

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 23.11.2023 14:58:02

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22836b21db52dbc07971a86865a5825f9fa4304cc

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Кафедра электротехники и электрооборудования предприятий

Методические указания к лабораторным работам

по дисциплине

«Интеллектуальные системы управления, защиты и автоматики
электрических сетей»

Уфа 2020

Представлены основные теоретические положения по принципам работы и особенностям построения устройств автоматического повторного включения. Приведены общие методические указания, необходимые справочные материалы и основные формулы для расчета параметров устройств автоматического повторного включения. Методические указания предназначены для магистров направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность «Интеллектуальное управление режимами работы сетей и систем электроснабжения».

Публикуется в авторской редакции.

Составитель: Хакимьянов М.И., доц., д-р техн. наук

Рецензенты: Рябишина Л.А., доц., канд. техн. наук
 Калимгулов А.Р., доц., канд. физ.-мат. наук

Содержание

Введение.....	4
Цель работы.....	4
1. Основные теоретические положения.....	4
2. Методические указания.....	28
3. Содержание работы.....	32
4. Вопросы для проверки знаний.....	23
5. Содержание отчета.....	33
Заключение.....	33
Список рекомендуемой литературы.....	33

ВВЕДЕНИЕ

Автоматическое повторное включение (АПВ) служит для быстрого восстановления электроснабжения потребителей, отключенных устройствами защиты при возникновении электрических самоликвидирующихся повреждений и ненормальных режимов в высоковольтных сетях и электроустановках. Устройства автоматического повторного включения (УАПВ) восстанавливают нормальную схему питания также в тех случаях, когда отключение выключателей отдельных участков сети или источников питания происходит вследствие либо ошибочных действий оперативного персонала, либо ложных срабатываний релейных защит.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение принципов построения и особенностей реализации устройств автоматического повторного включения.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Назначение и принцип работы устройства автоматического повторного включения

Автоматическое повторное включение (АПВ) служит для быстрого восстановления электроснабжения потребителей, отключенных устройствами защиты при возникновении электрических самоликвидирующихся повреждений и ненормальных режимов в высоковольтных сетях и электроустановках. Устройства автоматического повторного включения (УАПВ) восстанавливают нормальную схему питания также в тех случаях, когда отключение выключателей отдельных участков сети или источников питания происходит вследствие либо ошибочных действий оперативного персонала, либо ложных срабатываний релейных защит.

Опыт эксплуатации показывает, что многие повреждения в системах электроснабжения являются неустойчивыми и самоустраиваются (самоликвидируются) после кратковременного снятия напряжения. К наиболее частым причинам, вызывающим неустойчивые повреждения элементов системы электроснабжения, относятся: перекрытие изоляции линий при атмосферных перенапряжениях; схлестывание проводов при сильном ветре; замыкание линий различными предметами; отключение линий или трансформаторов вследствие кратковременных перегрузок или неизбирательного срабатывания релейной защиты; ошибочных действий дежурного персонала и т. д.

Применение устройств АПВ различных элементов систем электроснабжения повышает надежность электроснабжения даже при одном источнике питания.

Сущность АПВ состоит в том, что элемент системы электроснабжения, отключившийся под действием релейной защиты (РЗ), вновь включается под напряжение (если нет запрета на его повторное включение). Если при этом причина, вызвавшая отключение элемента, исчезла, то этот элемент остается в работе. Благодаря АПВ потребители получают питание практически без перерыва. Таким образом, устройства АПВ предназначены для автоматического подключения отключившегося элемента энергосистемы для восстановления работы потребителей или схемы их электропитания.

Большая часть аварийных отключений электроустановок не связана с разрушением изоляции, а является следствием неустойчивых замыканий и самоликвидируется после кратковременного снятия напряжения. Если поврежденную сеть, отключенную защитой (по истечении некоторого времени, необходимого для деионизации среды, ионизированной дугой в месте короткого замыкания), снова включить, то такое включение часто оказывается успешным и восстанавливает исходную схему электроснабжения.

Например, если короткое замыкание за время бестоковой паузы самоустранилось, то линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, при повторном включении остается в работе. Поэтому повторные включения при неустойчивых повреждениях называют успешными, а самоустраивающиеся повреждения называют неустойчивыми.

Операция по автоматическому восстановлению напряжения в сетях после его отключения соответствующими защитами называется автоматическим повторным включением (АПВ). Если первое АПВ оказалось неуспешным, то иногда его повторяют.

На воздушных линиях (ВЛ) успешность повторного включения зависит от номинального напряжения линий. На линиях напряжением 110 кВ и более успешность повторного включения значительно выше, чем на ВЛ напряжением 6...35 кВ.

Значительный процент успешных повторных включений в сетях высокого и сверхвысокого напряжений объясняется быстрым действием РЗ (как правило, не более 0,10...0,15 с), с большим сечением проводов и расстояний между ними, высокой механической прочностью опор.

Устройства АПВ в системах электроснабжения обеспечивают повышение надежности электроснабжения, уменьшение перерывов электрической энергии, сокращение простоев электрооборудования, повышение производительности труда и в ряде случаев способствуют снижению капитальных затрат на устройство систем электроснабжения.

Данные о повреждаемости воздушных линий электропередачи за многолетний период эксплуатации показывают, что доля неустойчивых повреждений весьма высока и составляет 50...90 %.

При ликвидации аварии обычно оперативный персонал производит опробование линии путем включения ее под напряжение, так как отыскание места повреждения на линии электропередачи путем ее обхода требует длительного времени, а многие повреждения носят неустойчивый характер. Эту операцию называют повторным включением.

Реже на воздушных линиях возникают такие повреждения, как обрывы проводов, тросов или гирлянд изоляторов, падение или поломка опор. В кабельных сетях повреждения обуславливаются как особенностями конструкции кабелей, так и причинами их повреждений – механическим разрушением кабелей при земляных и строительных работах. Такие повреждения не могут самоустраниться, поэтому их называют устойчивыми.

При устойчивом повреждении повторно включенная линия будет вновь отключена защитой. Поэтому повторные включения линий при устойчивых повреждениях называют неуспешными.

На подстанциях с постоянным оперативным персоналом или на телеуправляемых объектах повторное включение линий занимает несколько минут, а на нетелемеханизированных подстанциях и без постоянного оперативного персонала 0,5...1 ч и более. Поэтому для ускорения повторного включения линий и уменьшения времени перерыва электроснабжения потребителей широко используются специальные УАПВ.

Время действия АПВ обычно не превышает нескольких секунд, поэтому устройства АПВ при успешном включении быстро подают напряжение потребителям. Экономическое значение внедрения АПВ весьма существенно, поскольку стоимость устройств АПВ несоизмеримо мала по сравнению с тем экономическим эффектом, который они дают.

Наиболее эффективно применение АПВ на линиях с односторонним питанием, так как в этих случаях каждое успешное действие АПВ восстанавливает питание потребителей и предотвращает аварию.

