключатель, у переключателей обозначена емкость конденсаторов. Нормально все переключатели стоят в верхнем положении, и конденсаторы замкнуты на разрядный резистор с сопротивлением 1—2 кОм. Переводом переключателя в нижнее положение набирается любая емкость в пределах от 1 до 255 мкФ, ступенями через 1 мкФ.

Такая емкость выбрана потому, что современные блоки конденсаторов имеют емкости 40, 80 и 200 мкФ, и ма-



газин должен обеспечить замену этих блоков. Магазин включается на выход зарядного устройства вместо конденсатора, работающего на электромагнит отключения. Автотрансформатором устанавливается на входе устройства напряжение, равное 0,65—0,75 номинального и равное напряжению срабатывания сигнального реле зарядного устройства. Набирается переключателями необходимая емкость и заряжается.

Заряженный магазин отключается от источника и подключается к электромагниту. Опытным путем подбирается емкость срабатывания — номинальная емкость, обеспечивающая работу электромагнита. Действительная емкость конденсатора, на которую включается этот электромагнит, должна быть в 1,5—2 раза больше емкости срабатывания и измеряется методом вольтметра и амперметра на переменном токе. Подобранный указанным способом конденсатор включается в схему, и определяется напряжение срабатывания схемы. Напряжение заряда регулируется автотрансформатором, установленным на входе зарядного устройства. Подбирается опытным путем напряжение, до которого должен быть заряжен конденсатор для надежной работы электромагнита при отключенном источнике питания.

Это напряжение обычно получается около 50 % номинального. При плановых проверках определяется только напряжение срабатывания. Такие большие запасы по емкости и напряжению срабатывания объясняются большими допусками на емкость конденсаторов, кратковременною разрядом конденсатора и большими сроками между ремонтами приводов: за это время привод загрязняется, меняется вязкость смазки и требуется большее усилие от электромагнита для надежного отключения.

6) Реле времени во всех устройствах АПВ регулируется и настраивается по соответствующим инструкциям [11, 15]. Выдержка времени настраивается при номинальном напряжении, и проверяется неизменность ее при 0,7 номинального напряжения для реле постоянного тока и 0,85 номинального напряжения для реле переменного тока. При измерениях выдержки времени обязательно определяется ее разброс, если он превосходит данные завода, реле требует замены. При настройке заданной выдержки времени устройства АПВ секундомер должен останавливаться контактом выходного реле, замыкающего

цепь включения, чтобы учесть время работы всех реле схемы.

в) Промежуточные реле проверяются по инструкции [10, 14, 18]. При измерении выдержки времени реле на отпадение схема проверки должна выполняться так, чтобы при снятии напряжения с реле его обмотка не шунтировалась потенциометром или другими элементами схемы. Особое внимание следует обратить на правильное включение обмоток многообмоточных реле по их полярности. У таких реле однополярные выводы отмечены одинаковыми знаками у выводов реле. У всех реле определяются ток или напряжение срабатывания и возврат или удерживания по каждой обмотке. Ток и напряжение срабатывания и возврата проверяются обычным способом по каждой обмотке для оценки исправности реле.

Ток и напряжение удерживания проверяется следующим образом. В удерживающей обмотке устанавливается ток, равный 0,8 номинального, или напряжение, равное 0,7 номинального, затем реле от руки устанавливается в положение после срабатывания и проверяется, что оно удерживается в этом положении при обесточенной рабочей обмотке. Ток срабатывания и удерживания токовых обмоток реле должен быть не более 0,8 номинального тока включенных последовательно с ними электромагнитов или контактора. Если это условие не выполняется, то проверяется действительный ток удерживания. Для этого при отпущенном положении якоря реле в удерживающей обмотке ступенями устанавливается ток, равный 0,65; 0,7; 0,75 номинального тока последовательно включенных электромагнитов и контакторов. При каждом значении тока проверяется, удерживается ли реле, переведенное от руки в положение после срабатывания.

Нельзя определять ток удерживания плавно, уменьшая его в обмотке сработавшего реле: так будет определен ток возврата, а не удерживания.

Если возникает сомнение в правильности включения обмоток по полярности, то проверка ведется следующим образом: на одну из обмоток подаются близкие к номинальным ток или напряжение, у другой — определяется ток или напряжение срабатывания. При правильном включении они будут меньшие, чем ток или напряжение срабатывания при питании только одной этой обмотки.

