

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

П Р А К Т И К У М П О С А У П Т У

Учебное пособие
по дисциплине «Системы автоматического управления ПТУ»

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 621.316.925 (075.8)

ББК 31.27-051я73

П69

Р е ц е н з е н т ы :

К.Б. Матузаев – канд. техн. наук, доцент

Ю.В. Браславский – канд. техн. наук, доцент

Коллектив авторов: Т.Г. Зацаринная,
К.П. Аникевич, А.А. Скидан, В.А. Нурзай

П69 Практикум по САУ ПТУ: учебное пособие по дисциплине «Системы автоматического управления ПТУ» / Т.Г. Зацаринная, К.П. Аникевич, А.А. Скидан, В.А. Нурзай; Севастопольский государственный университет, Институт ядерной энергии и промышленности. – Севастополь: СевГУ, 2024. – 78 с.: ил. – Текст : электронный.

Данное учебное пособие содержат краткие теоретические сведения по релейной защите и автоматизации линий электропередач и предназначено для оказания помощи студентам при подготовке и выполнении практических работ. В пособие представлена структура и указаны требования по оформлению практической работы.

Учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по специальности: 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», специализация – «Системы контроля и управления АС (СКУ АС).

УДК 621.316.925 (075.8)

ББК 31.27-051я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании Ученого совета Института ядерной энергии и промышленности в качестве учебного пособия по проведению лабораторных работ для студентов направления подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», профиль подготовки «Системы контроля и управления атомных станций», протокол № 2 от 26 октября 2021 г.

© Зацаринная Т.Г., Аникевич К.П.,
Скидан А.А., Нурзай В.А., 2024
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения	5
1.1	Модульный состав экспериментального стенда	12
1.2	Рекомендации по оформлению практической работы	15
2	Практические работы по теме «Релейная защита линий электропередач»	17
2.1	Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия токовой отсечки без выдержки времени	17
2.1.1	Общие сведения	17
2.1.2	Порядок выполнения работы	20
2.2	Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени	23
2.2.1	Общие сведения	23
2.2.2	Порядок выполнения работы	26
2.3	Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с пуском по напряжению	29
2.3.1	Общие сведения	29
2.3.2	Порядок выполнения работы	32
2.4	Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с ограниченно-зависимой выдержкой времени	35
2.4.1	Общие сведения	36
2.4.2	Порядок выполнения работы	40
2.5	Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия защиты от однофазных коротких замыканий на землю	43
2.5.1	Общие сведения	44
2.5.2	Порядок выполнения работы	44
2.6	Изучение принципа действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи	47
2.6.1	Общие сведения	48
2.6.2	Порядок выполнения работы	48
2.7	Изучение принципа действия дифференциальной защиты трансформатора и особенностей настройки параметров дифференциальных реле с торможением типа ДЗТ-11	51
2.7.1	Общие сведения	52
2.7.2	Порядок выполнения работы	52
2.8	Изучение принципа действия дифференциальной защиты шин	57

2.8.1	Общие сведения	57
2.8.2	Порядок выполнения работы	57
3	Практические работы по теме «Автоматическая защита линий электропередач»	61
3.1	Изучение особенностей взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты	61
3.1.1	Общие сведения	61
3.1.2	Порядок выполнения работы	61
3.2	Изучение особенностей взаимодействия устройств АПВ шин и устройств релейной защиты	65
3.2.1	Общие сведения	65
3.2.2	Порядок выполнения работы	66
3.3	Изучение особенностей автоматического включения резерва питающего присоединения	69
3.3.1	Общие сведения	69
3.3.2	Порядок выполнения работы	70
3.4	Изучение особенностей автоматического включения резерва секционного выключателя	72
3.4.1	Общие сведения	72
3.4.2	Порядок выполнения работы	73
	Приложение А	76
	Список литературы	77

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основными требованиями, предъявляемыми к электроснабжению потребителей, являются надежность и бесперебойность подачи электроэнергии. Транспортные энергетические потоки электрических сетей занимают сотни и тысячи километров, на таких расстояниях на линиях электропередач (ЛЭП) могут воздействовать различные природные и физические процессы, которые повреждают оборудование, создают токи утечек или коротких замыканий. Чтобы не допустить распространения аварий, любые линии электропередач оборудованы защитами, которые постоянно в реальном времени отслеживают все необходимые параметры электрической энергии и в случаях, когда создается неисправность, быстро отключают питание с ЛЭП работой силового выключателя.

Повреждения ЛЭП могут происходить по различным причинам с разной продолжительностью. Их принято разделять на две группы, действующие: кратковременно, длительно. Причины повреждаемости воздушных линий электропередачи в основном объясняются следующими факторами:

- **атмосферные перенапряжения** на линиях возникают из-за грозовых явлений. При таких кратковременных перенапряжениях часто возникают пробой изоляционных промежутков и в частности перекрытие изоляции, а иногда и ее разрушение или повреждение. Перекрытие изоляции обычно сопровождается возникновением электрической дуги, которая поддерживается и после перенапряжения, т. е. при рабочем напряжении. Образование дуги означает короткое замыкание, поэтому место повреждения надо автоматически отключать;

- **коммутационные (внутренние) перенапряжения** возникают при включении и отключении выключателей. Действие их на изоляцию сетевых устройств аналогично действию атмосферных перенапряжений. Место перекрытия тоже надо отключать автоматически;

- **изменения температуры воздуха** достаточно велики, интервал может быть от - 40 до +40 °С, кроме того, провод воздушной линии нагревается током и при экономически целесообразной мощности температура провода на 2...5° выше, чем воздуха;

- **понижение температуры воздуха** увеличивает допустимую по нагреву температуру и ток провода. Одновременно с этим при понижении температуры уменьшается длина провода, что при фиксированных точках закрепления повышает механические напряжения;

- **повышение температуры проводов** приводит к их отжигу и снижению механической прочности. Кроме того, при повышении температуры провода удлиняются и увеличиваются стрелы провеса. В результате могут быть нарушены габариты воздушной линии и изоляционные расстояния, т. е. снижены надежность и безопасность работы воздушной линии электропередачи;

- **действие ветра** приводит к появлению дополнительной горизонтальной силы, следовательно, к дополнительной механической нагрузке на провода, тросы и опоры. При этом увеличиваются натяжения проводов и тросов и механические напряжения их материала. Появляются также дополнительные изгибающие усилия на опоры. При сильных ветрах возможны случаи одновременной поломки ряда опор линии;

- **гололедные образования** на проводах возникают в результате попадания капель дождя и тумана, а также снега, изморози и других переохлажденных частиц. Гололедные образования приводят к появлению значительной механической нагрузки на провода, тросы и опоры в виде дополнительных вертикальных сил. Это снижает запас прочности проводов, тросов и опор линий. На отдельных пролетах изменяются стрелы провеса проводов, провода сближаются, сокращаются изоляционные расстояния. В результате гололедных образований возникают обрывы проводов и поломки опор, сближения и схлестывания проводов с перекрытием изоляционных промежутков не только при перенапряжениях, но и при нормальном рабочем напряжении;

- **вибрация** - это колебания проводов с высокой частотой (5...50 Гц), малой длиной волны (2...10 м) и незначительной амплитудой (2...3 диаметра провода). Эти колебания происходят почти постоянно и вызываются слабым ветром, из-за чего появляются завихрения потока, обтекающего поверхность провода воздуха. Из-за вибраций наступает «усталость» материала проводов и происходят разрывы отдельных проволок около мест закрепления провода близко к зажимам, около опор. Это приводит к ослаблению сечения проводов, а иногда и к их обрыву.

- **«пляска» проводов** - это их колебания с малой частотой (0,2...0,4 Гц), большой длиной волны (порядка одного-двух пролетов) и значительной амплитудой (0,5...5 м и более). Длительность этих колебаний, как правило, невелика, но иногда достигает нескольких суток. Данное явление обычно наблюдается при сравнительно сильном ветре и гололеде, чаще на проводах больших сечений. При этом возникают большие механические усилия, действующие на провода и опоры часто вызывающие обрывы проводов, а иногда и поломку опор. При пляске проводов сокращаются изоляционные расстояния, из-за большой амплитуды колебаний в некоторых случаях провода схлестываются, из-за чего возможны перекрытия при рабочем напряжении линии. Пляска проводов наблюдается сравнительно редко, но приводит к наиболее тяжелым авариям воздушных линий электропередачи.

- **загрязнение воздуха**, вызванное присутствием частичек золы, цементной пыли, химических соединений (солей) и т. п. Осаждение этих частиц на влажной поверхности изоляции линии и электротехнического оборудования приводит к появлению проводящих каналов и к ослаблению изоляции с возможностью ее перекрытия не только при перенапряжениях, но и при нормальном рабочем напряжении. Загрязнение из-за большого наличия

солей в воздухе на побережье моря может привести к активному окислению алюминия и нарушению механической прочности проводов.

На надежность работы воздушных линий влияют и некоторые другие условия их работы, например свойства грунта, что особенно важно для воздушных линий Крайнего Севера.

На повреждаемость воздушных линий электропередачи с деревянными опорами влияет гнивание их древесины.

Для того, чтобы обеспечить непрерывную и эффективную работу линии электропередачи, необходимо по возможности оградить ЛЭП от негативных воздействий окружающей среды.

Так, для защиты ЛЭП от птиц разработаны специальные устройства. Чтобы не допустить выхода из строя воздушной линии электропередачи из-за птиц, на оголённый провод в месте соединения его с изолятором надевается пластиковый чехол. Такие устройства позволяют снизить количество отключений, а также продлевают срок службы изоляторов.

При ухудшении погодных условий (в частности, при грозе) разработаны и применяются так называемые длинно-искровые разрядники. Помимо прочего, для непрерывной работы линии электропередачи необходимо произвести защиту ЛЭП от короткого замыкания, вызываемого скачками напряжения. Чтобы не допустить выхода из строя ЛЭП, на неё устанавливаются различного рода защиты.

Средствами защиты являются специальные устройства, выполненные на основе реле, что оправдывает их название релейная защита и автоматика (РЗА). В настоящее время существует много различных устройств, способных в короткие сроки блокировать возникшую аварию в электрической сети, либо подать предупредительный сигнал о возникновении аварийного режима.

а) Релейная защита и автоматика бывают различных видов:

- **максимальная токовая защита**, включается при достижении определенной величины тока, заданной при настройке;

- **направленная наибольшая токовая защита**, кроме настройки тока учитывает направление мощности;

- **дифференциальная**, применяется для защиты сборки генераторов, трансформаторов, шин путем сравнения величин токов на выходе и входе. При разнице, превышающей заданное значение, срабатывает релейная защита;

- **газовая и струйная**, применяется для обесточивания трансформатора и других устройств, работающих в емкостях с маслом. При возникновении неисправностей образуется повышенная температура, и из масла выделяются газы, снижается диэлектрическое свойство масла и разлагается его химический состав. На такие аварийные режимы срабатывают механические реле, которые действуют с учетом возникновения газа в емкости, а также веществ, образующихся при разложении масла. При срабатывании защиты подается команда на действие логической схемы;

- **логическая**, защищает шины, применяется для определения места короткого замыкания на питающих линиях, которые отходят от шин электростанции, и на шинах;

- **дистанционная**, имеющая блокировку по оптическому каналу, является более надежным способом защиты, в отличие от дистанционной защиты с ВЧ блокировкой, так как электрические помехи не оказывают большого влияния на оптический канал;

- **дистанционная с ВЧ блокировкой**, применяется для обесточивания воздушных линий при возникновении коротких замыканий;

- **удаленная защита** используется в сложных схемах сетей, где из-за чувствительности и быстродействия не могут применяться простые виды защит. Защита выявляет расстояние до места аварии или короткого замыкания, и в зависимости от расстояния срабатывает с большей или меньшей задержкой по времени;

- **дифференциально-фазная**, используется для контроля фаз по концам линии питания. При превышении настроенного значения тока, реле обесточивает линию;

- **защита минимального напряжения**. В аварийных режимах, особенно при коротком замыкании, возможна просадка напряжения. Для обеспечения отключения электрооборудования при снижении напряжения ниже критического значения предназначена защита минимального напряжения. Такая защита в свою очередь делится на групповую и индивидуальную:

- **групповая защита** отключает группу потребителей с помощью реле минимального напряжения, которое работает совместно с промежуточным реле, отключающим своими силовыми контактами целую группу потребителей нагрузки. Такая релейная защита используется чаще всего на электростанциях для создания надежности функционирования наиболее ответственного оборудования при кратковременном резком снижении напряжения. Она отключает на время падения напряжения менее ответственное оборудование, для создания более благоприятных условий ответственных электрических устройств;

- **индивидуальная защита** работает аналогичным образом, но отключает только один потребитель;

- **защита максимального напряжения**. Имеется два вида реле, защищающих потребителей от повышенного напряжения. Первый вид – это защита, действующая по принципу отвода удара молнии по молниеотводу на контур заземления. Второй вид – это устройства, компенсирующие энергию рассеянным теплом во внешнюю среду. Они не применяют релейную основу, а действуют сразу в силовой схеме. Защита максимального напряжения проектируется по принципу минимальных, с такими же измерительными элементами. Реле настраивается на срабатывание по уставке повышения напряжения, превосходящей некоторый допустимый предел напряжения эксплуатации цепи.

б) Некоторые виды автоматики предназначены для подачи электроэнергии, в отличие от релейной защиты:

- **автоматическая частотная разгрузка**, выключает электрические устройства при снижении частоты тока в сети.
- **автоматическое повторное включение**, используется на линиях электропередач выше 1000 вольт, а также в сборках трансформаторов, электродвигателей и шин подстанций.
- **автоматический ввод резерва**, применяется при коммутации генератора в сеть в качестве резервного источника питания электроэнергией.

Электромеханические конструкции релейной защиты постоянно модернизируются и совершенствуются. Внедряются инновационные технологические разработки и проекты. В новейших энергетических системах объединены статические, индукционные, электромагнитные устройства с микропроцессорными и полупроводниковыми элементами. Однако основной смысл и порядок работы релейной защиты для всех новых устройств остается неизменным. Схема структуры релейной защиты показана на рисунке 1.1.



Рис. 1.1 – Схема структуры релейной защиты

- 1 - электрический сигнал; 2 - блок наблюдения электрических процессов;
3 - блок логики и анализа; 4 - исполнительный блок; 5 - сигнальный блок

Главной функцией блока наблюдения является мониторинг электрических процессов, происходящих в электрической системе, путем измерений такими устройствами, как трансформаторы напряжения и тока. Сигналы выхода на блоке могут передаваться непосредственно логическому блоку для сравнения параметров с настроенными пользователем значениями отклонений от нормальных значений, которые называются уставками. Также сигналы блока наблюдения могут сначала преобразовываться в цифровой вид, а затем передаваться дальше.

В блоке логики выполняется сравнение поступивших сигналов с предельными значениями уставок. Даже незначительное совпадение этих параметров между собой приводит к возникновению команды на срабатывание защиты.

Исполнительный блок все время находится в состоянии, готовом к срабатыванию, при поступлении команды от блока логики. При срабатывании осуществляются переключения цепи электроустановки по запланированному алгоритму, который составлен по принципу недопущения неисправностей электрооборудования и удара электрическим током работников.

В электрической системе все процессы происходят очень быстро, поэтому человек не в состоянии воспринимать их. Чтобы сохранить происходящие в системе события, применяют специальные сигнальные устройства (*сигнальный блок*). Которые работают путем звукового и визуального оповещения, а также сохраняют все происходящие события в памяти устройства.

Все виды устройств после их срабатывания переводятся в исходное состояние оператором вручную. Это позволяет гарантированно сохранить информацию о действии автоматики и релейной защиты.

Релейная защита может иметь нарушения в своей работоспособности, которые выражаются следующими факторами:

- ложные срабатывания при исправной электрической системе и отсутствии каких-либо повреждений;
- излишние сработки, когда не требуется работа исполнительного блока;
- повреждения внутри устройства защит.

Чтобы исключить отказы при функционировании релейной защиты, вырабатываются специальные требования к ней при проектировании, установке, настройке с запуском в работу, и техническом обслуживании:

- надежность функционирования.
- чувствительность к моменту запуска оборудования.
- быстродействие (время сработки).
- селективность.

Принцип надежности определяется: безотказностью в эксплуатации; пригодностью к ремонту; долгим сроком службы; сохраняемостью. Каждый из этих факторов имеет свою оценку.

Обслуживание и эксплуатация релейной защиты имеет три варианта надежности по срабатыванию при: внутренних КЗ в рабочей зоне; возникновении внешних КЗ за границей рабочей зоны; работе без неисправностей.

Надежность устройств защиты бывает: *эксплуатационная* и *аппаратная*.

Принцип чувствительности дает возможность определить виды предполагаемых расчетных повреждений и ненормальных режимов энергетической системы в рабочей зоне защиты. Чтобы определить его числовое значение, используется коэффициент чувствительности K_q . Коэффициент рассчитывается отношением наименьшего тока короткого замыкания рабочей зоны к величине тока срабатывания: $K_q = I_{кз.min} / I_{сз}$.

Релейная защита работает в нормальном режиме при: $I_{сз} / I_{кз.min}$. Наиболее приемлемая величина коэффициента чувствительности находится в диапазоне 1,5...2.