В кольцевых сетях отключение одной из линий не приводит к перерыву питания потребителей. Однако и в этом случае применение АПВ целесообразно, так как это ускоряет ликвидацию ненормального режима и восстановление схемы сети, при которой обеспечивается наиболее надежная и экономичная работа.

Согласно ПУЭ применение АПВ обязательно на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением выше 1 кВ.

Короткие замыкания часто бывают неустойчивыми не только на воздушных линиях, но и на сборных шинах подстанций. При этом АПВ шин с номинальным напряжением 35 кВ и выше обычно бывает успешным, что связано с малым временем работы релейной защиты шин, большими расстояниями между проводами и повышенной механической прочностью конструкций шин. Автоматическое повторное включение шин имеет высокую эффективность, поскольку каждый случай успешного действия предотвращает аварийное отключение целой подстанции или ее части.

В трансформаторах большинство повреждений (коротких замыканий) носит устойчивый характер. Однако, устройствами АПВ оснащаются все одиночно работающие трансформаторы

мощностью 1000 кВА и более, а также трансформаторы меньшей мощности, питающие ответственную нагрузку.

Так как процент неустойчивых повреждений трансформаторов ничтожно мал, то устройства АПВ на трансформаторах выполняются так, чтобы их действие происходило только при отключении трансформатора резервной защитой. Резервные защиты трансформаторов действуют на их отключение в большинстве своем при отказах устройств защиты или выключателей, питающихся от этих трансформаторов линий. При этом успешность действия АПВ трансформаторов так же высока, как и АПВ воздушных линий, и составляет 70...90 %.

При действии защит от внутренних повреждений АПВ трансформатора, как правило, не производится. Например, при применении АПВ трансформаторов предусматривают запрет АПВ при внутренних повреждениях трансформатора, т. е. при отключении трансформаторов под действием газовой или дифференциальной защиты.

Автоматическое повторное включение весьма эффективно при ложных и неселективных действиях релейной защиты, при ошибочных действиях персонала, при нарушениях изоляции оперативных цепей, вызывающих «самопроизвольное» (без воздействия персонала, защиты и автоматики) отключение выключателей. Применение АПВ позволяет в ряде случаев применить упрощенные схемы релейной защиты и ускорить отключение КЗ.

С увеличением кратности действия АПВ его эффективность уменьшается. Так, эффективность применения однократного АПВ для воздушных линий в энергосистемах России составляет 60...75 %, двукратного – 30...35 %, трехкратного – всего лишь 1...5 %.

В распределительных сетях широкое внедрение АПВ, наряду с другими устройствами электроавтоматики, является одним из основных средств, позволяющих отказаться от постоянного дежурного персонала на большинстве подстанций и перевести их на обслуживание оперативно-выездными бригадами (ОВБ).

Применение АПВ в распределительных сетях позволило также широко использовать подстанции 35...110 кВ без выключателей на стороне высшего напряжения. В этих случаях

выключатели и АПВ устанавливаются только на питающих линиях со стороны головного участка сети.

1.2. Требования, предъявляемые к устройствам АПВ

Факторы, определяющие условия эксплуатации устройств АПВ в энергосистемах, обуславливают технические требования, предъявляемые к ним при разработке схем, выборе рабочих уставок и при наладке АПВ.

С точки зрения сохранения устойчивой работы электрической системы желательно иметь максимальное быстродействие АПВ. Однако быстродействие ограничивается опасностью повторного зажигания дуги после подачи напряжения. Перерыв в подаче напряжения должен быть больше времени деионизации среды, при котором гасится дуга. Поэтому приходится учитывать более тяжелые условия работы выключателей совместно с АПВ. Особенно это относится к масляным выключателям, в которых масло, окружающее место разрыва контактов, при отключении КЗ разлагается и обугливается под действием дуги, теряя изоляционные свойства.

Возможность работы в цикле АПВ воздушных выключателей определяется практически только количеством и давлением сжатого воздуха в резервуарах выключателя.

На быстродействие АПВ влияют время готовности привода выключателя к работе на включение, а также время возврата в исходное положение реле защиты, действовавшей при коротком замыкании.

При выполнении устройств АПВ соблюдают еще ряд обязательных условий кроме тех, которые указаны выше.

Повреждения, появившиеся на присоединениях, отключенных по режиму, в ремонт и т. п., практически всегда носят устойчивый характер. Автоматическое повторное включение в указанных ситуациях приводило бы к развитию повреждения оборудования, необходимости более частых ревизий выключателей.

Поэтому при автоматическом выключении выключателя, последовавшем сразу же после его оперативного включения дежурным персоналом, пуск АПВ производиться не должен.

Многократные включения выключателя на КЗ могут привести к тяжелым повреждениям выключателя. Недопустимы многократные повторные включения на КЗ и по условиям устойчивости работы энергосистемы. Поэтому схемы АПВ не должны допускать возможности многократных включений на короткое замыкание.

Несмотря на большое разнообразие существующих в настоящее время схем АПВ, определяемое конкретными условиями их установки и эксплуатации, все они должны удовлетворять следующим основным требованиям.

1.2.1. Устройства АПВ должны находиться в состоянии постоянной готовности к действию и срабатывать при всех случаях аварийного отключения выключателя (кроме случаев отключения выключателя релейной защитой после включения его дежурным персоналом).

Они не должны приходить в действие при оперативных отключениях выключателя дежурным персоналом (что обеспечивается пуском устройств от несоответствия положений выключателя и его ключа управления). Устройства АПВ не должны действовать при отключении выключателя персоналом дистанционно или с помощью телеуправления, при автоматическом отключении выключателя защитой непосредственно после включения его персоналом, при отключении выключателя защитой от внутренних повреждений трансформаторов и вращающихся машин устройствами противоаварийной автоматики, а также в других случаях отключений выключателя, когда действие АПВ недопустимо.

1.2.2. Устройства АПВ должны иметь минимальное возможное время срабатывания для того, чтобы сократить продолжительность перерыва питания потребителей. На практике оно ограничивается рядом условий (готовностью привода выключателя к работе, временем деионизации среды в точке повреждения, временем готовности выключателя). АПВ должно происходить со специально установленной выдержкой времени, выбранной из такого расчета, чтобы обеспечить максимально быстрое восстановление нормального режима работы линии или электроустановки.

1.2.3. Устройства АПВ должны автоматически с заданной выдержкой времени возвращаться в состояние готовности к новому действию после включения в работу выключателя: схема должна автоматически (с некоторой выдержкой) возвратиться в состояние готовности к новому действию.

1.2.4. Устройства АПВ не должны производить многократные включения выключателя на неустранившееся короткое замыкание.

1.2.5. Схемы АПВ должны предусматривать возможность запрета действия АПВ при срабатывании некоторых устройств релейной защиты (например, газовой или дифференциальной защит трансформаторов, действующих при внутренних повреждениях), а также при действии ряда устройств противоаварийной автоматики (частотная разгрузка, автоматика отделения местных электростанций).

