

Библиотечка электротехника. 2015. № 2

И. Ф. Маруда

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Часть 1.

ЛОГИЧЕСКИЕ ЗАЩИТЫ

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
ЭНЕРГЕТИК**

Вниманию специалистов

Вышли в свет следующие выпуски

«Библиотечки электротехника»:

Вуколов В. Ю., Куликов А. Л., Папков Б. В. **Повышение эффективности передачи электроэнергии в распределительных сетях (части 1 и 2)**

Беляев А. В. **Автоматика и защита на подстанциях с синхронными и частотно-регулируемыми электродвигателями большой мощности (части 1 и 2)**

Быстрицкий Г. Ф., Бородич Е. А. **Автономные и когенерационные установки энергоснабжения (справочные материалы)**

Вантеев А. И. **Вопросы безопасной организации работ на воздушных линиях электропередачи**

Языков А. Е., Вайнштейн А. Г. **Подшипники и элементы систем маслоснабжения паровых турбин (части 1 и 2)**

Дьяков А. Ф., Платонов В. В. **Проблемы инженерного образования в электроэнергетике и электротехнике**

Куликов А. Л., Папков Б. В., Шарыгин М. В. **Анализ и оценка последствий отключения потребителей электроэнергии**

Гондуров С. А., Михалев С. В., Пирогов М. Г., Соловьев А. Л. **Релейная защита электродвигателей напряжением 6 – 10 кВ терминалами БМРЗ: Методика расчета**

Гондуров С. А., Илюхин Е. В., Пирогов М. Г., Соловьев А. Л. **Ступенчатые дистанционные защиты линий электропередачи 35 – 220 кВ: Методика расчета**

Хромченко Ф. А., Калугин Р. Н. **Увеличение ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС: справочные материалы**

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу «ПРЕССА РОССИИ». Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы, а также в РЕДАКЦИИ.

**Подписной индекс «Библиотечки электротехника» —
приложения к журналу «Энергетик»**

88983

Адрес редакции
журнала «Энергетик»:

115280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14.

Телефон (495) 675-19-06.

E-mail: energetick@mail.ru

Библиотечка электротехника

Приложение к журналу «Энергетик»

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 2 (194)

И. Ф. Маруда

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Часть 1.

ЛОГИЧЕСКИЕ ЗАЩИТЫ

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2015

УДК 621.316.925

ББК 31.27-05

М 25

Главный редактор журнала «Энергетик» А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

«Библиотечки электротехника»

И. И. Батюк (*зам. председателя*), К. М. Алпипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев, В. А. Забегалов, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев, Н. В. Лисицын, В. И. Пуляев, А. И. Таджикибаев

Маруда И. Ф.

М 25 Релейная защита электрических объектов. Часть 1. Логические защиты. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2015. — 78 с.: ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 2 (194)].

Приведены разработки по совершенствованию, повышению эффективности защит сосредоточенных электрических объектов: генераторов, трансформаторов, блоков электростанций, автотрансформаторов, трансформаторов узловых, проходных, ответвительных, тупиковых подстанций.

Определены области применения токовых защит нулевой последовательности воздушных линий электропередачи, автотрансформаторов с традиционными и нетрадиционными алгоритмами функционирования с повышенным техническим совершенством.

Книга выпускается в двух частях.

Для инженерно-технических работников электростанций и энергосистем, проектных и проектно-производственных организаций и производств, научно-исследовательских институтов, может быть использована студентами и аспирантами вузов.

Предисловие

Общепринятым является положение о выполнении резервных защит сосредоточенных электрических объектов токовыми защитами.

Генераторы, трансформаторы, блоки электростанций, трансформаторы проходных, ответвительных, тупиковых подстанций распределительных сетей энергосистем и других объектов имеют в качестве резервных максимальные токовые защиты с дополнительным пуском напряжения или без него. Иключение составляют современные терминалы микропроцессорных защит автотрансформаторов 220 кВ, в которых в качестве резервных защит автотрансформаторов используются дистанционные защиты.