Время обесточивания поврежденного участка (принцип быстрого действия) состоит из двух составляющих: сработки защиты и действия привода выключателя. Первую составляющую можно отрегулировать, начиная от наименьшего значения, которое зависит от устройства защиты и числа применяемых элементов. Задержка по времени на сработку формируется, путем внедрения в схему специальных реле, имеющих возможность регулировки. Она применяется для наиболее удаленных защит.

Устройства, находящиеся рядом с местом неисправности, должны настраиваться на действие с наименьшими возможными диапазонами времени на срабатывание.

Принцип селективности по-другому называется избирательностью. С помощью нее можно найти и локализовать место возникшего повреждения в структуре сети любой сложности. Например, генератор вырабатывает и подает электроэнергию различным потребителям, находящимся на участках 1, 2, 3 (рис. 1.2), которые оснащены каждый своей защитой. При коротком замыкании внутри устройства потребителя на 3-м участке, ток будет протекать по всем устройствам защиты, начиная от источника питания. Но в таком случае целесообразно будет отключить цепь участка, имеющего неисправность электродвигателя, при этом оставляя в работе остальные исправные потребители. Для этого существуют уставки релейной защиты, отдельно для каждой цепи, еще на стадии проектирования схемы защиты.

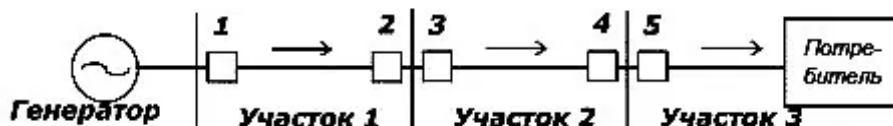


Рис. 1.2 – Защита участков электрической цепи

Устройства защиты 5, 3-го участка должны обнаружить ток неисправности раньше, и оперативнее сработать, отключив поврежденный участок от цепи генератора. Поэтому значения токовых и временных установок на каждом участке снижаются от генератора к потребителю, по принципу: чем дальше от неисправного места, тем ниже чувствительность.

В результате исполняется принцип резервирования, который учитывает возможность поломки любых устройств, включая системы защиты более низкого уровня. Это означает, что при повреждении защиты 5 участка №3, при возникновении аварии должны сработать устройства защиты 3 или 4 участка 2. А эти участки в свою очередь подстрахованы устройствами защиты участка 1.

Релейная защита как отдельный блок является самостоятельной схемой. Он входит в общие комплексы, которые составляют систему противоаварийного управления энергетической системы. В такой системе все элементы взаимосвязаны между собой и выполняют поставленные задачи в комплексе.

Для изучения принципов действия релейной защиты и автоматики ЛЭП в лабораторных условиях реализован экспериментальный стенд, на базе которого проводятся практические работы.

1.1. Модульный состав экспериментального стенда

Практически все модули, входящие в состав стенда, имеют трехфазное исполнение. Некоторые из них позволяют регулировать значения отдельных параметров, или управлять их работой. Изображение схем в трехфазном варианте с полным изображением внешнего вида каждого модуля и одновременном использовании более 10 различных модулей приводит к «не читаемости» схемы. По этой причине, большинство схем, приведенных в рекомендациях по выполнению практических работ, изображены в общепринятом виде в однофазном исполнении. Однако, разделение на модули сохраняется (каждый модуль выделен пунктирным прямоугольником).

Модули, поддерживающие режим автоматического управления от персонального компьютера содержат в обозначении знак стрелки: при этом, подразумевается аналоговое и (или) дискретное управление по нескольким сигнальным проводам. В схемах работ, не использующих автоматическое (дистанционное) управление, знак стрелки может не указываться.

В состав стенда входят следующие модули:

1) *Модуль однофазных трансформаторов.* Содержит 3 однофазных трансформатора с первичной обмоткой на 380В и вторичной обмоткой на 220В (с отпайкой на 127 В). На схемах лабораторных испытаний модуль обозначается как трехфазный (рис. 1.3), с указанием схем соединения обмоток и величины ЛИНЕЙНОГО напряжения на каждой стороне трансформатора.



Рис. 1.3 – Обозначение на схеме модуля однофазных трансформаторов

Приведенное обозначение соответствует следующей схеме соединения обмоток (рис. 1.4).

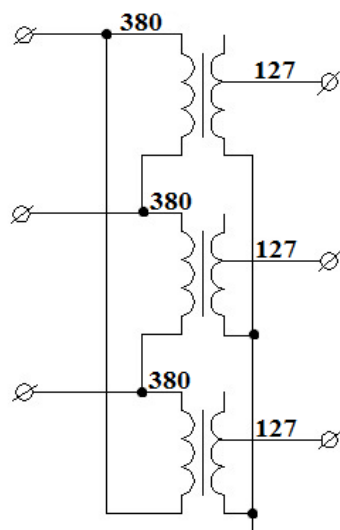


Рис. 1.4 – Схема соединения обмоток модуля однофазных трансформаторов

На каждой стороне трансформатора указаны напряжения, соответствующие номинальным напряжениям обмоток силовых трансформаторов. При работе стенда, реальные напряжения могут быть и ниже. Ниже показаны варианты соединения обмоток трансформаторов, обеспечивающие получение различных коэффициентов трансформации (рис. 1.5).

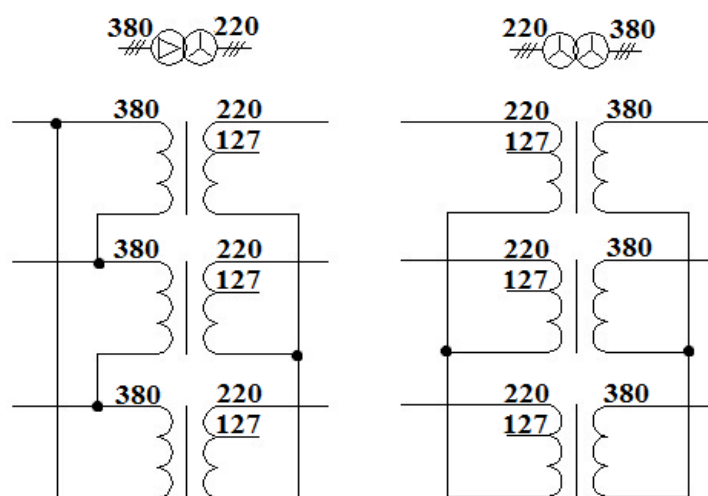


Рис. 1.5 – Схема соединения обмоток модуля однофазных трансформаторов с различными коэффициентами трансформации

2) *Модуль трехфазной сети.* Содержит источник трехфазного напряжения 380В и управляемый трехфазный выключатель. Обозначение на схемах (рис. 1.6).

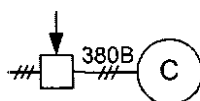


Рис. 1.6 – Обозначение на схеме модуля трехфазной сети.

3) *Модуль выключателя.* Содержит управляемый трехфазный выключатель. Если автоматическое управление (от персонального компьютера) не задействовано, стрелка дистанционного управления может быть не указана, Обозначение на схемах показано на рис. 1.7.

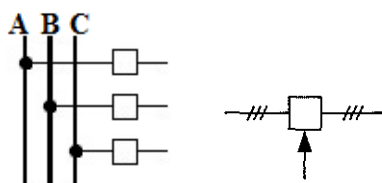


Рис. 1.7 – Обозначение на схеме модуля выключателя

4) *Модуль линии электропередач.* Содержит трехфазную модель линии электропередач (рис. 1.8) с изменяемой величиной ее продольной активной, продольной индуктивной и поперечной емкостной составляющих. При этом, емкостная составляющая может быть отключена.

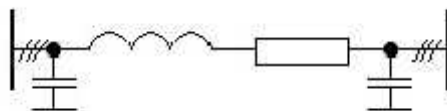


Рис. 1.8 – Обозначение на схеме модуля линии электропередач

5) *Модуль измерительный.* Содержит 2 вольтметра и 2 частотомера и обозначается на схемах как показано на рис. 1.9.

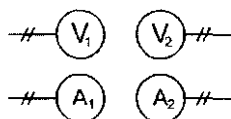


Рис. 1.9 – Обозначение на схеме модуля измерительного

6) *Модуль ввода-вывода.* Содержит 3 датчика тока, 3 датчика напряжений разъемы аналогового (XS1..XS2) и дискретного управления (XS3..XS8). Обозначение на схемах показано на рис. 1.10.

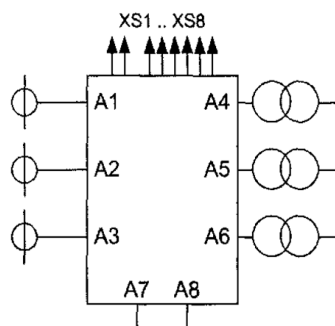


Рис. 1.10 – Обозначение на схеме модуля ввода-вывода

Датчики тока и датчики напряжения входят в состав модуля, но для повышения наглядности схем, изображаются непосредственно в цепях измерения.

7) *Активная нагрузка.* Содержит 3 регулируемых активных сопротивления. Обозначение на схемах (рис.1.11):

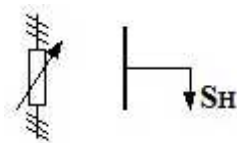


Рис. 1.11 – Обозначение на схеме модуля активная нагрузка.

8) *Измеритель мощности.* Представляет собой трехфазный измеритель активной мощности, реактивной мощности, фазных токов, напряжений и частоты. Обозначение на схемах (рис. 1.12):

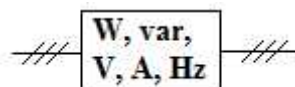


Рис. 1.12 – Обозначение на схеме модуля измеритель мощности.

9) *Модуль питания стенда.* Автомат подачи питания на все модули стенда. На схемах лабораторных испытаний не обозначен.

Дополнительная информация по модулям стенда содержится в его техническом описании.

1.2 Рекомендации по оформлению практической работы

Пояснительная записка практической работы должна содержать следующее:

- название и цель практической работы;
- письменные ответы на контрольные вопросы по теме практического задания;
- схему оборудования по теме практической работы;
- расчеты и полученные результаты, выполненных работ;
- выводы о результатах проделанной работы.

Практическая работа оформляется в рабочей тетради или на листах стандартного формата А4 (297х210 мм). Форма титульного листа представлена в Приложении А.

Изложение выполненной практической работы по заданной теме должно быть логичным, четким и кратким, а терминология и определения – едиными и соответствовать установленным стандартам или общепринятым терминам в научно-технической литературе.

Условные буквенные обозначения физических, математических и других величин, а также условные графические обозначения должны соответствовать установленным стандартам. Все обозначения в формулах должны быть пояснены.

Иллюстрации в отчете по практической работе (схемы, графики и пр.)

должны нумероваться и иметь тематические наименования, а при необходимости снабжаться подрисуночными текстами. Графики должны выполняться в масштабе.

В конце работы необходимо представить выводы по работе.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

2.1. Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия токовой отсечки без выдержки времени

Цель работы:

- изучить принцип действия токовой отсечки без выдержки времени;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность токовой отсечки.

2.1.1. Общие сведения

Токовая отсечка – это разновидность максимальной токовой защиты (МТЗ) с ограниченной зоной действия, предназначенная для быстрого отключения короткого замыкания (КЗ). Отличие отсечки от МТЗ в отсутствии у токовой отсечки реле времени.

Принцип действия защиты основан на сравнении токов фаз с током срабатывания защиты, при превышении тока в любой из фаз тока уставки, защита подает сигнал на отключение выключателя защищаемой линии мгновенно (токовая отсечка без выдержки времени) или с выдержкой времени (0,3...0,6 с).

Селективность действия токовой отсечки достигается ограничением ее зоны действия (около 80 % от длины защищаемой линии). Это достигается отстройкой пусковых органов защиты от максимально возможного тока короткого замыкания на шинах противоположной подстанции, получающей питание по защищаемой линии. Токовые отсечки применяются как в радиальных сетях с односторонним питанием, так и в сети, имеющей двустороннее питание. В сети с глухозаземленной нейтралью применяют трехфазные схемы, защищающие от коротких замыканий всех видов.

Ниже рассмотрим принцип действия различных токовых отсечек и их расчет:

1. Мгновенная токовая отсечка на линии с односторонним питанием.

Зона действия токовой отсечки определяется графически (рис. 2.1). На рисунке защищаемая линия располагается между точками АВ и для ее определения сначала строится кривая зависимости значения тока короткого замыкания от расстояния до точки КЗ. Точка КЗ в нашем примере – это конец линии, точка А.

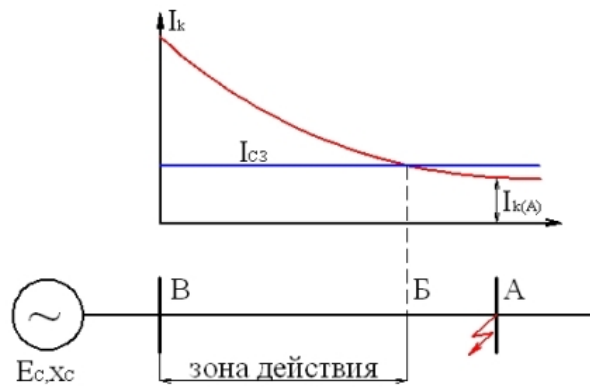


Рис. 2.1 – Зона действия токовой отсечки на линии с односторонним питанием

Затем строится прямая параллельная оси расстояния равная току срабатывания защиты. Область пересечения прямой и кривой представляет собой зону действия защиты. В нашем примере зона действия защиты – это отрезок ВБ.

Также зону действия токовой отсечки можно определить по выражению

$$x_{отс} = \frac{100}{x_l} \cdot \left(\frac{E_c}{I_{сз}} - x_c \right),$$

где $x_{отс}$ - зона действия токовой отсечки, выраженная в %; x_l – сопротивление линии, для которой отстраивается защита; E_c – эквивалентная ЭДС генераторов системы; x_c – сопротивление системы.

Ток срабатывания защиты $I_{сз}$ определяется как

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{к.мах},$$

где k_n – коэффициент надежности; $I_{к.мах}$ – максимальный ток короткого замыкания в конце линии.

Коэффициент надежности учитывает погрешности при расчете тока КЗ и погрешность срабатывания реле.

Коэффициент чувствительности отсечки рассчитывается по формуле

$$k_u = \frac{I_{к.мах(В)}}{I_{сз}},$$

где $I_{к.мах(В)}$ - максимальный ток КЗ в начале защищаемой линии, в примере это точка В.

2. Мгновенная токовая отсечка на линии с двусторонним питанием.

Рассмотрим схему линии с двусторонним питанием, т.е. по обоим концам которой расположены генераторы (рис. 2.2). В конце линии, с ее обеих сторон, за максимальный ток короткого замыкания принимают тот из токов, величина которого будет больше.

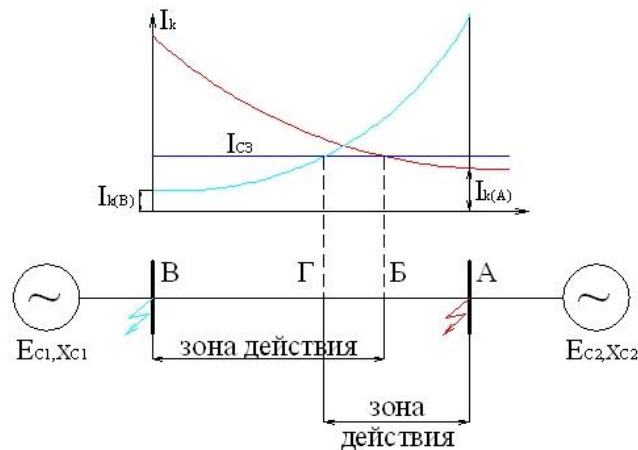


Рис. 2.2 – Зона действия токовой отсечки на линии с двусторонним питанием

На линиях с двусторонним питанием ставится два комплекта отсечек с обеих сторон линии. Зоны действия определяются аналогично, как и для линии с односторонним питанием. На рис. 2.2 показаны две отсечки: одна отсечка защищает при КЗ в точке А, а вторая при КЗ в точке В. Зона действия первой – ВБ, второй – АГ. За максимальный ток КЗ в данном случае принимается больший ток $I_k(A)$. Значение $I_k(A)$ и берется за расчетное.

Для рассмотренного случая при $I_{кЗА} > I_{кЗБ}$ имеем: $I_{сзГ} = I_{сзз} = k_n \cdot I_{кЗА}$.

3. *Токовая отсечка трансформатора* является самой простой защитой трансформатора, которая защищает его от однофазных и междуфазных коротких замыканий. Принцип действия аналогичен принципу действия токовой отсечки линии (рис. 2.1).

Отсечка не будет срабатывать при повреждениях, сопровождаемых малыми токами, например, витковые замыкания, замыкания на землю в обмотке. Если на трансформаторе установлена дифференциальная защита, то токовая отсечка не требуется.

Ток срабатывания токовой отсечки отстраивается от броска тока намагничивания и от максимального тока короткого замыкания за трансформатором. Бросок тока намагничивания, который появляется при пуске трансформатора, составляет 3...5 от номинального.

Ток срабатывания токовой отсечки определяется:

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{кз.мах}$$

$$I_{сз} > I_{намаг.},$$

где k_n – коэффициент надежности, зависит от типа реле; $I_{кз.мах}$ – максимальный ток короткого замыкания за трансформатором; $I_{намаг.}$ – ток намагничивания трансформатора, равный 3...5 от номинального тока трансформатора.