Кроме выполнения указанных выше основных требований в устройствах АПВ должны быть предусмотрены цепи ускорения действия релейной защиты, а также переключающие устройства, обеспечивающие ввод устройств в работу и вывод их из работы оперативным персоналом.

1.2.6. При применении АПВ необходимо предусматривать ускорение действия защиты на случай неуспешного АПВ. Ускорение действия защиты после включения выключателя устройствами АПВ выполняют с помощью устройства ускорения, которое используют и при включении выключателя другими способами (ключом управления, с помощью телеуправления или устройства автоматического включения резерва).

1.2.7. Устройства трехфазного АПВ (ТАПВ) необходимо выполнять с пуском, происходящим в результате несоответствия между ранее поданной оперативной командой и отключенным положением выключателя (допускается также пуск устройства АПВ от защиты).

Устройства АПВ предусматривают на выключателях всех воздушных и кабельно-воздушных линий электропередачи, сборных шин подстанций, если эти шины не являются элементом комплектного или закрытого распределительного устройства (КРУ или ЗРУ), понижающих трансформаторов однотрансформаторных главных понизительных подстанций (ГПП). Эффективно сочетание АПВ линий электропередачи с

неселективными быстродействующими защитами линий и устройствами автоматической частотной разгрузки (АЧР).

Автоматическое повторное включение выключателя должно осуществляться после неоперативного отключения выключателя (за исключением случаев отключения в результате срабатывания РЗ присоединения, на котором установлено устройство АПВ), непосредственно после включения выключателя оперативным персоналом или средствами телеуправления, после действия защит от внутренних повреждений трансформаторов или устройств противоаварийной системной автоматики.

Время действия устройства АПВ $t_{АПВ}$ должно быть не меньше времени, необходимого для полной деионизации среды в месте КЗ и подготовки привода выключателя к повторному включению. Оно должно быть согласовано с временем работы других устройств автоматики и защиты, учитывать возможности источников оперативного тока для питания электромагнитов включения выключателей, одновременно включаемых от устройства АПВ. Характеристики выходного импульса устройства АПВ должны обеспечивать надежное одно- или двукратное (в зависимости от требований) включение выключателя. Устройства АПВ должны допускать блокирование их действия во всех необходимых случаях.

1.3. Классификация устройств АПВ

В настоящее время находят применение различные типы и схемы АПВ. Их классифицируют по следующим признакам.

1.3.1. По количеству циклов (кратности действия включения).

АПВ делят на одно-, двух- и трехкратные. Они могут до двух и трех раз делать попытки включить отключившуюся линию с целью восстановления электроснабжения.

Успешность устройств АПВ однократного действия составляет 60...80 %, а АПВ двукратного действия (второго повторного включения) – 10...15 %. Первое АПВ успешно для кабельных линий в 45...55 % случаев, а для оборудования – в 65...75 %. Заметим, что однократные АПВ более просты и эффективны и применяются на практике в большинстве случаев.

Трехкратные АПВ применяются на одиночных тупиковых линиях весьма редко ввиду их низкой эффективности

(успешность третьего повторного включения составляет 1,5... 3 %) и значительных затрат на ремонт выключателей. Третье повторное включение (после неуспешного действие второго цикла АПВ) производится через интервал 1...2 минуты после возникновения короткого замыкания (КЗ).

1.3.2. По способу воздействия на привод выключателя.

АПВ делят на механические и электрические. Механические АПВ встраиваются в пружинный или грузовой привод выключателя. На практике в настоящее время они не находят применения.

Механические АПВ не требуют оперативного тока и действуют при срабатывании встроенных в привод реле прямого действия. Они включают отключившийся выключатель без выдержки времени за счет использования механической энергии предварительно заведенной пружины или поднятого груза. Низкая надежность является их большим недостатком.

Электрические АПВ воздействуют на электромагнит включения выключателя (с заданной выдержкой времени). Они являются более надежными и широко применяются на практике.

1.3.3. По числу фаз выключателей, на которые воздействует защита и АПВ.

АПВ делят на трехфазные (ТАПВ), однофазные (ОАПВ) и комбинированные.

Однофазные АПВ применяются только в сетях с глухозаземленной нейтралью 110 кВ и выше, в которых доля однофазных коротких замыканий составляет 70...90 % от общего числа коротких замыканий. При этом для ликвидации неустойчивого повреждения на линии достаточно отключить только одну поврежденную фазу с последующим ее повторным включением.

Трехфазные АПВ применяются для одновременного включения трех фаз выключателя после отключения его релейной защитой.

Комбинированные АПВ применяются для включения одной фазы при однофазных КЗ и включения трех фаз при трехфазных КЗ.

1.3.4. По виду включаемого оборудования.

АПВ делят на: АПВ линий, АПВ трансформаторов, АПВ электродвигателей (в том числе для группы электродвигателей), АПВ шин.

1.3.5. *По времени действия АПВ делят на:* быстродействующие АПВ (БАПВ), обеспечивающие бестоковую паузу 0,5 с и менее; нормальные – с бестоковой паузой более 0,5 с.

1.3.6. *По способу контроля в цепях пуска АПВ.*

По способам контроля, определяемым условиями устойчивости параллельной работы генераторов и СД энергосистем, а также условиями допустимой кратности токов несинхронного включения оборудования, устройства трехфазных АПВ подразделяются на следующие типы:

- без проверки синхронизма и контроля напряжения (тока), когда нарушение синхронизма исключено, – простое ТАПВ;
- без проверки синхронизма в условиях, когда расчетом подтверждена допустимость несинхронных включений, – несинхронное ТАПВ (НАПВ);
- без проверки синхронизма при наличии быстродействующих выключателей и быстродействующей РЗ в условиях, когда разделившиеся части энергосистемы не успевают перейти на несинхронную работу, – быстродействующее ТАПВ (БАПВ);
- с проверкой наличия напряжения (АПВНН) на включаемом под нагрузку оборудовании, например, линии;
- с проверкой отсутствия напряжения (АПВОН) на линии – применяется, в частности, в распределительных сетях на линиях с выделенной нагрузкой;
- с ожиданием синхронизма (АПВОС);
- с улавливанием синхронизма (АПВУС);
- в сочетании с самосинхронизацией генераторов и синхронных компенсаторов (АПВС).

1.3.7. *По способу сочетания АПВ с устройствами релейной защиты и различных видов автоматики.* Под способами сочетания АПВ с устройствами РЗ понимают:

- ускорение действия РЗ при АПВ;
- поочередное действие устройств АПВ, установленных на разных (обычно последовательно включенных) линиях;
- АПВ после АЧР;

- использование неселективной отсечки в сочетании с АПВ для снижения токов КЗ;
- сочетание АПВ с АВР;
- сочетание АПВ с действием автоматических секционирующих отделителей и ряд других способов взаимодействия АПВ с РЗ и другими автоматическими устройствами, повышающими надежность работы энергосистем.

1.3.8. По виду оперативного тока.