Далее вольтметром постоянного тока с обозначенными выводами определяются однополярные выводы обмоток и производится их разметка. Проверяется правильность включения проверкой схемы или вольтметром в полностью восстановленной схеме. При этом необходимо следить за правильностью включения выходных реле в схемах АПВ с конденсаторами — РПВ-58, РПВ-258, РПВ-358.

В реле РПВ-358, питающемся от блоков питания, проверяется отсутствие вибрации контактов выходного реле из-за питания его выпрямленным током. Основные способы устранения вибрации указаны в пояснениях к схеме рис. 8. Во всех схемах проверяется исправность диодов измерением их прямого и обратного сопротивления омметром. Исправность резисторов проверяется измерением их сопротивления омметром.

Во всех схемах АПВ с конденсаторами (РПВ-58, РПВ-258, РПВ-358 и подобных) определяется время заряда конденсатора до напряжения, обеспечивающего работу выходного реле. Это время должно быть не менее 20—30 с и всегда больше максимального времени работы релейной защиты.

Схемы, работающие на переменном оперативном токе, подключаются на выход автотрансформатора, на котором устанавливается 110 % нормального (не номинального) для данной подстанции напряжение оперативного тока.

Одновременно с подачей напряжения на схему пускается секундомер, и через 10, 20, 30 с от руки замыкается цепь выходного реле. Так подбирается оптимальный путь времени заряда, обеспечивающий работу выходного реле. Следует учитывать, что время заряда зависит, кроме напряжения, от температуры окружающей среды и влажности, может отличаться от времени заряда при +20 °C и 80 % влажности. Для схем, работающих на постоянном токе, измерения производятся при 105 % номинального напряжения или при максимально возможном для данной подстанции.

г) Наладка устройств АПВ с контролем синхронизаций начинается с наладки устройства отбора напряжения. При этом следует особое внимание обращать на соблюдение техники безопасности. Все работы в цепи первичной обмотки трансформатора отбора могут выполняться только при заземленном конденсаторе связи включением

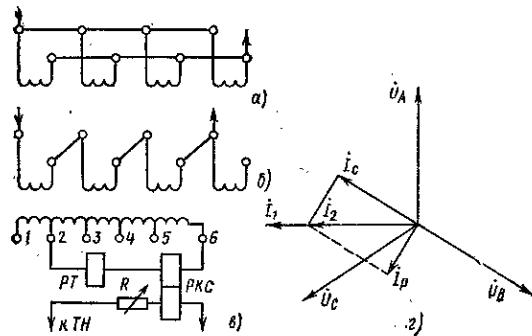


Рис. 24. Схема включения обмоток ТОН:

а — четыре секции первичной обмотки включены параллельно; б — три секции первичной обмотки включены последовательно; в — использование отпак вторичной обмотки; г — некоторая диаграмма при включении конденсатора C_p

заземляющего разъединителя ЗН на рис. 10 и отключенной высокочастотной защите. Работы в цепях вторичной обмотки трансформатора отбора могут производиться при замкнутой накоротко первичной обмотке (включен рубильник ЗР на схеме рис. 10). Трансформатор отбора по принципу действия является трансформатором тока, поэтому его вторичная обмотка должна быть всегда замкнута на свою нагрузку или накоротко.

Исправность разрядника проверяется мегомметром. Исправность дросселя проверяется измерением его сопротивления — полного, на переменном токе, методом амперметра и вольтметра (около 33 Ом) или активного омметром.

Секции первичной обмотки ТОН перемычками включаются параллельно (рис. 24, а) или последовательно (рис. 24, б) в соответствии с расчетом. Обмотки реле РТ и РН-55 (РКС) включаются на одну из отпак вторичной обмотки (рис. 24, в). Указанный на некоторых типовых схемах АПВ конденсатор C_p в 2 мкФ в цепи обмотки 100 В реле РН-55/130 исключается из схемы. Реле контроля синхронизма РН-55/130 на номинальное напряжение 100 В, предусматриваемое обычно в проектах, желательно заменить на РН-55/90 на номинальное

Таблица 5

Напряжение обмоток РН-55 В	Сопротивление добавочного резистора, Ом	Число витков w	Номинальный ток $I_{\text{ном}}$, мА	Ток срабатывания при $\alpha_{\text{ср}} = 40^\circ$, мА	Напряжение срабатывания, В, при $\alpha_{\text{ср}} = 40^\circ$
30	150	2×660	140	96	20,5
60	620	2×1350	68,5	47	41
100	1600	2×2500	37	25,4	68,5

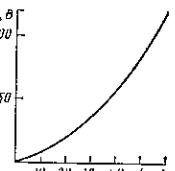


Рис. 25. Вольт-амперная характеристика ТОН

Для проверки исправности ТОН снимается его вольт-амперная характеристика, как у обычного трансформатора тока со вторичной стороны, при полном числе витков вторичной обмотки. Примерная характеристика дана на рис. 25. После сборки схемы проверяется набранный коэффициент трансформации по току. В первичную обмотку подается ток, равный расчетному первичному току, и измеряется ток во вторичной обмотке при подключенных реле РТ и РН-55. При необходимости подбираются отпайки для питания реле.