Ток срабатывания реле $I_{ср}$ (уставка) определяется по формуле

$$I_{cp} = \frac{I_{c3} \cdot k_{cx}^{(3)}}{n_{TT}},$$

где $k_{cx}^{(3)}$ – коэффициент схемы; I_{c3} – ток срабатывания защиты; n_{TT} – коэффициент трансформации трансформатора

Коэффициент чувствительности токовой отсечки трансформатора можно посчитать по формуле

$$K_q = \frac{I_{c3} \cdot k_{cx}^3}{n_{TT}}$$

Для защиты от междуфазных коротких замыканий используется двухфазная схема «неполная звезда». В сети с изолированной нейтралью или заземленной через большое сопротивление применяются двухфазные схемы. Основными достоинствами токовой отсечки являются ее простота и высокое быстродействие. Основной недостаток - зона действия отсечки охватывает лишь часть защищаемой линии, что требует применения совместно с токовой отсечкой других видов защит, например максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени.

2.1.2. Порядок выполнения работы

1) До начала выполнения практических заданий на рабочем стенде необходимо убедиться в том, что **ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!**

2) Собрать схему для испытаний в соответствии с рис. 2.3.

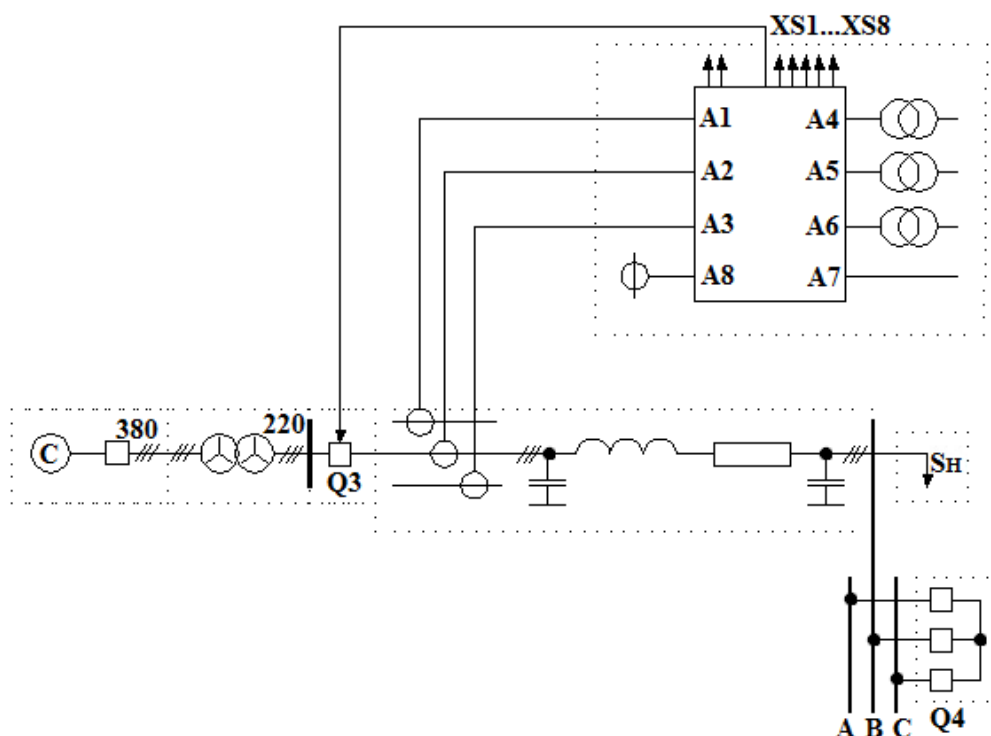


Рис. 2.3 – Схема рабочей установки по теме: «Токовая отсечка без выдержки времени»

Собранную и проверенную схему следует предъявить для проверки преподавателю и инженеру и только после РАЗРЕШЕНИЯ! Включить установку.

Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует токи фаз линии электропередачи и формирует управляющие воздействия на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

3) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

4) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть практическую работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №1 Токовая отсечка».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести токовую отсечку в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен

включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Дистанционно включить выключатель Q4 для создания короткого замыкания в конце линии электропередачи. Записать величину тока трехфазного КЗ. Отключить выключатель Q4. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания отсечки по формуле: $I_{сз} = I_{кз} \cdot K_n$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} \cdot K_{сх} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{сх}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров токовой отсечки.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. При правильно выбранных уставках защита не срабатывает. Отключить короткое замыкание, отключить выключатель линии электропередачи Q3.

15) Перевести переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положение 2 для имитации короткого замыкания в середине ЛЭП. Включить выключатель ЛЭП Q3, включить выключатель Q4. При срабатывании защиты происходит мгновенное (без выдержки времени) отключение выключателя Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «ТО» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ТО» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). ВНИМАНИЕ! Если не происходит автоматического отключения Q3 необходимо отключить короткое замыкание щелчком по выключателю Q4.

16) Провести испытания защиты при коротком замыкании в начале ЛЭП (Переключатель SA1 модуля линии электропередачи в положении 1, переключение SA1 проводить только при отключенном выключателе Q3).

17) Провести испытания защиты при двухфазных коротких замыканиях АВ, ВС и СА для случаев коротких замыканий в начале, середине и конце ЛЭП.

18) Полученные результаты представить в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1 — Испытание токовой отсечки

Расстояние до точки повреждения	Вид КЗ: ABC	Вид КЗ: AB	Вид КЗ: BA	Вид КЗ: AC
33 %				
66 %				
100 %	Не срабатывает	Не срабатывает	Не срабатывает	Не срабатывает

Примечание: расстоянию до точки повреждения 33 % соответствует переключателю SA1 модуля ЛЭП в положении 1, 66 % - SA1 в положении 2, 100 % - SA1 и положении 3.

19) По полученным данным сделать вывод о длине зоны действия отсечки при различных видах повреждений, объяснив отличия в длине зоны действия (течки при трехфазных и двухфазных КЗ (если они есть), объяснить, почему отсечки не охватывает всю длину ЛЭП и для чего это делается. Оформить отчет по практической работе.

Контрольные вопросы

- 1) Что такое зона действия отсечки?
- 2) Как выбирается уставка срабатывания отсечки?
- 3) Назовите основные достоинства и недостатки токовой отсечки?
- 4) Для чего переключатель SA1 модуля линии электропередачи при проведении трех опытов устанавливается в положения 1, 2 или 3 соответственно?
- 5) Как определить чувствительность токовой отсечки?

2.2. Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать влияние схемы соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на чувствительность МТЗ;
- исследовать факторы, влияющие на селективность и зону действия МТЗ.

2.2.1. Общие сведения

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени - одна из самых распространенных видов защит в распределительных сетях 6...35 кВ с радиальным питанием. Принцип действия защиты основан на сравнении токов фаз с током срабатывания защиты. При превышении тока в любом из

пусковых реле тока уставки, запускается отсчет выдержки времени. Если ток в линии превышает ток срабатывания защиты в течение заданного времени, защита подает сигнал на отключение выключателя защищаемой линии. Селективность действия защиты достигается за счет выбора уставок срабатывания двух смежных защит по времени, таким образом, что защита, установленная на линии более близкой к источнику питания имеет большую выдержку времени.

Например, при КЗ в точке K_3 (рис. 2.4) сработают токовые реле защит А2 и А3, однако сработать должна только защита А3. При КЗ в точке K_2 сработают токовые реле защит А1 и А2, однако сработать должна только защита А2. Такая селективность достигается специальным выбором уставок реле времени каждой из защит А1, А2 и А3 по *ступенчатому принципу*. Защита А3 имеет наименьшую выдержку времени t_{A3}'' , защита А2 – более длительную, защита А1 – наибольшую t_{A1}'' . Выдержка времени определяется с помощью реле времени и не зависит от величины тока КЗ. Поэтому такая защита называется *защитой с независимой выдержкой времени*.

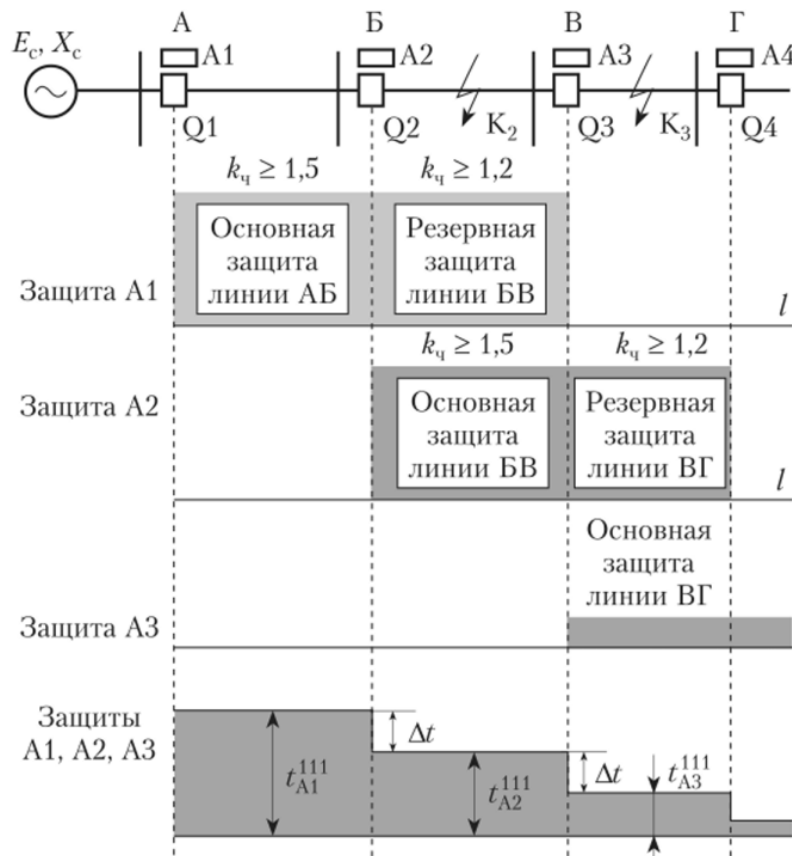


Рис. 2.4 – Максимальные токовые защиты с независимыми выдержками времени

Как следует из рис. 2.4, для третьей ступени защит А1, А2 и А3 справедливо соотношение:

$$t_{A1}''' = t_{A2}''' + \Delta t; \quad t_{A2}''' = t_{A3}''' + \Delta t,$$

где Δt - ступень селективности, значение которой обычно принимается равной 0,5 с.

Ток срабатывания $I_{ср.з}$ максимальной токовой защиты должен быть больше максимального рабочего тока защищаемой линии: $I_{ср.з} > I_{раб.мах}$. Кроме того, токовое реле МТЗ, сработавшее при внешнем КЗ, должно надежно возвращаться в исходное положение после селективного отключения КЗ и снижения тока до максимального значения тока оставшейся нагрузки с учетом возможного самозапуска двигательной нагрузки после ликвидации КЗ и восстановления напряжения:

$$I_{\theta} > k_{сз} I'_{раб.мах}, \quad (2.2.1)$$

где I_{θ} - ток возврата МТЗ; $k_{сз}$ - коэффициент самозапуска, определяемый характером нагрузки; $I_{раб.мах}$ - ток оставшейся нагрузки.

Неравенство (2.2.1) преобразуют в равенство, введя в него коэффициент отстройки $k_{омс}$ (коэффициент надежности или коэффициент запаса):

$$I_{\theta} = k_{омс} \cdot k_{сз} \cdot I'_{раб.мах}. \quad (2.2.2)$$

Коэффициент возврата k_{θ} реле определяется по формуле

$$k_{\theta} = \frac{I_{\theta}}{I_{ср.з}} \quad (2.2.3)$$

С учетом равенств (2.2.2) и (2.2.3) тока срабатывания защиты:

$$I_{ср.з} = \frac{I_{\theta}}{k_{\theta}} = \frac{k_{омс} \cdot k_{сз} \cdot I'_{раб.мах}}{k_{\theta}}. \quad (2.2.4)$$

Коэффициент чувствительности МТЗ определяют по формуле

$$k = \frac{I_{Kmin}^{(m)}}{I_{ср.з}}, \quad (2.2.5)$$

где $I_{Kmin}^{(m)}$ — минимальный ток /и-фазного КЗ в конце защищаемой зоны. Так, например, для защиты А1 расчетные точки КЗ принимаются на шинах подстанций Б и В. Защита А1 для участка АВ будет основной ($k_u > 1,5$), а для участка БВ — резервной ($k_u > 1,2$).

Уставки срабатывания защиты по току выбирают исходя из условия отстройки защиты от максимально возможных токов рабочего режима, и исходя из условия обеспечения достаточной чувствительности защиты в основной и резервной зоне. Одним из достоинств максимальной токовой защиты является резервирование действия смежной защиты. Так, при отказе одной из защит отключение короткого замыкания осуществляется смежной защитой, находящейся ближе к источнику питания. Основным недостатком защиты - слишком большие выдержки времени при коротких замыканиях

вблизи источников питания, что ограничивает возможности применения защиты в сложных распределительных сетях.

2.2.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему для испытаний рис. 2.5 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует фазные токи и формирует управляющие воздействия на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемом XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

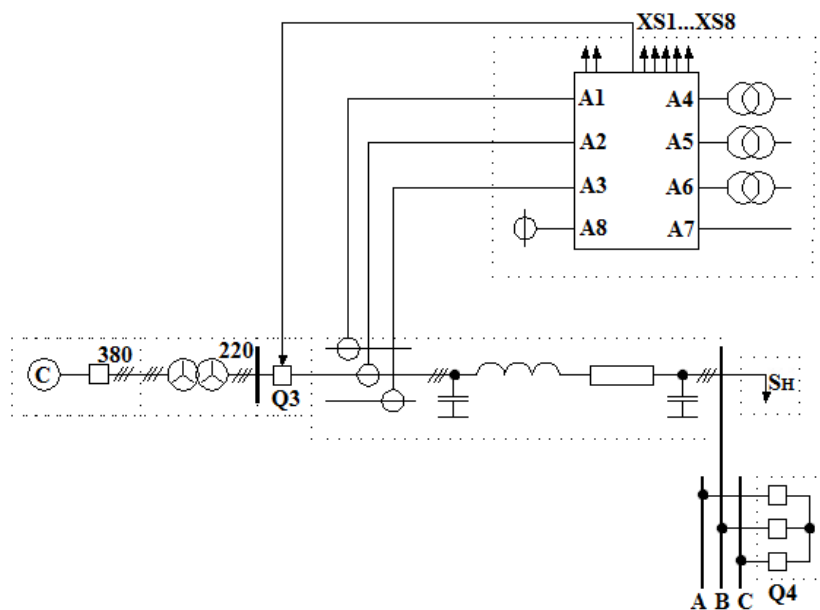


Рис. 2.5 – Схема рабочей установки по теме: «Токовая отсечка без выдержки времени»

2) Установить параметры линии электропередач: а) минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть практическую работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №2 МТЗ с независимой выдержкой времени».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3», Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Записать величину тока нагрузки $I_{\text{раб.мах}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{\text{сз}} = I_{\text{раб.мах}} \cdot K_n \cdot K_z / K_{\text{вот}}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Коэффициент запуска двигательной нагрузки K_z принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{вот}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{\text{сх}}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»), Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедится в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда».

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Записать в таблицу 2.2. токи в обмотках реле тока МТЗ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени,

отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q4), отключить выключатель линии электропередачи Q3 (если он не был отключен действием защиты).

15) Провести испытания защиты при двухфазных коротких замыканиях АВ, ВС и СА. Результаты представить в таблице 2.2.

16) Изменить схему соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на схему «Неполная звезда с дополнительным реле» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»), При необходимости пересчитать и ввести ток срабатывания реле тока в связи с изменением схемы соединения обмоток. Провести испытания защиты при трехфазном и всех видах двухфазных коротких замыканий. Результаты представить в таблице 2.2.

17) Изменить схему соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле на схему «Неполная звезда» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). При необходимости пересчитать и ввести ток срабатывания реле тока в связи с изменением схемы соединения обмоток. Провести испытания защиты при трехфазном и всех видах двухфазных коротких замыканий. Результаты представить в таблице 2.2.

18) Рассчитать коэффициенты чувствительности защиты для каждой схемы соединения обмоток. Полученные значения представить в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Испытание МТЗ с независимой выдержкой времени

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле		Величины тока в обмотках реле при различных видах КЗ				Расчетный коэффициент K_{α}
		ABC	AB	BC	CA	
Неполная звезда	KA1					
	KA2					
Неполная звезда с дополнительным реле	KA1					
	KA2					
	KA3					
Полная звезда	KA1					
	KA2					
	KA3					

19) По полученным данным сделать вывод о влиянии схемы пусковых органов защиты на ее чувствительность при различных видах повреждений. Оформить отчет по практической работе.

Контрольные вопросы

- 1) Как выбирается уставка по току для максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени?
- 2) Как обеспечивается селективность действия защит в сети с радиальным питанием?
- 3) Что такое «основная» и «резервная» зона действия защиты?
- 4) Что такое коэффициент схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле?
- 5) Назовите основной недостаток применения максимальной токовой защиты в радиальных распределительных сетях с односторонним питанием?

2.3. Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с пуском по напряжению

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты с пуском по напряжению;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;
- исследовать влияние пусковых органов напряжения на чувствительность МТЗ.