На подстанциях с постоянным оперативным током энергия, необходимая для работы реле, входящих в схему АПВ, поступает от аккумуляторной батареи. При переменном оперативном токе в качестве источников энергии используются трансформаторы собственных нужд, трансформаторы тока и напряжения. Это обуславливает особенности построения схем АПВ, конструктивных параметров реле, применение специальных блоков питания и др.

Длительный опыт эксплуатации устройств АПВ в энергосистемах России позволил свести большое разнообразие схем и конструкций, применявшихся на начальных этапах, к ряду унифицированных решений, обеспечивших внедрение типового проектирования и промышленного выпуска унифицированных панелей АПВ, готовых к установке, наладке и включению в эксплуатацию.

Одной из важнейших характеристик устройства АПВ является время его действия $t_{АПВ}$, под которым принимается время с момента пуска устройства АПВ до момента подачи импульса на включение выключателя. Это время должно быть достаточным, чтобы выключатель после отключения участка с КЗ был готов для повторного включения.

Время действия устройства АПВ не надо смешивать с временем АПВ, которое складывается из времени действия устройства АПВ и времени действия выключателя от момента получения команды на включение до момента соприкосновения токоведущих контактов.

На практике наиболее часто используют следующие виды АПВ: несинхронное АПВ и АПВ с улавливанием синхронизма.

Несинхронное АПВ (НАПВ) является наиболее простым устройством, допускающим включение разделившихся частей энергосистемы независимо от разности их напряжений.

АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС) применяют на одиночных транзитных линиях, а также на транзитных линиях, имеющих шунтирующие связи недостаточной пропускной способности, если применение НАПВ или БАПВ невозможно.

Пуск устройства АПВ осуществляется:

– при несоответствии положения неоперативно (аварийно) отключившегося выключателя и зафиксированного ранее его включенного положения (в качестве фиксирующего устройства может быть использован ключ управления с соответствующим образом подобранными вспомогательными контактами или двухпозиционными реле);

– от релейной защиты (этот способ менее универсален, более сложен и применяется реже, например, в схемах АПВ шин напряжением 6...35 кВ).

Для выполнения наиболее распространенного в системах электроснабжения однократного АПВ используют комплектные реле повторного включения однократного действия (РПВ-58, РПВ-358, РПВ-01). Для построения схемы АПВ двукратного действия используются комплектные устройства типа РПВ-02 (РПВ-258 – для линий с масляными выключателями).

Минимальное время срабатывания устройства АПВ составляет обычно 0,5...0,7 с. Время готовности АПВ (исходя из опыта эксплуатации) должно составлять 20...25 с.

В конкретных условиях могут применяться различные устройства АПВ, выбор наиболее рационального варианта является задачей инженерного проектирования. Преимущество следует отдавать устройствам, обеспечивающим наибольшую надежность действия, простоту исполнения и эксплуатации.

Работу устройств АПВ следует увязывать с работой устройств РЗ, устанавливаемой на объектах. В частности, при наличии на подстанции дифференциальной защиты шин следует рассмотреть вопрос о выполнении АПВ шин с предварительным их опробованием напряжением от одной какой-либо линии электропередачи и последующим автоматическим восстановлением конфигурации сети при исправном состоянии шин.

1.4. Релейно-контактное устройство АПВ однократного действия

Схемы устройств АПВ однократного действия могут выполняться на постоянном (РПВ-58, РПВ -01), выпрямленном (РПВ-358) и переменном оперативном токе.

В состав типового реле РПВ входят основные элементы:

- реле времени (KT), формирующее выдержку времени $t_{АПВ1}$ (от момента пуска АПВ до момента замыкания контакта в устройстве включения выключателя);

- промежуточное реле (KLI) с двумя обмотками (последовательной и параллельной), управляющее цепью включения выключателя.

Кроме основных в реле РПВ входят следующие дополнительные элементы:

- ограничивающий резистор (RI), обеспечивающий термическую стойкость реле времени;

- конденсатор C (20 мкФ), который разряжается на параллельную обмотку реле (KLI) и приводит к срабатыванию этого реле, а также обеспечивает однократность действия УАПВ;

- зарядный резистор ($R2$), формирующий постоянную времени заряда конденсатора C и определяющий скорость его заряда;

- разрядный резистор $R3$, формирующий постоянную времени разряда конденсатора C и определяющий скорость его разряда.

В схеме управления АПВ имеются также следующие элементы:

- пусковое промежуточное реле ($KL2$), обеспечивающее ускорение защиты;

- указательное реле KH и накладка SX для включения и отключения АПВ;

- ключ SA для управления состоянием выключателя (с фиксацией положения последней операции);

- промежуточное реле KQC положения выключателя «Включено» для фиксации положения выключателя;

- промежуточное реле KQT положения выключателя «Отключено» для фиксации положения выключателя;

- промежуточное двухобмоточное реле блокировки KBS , предназначенное для предотвращения многократных включений выключателя при неисправностях в оперативных цепях (например, при сваривании контактов промежуточного реле).

Рассмотрим принципиальную схему устройства электрического однократного АПВ линии с масляным выключателем и автоматическим возвратом, приведенную на рис. 1.

Она представлена в типовом варианте, указанном выше. В этой схеме дистанционное управление выключателем Q производится ключом SA , у которого предусмотрена фиксация положения последней операции.

В нормальном состоянии линии выключатель Q включен, ключ SA после операции включения находится в положении «Включено» $B2$ (после операции отключения он будет находиться в положении «Отключено» $O2$). К конденсатору C через контакты ключа SA подводится «плюс» оперативного напряжения, а «минус» – через замкнутые контакты $KQC.1$ промежуточного реле KQC положения выключателя «Включено» и резистор $R2$. При этом конденсатор C заряжен, и схема АПВ находится в состоянии готовности к действию.

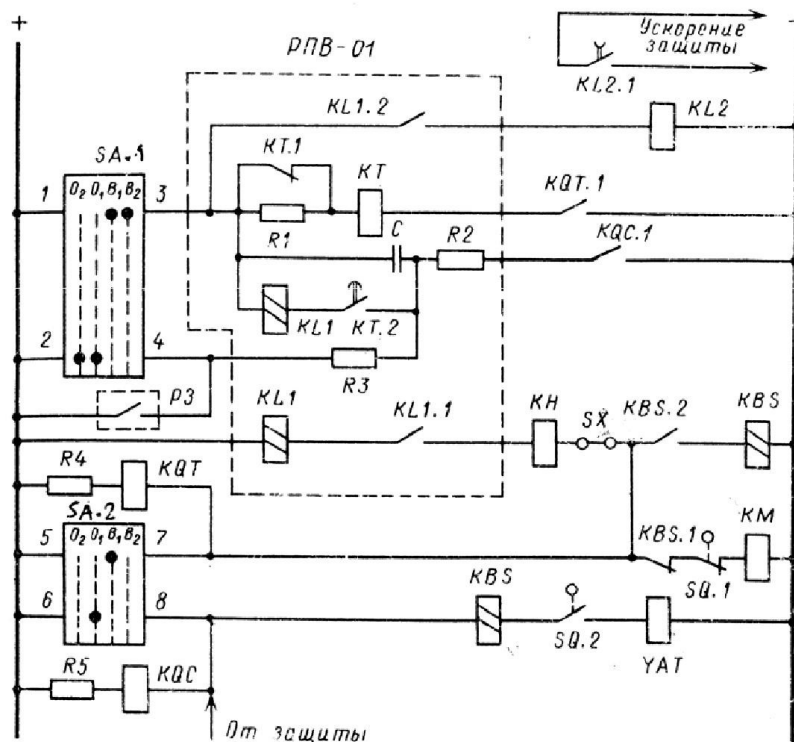


Рис. 1. Схема электрического АПВ однократного действия для линии с масляным выключателем