Реле РТ-40 (НЛ) проверяется и настраивается на ток срабатывания 75 мА обычным способом [13].

Предварительная проверка реле РН-55 — регулировка контактов, зазоров, угла срабатывания, коэффициента возврата и т. п. — производится как у обычного реле РТ-40 [13] при питании каждой обмотки по очереди. При этом вторая обмотка отключена и разомкнута. Зазор между якорем и полюсами устанавливается около 0,6 мм.

Из рис. 22, в видно, что реле срабатывает, когда разность подведенных к нему номинальных напряжений $\Delta U = 2U_{\text{ном}} \sin \frac{\alpha}{2}$. Заменив номинальные напряжения пропорциональными им номинальным токам, имеем $\Delta I = 2I_{\text{ном}} \sin \frac{\alpha}{2}$.

При обычной установке $\alpha_{\text{ср}} = 40^\circ$, $\sin \frac{40^\circ}{2} = 0,343$, и срабатывания при питании одной обмотки равен $I_{\text{ср}} = 0,686 I_{\text{ном}}$. Номинальные токи в реле $I_{\text{ном}}$ и токи срабатывания реле $I_{\text{ср}}$ определяются по числу витков обмоток реле. В цепь трансформатора отбора для всех типов реле РН-55 включается обмотка с номинальным током $I_{\text{ном}} =$

$=0,14 \text{ A}$, номинальным напряжением 30 В и числом витков $w_{30} = 2 \times 660$. Номинальные токи обмоток I_{60} и I_{100} с числом витков w_{60} и w_{100} , включаемых в цепь трансформатора напряжения, определяются по выражениям для обмотки на 60 В $I_{(60)} = \frac{I_{\text{ном}} w_{30}}{w_{60}} = \frac{2 \cdot 660 \cdot 0,14}{2 \cdot 1350} = 0,0685 \text{ A}$;

для обмотки на 100 В $I_{(100)} = \frac{2 \cdot 660 \cdot 0,14}{2 \cdot 2500} = 0,037 \text{ A}$.

Настройку реле можно вести и по напряжению срабатывания $U_{\text{ср}30} = 2U_{\text{ном}} \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 30 \cdot 0,343 = 20,5 \text{ В}$.

В приводимой табл. 5 указаны параметры срабатывания для различных реле РН-55 при питании одной обмотки и $\alpha_{\text{ср}} = 40^\circ$.

Основная настройка ведется при включенной линии. Измеряется первичный ток I_{1A} миллиамперметром, включаемым между землей и добавочным резистором в первичной обмотке ТОН, и сравнивается с расчетным значением (обозначение токов см. рис. 10, а). Обычно действительное напряжение U_d в момент наладки отличается от номинального $U_{\text{ном}}$. Поэтому рассчитывается первичный ток отбора при действительном напряжении $I_{1d} = (U_d/U_{\text{ном}}) I_{\text{ном}}$. Конденсаторы связи имеют значительный допуск по емкости, поэтому измеренный первичный ток может отличаться от расчетного. Измеряется вторичный ток при нормальной нагрузке вторичной обмотки $I_{2d} = I_{\text{ном}} (U_d/U_{\text{ном}}) = 0,14 (U_d/U_{\text{ном}})$.

Если измеренный вторичный ток из-за допуска по емкости конденсаторов связи значительно отличается от значения $I_2 = 0,14 \text{ A}$, то используются отпайки вторичной обмотки № 1, 2, 3, 4. Переключая на них вторичную нагрузку, подбирают отпайку, дающую наиболее подходящее значение вторичного тока I_{2d} . Настройка реле РН-55