Однако возможности дистанционных защит в них реализованы не в полной мере. Рекомендуемые производителями уставки срабатывания защит не осуществляют резервирование основной дифференциальной защиты автотрансформатора, их защищаемые зоны ограничены.

Брошюра выпускается в двух частях.

В ч. I приводятся анализ этих защит и рекомендации по их использованию и расчету в целях обеспечения резервирования автотрансформаторов.

Резервные защиты защищают объекты с выдержками времени. Их селективность обеспечивается ступенчатым принципом выбора выдержек времени срабатывания, нарастающими от потребителя к источнику питания и поэтому защиты конечных элементов электрической сети могут иметь большие выдержки времени. Например, выдержки времени максимальных токовых защит генераторов на отдельных электростанциях достигают 8 – 9 с, что может приводить к негативным последствиям.

Длительное протекание токов коротких замыканий может вызывать значительные повреждения оборудования, длительное

снижение питающего напряжения во время короткого замыкания — к нарушению надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей. Этими и рядом других причин снижается эффективность защит.

Поэтому остаются актуальными вопросы совершенствования резервных защит, повышения их эффективности.

Часть 1 посвящена совершенствованию резервных защит на основе логических защит объектов путем образования и использования на объектах защит двойной селективности.

Такая защита, образованная на основе резервной защиты объекта, например максимальной токовой защиты, обладает быстрым действием при коротких замыканиях на защищаемом объекте и с выдержкой времени осуществляет резервирование защит и отключающих аппаратов элементов смежной сети. Защита обладает абсолютной селективностью в пределах защищаемого объекта и относительной селективностью при повреждениях на объектах смежной сети.

Для укрупненных блоков ГЭС рекомендуются к использованию резервные защиты с двумя зонами защиты.

Использование их повышает эффективность защиты блоков.

Защиты линий с двусторонним питанием от коротких замыканий на землю используют органы направления мощности короткого замыкания, обеспечивающие их селективность. Органы направления мощности для работы используют напряжение сети в качестве поляризующего вектора.

Цепи напряжения, являясь недостаточно надежным элементом в построении устройств защиты и самих защит, снижают эффективность защит.

В ряде случаев имеется возможность применения способа (альтернативного фазовому) относительного замера токов с использованием селективного органа, сравнивающего по абсолютному значению токи нулевой последовательности короткого замыкания присоединений между собой в органе сравнения и выявлять поврежденное присоединение по наибольшему току.

Часть 2 посвящена совершенствованию токовой направленной защиты нулевой последовательности на основе селективного органа, не требующего цепей напряжения при построении релейной защиты, оценки области его применения в защитах от однофазных коротких замыканий на землю.

В брошюре приводятся в основном результаты разработок, выполненных автором при содействии во внедрении результатов технического руководства энергосистемы ОАО «Волгоградэнерго».

Автор признателен ведущим специалистам по релейной защите доктору техн. наук, проф. А. С. Засыпкину, доктору техн. наук, проф. В. И. Нагаю [ЮРГТУ (НПИ)] – руководителям диссертации автора, материалы которой использованы при написании данной брошюры.

**Замечания и пожелания по брошюре
просим направлять по адресу:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14.
Редакция журнала «Энергетик».**

Автор

Список принятых сокращений

- АПВ — автоматическое повторное включение
- БНТ — бросок тока намагничивания
- ВЛ — воздушная линия
- ВН — высшее напряжение
- ДЗ — дистанционная защита
- КЗ — короткое замыкание
- МТЗ — максимальная токовая защита
- НН — низшее напряжение
- ПС — подстанция
- РЗ — релейная защита
- РЗА — релейная защита и автоматика
- РНМ — реле направления мощности
- СО — селективный орган
- ТКЗ — ток короткого замыкания
- ТН — измерительный трансформатор напряжения
- ТСН — трансформатор собственного расхода
- ТТ — измерительный трансформатор тока
- ЭДС — электродвижущая сила

Введение

Общие положения. Релейная защита является составной частью электроэнергетических систем, обеспечивая их устойчивое и бесперебойное функционирование путем отключения поврежденного элемента системы при коротких замыканиях (КЗ), неполнофазных режимах и недопустимых перегрузках.