Промежуточное реле KQT положения выключателя «Отключено», осуществляющее контроль исправности цепей включения, обесточено (так как контакты $SQ.1$ включенного выключателя Q разомкнуты) и его контакты $KQT.1$ в цепи пуска АПВ (реле KT) разомкнуты. Заметим, что контакты $SQ.2$ выключателя в цепи питания электромагнита отключения выключателя замкнуты.

При срабатывании релейной защиты «плюс» оперативного напряжения через замкнутые контакты $SQ.2$ выключателя подводится к электромагниту отключения выключателя YAT , который срабатывает и выключает выключатель Q . В результате размыкаются контакты $SQ.2$, замыкаются контакты $SQ.1$. и возникает несоответствие между положением ключа (которое не изменилось) и положением выключателя (который теперь отключен).

Несоответствие положений ключа управления и выключателя проявляется в том, что через контакты ключа управления на схему АПВ по-прежнему подается «плюс» оперативного напряжения, а ранее разомкнутые вспомогательные контакты выключателя $SQ.1$ переключились и замкнули цепь обмотки реле KQT , которое, срабатывая, подает «минус» на обмотку реле времени KT . Вследствие этого несоответствия происходит пуск схемы АПВ (реле времени). Заметим, что цепь питания реле KQT замыкается через достаточно большое сопротивление $R4$, и величина протекающего в этой цепи тока в данном случае недостаточна для срабатывания контактора KM .

Реле времени срабатывает, размыкаются его мгновенные контакты $KT.1$. При этом в цепь питания обмотки этого реле включается дополнительное сопротивление (резистор $R1$) . Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, и тем самым обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

По истечении установленной на реле KT выдержки времени замыкаются (с задержкой на срабатывание) контакты $KT.2$, которые подключают параллельную обмотку реле $KL1$ к предварительно заряженному конденсатору C .

в результате это реле срабатывает (от тока разряда конденсатора), замыкает свои контакты $KL1.1$ и, тем самым, замыкает цепь питания контактора KM , формирующего команду на включение выключателя на реле KT .

Наличие у реле $KL1$ второй обмотки, последовательно включенной с обмоткой контактора KM электромагнита включения выключателя YAC , обеспечивает самоудержание этого реле и формирование импульса достаточной длительности для надежного включения выключателя Q , так как параллельная обмотка этого реле обтекается током кратковременно при разряде конденсатора.

При успешном действии АПВ (если повреждение на линии было неустойчивым) выключатель включается, и линия остается в работе. При этом размыкаются его вспомогательные контакты $SQ.1$ и в исходное положение (состояние) возвращаются реле KQT , $KL1$ и KT .

После размыкания контактов реле времени $KT.2$ конденсатор C начнет заряжаться через зарядный резистор $R2$. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время заряда составляло 20...25 с. Таким образом, спустя указанное время схема АПВ будет автоматически подготовлена к новому действию.

При неуспешном действии АПВ (если повреждение было устойчивым) выключатель Q , включившись, вновь отключится релейной защитой и вновь сработают реле KQT и KT . Однако, реле $KL1$ при этом второй раз не сможет сработать, так как конденсатор C разряжается при первом действии АПВ и повторно зарядиться не успевает. Таким образом, рассмотренная схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления SA несоответствия между положением ключа управления и выключателя не возникает, и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя контактами ключа 6, 8 размыкаются контакты 1, 3. При этом отключается «плюс» оперативного напряжения со схемы АПВ. Поэтому срабатывает только реле KQT , а реле KT и $KL1$ не сработают. Одновременно со снятием оперативного напряжения контактами 1, 3 ключа SA замыкаются его контакты

2, 4, и конденсатор C разряжается через резистор $R3$. В результате падение напряжения на нем резко снижается, а затем он полностью разряжается по цепи: резистор $R2$, контакты $KT.1$, обмотка реле времени KT , контакты $KQT.1$.

При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора C (через 20...25 с). Поэтому при оперативном включении выключателя отключать АПВ не требуется.

При отключении линии релейной защитой в случаях, когда действие АПВ не требуется, через резистор $R3$ производится разряд конденсатора C .

Для предотвращения многократного включения выключателя на устойчивое КЗ (что могло бы иметь место в случае залипания контактов реле $KL1$ в замкнутом состоянии) в схеме управления устанавливается специальное промежуточное реле блокировки KBS типа (РП-232), имеющее две обмотки (рабочую – последовательную и удерживающую – параллельную). Оно срабатывает при прохождении тока по катушке электромагнита отключения выключателя YAT и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь питания обмотки контактора KM (включения электромагнита выключателя) размыкается контактом $KBS.1$, предотвращая при этом включение выключателя.

Заметим, что на практике находят применение электрические АПВ однократного действия для масляных выключателей, схема управления которых выполняется с использованием ключа управления без фиксации своего положения. В ней дополнительно устанавливается двухпозиционное промежуточное реле фиксации положения выключателя KQQ . Такая схема строится и работает аналогично рассмотренной и может применяться на подстанциях как с телеуправлением, так и без него.

На практике также широко применяются воздушные выключатели. Нормальная работа их обеспечивается при выполнении условия, что сжатый воздух в их резервуарах находится под определенном давлением. Поэтому в процессе эксплуатации таких выключателей требуется осуществлять контроль за давлением сжатого воздуха и блокировку цепей управления при снижении давления до недопустимого значения.

Необходимый запас сжатого воздуха и его давление должны обеспечиваться также и в цикле неуспешного АПВ (для сохранения номинальной мощности отключения). Контроль за давлением сжатого воздуха и блокировка цепей управления выключателем производится с помощью электроконтактных манометров, настроенных на соответствующие уставки. Поэтому АПВ для воздушных выключателей имеют особенности построения, связанные в первую очередь с наличием в схеме АПВ дополнительных контактов реле *KLP* – повторителя положения контакта манометра. В остальном схемы построения таких АПВ аналогичны.