на заданный угол срабатывания производится при питании одной обмотки от ТОН (при включенной линии), а второй обмотки — от фазорегулятора, например от комплектного устройства для проверки защиты УПЗ-2. Обмотка 30 В реле РН-55 подключается к ТОН, а обмотка 60 (или 100) В — на выходе фазорегулятора. Во время наладки на выходе фазорегулятора устанавливается и поддерживается неизменным напряжение, равное действительному вторичному напряжению трансформатора напряжения, от которого питается реле РН-55. Переменным резистором, включенным последовательно с обмоткой 60 или 100 В реле РН-55, устанавливается в обмотке реле ток, равный $I_{3\text{ном}} U_d / U_{\text{ном}}$. Необходимо учитывать, что индуктивное сопротивление обмоток РН-55 зависит от угла сдвига между токами в его обмотках. Поэтому подгонку тока $I_{3\text{ном}} (U_d / U_{\text{ном}})$ следует производить при таком положении фазорегулятора, когда токи в реле направлены навстречу и магнитный поток равен нулю. Это проверяется измерением углов между токами. Измерение углов наиболее удобно выполнять прибором ВАФ-85 или подобным.

Выводы U_x прибора ВАФ-85 подключаются к добавочным резисторам, установленным внутри реле РН-55. Прибор ВАФ-85 сначала подключается к резистору, включенному в цепь обмотки 30 В, и устанавливается на нуль, затем с соблюдением полярности переключается на резистор, включенный последовательно с обмоткой 60 или 100 В. Фазорегулятором устанавливается угол между токами, равный нулю, и устанавливается $I_{3\text{ном}} U_d / U_{\text{ном}}$ при напряжении на реле U_d . Затем прибор ВАФ-85 переключается на напряжение, подаваемое от фазорегулятора на обмотку 30 В. Изменением положения фазорегулятора и подводка реле настраивается заданный угол срабатывания α , при котором реле размыкает свой нижний контакт, включенный в цепь пуска устройства АПВ. Прибором ВАФ-85 измеряется угол α между током в обмотке 30 В реле и напряжением на выходе фазорегулятора. Угол срабатывания проверяется в обе стороны от тока в обмотке 30 В реле РН-55. При измерении угла следует учитывать погрешность ВАФ-85, которая может доходить до 5° , и погрешность реле $\pm 8\%$, т. е. отклонение действительного угла срабатывания от указанного по заводским данным. При установке 40° погрешность должна быть до 3° .

Измеряется коэффициент возврата по углу до замыкания нижнего контакта. По данным завода он должен быть не ниже 0,8. Желательно обычной регулировкой, как и у реле РТ-40, довести его до 0,85. Обязательно определяется разброс по углу срабатывания реле, так как по нему оценивается исправность реле. При таком методе настройки действительный угол срабатывания, измеренный прибором ВАФ-85, может значительно отличаться от уставки угла по шкале реле. Это объясняется тем, что завод-изготовитель выпускает реле типа РН-55 для питания обеих его обмоток от источников напряжения. В соответствии с этим производится и регулировка угла срабатывания на заводе. На каждую из обмоток от источника напряжения (на одну из обмоток — от фазорегулятора) подается名义ное напряжение. При совпадении этих напряжений по фазе результирующий магнитный поток в сердечнике реле равен нулю. Поэтому равно нулю индуктивное сопротивление обмоток реле. Ток в обмотках определяется активным сопротивлением и совпадает по фазе с приложенным напряжением (рис. 26).

При увеличении угла между подводимыми к реле напряжениями \dot{U}_1 и \dot{U}_2 результирующий магнитный поток отличен от нуля. Индуктивные сопротивления обмоток реле также отличны от нуля, поэтому токи в обмотках реле \dot{i}_1 и \dot{i}_2 сдвигаются по фазе относительно соответствующих напряжений и уменьшаются по модулю. Так как обмотки одинаковы, то сдвиг токов от напряжений на обмотках также одинаков. Угол срабатывания α остается неизменным при определении его по разности токов Δi или по разности напряжений ΔU — уставкой по шкале реле.

В действительной схеме устройства АПВ обмотка 30 В реле РН-55 питается от достаточного мощного трансформатора тока, каким является ТОН. Поэтому ток в этой обмотке (его модуль и фаза) определяется

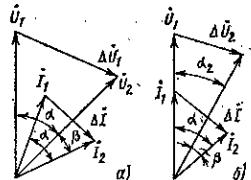


Рис. 26. Векторные диаграммы реле РН-55:

а — при питании от источников напряжения; б — при питании от источников тока и напряжения

первичным напряжением линии и не зависит от тока в другой обмотке (рис. 26, б). Практически \dot{I}_1 совпадает с \dot{U}_1 . В обмотке реле, питаящейся от ТН (при проверке от фазорегулятора), за счет индуктивного сопротивления ток \dot{I}_2 уменьшается и отстает от напряжения на угол β . В условиях срабатывания $\Delta\dot{I}$ остается неизменным в случаях, указанных на рис. 26, а и б. Поэтому для срабатывания реле необходимо уменьшить уставку по шкале ΔU на угол β . Обычно угол срабатывания по шкале реле оказывается около 20° .