2.3.1. Общие сведения

В ряде случаев не удастся выполнить достаточно чувствительную защиту только по току, особенно на подстанциях, питающих двигательную нагрузку. Для повышения чувствительности можно применить защиту с блокировкой по напряжению.

Максимальная токовая защита с пуском по напряжению - одна из разновидностей максимальных токовых защит с независимой выдержкой времени. Основным отличием защиты является наличие пусковых органов минимального напряжения. При этом, для срабатывания защиты необходимо выполнение двух факторов, а именно, превышение тока фаз защищаемого объекта тока срабатывания защиты и снижение напряжения на шинах подстанции ниже уставки срабатывания защиты по напряжению. Применение пусковых органов напряжения позволяет повысить коэффициент чувствительности защиты, так как в этом случае при расчете тока срабатывания защиты не учитывается коэффициент запуска двигательной нагрузки.

Функциональная схема МТЗ с дополнительным органом напряжения показана на рисунке 2.6. Измерительный орган напряжения выполняется при

помощи реле минимального напряжения KV и действует совместно с реле KA измерительного органа тока по логической схеме «И» на пуск реле времени KT .

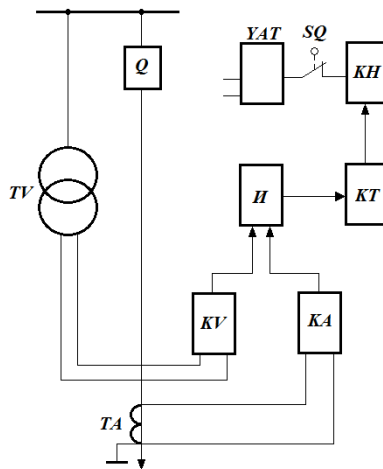


Рис. 2.6 – Функциональная схема МТЗ с пуском по напряжению

Во время КЗ, когда возрастает ток и уменьшается напряжение, срабатывают оба измерительных органа (и тока, и напряжения) и с заданной выдержкой времени МТЗ действует на электромагнит отключения YAT через указательное реле KH и блок-контакт выключателя SQ . Если же в результате перегрузки защищаемого элемента токовое реле KA срабатывает, исполнительный орган напряжения блокирует действие МТЗ, поскольку реле напряжения KV не срабатывает. Недействие реле напряжения при перегрузке обеспечивается выбором такой уставки, чтобы оно не срабатывало при минимальном рабочем напряжении.

Измерительный орган напряжения может быть выполнен с тремя реле, включенными на междофазные напряжения (рис. 2.7. а). Такая схема обеспечивает надежное срабатывание органа напряжения при любом виде междофазных КЗ, поскольку при этом снижается хотя бы одно из междофазных напряжений.

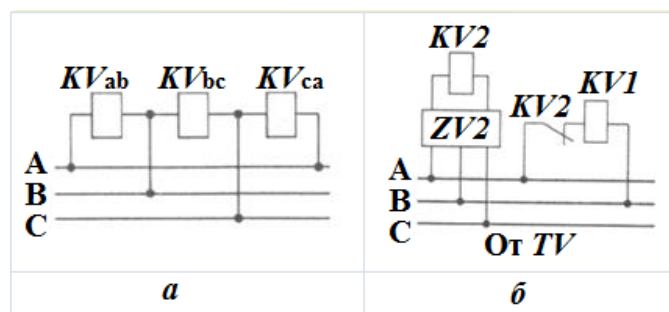


Рис. 2.7 – Функциональная схема МТЗ с пуском по напряжению

Во втором варианте (рис. 2.7 б) измерительный орган выполняется комбинированным из двух реле напряжения $KV1$, $KV2$. Реле максимального напряжения $KV2$, включенное через фильтр напряжения обратной последовательности $ZV2$, служит для пуска МТЗ при несимметричных КЗ.

Реле минимального напряжения $KV1$, включенное через размыкающий контакт $KV2$, предназначено для действия при трехфазных КЗ. Такая схема измерительного органа напряжения по сравнению с первым вариантом (рис. 2.7 а) обеспечивает более высокую чувствительность как при несимметричных, так и при симметричных КЗ.

Первичный ток срабатывания МТЗ с пуском по напряжению определяется по условию отстройки от номинального тока $I_{ном}$ трансформатора на стороне, где установлена рассматриваемая защита по формуле

$$I_{с.з.}^{II} = \frac{k_{омс}}{k_{воз}} \cdot I_{ном},$$

где $k_{омс}$ - коэффициент отстройки, $k_{омс} = 1,1 \dots 1,2$; $k_{воз}$ - коэффициент возврата, $k_{воз} = 0,95$; $I_{ном}$ - номинальный ток трансформатора, А.

В тех случаях, когда максимальный рабочий ток $I_{раб.мах}$ стороны трансформатора, на которой установлена рассматриваемая защита, меньше номинального $I_{ном}$, вместо него следует использовать $I_{раб.мах}$.

Для реле минимального напряжения первичное напряжение срабатывания защиты $U_{сз}$, В, определяют по условиям обеспечения возврата реле после отключения внешнего КЗ и отстройки от напряжения самозапуска заторможенной двигательной нагрузки при АПВ или АВР.

Для возврата реле после отключения внешнего КЗ необходимо обеспечить выполнение условия

$$U \leq \frac{U_{min}}{k_{омс} \cdot k_{воз}},$$

где U_{min} - междуфазное напряжение в месте установки защиты в условиях самозапуска после отключения внешнего КЗ. В ориентировочных расчетах может быть принято равным от $0,85 \cdot U_{min}$ до $0,9 \cdot U_{min}$, В; $k_{омс} = 1,1 \dots 1,2$; $k_{г} = 1,05$.

Для отстройки от напряжения самозапуска при включении от АПВ или АВР заторможенных двигателей необходимо обеспечить выполнение условия

$$U_{сз} \leq \frac{U_{сзн}}{k_{омс}},$$

где $U_{сзн}$ - междуфазное напряжение в месте установки пускового органа напряжения в условиях самозапуска заторможенных двигателей при включении их от АПВ или АВР, В. В ориентировочных расчетах может быть принято равным $0,7 \cdot U_{min}$.

Уставку срабатывания защиты по напряжению обратной последовательности $U_{2сз}$, В, рассчитывают по формуле

$$U_{2сз} = K_{нб} \cdot U_{ном},$$

где $K_{нб}$ - коэффициент небаланса, $K_{нб} = 0,06$; $U_{ном}$ - номинальное напряжение стороны трансформатора в месте подключения ПОН, В.

При использовании МТЗ с пуском по минимальному напряжению коэффициент чувствительности ПО минимального напряжения определяют по формуле

$$k_{чU} \leq \frac{U_{сз}}{U_{КЗ max}}.$$

Коэффициент чувствительности ПО напряжения обратной последовательности определяют по формуле

$$k_{чU} \leq \frac{U_{2КЗ min}}{U_{2сз}},$$

где $U_{2КЗ min}$ - значение напряжения обратной последовательности в месте установки защиты при КЗ между фазами в конце зоны резервирования в режиме с наименьшим значением этого напряжения, В; $U_{2сз}$ - уставка срабатывания МТЗ по напряжению обратной последовательности, В.

2.3.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему для испытаний рис. 2.8. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует фазные токи линии электропередачи и линейные напряжения питающих шин и формирует управляющее воздействие на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 8.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №3 МТЗ с пуском по напряжению».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» и положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

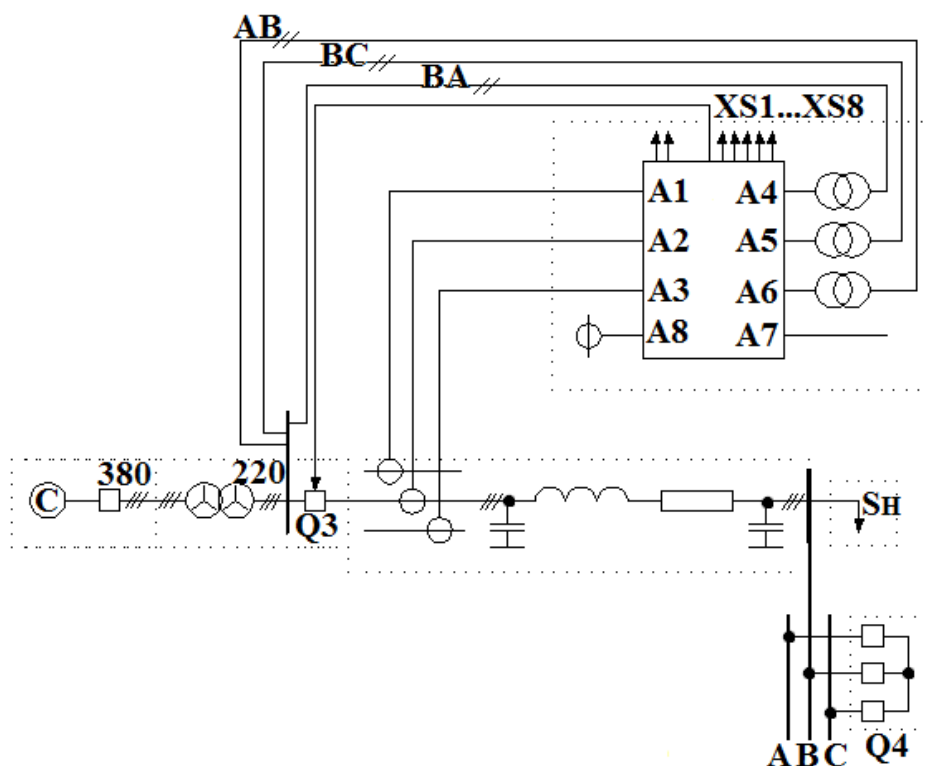


Рис. 2.8 – Схема рабочей установки по теме: «МТЗ с пуском по напряжению»

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3», Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки и текущие величины линейных напряжений питающих шин.

12) Записать величину тока нагрузки $I_{\text{раб.мах}}$. Записать величину минимального рабочего напряжения $U_{\text{раб.мин}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле

$$I_{\text{сз}} = I_{\text{раб.мах}} \cdot K_n / K_{\text{вот}}$$

Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{вот}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{\text{сх}}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедится в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда».

14) Рассчитать напряжение срабатывания защиты по формуле: $U_{\text{сз}} = U_{\text{раб.мин}} \cdot K_n / K_{\text{вот}}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 0,8.

Коэффициент возврата реле напряжения $K_{\text{вот}}$ принять равным 1,05. Рассчитать напряжение срабатывания реле $U_{\text{ср}} = U_{\text{сз}} / n_n$. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения n_n принять равным 1. Ввести расчетное напряжение срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне параметр «Напряжение срабатывания KV»).

15) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3.

16) Проверить селективность действия защиты при увеличении тока нагрузки, например при пуске двигателей. Для этого, перевести переключатель SA1 модуля активной нагрузки в положение 1. Убедится, что ток нагрузки превышает уставку срабатывания защиты по току, но защита при этом не срабатывает. Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 8.

17) Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Записать в таблицу 2.3 токи в обмотках реле тока МТЗ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗН», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»), При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗН» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗН» сбрасывает состояние

указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q4), отключить выключатель линии электропередачи Q3 (если он не был отключен действием защиты).

18) Рассчитать коэффициент чувствительности защиты. Полученное значение представить в таблице 2.3.

19) Сравнить полученный коэффициент чувствительности с коэффициентом чувствительности для схемы «Полная звезда» из отчета по лабораторной работе «МТЗ с независимой выдержкой времени». Сделать вывод о влиянии пусковых органов напряжения на чувствительность защиты. Оформить отчет по практической работе.

Таблица 2.3 – Испытание МТЗ с пуском по напряжению

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле		Величины тока в обмотках реле при различных видах КЗ				Расчетный коэффициент $K_{\text{ч}}$
		ABC	AB	BC	CA	
Полная звезда	KA1					
	KA2					
	KA3					

Контрольные вопросы

1) Почему при выборе уставки по току для максимальной токовой защиты с пуском по напряжению не учитывают коэффициент запуска двигательной нагрузки?

2) Как влияет наличие пусковых органов напряжения в схеме защиты на чувствительность?

3) Назовите основные достоинства и недостатки максимальной токовой защиты пуском по напряжению?

4) Как повлияет обрыв в измерительных цепях напряжения на селективное) и действия защиты?

2.4. Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия максимальной токовой защиты с ограниченно-зависимой выдержкой времени

Цель работы:

- изучить принцип действия максимальной токовой защиты с ограниченно зависимой выдержкой времени;

- освоить методы расчета уставок защиты;

- изучить методы согласования характеристик защит смежных участков;

- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

2.4.1. Общие сведения

Наряду с независимой защитой применяется МТЗ с зависимой и ограниченно зависимой характеристиками выдержки времени от тока (рис. 2.9).

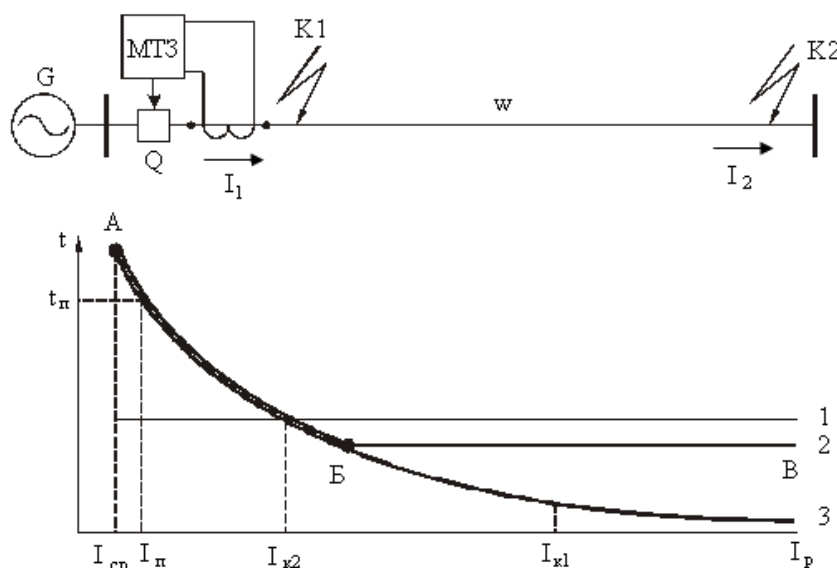


Рис. 2.9 – Время-токовые характеристика МТЗ:

1 – независимая; 2 – ограниченно зависимая; АБ – зависимая часть характеристики;
БВ – независимая часть характеристики; 3 – зависимая

Зависимая характеристика улучшает отстройку от токов кратковременных перегрузок I_n , ускоряет отключение при КЗ в начале линии К1.

Зависимые защиты выполняются при помощи реле, работающих не мгновенно, а с выдержкой времени, зависящей от величины тока.

Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени широко применяется в сетях 6..10 кВ с односторонним питанием, на понижающих трансформаторах, электродвигателях, подверженных технологическим перегрузкам.

Время-токовая характеристика МТЗ с ограниченно-зависимой от тока выдержкой времени состоит из двух частей, в первой части зависимость времени от тока гиперболическая, вторая часть — независимая (или почти независимая). Переход из независимой в зависимую часть характеристики может происходить при малых кратностях от тока срабатывания (150 %), т. н. «крутая» характеристика, и при больших кратностях (300 – 400 %), т. н. «пологая» характеристика (обычно МТЗ с «пологой» характеристикой применяются для защиты двигателей большой мощности для лучшей отстройки от пусковых токов).

Максимальная токовая защита с ограниченно-зависимой выдержкой времени выполняется с использованием индукционных реле типа РТ – 80. Реле является комбинированным и состоит из трех элементов:

- индукционного элемента, срабатывание которого происходит с установленной выдержкой времени, при превышении контролируемым током (током нагрузки) заданной уставки по току;
- электромагнитного элемента мгновенного действия (отсечки), срабатывание которого происходит при превышении контролируемым током $I_{кз}$ (током КЗ) установленной кратности (во сколько раз) по отношению к номинальному току;
- сигнализирующего элемента о срабатывании реле, действие которого происходит путём выталкивания механического указателя (указательного элемента) при срабатывании реле.

Устройство реле приведено на рисунке 2.10. Основной элемент реле – катушка с устройством регулировки тока срабатывания 21. Катушка имеет сердечник электромагнита 1, в зазоре которого проходит край алюминиевого диска. Полюсы электромагнита расщеплены на две части, на одну из которых нанизаны короткозамкнутые витки 2, расположенные напротив друг друга с обеих сторон диска. Алюминиевый диск 3, насаженный вместе с червяком 4 на ось, укрепленную в подвижной рамке 8, начинает вращаться при токах, равных 20...30 % тока срабатывания реле. Реле при этом не срабатывает, так как пружина 9 удерживает рамку, имеющую свою неподвижную ось вращения, в оттянутом положении и червяк на оси диска не зацеплен с зубчатым сектором 5. На рамку действуют две силы: F_1 и F_2 . Сила F_1 создаётся электромагнитом 1, сила F_2 – пружиной 9, противодействующим движению рамки. При возрастании тока в реле до величины тока срабатывания равнодействующая сил F_1 и F_2 преодолевает натяжение пружины и поворачивает вокруг оси рамку 8, производя сцепление червячка 4 с зубчатым сектором 5. Сектор начинает подниматься, и через определенное время его рычаг 6 достигает коромысла якоря отсечки 16. При дальнейшем подъеме по мере вращения диска сектор 5 поднимает коромысло 16, уменьшая тем самым зазор между правой стороной коромысла и сердечником электромагнита 1. Как только зазор уменьшится до величины, соответствующей срабатыванию при данном значении тока в реле, якорь 15 притягивается к сердечнику электромагнита 1 и изоляционный упор 17, укрепленный на коромысле якоря 15, замкнет (или разомкнет, если контакты размыкающиеся) главные контакты реле 18. Одновременно коромысло вытолкнет механический указатель срабатывания реле (на рис. 2.4.2 не показан). Для предотвращения ослабления сцепления червячной передачи под действием тяжести коромысла (с момента начала его подъема рычагом сектора) имеется стальная скобка 14, укрепленная на рамке 8. Она притягивается к электромагниту 1 за счет потоков рассеяния и обеспечивает дополнительное усилие, действующие в сторону сцепления червячной передачи. Коромысло совместно с электромагнитом 1 образует электромагнитный элемент реле (отсечка) с притягиваемым якорем. В случае, если ток в реле превышает ток срабатывания отсечки, якорь отсечки сразу притягивается к электромагниту. При этом реле действует мгновенно.