1.5. Особенности построения устройств АПВ двухкратного действия

Применение двукратного АПВ позволяет повысить эффективность действия автоматики. Успешность действия АПВ при втором включении составляет 10...20 %, что повышает общий процент успешности АПВ до 75...95 %. Двукратное АПВ применяют, как правило, на линиях с односторонним питанием на головных участках кольцевой сети, где возможна работа в режиме одностороннего питания.

В АПВ двукратного действия применяют комплектное устройство типа РПВ-02 (РПВ-258) для линий с масляными выключателями. В отличие от устройства РПВ-01 (РПВ-58), рассмотренного выше, в нем имеется два конденсатора (*C1* и *C2*) и реле времени (*KT*) с тремя или двумя контактами.

Пуск схемы этого АПВ осуществляется так же, как и схемы однократного АПВ (контактом *KQT.1* реле *KQT*), которое срабатывает при отключении выключателя.

Проскальзывающий контакт реле времени замыкается через заданную выдержку времени и создает цепь для разряда конденсатора *C1* на обмотку промежуточного реле *KL1*, которое, сработав, включает выключатель.

В случае успешного АПВ работа схемы прекращается. Если же АПВ было неуспешным (выключатель опять отключился), то вновь срабатывает реле *KQT* и запускается реле времени *KT*. В этом случае при замыкании контактов реле времени (*KT.2*)

промежуточное реле $KL1$ не сработает, так как конденсатор $C1$ к этому времени не успеет зарядиться. Реле времени, продолжая работать, замкнет контакты $KT.3$. При этом под действием разряда конденсатора $C2$ вновь сработает реле $KL1$ и произойдет второй цикл АПВ.

Выдержка времени первого цикла АПВ определяется так же, как и для АПВ однократного действия. Второй цикл должен происходить спустя 10...20 с после вторичного отключения выключателя. Такая большая выдержка АПВ во втором цикле диктуется необходимостью подготовки выключателя к отключению третьего КЗ в случае включения на устойчивое повреждение.

В комплекте РПВ-02 (РПВ-258) время готовности к последующим действиям схемы АПВ после второго цикла составляет 60...100 с.

1.6. Ускорение действия релейной защиты при АПВ

Автоматическое повторное включение при наличии устойчивого КЗ на линии, не имеющей быстродействующей защиты, существенно утяжеляет послеаварийный режим энергосистемы, увеличивает размеры повреждения оборудования и ущерб потребителю по сравнению со случаями АПВ на линиях, оснащенных быстродействующими защитами. Поэтому получило широкое распространение ускорение действия защит при АПВ. При этом по условиям повышения надежности электроснабжения ускорение защит, имеющих выдержки времени, осуществляется и на тех линиях, для которых в качестве основных используются быстродействующие защиты.

Автоматическое ускорение действия релейной защиты при АПВ применяется для ускорения ликвидации КЗ и повышения надежности работы энергосистемы и потребителей.

В настоящее время применяются 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. Оно может выполняться двумя основными способами. У защит с независимой характеристикой предусматриваются две выдержки

времени: одна работает во всех режимах и согласована с выдержками времени смежных защит (селективная), вторая (меньшая, чем первая) вводится в действие на небольшое время при работе АПВ. Так, например, ускоряются вторые ступени дистанционных и токовых защит. Основным требованием к ускорению действия защиты является охват ею всей линии с необходимой чувствительностью. Выдержка времени этих защит обычно принимается около 0,3...0,5 с для обеспечения селективности со смежными мгновенными защитами.

1.6.1. Ускорение защиты после АПВ

Ускорение защиты после АПВ предусматривается в качестве меры повышения надежности защиты линии в целом (как правило, на всех линиях).

Ускорение защиты после АПВ применяют на участках сети, имеющих несколько ступеней избирательной защиты, так как вывод из действия выдержки времени (уменьшение выдержки времени защиты) может привести к ложному срабатыванию защиты. Отключение выключателя после неуспешного АПВ производится мгновенно, для чего к этому моменту выдержка времени МТЗ автоматически выводится из действия.

На рис. 2, а показана схема максимальной токовой защиты, ускоряемой после АПВ (за счет использования мгновенных контактов $KT1.1$ реле времени KT).

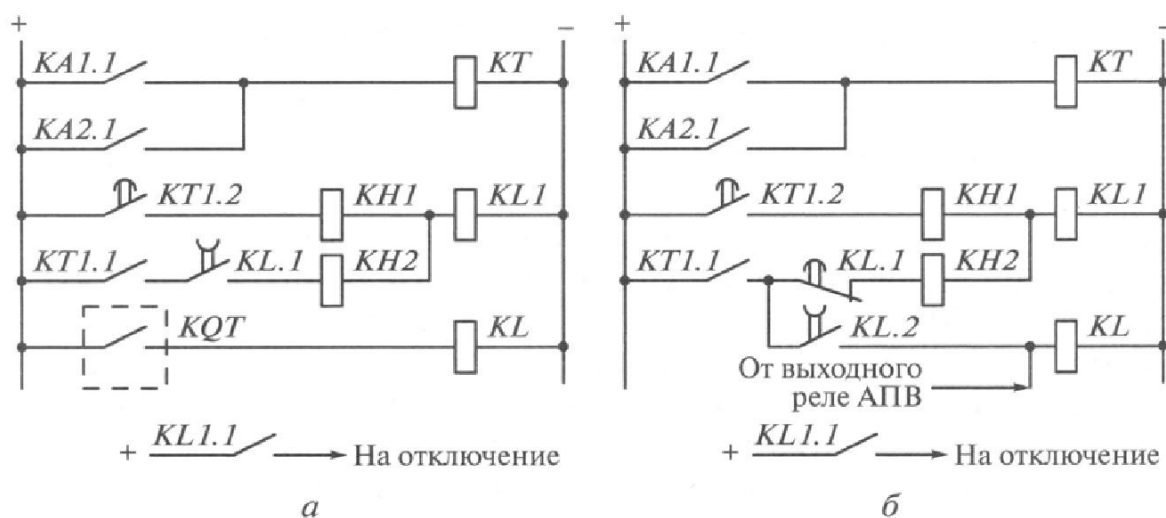


Рис. 2. Схемы ускорения защиты в цикле АПВ: а – после АПВ; б – до АПВ

Цепь ускоренного действия нормально разомкнута контактами ($KL1.2$, см. рис. 1) промежуточного реле ускорения KL , которое срабатывает перед повторным включением выключателя. Оно имеет замедление на возврат (удерживает свои контакты замкнутыми в течение $0,7...1$ с). Поэтому если повторное включение происходит на устойчивое КЗ, то защита второй раз подействует без выдержки времени по цепи ускорения через контакты ($KL2.1$, см. рис. 2, а) реле KL . В качестве реле ускорения обычно используется реле типа РП18-1 (РП-252).

Для запуска промежуточного реле ускорения KL используются контакты реле KQT положения «Отключено» выключателя.