После настройки реле на заданный угол срабатывания с помощью фазорегулятора определяются его токи или напряжения срабатывания и возврата при питании только одной обмотки и отключенной второй обмотке. При этом вторичная обмотка ТОН замыкается накоротко на входе панели, и реле от нее отключается. Это измерение необходимо для последующих плановых проверок: при них вместо определения угла срабатывания с помощью фазорегулятора достаточно определением тока или напряжения срабатывания убедиться, что настроенный ранее угол срабатывания остался неизменным.

При всех проверках следует учитывать разброс установок реле, температуру окружающей среды, изменение угла срабатывания при длительном пребывании под напряжением и не перестраивать реле направно.

После измерения токов или напряжений срабатывания на вход цепей напряжения от трансформатора напряжения подается напряжение 100 В, а отключенная от трансформатора отбора цепь — реле РТ-40 и обмотка 30 В реле РН-55 — замыкается через миллиамперметр, и измеряется ток, наводимый в этой цепи от обмотки 60 или 100 В реле РН-55. Этот ток должен быть в 1,5—2 раза меньше тока срабатывания РТ-40.

Затем восстанавливается полностью схема, подключающаяся цепи от трансформатора напряжения, проверяется правильность подвода цепей по фазам и полярности. При правильном подводе цепей напряжения реле должно находиться в положении до срабатывания. Убедившись в этом, временно подключают к реле другие фазы от трансформатора напряжения, чтобы заставить реле сработать. Так, если в нормальном режиме к реле должно подводиться напряжение U_{bc} , то для срабатывания

подаются напряжения U_{AC} и U_{bc} . После проверки к реле подводится напряжение U_{bc} . В ряде случаев в первичном токе устройства отбора (см. рис. 10, а) содержание высших гармоник настолько велико, что резисторы $2R$ и $3R$ не могут уменьшить их значение до приемлемого. Из-за высших гармоник недопустимо выбирать якоря реле РТ и РН-55. Для устранения вибрации якорей реле параллельно им включается конденсатор C_r , через который ток высших гармоник I_c замыкается, не заходя в реле. Одновременно конденсатор C_r сдвигает ток в обмотках реле I_p по отношению к первичному току устройства отбора I_1 , что потребует включения второй обмотки реле РН-55 на другие фазы трансформатора напряжения (см. рис. 24, г). Форма тока в обмотках реле определяется по осциллографу, включаемому на добавочные резисторы внутри реле, угол измеряется прибором ВАФ-85. Емкости конденсатора подбираются опытным путем, например, с помощью магазина емкостей исходя из двух условий: устранение вибраций якорей за счет улучшения формы кривой тока в обмотках реле и обеспечение сдвига тока в обмотках реле на угол 30° или кратный 30° . Обычно приемлемые результаты получаются при емкости C_r около $3—5 \text{ мкФ}$, при этом ток в обмотке 30 В реле сдвигается на угол около 30° . Поэтому вторую обмотку реле РН-55 вместо включения на напряжение U_{bc} следует включить на напряжение U_{bo} . Чтобы обмотку 100 В реле РН-55/130 включить на фазное напряжение, исключается добавочный резистор 1600 Ом.

д) Настройка комплекта КЛ-1 в устройстве ЧАПВ Мосэнерго имеет некоторые особенности, не встречающиеся у других конструкций.

Реле 1РП, 2РП, 3РП, 4РП находятся в герметическом кожухе, открывать его нельзя. Поэтому у этих реле проверяется только их исправность. Регулировка или ремонт этих реле невозможны, проверка работы всей схемы путем установки реле в нужное положение от руки также невозможна. Установка временных перемычек серьезно затруднена большим количеством имеющихся перемычек и тесным монтажом. Поэтому проверка комплекта КЛ-1 ведется путем изменения частоты или напряжения на входных зажимах панели при питании ее от генератора технической частоты (ГТЧ). Схема подключения дана на рис. 27, а.

Частотомер f может быть любого типа с классом точности не ниже 0,2. Если у ГТЧ нет встроенного вольтметра, то подключается вольтметр U . Обычный секундомер, например ПВ-53, подключается или непосредственно на выводы КЛ-1 или на зажимы панели, от которых отключены внешние цепи. Цепи включения, отключения и сигнализации отключаются на входных зажимах панели. Проверка правильности монтажа, маркировки, изоляции, выходных промежуточных и указательных реле производится обычным путем.