Для устранения вибрации якоря, вызывающей неустойчивое замыкание контактов 18, на правом его конце насажен короткозамкнутый виток 26.

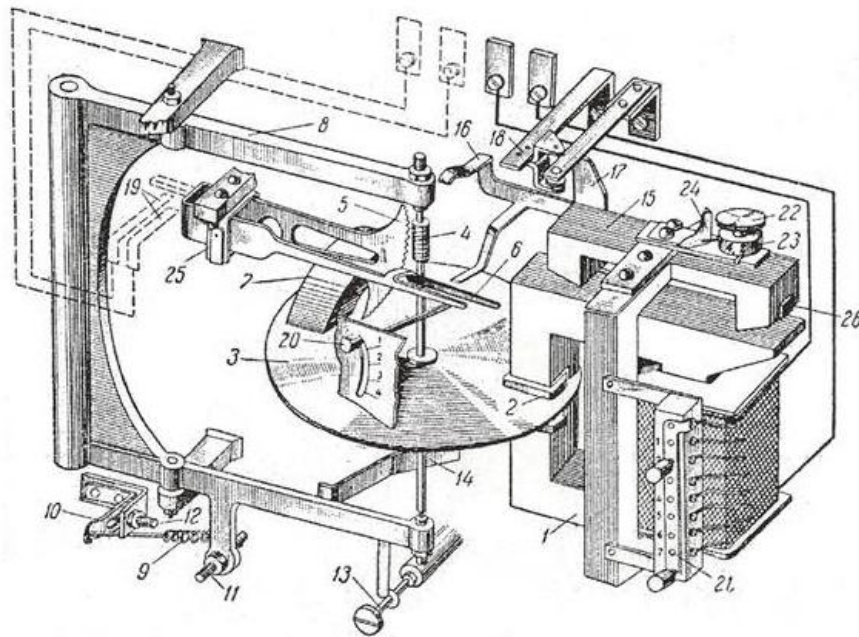


Рис. 2.10 – Схематический вид реле серии РТ – 80:

1 – электромагнит; 2 – короткозамкнутые витки; 3 – алюминиевый диск; 4 – червяк на оси диска; 5 – зубчатый сектор; 6 – рычаг зубчатого сектора; 7 – постоянный магнит; 8 – подвижная рамка; 9 – пружина оттягивающая рамку; 10 – плоская пружина; 11, 12 – регулировочные винты; 13 – упорный винт рамки; 14 – стальная скобка; 15 – якорь отсечки; 16 – коромысло якоря; 17 – изоляционный упор; 18 – главные контакты; 19 – сигнальные контакты (только на реле типов РТ – 83, РТ – 84, РТ – 86); 20 – устройство регулировки времени действия; 21 – устройство регулировки тока срабатывания; 22 – регулировочная головка элемента отсечки; 23 – шкала отсечки; 24 – упорная пластинка; 25 – скоба подвижной рамки; 26 – короткозамкнутый виток якоря отсечки.

Реле РТ – 80 выполнено на индукционном принципе в комбинации с электромагнитным элементом и имеет ограниченно зависимую характеристику выдержки времени. Индукционный элемент позволяет с помощью вращающегося диска и несложной кинематики осуществлять выдержку времени. Электромагнитный элемент позволяет при токах КЗ осуществлять мгновенное срабатывание реле, то есть производить отсечку защищаемого оборудования от источника электроэнергии.

Вращающий момент, действующий на диск индукционной системы, создается за счет взаимодействия между сдвинутыми в пространстве и по фазе магнитными потоками и индуктированными в диске токами.

Для получения двух магнитных потоков, сдвинутых в пространстве и по фазе, полюсы электромагнита расщепляются на две части, на одну из которых насаживаются короткозамкнутые витки (экранируют). Витки изготавливают из толстой медной проволоки. По существу – это медное кольцо, и ток, который протекает по кольцу, отстаёт от ЭДС на 90° , то есть

носит индуктивный характер. Поэтому потоки, выходящие соответственно из экранированной и неэкранированной частей полюса, создают в диске ЭДС, сдвинутые во времени и в пространстве.

Индукцированные ЭДС создают в диске токи, которые, взаимодействуя с магнитными потоками, обуславливают появление вращающего момента $M_{вр}$, который пропорционален квадрату тока и направлен по правилу левой руки от оси опережающего к оси отстающего потока. Таким образом, диск реле вращается от оси неэкранированной части к оси экранированной части полюса. При изменении уставок тока срабатывания величина вращающего момента $M_{вр}$ также меняется. Это приводит к разным скоростям вращения диска, и увеличению погрешности в отсчёте времени, что нежелательно.

Для стабилизации скорости вращения диска на реле устанавливают постоянный магнит, который создаёт тормозной момент. Чем выше скорость вращения диска, тем большая ЭДС, согласно правилу Ленца, индуцируется в диске под полюсами постоянного магнита. Под действием этой ЭДС в диске возникают более сильные вихревые токи, которые взаимодействуя с магнитными потоками постоянного магнита, создают тормозной момент пропорциональный скорости вращения диска.

Ограниченно зависимая выдержка времени создается насыщением магнитной системы при заданной кратности тока I_p . Для разных реле серии РТ – 80 этот ток находится в диапазоне $(2...16) \cdot I_{cp}$.

Времятоковая характеристика срабатывания имеет обратно-зависимый характер, так при увеличении тока, протекающего по обмотке реле, время срабатывания защиты уменьшается.

Достоинствами реле семейства РТ – 80 являются:

- малая инерционная погрешность и быстрый возврат в начальное положение после отключения аварийного режима;
- отсутствие "памяти", то есть поведение реле не зависит от предшествующего режима;
- простота диагностики исправного состояния в процессе эксплуатации реле по факту вращения диска в нормальном режиме работы;
- стабильность характеристики выдержки времени реле, которая не меняется при регулировании уставки по току срабатывания;
- возможность в широких пределах регулировать ток срабатывания отсечки, а в случае надобности и выводить ее из действия.

К конструктивным недостаткам реле серии РТ - 80 следует отнести: большой разброс (до 10...15 % к уставке) тока срабатывания отсечки при уставках 4...16 кратной величины.

Достоинством максимальной токовой защиты с ограниченно-зависимой выдержкой времени выполняется с использованием индукционных реле типа РТ-80 является хорошая отстройка от кратковременных токов перегрузки, так как в этом случае защита имеет существенную выдержку времени.

2.4.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.11. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний содержит две, последовательно включенные линии электропередач, в нормальном режиме обеспечивающих питание нагрузки в конце второй ЛЭП от трехфазного источника. В качестве аварийных режимов, предусматривается возможность возникновения трехфазного короткого замыкания в различных точках сети (точки K1, K2, K3, K4). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 2.11 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Каждая ЛЭП снабжается индивидуальным устройством защиты, воздействующим на соответствующий выключатель Q3 или Q4. Устройства защиты контролируют величины фазных токов линий электропередач и формируют управляющие воздействия на соответствующие выключатели. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателей SA1 модулей линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение №1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателем модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №4 МТЗ с ограниченно-зависимой выдержкой времени».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту МТ301 и МТ302 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ301» и «МТ302», в появившемся диалоговом «МТЗ» установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»),

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3» Дистанционно включить выключатель Q4. Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатели Q3 и Q4 должны включиться, а их цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов по линиям электропередач, в данном случае, токи трехфазной нагрузки.

12) Записать величины токов нагрузки линий электропередач I_1 и I_2 . Отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты МТ301 по формуле $I_{сз1} = I_1 \cdot K_n \cdot K_z / K_{вот}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2. Коэффициент запуска двигательной нагрузки K_z принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{вот}$ принять равным 0,85. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} \cdot K_{сх} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 0,1. Коэффициент схемы $K_{сх}$ принять равным 1. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ301»).

14) Рассчитать и ввести ток срабатывания защиты МТ302 (аналогично предыдущему пункту).

15) Перевести защиту МТ302 в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q (кнопкой SB1 на лицевой панели выключателя). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с выдержкой времени и отключает выключатель Q4, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТ302» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТ302» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Определить время срабатывания защиты МТ302 (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ302», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»). Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели выключателя). Провести серию опытов, изменяя значение выдержки времени срабатывания защиты МТ302, так, чтобы время срабатывания защиты МТ302 при коротком замыкании в конце ее основной зоны действия было равно заданному преподавателем (например, 3,5 с). Внимание! Изменение уставок защит

производить только при остановленной программе (кнопка «Стоп» или соответствующая команда главного меню программы). Полученное время срабатывания $t_{сз2кз}$ занести в таблицу 2.4.

16) При выключенном питании стенда изменить точку подключения выключателя Q для создания короткого замыкания в точке КЗ. Подать питание стенда. Включить выключатель модуля трехфазной сети. Запустить программу в работу. Определить время срабатывания защиты МТ302 при коротком замыкании в точке КЗ. Полученное значение занести в таблицу 2.4.

17) Рассчитать время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ по формуле $t_{сз1кз} = t_{сз2кз} + \Delta t$. Степень селективности Δt принять равной 0.8 с.

18) Перевести защиту МТ302 в режим действия на сигнал. Перевести защиту МТ301 в режим действия на отключение. Определить время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ. Провести серию опытов, изменяя значение выдержки времени срабатывания защиты МТ301, так, чтобы время срабатывания защиты МТ301 при коротком замыкании в точке КЗ стало равно рассчитанному значению. Полученное значение занести в таблицу 2.4.

19) Перевести защиту МТ302 в режим действия на отключение. Проверить селективность действия защит при коротких замыканиях в различных точках сети. Определить время срабатывания защиты МТ301 при коротких замыканиях в точке К2 и различном расстоянии до места повреждения (изменять положением переключателя SA1 модуля линии электропередачи, так положение 1 соответствует расстоянию 33% от начала линии, положение 2 – 66 %, а положение 3 – 100 %). Полученные значения занести в таблицу 2.4.

20) Определить время срабатывания защиты МТ302 при коротких замыканиях в точке К4 и различном расстоянии до места повреждения (изменять положением переключателя SA1 модуля линии электропередачи, так положение 1 соответствует расстоянию 33% от начала линии, положение 2 – 66 %, а положение 3 – 100 %). Полученные значения занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Испытание МТЗ с ограниченно-зависимой выдержкой времени

Комплект защиты	Время срабатывания защиты при коротком замыкании на ЛЭП-1 на расстоянии			Время срабатывания защиты при коротком замыкании на ЛЭП-2 на расстоянии			
	33 %	66 %	100 %	0 %	33 %	66 %	100 %
МТ301							
МТ302	-	-	-				

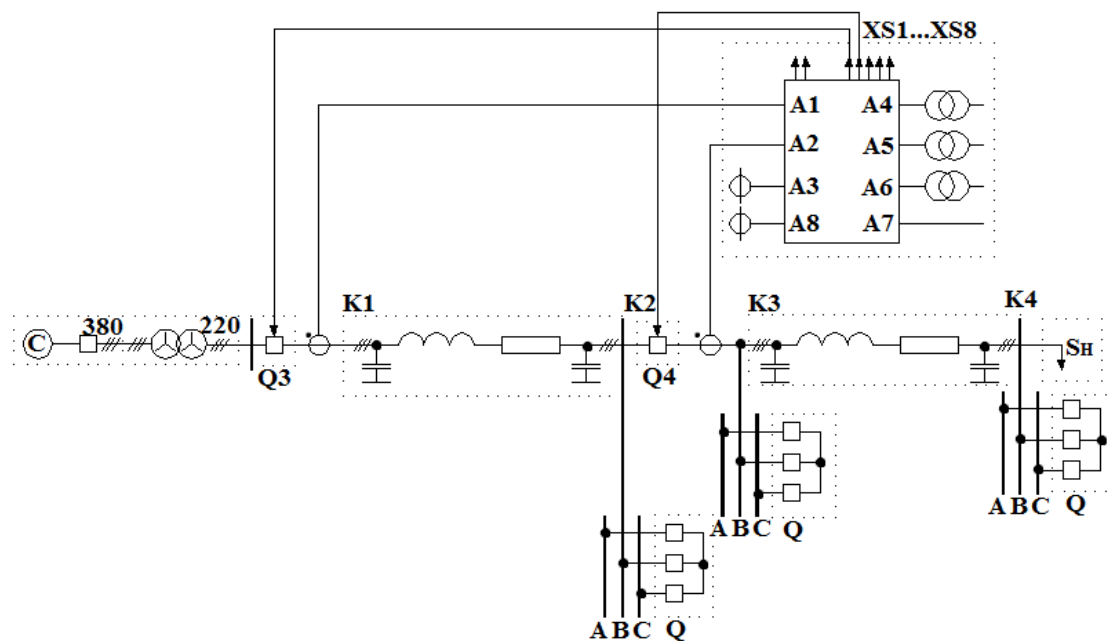


Рис. 2.11 – Схема рабочей установки по теме: «Максимальная токовая защита с ограничено-зависимой выдержкой времени»

21) Исследовать работу защиты МТ301 в зоне резервирования. Для этого, перевести защиту МТ302 в режим действия на сигнал и провести серию опытов при коротких замыканиях в точке К4 и различном расстоянии до места повреждения. Времена срабатывания защиты МТ301 заносить в таблицу 2.4.

22) Построить графики зависимости времени срабатывания защит МТ301 и МТ302 от расстояния до места повреждения. Сделать выводы о достоинствах и недостатках данного вида защит.

Контрольные вопросы

- 1) Назовите основные преимущества и недостатки максимальной токовой защиты с ограничено-зависимой выдержкой времени?
- 2) Как выбирается выдержка времени МТЗ с ограничено-зависимой характеристикой?
- 3) Почему при выборе тока срабатывания отсечки не учитывают коэффициент возврата?
- 4) В какой точке выполняется согласование характеристик защит при использовании отсечки?

2.5. Изучение методов расчета и проверки уставок на примере действия защиты от однофазных коротких замыканий на землю

Цель работы:

- изучить принцип действия защиты от замыканий на землю;
- изучить методы расчета и проверки уставок защиты;

- исследовать селективность и чувствительность защиты от замыканий на землю при различных видах повреждений.

2.5.1. Общие сведения

Защита от однофазных замыканий на землю с действием на отключение широко применяется в сетях с глухозаземленной нейтралью от 110 кВ и на силовых понижающих трансформаторах, так как данные повреждения относятся к опасным возмущающим воздействиям электроэнергетических систем. В сетях 35 кВ и ниже применение «земляных» защит сопряжено с определенными трудностями, связанными с тем, что данные сети работают с изолированной или компенсированной нейтралью. В этом случае, токи однофазных коротких замыканий оказываются небольшими и чувствительность защит в ряде случаев оказывается недостаточной. Кроме того, определенные сложности появляются с определением места повреждения (т. е. селективностью действия защит). Учитывая эти факторы защиты от замыканий на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью выполняются с действием на сигнал.

Принцип действия защит от однофазных коротких замыканий основан на использовании реле тока нулевой последовательности, или токовых реле, включенных через фильтры нулевой последовательности. В сетях с двухсторонним питанием также требуются дополнительные меры по обеспечению селективности действия двух смежных защит, для чего применяются реле направления мощности.