Реле KL , сработав после отключения выключателя селективной защитой, замыкает своими контактами $KL.1$ цепь ускорения. При подаче команды на включение реле KQT возвращается в исходное положение не сразу, а с замедлением $0,7...1,0$ с. Поэтому «плюс» оперативного напряжения с обмотки реле ускорения KL снимается через время, достаточное для срабатывания защиты по цепи ускорения в цикле неуспешного АПВ. Для ускорения защиты в рассмотренном случае могут быть непосредственно использованы контакты реле положения KQT . При этом специальное реле KL не устанавливается, а в качестве реле KQT применяется реле РП-252, имеющее замедление на возврат.

1.6.2. Ускорение защиты до АПВ

Ускорение защиты до АПВ сокращает до минимума время протекания тока КЗ. Благодаря этому уменьшаются вызываемые током КЗ разрушения и увеличивается вероятность успешного АПВ. Суть его заключается в том, что выдержка времени МТЗ выводится из действия, и первое отключение выключателя производится мгновенно. Второе отключение выключателя после неуспешного АПВ выполняется избирательно с выдержкой времени, которая к этому моменту автоматически вводится в действие.

Цепи ускорения защиты до АПВ выполняются аналогично цепям ускорения после АПВ. Пуск реле KL для ускорения защиты до АПВ осуществляется при срабатывании выходного реле АПВ (рис. 2, б). У реле KL при этом используются размыкающие контакты. Цепь ускорения будет замкнута до АПВ и разомкнется при действии АПВ на включение выключателя. Реле KL при этом будет удерживаться в сработавшем положении до тех пор, пока не отключится участок, где произошло КЗ, и не разомкнутся контакты реле защиты.

1.7. Выбор уставок однократных АПВ линий

Для обеспечения правильной работы АПВ (линий с односторонним питанием) выдержка времени на повторное включение выключателя и время автоматического возврата схемы АПВ в исходное положение выбираются по следующим условиям. Выдержка времени АПВ на повторное включение выключателя определяется двумя условиями.

1. Повторное включение отключившегося (например, релейной защитой) выключателя становится возможным после того, как привод установится в положение готовности для включения. Для этого необходимо определенное время, различное для выключателей разных типов. Следовательно, выдержка времени АПВ на повторное включение должна быть больше времени готовности привода, т. е.

$$t_{АПВ1} \geq t_{2.n} + t_{зан}, \quad (1)$$

где $t_{2.n}$ – время готовности привода, которое может изменяться для приводов разных типов в пределах 0,2...1,0 с; $t_{зан}$ – время за-
паса, учитывающее непостоянство времени $t_{2.n}$ и погрешность реле времени устройства АПВ (принимается равным 0,3...0,5 с).

2. Для успешного повторного включения необходимо, чтобы за время от момента отключения линии до момента повторного включения и подачи напряжения не только погасла электрическая дуга в месте КЗ, но и восстановились изоляционные свойства воздуха. Следовательно, выдержка времени АПВ на повторное включение должна быть больше времени деионизации, т. е.

$$t_{АПВ1} \geq t_{\partial} + t_{зан}, \quad (2)$$

где t_{∂} – время деионизации, составляющее 0,1...0,3 с.

Второе условие, как правило, обеспечивается тем, что время включения выключателя больше времени, необходимого для деионизации среды в месте возникновения КЗ.

При выборе уставок АПВ принимается большее из значений $t_{АПВ1}$, полученных по формулам (1) и (2).

На практике в некоторых случаях выдержки времени принимают большими, чем определенные по формулам (1) и (2) – около 2...3 с. Это бывает целесообразно для повышения успешности действия АПВ на линиях, где повреждения наиболее часты (вследствие набросов на провода, падений деревьев и касаний проводов передвижными механизмами).

Время автоматического возврата АПВ в исходное положение выбирается из условия обеспечения однократности действия. Для этого при повторном включении в случае наличия устойчивого КЗ возврат АПВ в исходное положение должен происходить только после того, как выключатель, повторно включенный от АПВ, вновь отключится релейной защитой, имеющей наибольшую выдержку времени.

В рассмотренных ранее схемах АПВ с использованием комплектных устройств типа РПВ-58 время возврата схемы в исходное положение должно удовлетворять следующему неравенству:

$$t_{АПВ2} \geq t_{защ} + t_{отк} + t_{зап}, \quad (3)$$

Где $t_{зап}$ - наибольшая выдержка времени защиты; $t_{отк}$ - время отключения выключателя.

Обычно время заряда конденсатора устройства РПВ-58 составляет 20...25 с, поэтому, как правило, неравенство (3) соблюдается.

В схемах АПВ, возврат которых в исходное положение производит реле времени, запускаемое в момент отключения выключателя, выдержка времени автоматического возврата определяется выражением

$$t_{АПВ2} = t_{АПВ1} + t_{вкл} + t_{защ} + t_{отк} + t_{зап},$$

где $t_{АПВ1}$ определяется на основании формул (1), (2); $t_{вкл}$ – наибольшее время включения выключателя.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторная работа проводится на специальном стенде, предназначенном для изучения устройств автоматики. На вертикальной панели левой половины этого стенда приведена схема трансформаторной подстанции (рис. 3), оборудованной устройствами АПВ на выключателях присоединений, и принципиальная схема устройства АПВ (рис. 1). Эти схемы имитируются на лабораторном стенде.

Шины низшего напряжения ТП получают питание от трансформатора $T1$ через выключатели $Q1, Q2$.

Отходящие присоединения (линии $W1, W2$ и $W3$), оборудованные защитами (МТО, МТЗ) и устройствами автоматики (УАПВ), получают питание от шины низшего напряжения трансформатора через выключатели $Q6, Q7$ и $Q8$ соответственно.

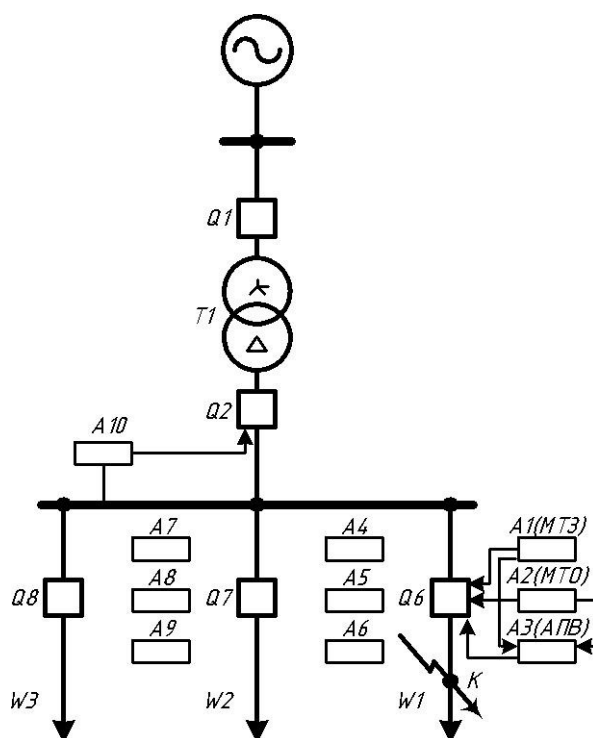


Рис. 3. Структурная схема стенда

Для исследования принципа работы устройства АПВ необходимо:

- установить нормальный режим работы подстанции (все выключатели включены – работают светодиоды красного цвета);
- выбрать вариант работы УАВР и развития восстановления работоспособности сети после возникновения короткого замыкания;
- искусственно создать (имитировать) короткое замыкание (КЗ) на линии $W1$;
- уяснить взаимодействие УАВР с соответствующими элементами схемы подстанции.