Проверка исправности механизма шагового исполнителя (см. рис. 16, б) производится нажатием клапана. Проверяются ход щеток по неподвижным контактам, нажим их и установка щетки в середине неподвижного контак-

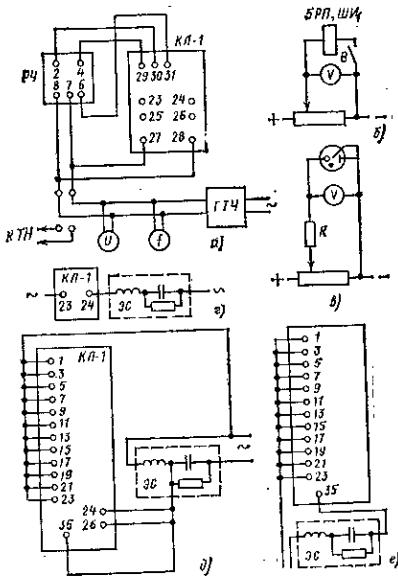


Рис. 27. Схема проверки устройств АЧР с ЧАПВ Мосэнерго

та. Обратный ход щетки при остановке должен быть не более 0,5 мм. При заторможенной подвижной системе клапан не должен срабатывать, и его контакты не должны замыкаться [16].

Реле частоты настраивается на заданные уставки по инструкции; при этом вместо КЛ-1 на контакты реле частоты подключается неоновая лампа, шаговый исполнитель в КЛ-1 от руки устанавливается в положение 11. Для настройки частоты срабатывания устройства ЧАПВ шаговый исполнитель переводится в положение 12. Частота настраивается с точностью $\pm 0,1$ Гц.

После настройки реле частоты устройства КЛ-1 подключается к реле частоты устройство ЧАПВ, шаговый исполнитель становится в положение 11, от генератора технической частоты (ГТЧ) подается напряжение 100 В частоты 50 Гц. Вольтметром с сопротивлением не менее 1000 Ом/В и классом точности не ниже 1—1,5 измеряются напряжения в различных точках схемы устройства КЛ-1.

Выходное напряжение выпрямителя должно быть в пределах 88—94 В. Переменное напряжение на стабилизаторах должно быть 49—54 В, выпрямленное напряжение на устройствах АЧР (зажимы 27—34) и АПВ (зажимы 27 и И1) должно быть 210—230 В.

Для определения напряжения срабатывания промежуточных реле 1РП—4РП на зажимах И1—И2 отсоединяется обмотка шагового исполнителя ШИ. При неизменной частоте 50 Гц изменяется выходное напряжение ГТЧ до напряжения срабатывания проверяемого реле. Для проверки 1РП замыкаются зажимы 29—30, на зажимы 23—24 включается неоновая лампа или высокомоментный вольтметр. Напряжение срабатывания 1РП должно быть не более 50 В. Для проверки 2РП снимается закоротка с зажимов 29—30, неоновая лампа включается на свободные контакты 2РП; напряжение срабатывания 2РП должно быть 80—85 В.

Для проверки 3РП контакт БРП от руки устанавливается на замыкание цепи обмотки 3РП. Неоновая лампа подключается к зажимам 25—26. Напряжение срабатывания 3РП должно быть не более 50 В.

Для проверки 4РП контакт 5РП переводится на замыкание цепи обмотки 2РП и замыкается контакт ШИ в той же цепи. Неоновая лампа переключается на зажимы 21—35. Для 4РП напряжение срабатывания не нор-

мируется, напряжение возврата должно быть не более 22 В.

Напряжение зажигания неоновой лампы, включенной на зажимы 27—28, должно быть не более 50 В.

Поляризованное реле 5РП для проверки вынимается из своего гнезда и включается через потенциометр на источник постоянного тока (рис. 27, б). Напряжение срабатывания по каждой обмотке должно быть в пределах 6—12 В, зазор между разомкнутыми контактами должен быть около 0,3 мм. Якорь должен четко перекидываться в крайние положения, не задерживаясь в нейтральном [12].

Шаговый искатель проверяется на постоянном токе (рис. 27, б). Его обмотка отключается на зажимах И1—И2 (см. рис. 16, а) и через выключатель В включается на потенциометр, питающийся от источника постоянного тока. Напряжение поднимается ступенями по 3—5 В и подается на шаговый искатель толчком, включение выключателя. Определяется напряжение четкой работы при котором щетка четко переходит на один шаг, и завершается полный ход подвижной системы. Напряжение четкой работы должно быть не более 60 В, напряжение возврата должно быть не более 0,8 напряжения срабатывания и не менее 5 В.