2.5.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.12. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. При имитации однофазных и двухфазных КЗ на землю соответствующие полюса выключателя Q4 необходимо соединить с нейтралью модуля линии электропередач. Выключатель Q3 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует сумму токов трех фаз линии электропередачи (ток нулевой последовательности) и формирует управляющее воздействие на выключатель Q3. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положения переключателя SA1 модуля линии электропередач. Нейтраль (общая точка) трансформатора со стороны вторичной обмотки необходимо соединить с нейтралью линии электропередач. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода» Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

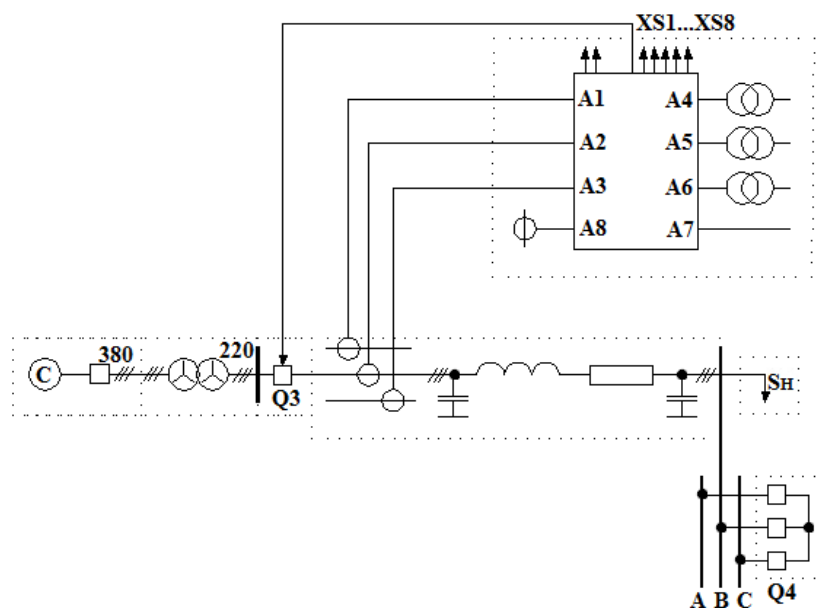


Рис. 2.12 – Схема рабочей установки по теме: «Защита от однофазных коротких замыканий на землю»

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключение поперечной составляющей (переключатель SA2 в положение 1).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 в положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №5 Защита от однофазных коротких замыканий».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно

собранный схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз АЗ и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП»). Записать величину тока в обмотке реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) пропорциональную току нулевой последовательности в режиме нагрузки $I_{0нагр.}$. Подать команду на включение выключателя Q4 для создания режима трехфазного короткого замыкания. Записать величину тока в обмотке реле пропорциональную току нулевой последовательности в режиме короткого замыкания $I_{0кз.}$. Отключить выключатель Q3. Отключить выключатель Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{сз} = I_0 \cdot K_n / K_{воз}$. В качестве величины тока I_0 взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{0нагр.}$, $I_{0кз.}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,5. Коэффициент возврата реле тока $K_{воз}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4. Убедиться в том, что защита не срабатывает при трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q4, отключить выключатель Q3.

15) Провести испытания защиты при всех видах несимметричных коротких замыканий (двухфазные, однофазные, двухфазные на землю). В таблицу 2.5. заносить токи в обмотке реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТЗНП», в появившемся диалоговом окне см. группу «Измерения»).

16) Рассчитать коэффициенты чувствительности защиты для каждого вида повреждения. Полученные значения представить в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Испытание защиты от однофазных замыканий

Вид короткого замыкания	Ток уставки, А	Ток в обмотке реле, А	Расчетный коэффициент чувствительности
Замыкание фаз ABC			
Замыкание фаз AB			
Замыкание фаз BC			
Замыкание фаз CA			
Замыкание фазы A на землю			
Замыкание фазы B на землю			
Замыкание фазы C на землю			
Замыкание фаз AB на землю			
Замыкание фаз BC на землю			
Замыкание фаз CA на землю			

17) По полученным данным сделать выводы о чувствительности и селективности действия защиты при различных видах повреждений. Оформить отчет по практической работе.

Контрольные вопросы

- 1) Как обеспечивается селективность действия защит от однофазных коротких замыканий?
- 2) Как рассчитываются уставки защиты от замыканий на землю?
- 3) Существует ли разница в принципах выполнения защит от однофазных коротких замыканий в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью? Чем она обусловлена?
- 4) Для чего предназначен фильтр тока нулевой последовательности? Объясните принцип его работы.

2.6. Изучение принципа действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи

Цель работы:

- изучить принцип действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

2.6.1. Общие сведения

Продольная дифференциальная защита линий электропередач является основным средством защиты в сетях с двухсторонним питанием напряжением 110 кВ и выше. Во многом это обусловлено тем, что данный вид защиты относится к защитам с абсолютной селективностью, так как по принципу действия не реагирует на токи внешних коротких замыканий, токи нагрузки и токи синхронных качаний. Это позволяет реализовать защиту быстродействующей, т.е. срабатывающей без выдержки времени (нет необходимости отстраивать защиты по времени по ступенчатому принципу как это делается, например, в токовых направленных защитах). Быстрое отключение коротких замыканий особенно актуально в сетях высокого напряжения (110 кВ и выше), так как время существования короткого замыкания напрямую связано с устойчивостью параллельной работы синхронных генераторов. Из недостатков защиты в первую очередь следует отметить необходимость передачи сигналов на значительные расстояния, так как измерительные трансформаторы тока располагаются по концам линии электропередачи. Для длинных линий электропередачи это может приводить к определенным трудностям, поэтому в электроэнергетических системах используются защиты, построенные на принципе продольной дифференциальной, но использующие высокочастотные каналы передачи сигналов, например, дифференциально-фазные высокочастотные защиты и т.п.

2.6.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.13. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой линию электропередач имеющую 2 выключателя Q3 и Q4 с одной и другой стороны линии и питающую трехфазную активную нагрузку. На линии установлен комплект продольной дифференциальной защиты, подключенный на ток фазы А в начале и ток фазы А в конце линии. Схема подключения токов через входы А1 и А2 модуля ввода-вывода должна быть такой, что при коротком замыкании на шинах противоположной подстанции (выключатель Q как показано на рисунке), сигналы на входах А1 и А2 совпадают по фазе. Линия электропередачи образована последовательным включением двух модулей линий электропередач, что позволяет имитировать короткое замыкание в середине линии. В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на линии, а также короткое замыкание на шинах за линией. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 2.13. показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует величину разности фазных токов в начале и конце линии электропередачи и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения

- звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

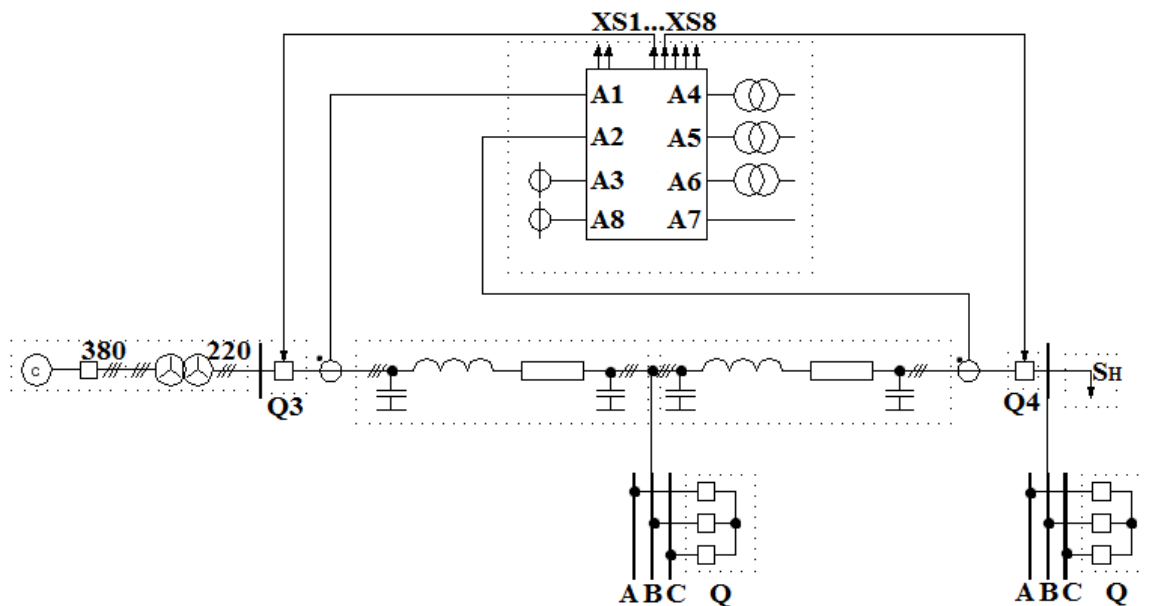


Рис. 2.13 – Схема рабочей установки по теме: «Продольная дифференциальная защита линии электропередач»

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) включить поперечную составляющую в начале ЛЭП-1 (переключатель SA3 в положение 2, переключатель SA2 в положение 1) и конце ЛЭП-2 (переключатель SA2 в положение 2, переключатель SA3 в положение 1). Установить максимальную величину нагрузки (переключатель SA1 модуля активной нагрузки в положение 1).

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №6 Продольная дифференциальная защита ЛЭП».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на

прямоугольнике «ДЗЛ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатель Q4. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины тока в начале I_n и конце I_k линии электропередачи.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗЛ»). В таблицу 2.6. записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. В таблицу 2.6. записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.кз.}$. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{сз} = I_{нб} \cdot K_n$. В качестве величины тока небаланса $I_{нб.}$ взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{нб.нагр.}$, $I_{нб.кз.}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} / n_T$. В таблицу 2.6. записать максимальное значение тока небаланса $I_{нб.}$, расчетное значение тока срабатывания защиты $I_{сз}$ и величину тока срабатывания реле $I_{ср}$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4.

15) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать

короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3 и Q4, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗЛ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗЛ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Провести серию опытов при различном расстоянии до точки короткого замыкания (изменяя соотношение между положениями переключателей SA1 модулей ЛЭП).

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

Таблица 2.6 – Расчет уставок дифференциальной защиты ЛЭП

Параметр	Значение
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$, А	
Ток небаланса в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.кз.}$, А	
Ток небаланса $I_{нб.}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{сз}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{ср}$, А	

Контрольные вопросы

- 1) Объясните принцип действия продольной дифференциальной защиты линии электропередачи?
- 2) Что такое ток небаланса дифференциальной защиты?
- 3) Как рассчитываются уставки продольных дифференциальных защит?
- 4) Почему продольная дифференциальная защита ЛЭП не реагирует на токи внешних коротких замыканий и синхронных качаний?

2.7. Изучение принципа действия дифференциальной защиты трансформатора и особенностей настройки параметров дифференциальных реле с торможением типа ДЗТ-11

Цель работы:

- изучить принцип действия дифференциальной защиты трансформатора;
- изучить особенности дифференциальных защит трансформаторов, связанные с необходимостью выравнивания вторичных токов по величине и компенсации фазового сдвига;
- изучить особенности настройки параметров дифференциальных реле с торможением типа ДЗТ-11;

- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

2.7.1. Общие сведения

Дифференциальная защита трансформатора является основным видом защиты мощных силовых трансформаторов. Принцип действия защиты такой же, как и у продольной дифференциальной защиты линии электропередач и основан на сравнении величин и направлений токов фаз до и после защищаемого объекта. Основным элементом защиты является дифференциальное реле, например РНТ- 565 или ДЗТ-11. Основным достоинством дифференциальной защиты является ее высокое быстродействие, так как отключение производится без выдержки времени, и абсолютная селективность, так как защита не реагирует на внешние короткие замыкания и токи синхронных качаний. Необходимо отметить, что дифференциальная защита трансформаторов имеет ряд особенностей по сравнению с продольной дифференциальной защитой линий. Во-первых, первичные токи обмоток трансформатора не равны по величине и в общем случае не совпадают по фазе, что требует принятия соответствующих мер по выравниванию вторичных токов по величине, а также, мер по компенсации фазового сдвига между токами со стороны высокого и низкого напряжения.

Первичное выравнивание токов по величине осуществляется выбором коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов тока на стороне высокого и низкого напряжения. Для более точного выравнивания токов по величине, дифференциальное реле тока имеет 2 уравнивательные обмотки, выбор количества витков которых обеспечивает компенсацию разности токов по величине. Для компенсации фазового сдвига используются различные схемы соединения вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока на стороне высокого и низкого напряжения. Во-вторых, в режиме высоких нагрузок и при внешних коротких замыканиях имеет место наличие тока небаланса, вызванного погрешностями измерительных трансформаторов тока, их разнотипностью, неточным подбором количества витков уравнивательных обмоток и другими факторами.

Для учета этих и других факторов при расчете уставок дифференциальных защит используются специально разработанные методики, которые частично используются и в данной практической работе.

2.7.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.14 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой трехфазную двух обмоточную трансформаторную группу, питающуюся от источника бесконечной мощности (энергосистемы) через понижающий трансформатор и линию электропередачи. Трансформатор имеет 2 выключателя со стороны первичной и вторичной обмоток Q3 и Q4 соответственно. На трансформаторе установлен комплект

продольной дифференциальной защиты, подключенный на ток фазы А первичной обмотки и ток фазы А вторичной обмотки трансформатора. Схема подключения токов через входы А1 и А2 модуля ввода-вывода должна быть такой, что при работе трансформатора на свою нагрузку сигналы на входах А1 и А2 совпадали по фазе (при схеме соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда»). В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание со стороны первичной обмотки трансформатора, короткое замыкание со стороны вторичной обмотки трансформатора, а также короткое замыкание за трансформатором на шинах потребителя (короткое замыкание вне зоны действия защиты). Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 2.14 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует разность токов первичной и вторичной обмоток и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В основе защиты положено дифференциальное реле с торможением типа ДЗТ-11. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения — звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1). Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №7 Дифференциальная защита трансформатора».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатель Q4. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов первичной I и вторичной I₂ обмоток защищаемого трансформатора. Занести данные значения в таблицу 2.7.

12) Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. Определить величины токов первичной и вторичной обмоток трансформатора в режиме внешнего короткого замыкания $I_{1к.}$ и $I_{2к.}$. Занести данные значения в таблицу 2.7. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания реле по формуле: $I_{ср.} = K_{отс} \cdot I_1 / n_T$. Коэффициент отстройки $K_{отс}$ принять равным 1,5. Коэффициент трансформации n_T трансформатора тока ТА1 принять равным 0,01. Занести значение тока срабатывания реле в таблицу 2.7.

14) Определить расчетное число витков 2 уравнивающей обмотки для основной стороны (сторона ВН) по формуле: $\mu_{ОСН.РАСЧ.} = F_{ср.мин.} \cdot I_{ср} = 100 / I_{ср}$. Выбрать число витков 2 уравнивающей обмотки $\mu_{ОСН.} = \mu_{yp2}$ как ближайшее меньшее целое значение, занести его в таблицу 2.7.

15) Определить расчетное число витков 1 уравнивающей обмотки для неосновной стороны (сторона НН) по формуле: $\mu_{НЕОСН.РАСЧ.} = \mu_{ОСН.РАСЧ.} \cdot I_{ОСН.} / I_{НЕОСН.} = \mu_{ОСН.РАСЧ.} \cdot I_1 / I_2$. Выбрать число витков 1 уравнивающей обмотки $\mu_{НЕОСН.РАСЧ.} = \mu_{yp1}$ как ближайшее меньшее целое значение, занести его в таблицу 2.7.

16) Определить расчетное значение тока небаланса по формуле $I_{НБ.РАСЧ.} = I'_{НБ} + I''_{НБ} = (I_{1К} - I_{2К}) + \frac{\mu_{НЕОСН.РАСЧ.} - \mu_{НЕОСН.}}{\mu_{НЕОСН.}} \cdot I_{2К}$. Занести данное значение в таблицу 2.7.1.

17) Определить расчетное число витков тормозной обмотки по формуле $\mu_{ТОРМ.РАСЧ.} = K_{отс} \cdot \frac{I_{НБ.РАСЧ.} \cdot \mu_{НЕОСН.РАСЧ.}}{I_{2К} \cdot tg\sim}$. Принять $tg\sim = 0,75$. Выбрать число витков тормозной обмотки $\mu_{ТОРМ}$ как ближайшее целое значение, занести его в таблицу 2.7.

18) В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ») задать рассчитанные значения числа витков тормозной и уравнительных обмоток. Перевести защиту в режим действия на отключение.

19) Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедится в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3 и Q4.

20) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на стороне вторичных обмоток силового трансформатора. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3 и Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3 и Q4, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗТ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗТ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

21) Аналогичным образом провести испытания при трехфазном коротком замыкании на стороне первичных обмоток силового трансформатора.

22) Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

Примечание:

1) Практическая работа может быть выполнена и при других схемах соединения обмоток силового трансформатора, например, «звезда-треугольник». В этом случае, расчет уставок защиты выполняется аналогично, но в параметрах защиты необходимо включить компенсацию фазового сдвига между токами вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА2.

2) Для грубого выравнивания вторичных токов измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА2 можно использовать различные коэффициенты трансформации, значения которых доступны в окне настроек защиты. Это может потребоваться в случаях, когда неравенство токов плеч дифференциальной защиты невозможно компенсировать только выбором соответствующего числа витков уравнительных обмоток.