При возникновении КЗ на линии $W1$ выключатель $Q6$ отключается с помощью соответствующей защиты (МТО или МТЗ) и происходит запуск АПВ. При этом в зависимости от исходных данных (от предварительно выбранного соответствующим переключателем режима КЗ) возможны два варианта (сценария) развития событий:

- при «АПВ успешном» после возникновения КЗ релейная защита (МТО, МТЗ) срабатывает и отключает выключатель $Q6$; КЗ самоустраняется; происходит запуск АПВ и формируется команда на включение выключателя $Q6$, который включается и питание линии $W1$ восстанавливается;

- при «АПВ неуспешном» аналогично включается выключатель $Q6$, но КЗ на линии оказывается устойчивым, и выключатель $Q6$ вновь отключается соответствующей защитой (повторного пуска АПВ не происходит в виду его однократности действия).

Для реализации АПВ на выключателе $Q6$ в принципиальной схеме стенда использовано реле AKS типа РПВ-01 (аналог реле РПВ-58, устройство и принцип действия описан в разделе 1.4). Это реле установлено на наклонной панели стенда. На ней размещены также следующие вспомогательные элементы.

Автоматический выключатель (АП-50) для подачи питания на стенд (в левом углу горизонтальной панели).

Тумблер «СЕТЬ» – для подключения (отключения) напряжения к схеме устройства АПВ (лампа с аналогичным названием – для отображения соответствующего состояния схемы).

Ключ управления SA – для коммутации режима работы АПВ. Он имеет четыре положения $O1$ – «Отключить», $O2$ – «Отключено», $B1$ – «Включить», $B2$ – «Включено» (из них положения $B2$ и $O2$ фиксируются).

Кнопка «КЗ $W1$ » – для создания искусственного короткого замыкания на отходящей линии $W1$.

Переключатель вида КЗ, имеющий два положения: «АПВ успешное» (т. е. КЗ самоустраняющееся), «АПВ неуспешное» (т. е. КЗ установившееся).

Переключатель уставок времени формирования бестоковой паузы АПВ: 0,5 с; 1 с; 2 с.

Реле KBS (типа РП-16) – промежуточное реле, блокирующее выключатель $Q6$ от многократных включений. Реле KQT (типа РП-252) – промежуточное реле, фиксирующее отключенное состояние выключателя $Q6$. Реле KQC (типа РП-18) – промежуточное реле, фиксирующее включенное состояние выключателя $Q6$. Реле указательное KN – для фиксации факта срабатывания АПВ.

Для проведения лабораторной работы необходимо выполнить следующие действия.

1. Подать питание на стенд (включить автоматический выключатель). Убедиться в том, что элементы подстанции работают в нормальном режиме (работают красные светодиоды на всех выключателях, зеленые светодиоды включаются при отключении соответствующего элемента схемы).

2. Подать питание на устройство АПВ (переключатель «СЕТЬ» поставить в положение «ВКЛ»). Загорается красная лампочка с аналогичным названием; срабатывает реле KQC , фиксирующее факт включенного состояния выключателя $Q6$.

3. Произвести ручную включение выключателя $Q6$ (установить ключ управления SA в положение $B2$).

4. Подготовить вариант успешного срабатывания АПВ (установить переключатель вида КЗ в положение «АПВ успешное»).

5. Выбрать уставку по времени срабатывания АПВ (0,5 с).

6. Создать искусственное самоустраняющееся КЗ на отходящей линии $W1$ (нажать кнопку «КЗ $W1$ »).

7. Зафиксировать срабатывание выключателя $Q6$ и устройства АПВ (реле РПВ-01 и других элементов схемы). Объяснить работу АПВ в данном режиме в течение всего цикла.

8. Выдержать необходимое время заряда конденсатора C (20...30 с) для проведения следующего опыта запуска УАПВ.

9. Подготовить вариант неуспешного срабатывания АПВ (установить переключатель вида КЗ в положение «АПВ неуспешное»).

10. Создать искусственное устойчивое КЗ на отходящей линии $W1$ (нажать кнопку «КЗ $W1$ »).

11. Зафиксировать действия выключателя $Q6$ и устройства АПВ (реле РПВ-01 и других элементов схемы). Объяснить работу АПВ в данном режиме в течение всего цикла и отсутствие многократности его действия.

12. Отключить стенд от сети.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Уяснить основные теоретические положения и кратко законспектировать их.

2. Ознакомиться со стендом, на котором проводится лабораторная работа.

3. Уяснить принцип работы устройства АПВ (по принципиальной схеме).

4. Выполнить действия, указанные в методических указаниях.

5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ

1. Назначение устройств АПВ.

2. Требования, предъявляемые к устройствам АПВ.

3. Классификация АПВ (по заданному критерию).

4. Работа схемы устройства АПВ линии с односторонним питанием.

5. Работа схемы ускорения защиты в цикле АПВ (после АПВ и до АПВ).
6. Успешное действие АПВ.
7. Способы пуска АПВ.
8. Неуспешное действие АПВ.
9. Выдержка времени срабатывания устройства АПВ (на повторное включение).
10. Время готовности привода коммутационного аппарата.
11. Время деионизации среды.
12. Время автоматического возврата АПВ.
13. Особенности построения многократных АПВ.
14. Типы ускорений действия релейной защиты при АПВ и их сущность.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете по лабораторной работе следует представить следующие основные компоненты.

1. Краткое описание основных теоретических положений.
2. Принципиальная схема АПВ и порядок ее работы.
3. Расчет параметров АПВ.
4. Выводы по результатам опытов и расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В лабораторной работе студент изучает следующие основные компоненты: краткое описание основных теоретических положений; принципиальная схема АПВ и порядок ее работы; расчет параметров АПВ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычев, А. В. Релейная защита в распределительных сетях [Электронный ресурс]: пособие для практических расчетов / А. В. Булычев, А. А. Наволочный. – М.: ЭНАС, 2011. – 206 с. –

Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/58493>.

2. Юндин, М. А. Токовая защита электроустановок [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. А. Юндин. – СПб.: Лань, 2011. – 288 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1802.

3. Плащанский, Л. А. Основы электроснабжения. Раздел «Релейная защита электроустановок» [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л. А. Плащанский. – М.: Московский государственный горный университет, 2008. – 143с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/99348>.

4. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов / В. А. Андреев. – М.: Высш. шк., 2007. – 639 с.

5. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем: учеб. для техникумов / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. –М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.