Тиатроны проверяются на постоянном токе: напряжение зажигания должно быть в пределах 170—190 В, напряжение погасания 50—60 В. Тиатроны включаются через защитный резистор R с сопротивлением 5—10 кОм (рис. 27, в).

Для проверки тиатрона 1T его цепь размыкается на зажимах И2—И3 (см. рис. 16, а), а для проверки тиатрона 2T вынимается из своего гнезда поляризованным реле 5РП.

Для настройки выдержки времени устройства АЧР электросекундомер ЭС подключается к зажимам комплекта КЛ-1 по рис. 27, г, комплекты КЛ-1 и реле Р включаются по рис. 27, а. В комплекте КЛ-1 отключается обмотка ШИ на зажимах И1—И2 (см. рис. 16, а). При напряжении 100 В на выходе ГТЧ снижается частота заданного значения, что вызывает срабатывание реле 1РП и пуск секундомера. После каждого срабатывания необходимо поднять частоту, чтобы вернуть реле РЧР в исходное положение. Заданная выдержка времени настраивается резистором R16, и, если его сопротивление

必将 окажется недостаточным, замыкаются перемычки П2 и П3, чем включаются резисторы R17 и R18. При выдержке времени более 3 с перемычкой П4 подключается конденсатор С8.

Разброс выдержек времени при 100 В может быть в пределах $\pm 5\%$ от среднего значения. При снижении напряжения до 70 В и повышении до 110 В разброс может увеличиться до $\pm 10\%$, что проверяется после настройки заданного времени.

Для настройки выдержки времени устройства ЧАПВ цепи электросекундомера собираются по схеме рис. 27, д. Подключается обмотка шагового исполнителя, и он устанавливается в положение 12 (см. рис. 16, а). На выходе генератора ГТЧ поддерживается напряжение 100 В и поднимается частота для пуска секундомера. Настройка заданной выдержки времени производится резистором R14, при необходимости вводится R15 перемычкой П1. Разброс по времени при 100 В не должен превосходить $\pm 5\%$ среднего значения. Выдержка времени между замыканиями цепей включения настраивается резистором R13. Переключив секундомер по схеме рис. 27, е, проверяют, что продолжительность замыкания цепи включения находится в пределах 0,9—1,1 с.

После настройки заданных установок восстанавливаются схема, питание остается от ГПЧ, цепи включения и отключения отключены, вместо цепей включения включаются неоновые лампы. Регулируя частоту и напряжение на выходе генератора ГТЧ, проверяют взаимодействие схемы: при снижении частоты работают выходные реле, выпадает указательное реле, шаговый искатель делает один шаг.

При повышении частоты шаговый искатель поочередно замыкает цепи включения, выпадают указательные реле, и схема возвращается в исходное положение. При пониженной частоте и сработавшем устройстве АЧР снижается и поднимается напряжение на ГТЧ. Комплект КЛ-1 не должен менять положение своих выходных контактов.

Повышается частота, и в цикле ЧАПВ толчком снижается и вновь подается напряжение от генератора ГТЧ; при снятии напряжения процесс ЧАПВ останавливается, при подаче напряжения — продолжается. В цикле ЧАПВ снижается частота ниже уставки устройства АЧР; начавшееся включение прекращается, и через заданное

время срабатывает устройство АЧР и производит отключение. При повышении частоты происходит цикл ЧАПВ.

Отключается ГТЧ, восстанавливается полностью схема, подается напряжение от трансформатора напряжения. Комплект КЛ-1 должен прийти в исходное положение, ШИ встает в положение II.

Для других схем ЧАПВ, например для схемы на рис. 14, взаимодействие схемы проверяется в принципе так же, как в нужное положение реле устанавливаются обе руки. Дать подробные рекомендации по проверкам взаимодействия всех схем АПВ из-за их разнообразия очень трудно, поэтому даются только общие, обязательные для всех схем проверки. Для этих проверок создание необходимых цепей производится установкой реле в нужное положение от руки или установкой временных переключателей.