Таблица 2.7 – Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора

Параметр	Значение
Ток нагрузки со стороны ВН I_1 , А	
Ток нагрузки со стороны НН I_2 , А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны ВН $I_{1к.}$, А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны НН $I_{2к.}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{ср}$, А	
Число витков 2 уравнивающей обмотки $\mu_{ОСН} = \mu_{ур2}$	
Число витков 1 уравнивающей обмотки $\mu_{НЕОСН} = \mu_{ур1}$	
Расчетное значение тока небаланса $I_{НЕРАСЧ.}$, А	
Число витков тормозной обмотки $\mu_{ТОРМ}$	

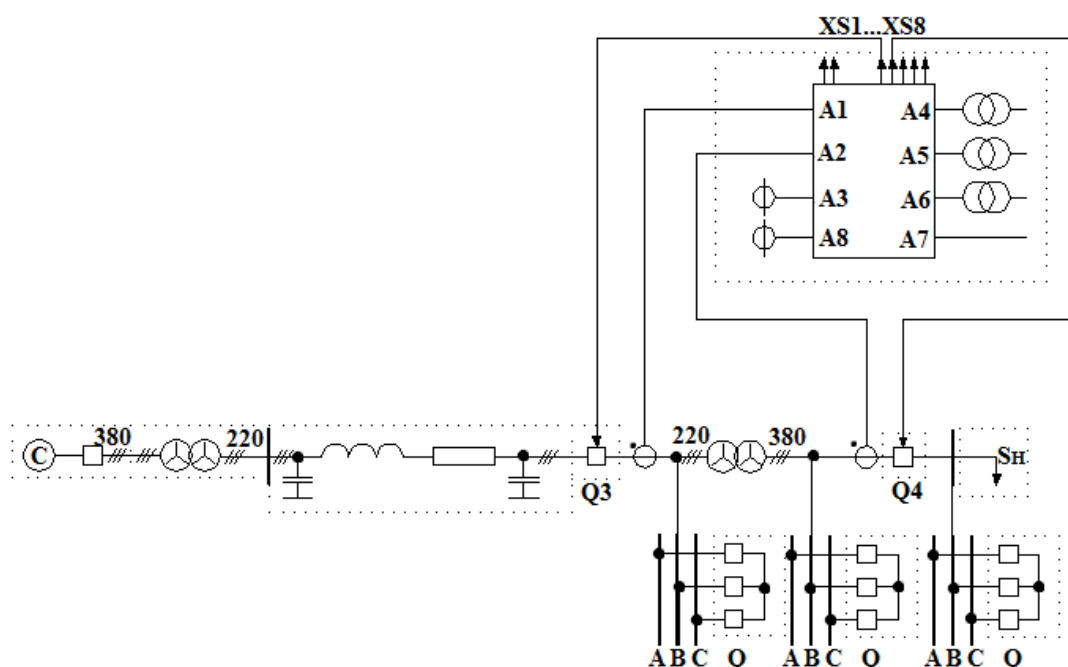


Рис. 2.14 – Схема рабочей установки по теме: «Дифференциальная защита трансформатора»

Контрольные вопросы

- 1) Объяснить принцип действия дифференциальной защиты.
- 2) Как осуществляется компенсация фазового сдвига между вторичными токами измерительных трансформаторов тока при выполнении защиты силового трансформатора с схемой соединения звезда/треугольник?
- 3) Как осуществляется компенсация неравенства величин токов со стороны высокого и стороны низкого напряжения при выполнении дифференциальной защиты силового трансформатора?

4) Почему дифференциальная защита не реагирует на токи нагрузки, токи внешних коротких замыканий и токи синхронных качаний?

В каком режиме работы защищаемого объекта ток небаланса будет иметь максимальное значение?

2.8. Изучение принципа действия дифференциальной защиты шин

Цель работы:

- изучить принцип действия дифференциальной защиты шин;
- исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

2.8.1. Общие сведения

Дифференциальная защита шин применяется в качестве основного вида защиты сборных шин, имеющих двухстороннее питание. Принцип действия защиты такой же, как и у продольной дифференциальной защиты линии электропередач и основан на сравнении величин и направлений токов фаз до и после защищаемого объекта. В простейшем случае дифференциальная защита шин включается на векторную сумму токов всех присоединений. Основным достоинством дифференциальной защиты шин является ее высокое быстродействие, так как отключение производится без выдержки времени, и абсолютная селективность, так как защита не реагирует на внешние короткие замыкания и токи синхронных качаний.

2.8.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.15 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной мощности (энергосистемы). От подстанции через выключатель Q5 и линию электропередачи запитана нагрузка S_n . На шинах подстанции установлен комплект дифференциальной защиты, подключенный на токи фазы А всех присоединений. Схема подключения токов через входы A1, A2 и A3 модуля ввода-вывода должна быть такой, что в нормальном режиме или при внешнем коротком замыкании (выключатель Q как показано на рисунке), алгебраическая сумма их мгновенных значений равнялась нулю. В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на защищаемых шинах, а также короткое замыкание на шинах потребителя. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 2.15 показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует векторную сумму фазных токов всех присоединений и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения

- звезда без нулевого провода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4 и Q5 с разъемами XS3, XS4 и XS5 модуля ввода-вывода соответственно.

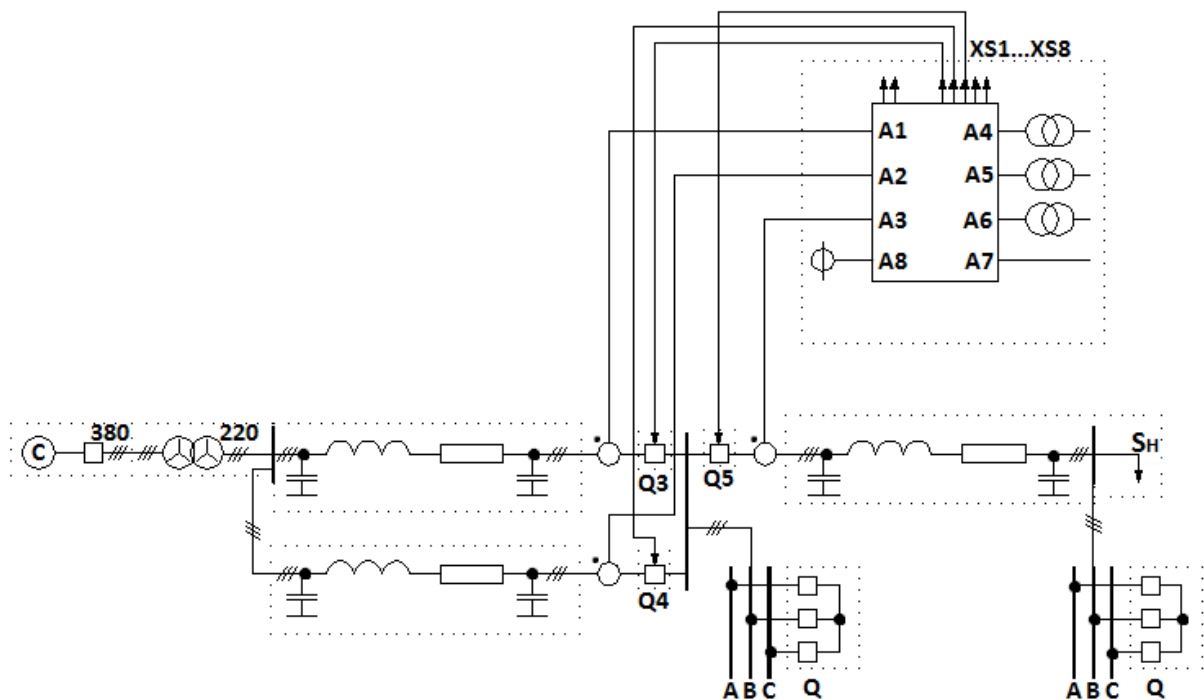


Рис. 2.15 – Схема рабочей установки по теме: «Дифференциальная защита шин»

1) Установить параметры линий электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

2) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3, Q4 и Q5 в положение «Авт».

3) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

5) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита - Работа №8 Дифференциальная защита шин».

6) Включить питание стенда.

7) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

8) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

9) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

10) Дистанционно включить выключатель Q3 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q3». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q5. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов всех присоединений шин I1, I2 и I3.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ»). В таблицу 2.8. записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. В таблицу 2.8. записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{нб.кз.}$. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{сз.} = I_{нб.} \cdot K_n$. В качестве величины тока небаланса $I_{нб.}$ взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{нб.нагр.}$, $I_{нб.кз.}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср.} = I_{сз.} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. В таблицу 2.8. записать максимальную величину тока небаланса $I_{нб.}$, величину тока срабатывания защиты $I_{сз.}$ и величину тока срабатывания реле $I_{ср.}$. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Отключить выключатель модуля трехфазной сети.

15) Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на защищаемых шинах. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что

свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗШ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание (выключатель Q). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

Таблица 2.8 – Расчет уставок дифференциальной защиты шин

Параметр	Значение
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$, А	
Ток небаланса в режиме внешнего короткого замык-я $I_{нб.кз.}$, А	
Ток небаланса $I_{нб.}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{сз.}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{ср.}$, А	

Контрольные вопросы

- 1) Объясните принцип действия продольной дифференциальной защиты шин?
- 2) Что такое ток небаланса дифференциальной защиты?
- 3) Как рассчитываются уставки продольных дифференциальных защит?
- 4) Почему продольная дифференциальная защита шин не реагирует на токи внешних коротких замыканий и синхронных качаний?

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ»

3.1. Изучение особенностей взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты

Цель работы:

- изучить алгоритмы работы устройств АПВ на линиях с односторонним питанием;
- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты;
- изучить принципы расчета уставок АПВ линий электропередач с односторонним питанием»

3.1.1. Общие сведения

Автоматическое повторное включение (АПВ) линии электропередачи - один из самых распространенных видов автоматики в сетях от 6 до 500 кВ. Повсеместное использование АПВ линий электропередач обусловлено тем, что большая часть коротких замыканий является само устраняющимися. В этих условиях, повторное включение объекта, отключенного действием релейной защиты, позволяет восстановить нормальный режим работы электроэнергетического оборудования. Принцип действия АПВ основан на анализе положения ключа управления выключателя ЛЭП и его реального состояния. Так, если выключатель ЛЭП находится в положении «отключено», а его ключ управления в положении «включено», происходит запуск АПВ и команда на включение выключателя. Для обеспечения эффективности АПВ выполняется с выдержкой времени, которая необходима для выполнения двух условий: 1) деионизации дугового промежутка в месте повреждения; 2) обеспечения готовности привода к отключению в случае возникновения повторного короткого замыкания. Для предотвращения многократных включений ЛЭП на устойчивое короткое замыкание, АПВ выполняется с фиксированной кратностью. Как правило, применяются однократные и двукратные АПВ. Кроме того, к АПВ предъявляется ряд дополнительных требований: 1) АПВ не должно приходить в действие при отключении ЛЭП от ключа управления; 2) АПВ должно обеспечивать ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание; и т. д. Полный перечень требований, предъявляемых к АПВ ЛЭП, представлен в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ).

3.1.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.1. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой линию электропередачи с односторонним питанием, обеспечивающую

электроснабжение потребителей S_H . В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Устройства релейной защиты и автоматики воздействуют на выключатель линии электропередачи Q3. В качестве устройства защиты используется максимальная токовая защита (МТЗ) с независимой выдержкой времени, в качестве устройства автоматики - автоматическое повторное включение (АПВ) линии электропередачи с односторонним питанием. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q4, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в конце линии электропередачи. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъем XS1 выключателя Q3 с разъемом XS3 модуля ввода-вывода информационным кабелем типа DB9M-DB9F. Аналогичным образом, разъем XS1 выключателя Q4 соединить с разъемом XS4 модуля ввода-вывода.

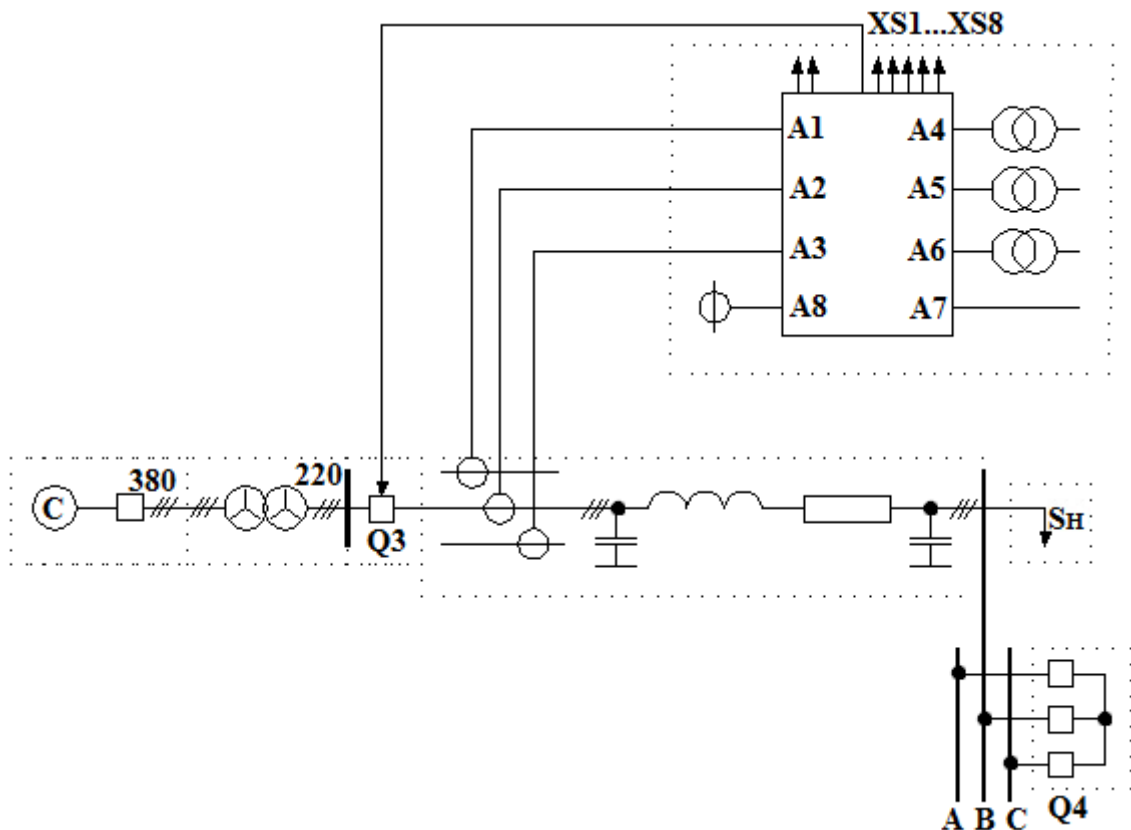


Рис. 3.1 – Схема рабочей установки по теме: «Автоматическое повторное включение линии электропередачи»

2) Установить параметры линии электропередачи: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Переключатель SA1 модуля активной нагрузки установить в положение 1.

4) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 и Q4 и положение «Авт».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной «ети в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №1 Автоматическое повторное включение ЛЭП».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления выключателем SB3 на мнемосхеме ПК в положение «Вкл.». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

12) Записать величину тока нагрузки $I_{\text{раб.макс.}}$. Отключить выключатель Q3. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле:
$$I_{\text{сз}} = I_{\text{раб.макс.}} \cdot K_n \cdot K_z / K_{\text{воз}}$$
 Коэффициент надежности K_n принять равным 1,2.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки K_z принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока $K_{\text{воз}}$ принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} \cdot K_{\text{сх}} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Коэффициент схемы $K_{\text{сх}}$ определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедится в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда». Перевести защиту в режим действия на отключение.

14) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить

переключатель «кратность действия» в положение «двукратное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» в положение «отключено».

15) Проверить работу АПВ при самоустраняющемся коротком замыкании. Для этого, запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q3. Создать короткое замыкание включением выключателя Q4 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме ПК). При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (выключатель Q4). АПВ с выдержкой времени подает команду на включение выключателя Q3. Восстанавливается нормальный режим работы.

16) Проверить автоматический возврат АПВ. Для этого, повторить предыдущий пункт 3...4 раза. АПВ должно срабатывать в каждом случае.

17) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого, создать короткое замыкание включением выключателя Q4. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q3, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. АПВ с выдержкой времени 1 ступени включает выключатель Q3. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q3. АПВ с выдержкой времени 2 ступени снова включает выключатель Q3. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q3. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

18) Отключить короткое замыкание (выключатель Q4). Квитировать АПВ, переводом ключа управления выключателем SB3 в положение «откл».

19) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «однократное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» установить в положение «ускорение действия РЗ после АПВ».

20) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого, подать команду на включение выключателя Q3, создать короткое замыкание включением выключателя Q4. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q3. АПВ с выдержкой времени включает выключатель Q3. МТЗ отключает выключатель Q3 без выдержки времени (по цепи ускорения). Дальнейшая работа АПВ блокируется.

21) Отключить короткое замыкание (выключатель Q4). Квитировать АПВ, переводом ключа управления выключателем SB3 в положение «откл».

22) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «однократное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» установить в положение «ускорение действия РЗ до АПВ».

23) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Определить различия в алгоритме работы МТЗ и АПВ по сравнению с предыдущим опытом. Сделать выводы о правильности действий релейной защиты и автоматики. Оформить отчет по практической работе. В отчете представить временные диаграммы работы РЗА для всех проведенных экспериментов.

Контрольные вопросы

- 1) Как выбираются уставки времени срабатывания двукратного АПВ?
- 2) Что такое ускорение действия релейной защиты при АПВ?
- 3) В чем разница ускорения действия релейной защиты до и после АПВ?
- 4) В чем преимущества ускорения действия релейной защиты до АПВ?
- 5) Что такое время автоматического возврата АПВ, для чего оно необходимо, из каких условий выбирается?

3.2. Изучение особенностей взаимодействия устройств АПВ шин и устройств релейной защиты

Цель работы:

- изучить особенности работы устройств автоматического повторного включения шин;
- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ шин и устройств релейной защиты.

3.2.1. Общие сведения

Автоматическое повторное включение шин является эффективным средством минимизации ущерба, вызванного перерывом электроснабжения потребителей, так как отключение выключателя питающего присоединения приводит к потере питания всех потребителей данной системы шин. Эффективность действия АПВ обусловлена тем, что существенная часть коротких замыканий является само устраняющимися.