Для всех схем устройства АПВ обязательно проверяются: надежный пуск устройства АПВ при включении выключателя; запрет действия устройства АПВ при оперативном отключении выключателя; запрет действия устройства АПВ при срабатывании соответствующих устройств релейной защиты; вывод из работы устройства АПВ при оперативном включении выключателя ввод его в работу при успешном включения; однократность работы простых однократных устройств АПВ и двукратность двукратных устройств АПВ; отсутствие ложной работы устройств АПВ при кратковременном снятии и восстановлении питания оперативным током; ввод и вывод ускорения действия релейной защиты до и после АПВ; автоматический возврат в исходное положение и ввод в работу устройства после успешного АПВ, блокировка схемы при неуспешном АПВ; пуск запрет действия устройства АПВ с проверкой наличия или отсутствия напряжения на шинах или на линии пуск и запрет действия устройства АПВ при наличии отсутствии синхронизма напряжений; невозможности многократного АПВ при различных неисправностях в схемах, в основном при неразмыкании контактов реле времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПУЭ-76. Раздел III. — М.: Энергоиздат, 1981.
2. Богорад А. М., Назаров Ю. Г. Автоматическое повторное включение в энергосистемах. — М.: Энергия, 1969. — 336 с.
3. Беркович М. А., Комаров А. Н., Семенов В. А. Основы автоматики энергосистем. М.: Энергоиздат, 1981. — 433 с.
4. Реле защиты/В. С. Алексеев, Г. П. Вартанов, Б. И. Панфилов, Р. З. Розенблум. — М.: Энергия, 1976. — 464 с.
5. Какусевичский Л. И., Смирнова Т. В. Справочник реле защиты и автоматики. — М.: Энергия, 1972. — 344 с.
6. Гельфанд Я. С., Голубев М. Л., Царев М. И. Релейная защита в электроавтоматика на переменном оперативном токе. — М.: Энергия, 1973. — 280 с.
7. Привод пружинный типа ГП-67 к выключателям переменного тока высокого напряжения. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Рижский опытный завод. Латвэнерго, Рига, 1973. — 32 с.
8. Голубев М. Л. Вторичные цепи на подстанциях с переменным оперативным током. — М.: Энергия, 1977. — 96 с.
9. Общая инструкция по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей. — М.: Энергия, 1975. — 160 с.
10. Инструкция по проверке промежуточных и указательных реле. — М.: Энергия, 1969. — 88 с.
11. Инструкция по проверке реле времени типов ЭВ-180, ЭВ-200, РВ-73, РВ-75, ЭВ-100 и ЭВ-200 (новая серия). — М.: Госэнергоиздат, 1961. — 40 с.
12. Лысенко Е. В. Поляризованные реле и их регулировка для целей релейной защиты и автоматики. — М.: Госэнергоиздат, 1960. — 56 с.
13. Жданов Л. С., Овчинников В. В. Электромагнитное реле тока напряжения РТ и РН. — М.: Энергия, 1971. — 74 с.
14. Зекцер Д. М., Чернявская Э. З. Кодовые электромагнитные реле. — М.: Энергия, 1978. — 106 с.
15. Жданов Л. С., Овчинников В. В. Реле времени типов ЭВ и РВМ. — М.: Энергия, 1969. — 60 с.
16. Островский А. С. Аппаратура слабого тока в силовых электроустановках. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 30 с.
17. Звенигородский И. С. Кондесаторы связи и отбора мощности. — М.: Энергия, 1989. — 66 с.
18. Левинсон М. Т., Черняев П. Д. Промежуточные и указательные реле. — М.: Энергия, 1968. — 80 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Предисловие	3
1 Основные сведения об АПВ	4
2 Автоматическое повторное включение выключателей с пружинными приводами	8
3 Автоматическое повторное включение выключателей с электромагнитными приводами	19
4 Автоматическое повторное включение с контролем синхронизма	31
5 Автоматическое повторное включение после АЧР	37
6 Автоматическое повторное включение шин и трансформаторов	46
7 Ускорение действия релейной защиты при АПВ	51
8 Исправление неселективности релейной защиты с помощью АПВ	55
9 Расчет уставок устройств АПВ	57
10 Наладка устройств АПВ	76
Список литературы	93

МИХАИЛ ЛЬВОВИЧ ГОЛУБЕВ

**Автоматическое повторное включение
в распределительных сетях**

Редактор Э И Басс

Редактор издательства Л Л Жданова

Обложка художника Т Н Хромовой

Технический редактор Л В Изгаршева

Корректор Г А Полонская

ИБ № 2097

Сдано в набор 11 08 82 Подписано в печать 18 10 82 Т 19732 Формат
84×108^{1/2} Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать
высокая Усл. печ л 5 04 Уст. кр отт 5 25 Уч. изд л 5 07 Тираж
40 000 экз Заказ № 202 Цена 25 к

Энергоиздат 113114 Москва М 114 Шлюзовая наб 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000 г Владимир, Октябрьский проспект д 7