К АПВ шин предъявляются те же требования, что и для АПВ линий электропередач, в частности: 1) АПВ выполняется с выдержкой времени, необходимой для деионизации дугового промежутка в месте повреждения; 2) АПВ выполняется с фиксированной кратностью; 3) АПВ учитывает положение ключей управления выключателями, т. е. не срабатывает на отключение шин при оперативных переключениях; 4) АПВ обеспечивает ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание и т. д. Кроме того, к АПВ шин предъявляется и ряд

специфических требований, в частности, АПВ выполняется путем последовательного включения выключателей всех присоединений, если включение очередного выключателя приводит к возникновению тока короткого замыкания, дальнейшая работа АПВ блокируется.

3.2.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.2. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной мощности (энергосистемы). От подстанции через выключатель Q5 и линию электропередачи запитана нагрузка S_H . В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. На шинах подстанции установлен комплект дифференциальной защиты, подключенный на токи фазы А всех присоединений. Схема подключения токов через входы A1, A2 и A3 модуля ввода-вывода должна быть такой, что в нормальном режиме или при внешнем коротком замыкании (выключатель Q как показано на рисунке 3.2.), алгебраическая сумма их мгновенных значений равнялась нулю. В качестве аварийных режимов, предусматривается короткое замыкание на защищаемых шинах, а также короткое замыкание на шинах потребителя. Для создания короткого замыкания используется трехфазный выключатель Q (на рис. 3.2. показаны варианты его подключения для имитации режима трехфазного короткого замыкания в указанных выше точках). Устройство защиты контролирует векторную сумму фазных токов всех присоединений и формирует управляющее воздействие на отключение выключателей. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4, Q5 с разъемами XS3, XS4, XS5 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линий электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3, Q4 и Q5 в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №2 Автоматическое повторное включение шин».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) В программе «DeltaProfi» перевести дифференциальную защиту шин в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления SB3 в положение «вкл.». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный. Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q5. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов всех присоединений шин I1, I2 и I3.

12) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ»). Записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{нб.нагр.}$. Включить выключатель Q (кнопкой SB1 на лицевой панели модуля выключателя) для создания режима внешнего трехфазного короткого замыкания. Записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I1 I_{нб.КЗ}$. Отключить выключатель Q (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя). Дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

13) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{сз} = I_{нб} \cdot K_n$. В качестве величины тока небаланса $I_{нб}$ взять максимальное из двух измеренных ранее значений $I_{нб.нагр.}$, $I_{нб.КЗ}$. Коэффициент надежности K_n принять равным 1,5. Рассчитать ток срабатывания реле тока $I_{ср} = I_{сз} / n_T$. Коэффициент трансформации трансформатора тока n_T принять равным 1. Записать максимальную величину тока небаланса $I_{нб}$, величину тока срабатывания защиты $I_{сз}$ и величину тока срабатывания реле $I_{ср}$. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

14) Перевести дифференциальную защиту шин в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. Убедится в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить выключатель Q, дистанционно отключить выключатели Q3, Q4 и Q5. Обратит внимание, на то, что АПВ шин не срабатывает при оперативных переключениях.

15) Отключить выключатель модуля трехфазной сети. Изменить точку подключения выключателя Q для создания трехфазного короткого замыкания на защищаемых шинах. Включить выключатель модуля трехфазной сети.

16) Провести испытания АПВ шин при самоустраняющемся коротком замыкании. Для этого выполнить следующие действия. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя Q). АПВ с выдержкой времени включает выключатели всех присоединений. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам «ДЗШ» и «АПВШ» сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

17) Проверить учет положения ключей управления выключателями. Для этого, подать команду на отключение выключателя Q3 или Q4. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя Q). АПВ с выдержкой времени включает выключатели отключенные действием ДЗШ. Обратите внимание, что выключатель одного из питающих присоединений (Q3 или Q4), находившийся в отключенном состоянии, не включается действием АПВ. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам «ДЗШ» и «АПВШ» сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

18) Провести испытания АПВ шин при устойчивом коротком замыкании. Для этого выполнить следующие действия. Подать команды на дистанционное включение выключателей Q3, Q4 и Q5. Создать короткое замыкание включением выключателя Q. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q4 и

Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. АПВ с выдержкой времени включает выключатель Q3, при этом возникает ток короткого замыкания и выключатель Q3 отключается действием ДЗШ. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

19) Остановить работу программы кнопкой «Стоп». Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

комплекса релейной защиты и автоматики; 3) сохранение радиальной схемы электроснабжения необходимо для снижения токов коротких замыканий, удобства регулирования режима работы сети по напряжениям в узлах и потокам активной и реактивной мощности.

Недостатком такого решения является то, что при исчезновении питания от одного из источников (рабочего источника), потребители теряют питание на время оперативных переключений (перевода потребителей на резервный источник питания). Применение АВР позволяет сократить время перерыва электроснабжения потребителей, так как перевод потребителей с рабочего на резервный источник питания осуществляется автоматически.

К устройствам АВР предъявляются следующие основные требования: 1) АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателя рабочего источника питания; 2) Включение резервного источника осуществляется только после отключения рабочего источника питания, что предотвращает возможность не синхронного включения источников питания, а так же предотвращает включение резервного источника на короткое замыкание в цепях рабочего источника питания; 3) АВР срабатывает даже если напряжение на шинах потребителя исчезло по причине короткого замыкания на шинах (т. е. допускается включение резервного источника на короткое замыкание); 4) АВР обеспечивает ускорение действия релейной защиты при включении резервного источника на устойчивое короткое замыкание и т.д.

3.3.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.3. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой подстанцию, получающую питание от двух линий электропередач через выключатели Q3 и Q4 от источника бесконечной мощности (энергосистемы). От шин подстанции питается нагрузка S_H . В качестве нагрузки используется модуль активной нагрузки, схема соединения - звезда без нулевого провода. Выключатель Q3 является выключателем рабочего источника питания. Выключатель Q4 является выключателем резервного источника питания. В нормальном режиме выключатель Q3 включен, а выключатель Q4 отключен. Исчезновение питания на шинах потребителя контролируется измерительным трансформатором напряжения, в качестве которого используется датчик напряжения А4 модуля ввода-вывода. Для имитации исчезновения напряжения у рабочего источника используется выключатель Q. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3 и Q4 с разъемами XS3 и XS4 модуля ввода-вывода соответственно.

2) Установить параметры линий электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3);

б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3 и Q4 положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

5) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q в положение «Руч».

6) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №3 АВР питающего присоединения».

7) Включить питание стенда.

8) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

9) Включить выключатель Q (кнопка SB1 на лицевой панели модуля выключателя).

10) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

11) Дистанционно включить выключатель Q3 переводом ключа управления SB3 и положение «вкл.». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q3 должен включиться, а его цвет измениться на красный.

12) Проверить действие АВР при ошибочном отключении выключателя рабочего источника питания. Для этого, подать команду на отключение выключателя Q3 переводом ключа управления SB3 в положение «откл.». АВР срабатывает и включает выключатель резервного источника Q4.

13) Восстановить нормальный режим работы (перевести питание потребителей на рабочий источник питания). Для этого, отключить резервный источник питания переводом ключа управления SB4 в положение «вкл.», а затем в положение «откл.». Перевести ключ управления SB3 в положение «вкл.».

14) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на рабочем источнике питания. Для этого, отключить выключатель Q кнопкой SB2 на лицевой панели модуля выключателя. АВР срабатывает, отключая выключатель рабочего источника Q3 и включая выключатель резервного источника Q4.

15) Остановить работу программы кнопкой «Стоп». Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

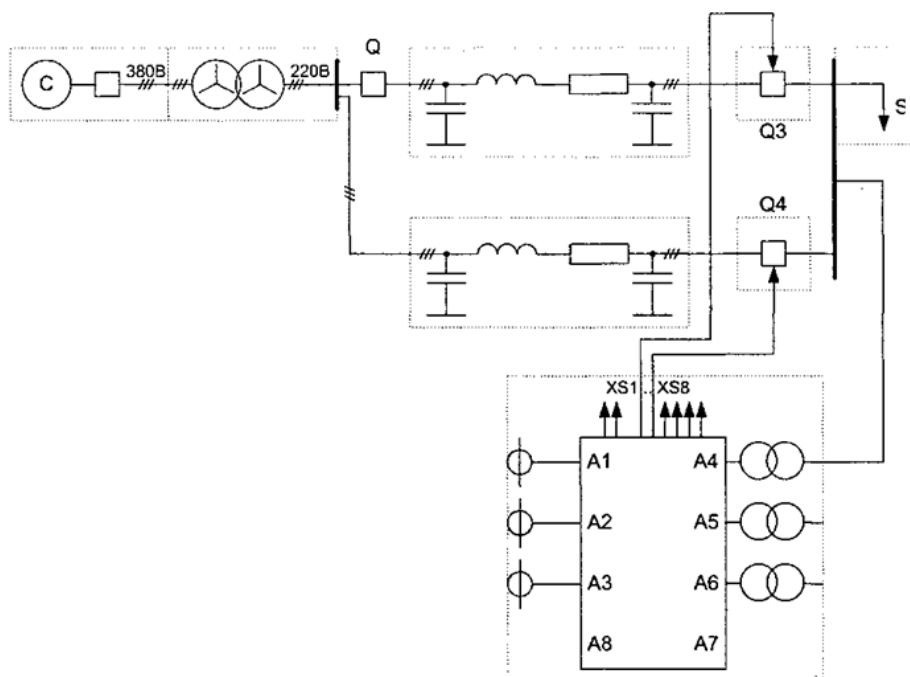


Рис. 3.3 – Схема рабочей установки по теме: «Автоматическое включение резерва питающего присоединения».

Контрольные вопросы

- 1) Объясните назначение устройств автоматического включения резерва?
- 2) Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
- 3) Как выбираются уставки срабатывания АВР?
- 4) Перечислите случаи, в которых АВР должно приходить в действие?
- 5) В чем разница между АВР одностороннего и двухстороннего действия?

3.4. Изучение особенностей автоматического включения резерва секционного выключателя

Цель работы:

- изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва секционного выключателя.

3.4.1. Общие сведения

Автоматическое включение резерва (АВР) секционных выключателей широко применяется на двух трансформаторных понизительных подстанциях распределительных сетей. В таких схемах электроснабжения каждый силовой трансформатор обеспечивает питание своей группы потребителей, подключенных к сборным шинам распределительного устройства (РУ) низкого напряжения, что обеспечивает снижение величин

токов короткого замыкания, упрощает выбор коммутационной аппаратуры и т. п. Недостатком такого решения является перерыв электроснабжения части потребителей одной из секций сборных шин низкого напряжения при аварийном отключении одного из трансформаторов. Поскольку, при проектировании подстанций силовые трансформаторы выбираются из условия обеспечения электроснабжения потребителей всей подстанции, оставшийся в работе трансформатор с 40 % перегрузкой может обеспечивать питание всех потребителей в течении определенного времени. В этой ситуации, восстановление электроснабжения потребителей осуществляется оперативными переключениями, в частности, отключением вводного выключателя потерявшей питание секции шин и включением секционного выключателя (СВ) для перевода потребителей на оставшийся в работе силовой трансформатор. Применение АВР секционного выключателя обеспечивает выполнение данной операции автоматически, что существенно сокращает время перерыва электроснабжения потребителей.

К устройствам АВР СВ предъявляются те же требования, что и к АВР питающих присоединений, а именно: 1) АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении вводного выключателя; 2) включение секционного выключателя должно осуществляться только после отключения вводного выключателя; 3) АВР должно срабатывать даже если напряжение на шинах потребителя исчезло по причине короткого замыкания на шинах; 4) АВР должно обеспечивать ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание и т.д.

3.4.2. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.4 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема лабораторных испытаний представляет собой двух трансформаторную подстанцию, получающую питание от источника бесконечной мощности (модуль трехфазной сети). Каждый трансформатор через вводной выключатель Q3 или Q4 обеспечивает питание своей секции шин с нагрузкой S_n . В качестве одной из нагрузок используется модуль активной нагрузки, в качестве другой - модуль индуктивной нагрузки. Схема соединения каждой нагрузки - звезда без нулевого провода. Секционный выключатель Q5 в нормальном режиме работы отключен, т. е. трансформаторы работают отдельно, каждый на свою нагрузку. Исчезновение напряжения на каждой секции шин контролируется измерительными трансформаторами напряжения TV1 и TV2, в качестве которых используются датчики напряжения A4 и A5 модуля ввода-вывода. Для дистанционного/автоматического управления выключателями необходимо соединить разъемы XS1 выключателей Q3, Q4, Q5 с разъемами XS3, XS4, XS5 модуля ввода-вывода соответственно.

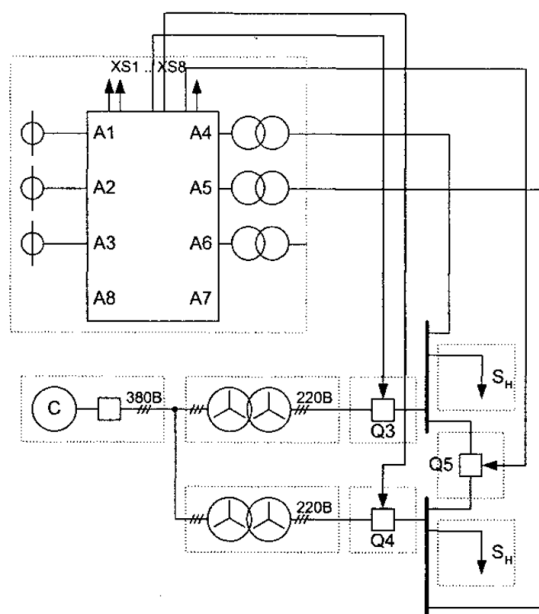


Рис. 3.4 – Схема рабочей установки по теме: «Автоматическое включение резерва питающего присоединения»

2) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателей Q3, Q4 и Q5 в положение «Авт».

3) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем трехфазной сети в положение «Руч».

4) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Автоматика ЭЭС - Работа №4 АВР секционного выключателя».

5) Включить питание стенда.

6) Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

7) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

8) Дистанционно включить выключатели Q3 и Q4 щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) по прямоугольникам выключателей на мнемосхеме. Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый - отключен, красный - включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатели Q3 и Q4 должны включиться, а их цвет измениться на красный.

9) Ввести в действие АВР. Для этого, открыть окно настройки параметров АВР (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АВРСВ») и перевести переключатель «Режим работы» в положение «включено».

10) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на первой секции шин. Для этого дистанционно отключить вводной выключатель Q3 щелчком ЛКМ по изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5.

11) Восстановить нормальный режим работы. Для этого, вывести АВР из работы (перевести переключатель «Режим работы» в положение «отключено» в окне настройки параметров АВРСВ), дистанционно отключить выключатель Q5 и включить выключатель Q3, ввести АВР в работу (перевести переключатель «Режим работы» в положение «включено» в окне настройки параметров АВРСВ).

12) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на второй секции шин. Для этого дистанционно отключить вводной выключатель Q4 щелчком ЛКМ по изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5.

13) Остановить работу программы кнопкой «Стоп». Отключить питание стенда. Оформить отчет по практической работе.

Контрольные вопросы

1) Объясните назначение устройств автоматического включения резерва?

2) Какие требования предъявляются к устройствам АВР?

3) Как выбираются уставки срабатывания АВР?

4) Перечислите случаи, в которых АВР секционного выключателя должно приходить в действие.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример оформления титульного листа бланка отчета
по практической работе

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«Системы контроля и управления атомных станций»

(наименование кафедры)

(фамилия, имя, отчество студента)

Институт ИЯЭ и П курс _____ группа _____

ОТЧЁТ
по практической работе

По дисциплине _____

Отметка о зачёте _____ (дата)

Преподаватель

(должность) _____ (подпись) _____ (инициалы,
фамилия)

Севастополь 20__

Список литературы

1. Релейная защита в электроэнергетических системах. Методические указания к проведению лабораторных работ АЭС-СК. – Челябинск:НПП «Учтех-Профи ЮУрГУ» 2017.

2. Автоматизация электроэнергетических систем. Методические указания к проведению лабораторных работ АЭС-СК. – Челябинск:НПП «Учтех-Профи ЮУрГУ», 2017.

3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения/ В.А.Андреев. – М.:высш. шк., 2006.

4. Басс Э., Дорогунцев В., Релейная защита электроэнергетических систем. МЭИ, 2006 г.

5. URL: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/422-prichiny-povrezhdenijj-na-vozdushnykh.html>.

6. URL:<https://pomagerim.ru/rza/to-ras4et-princip-deystvia.php>. (Расчет зоны действия ТО, принцип действия).

7. URL:https://studme.org/183473/tehnika/maksimalnaya_tokovaya_zaschita_nezavisimymi_ogranichenno_zavisimymi_harakteristikami_vremeni.

8. URL:https://studopedia.net/14_20485_maksimalnaya_tokovaya-zashchita-s-puskom-po-napryazheniyu.html. (Максимальная токовая защита с пуском по напряжению).

Учебное издание

**Зацаринная Татьяна Григорьевна
Аникевич Константин Павлович
Скидан Александр Антонович
Нурзай Владимир Асадович**

ПРАКТИКУМ ПО САУ ПТУ

*Учебное пособие
по дисциплине
«Системы автоматического управления ПТУ»*

В авторской редакции

Изд. № 56/2024. Объем 5 п.л. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,9.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»