Положения об основных функциях и свойствах защит приводятся с сокращениями, и именно те из них, которыми характеризуются рассматриваемые далее логические защиты сосредоточенных электрических объектов, токовые защиты нулевой последовательности элементов электрических систем.

Основные функции релейной защиты заключаются в срабатывании при внутренних повреждениях, несрабатывании при внешних повреждениях и несрабатывании в нормальных и ненормальных режимах электрических систем при отсутствии КЗ.

В соответствии с выполняемыми функциями защиты разделяются на основные и резервные.

Основной является защита, предназначенная для работы при всех или части видов КЗ в пределах всего защищаемого объекта со временем, меньшим, чем у других защит защищаемого объекта.

Резервной является такая защита, которая предусмотрена для работы вместо основной защиты рассматриваемого элемента в случаях ее отказа или вывода из работы или защиты смежных элементов при их отказе, или в случае отказов коммутационных аппаратов смежных элементов.

Примерами основной защиты являются разного вида дифференциальные защиты, резервных защит – токовые, токовые направленные, дистанционные защиты [1, 2]

Свойство селективности релейной защиты. Полноценное функционирование релейной защиты характеризуется способно-

стью выполнять определенные свойства, предъявляемые к релейной защите от КЗ [3], одним из которых является селективность.

Селективностью называется высшее свойство защиты, обеспечивающее эффективное отключение только поврежденного элемента системы при коротком замыкании с помощью его выключателей [1 – 3]. Такое действие при наличии резервирования питания потребителей обеспечивает без потерь их электроснабжение.

Ниже приведены функции селективности:

- селективность срабатывания при внутренних КЗ;
- селективность несрабатывания при внешних КЗ;
- селективность несрабатывания без КЗ.

Селективность срабатывания при внутренних КЗ характеризуется его защитоспособностью и быстротой срабатывания.

Защитоспособность — это свойство защищать весь объект при всех видах КЗ: для линий электропередачи — всю длину линии; для трансформатора, генератора — весь объект за исключением допустимых, например незащищаемой доли витков обмоток.

Быстрота срабатывания. Ускорение отключения КЗ способствует:

- повышению устойчивости параллельной работы генераторов электростанций, отдельных частей энергосистем с остальной частью или энергосистем между собой;
- уменьшению размеров разрушений поврежденного элемента, снижению вероятности повреждения других элементов протекающим через них токов КЗ;
- уменьшению влияния понижения напряжения на работу электроприемников;
- повышению эффективности автоматического повторного включения (АПВ). Например, малое время цикла АПВ облегчает условия вхождения в синхронизм частей энергосистем, уменьшает толчки уравнительных токов между ними. Для этого на системообразующих, магистральных линиях электропередачи часто пуск АПВ осуществляют от быстродействующих защит линий.

Защиты, которые по принципу действия могут срабатывать только в случаях КЗ на защищаемом элементе, обладают **абсолютной** селективностью. Эти защиты выполняются без выдержек времени.

Защиты, которые по принципу действия могут срабатывать в качестве резервных при КЗ на смежных элементах, обладают *относительной* селективностью. Они выполняются с выдержками времени. Их селективность достигается ступенчатым выбором выдержек времени срабатывания, нарастающим от потребителя к источнику [1, 2].

Функция «селективность несрабатывания без КЗ» обеспечивается правильностью расчетов параметров срабатывания защиты, отстройкой их от нагрузочных в нормальных и послеаварийных режимах.

Совершенствование релейной защиты на микропроцессорной основе. В релейной защите на микропроцессорной основе значительно улучшены общие показатели защит:

- значительно снижено потребление в цепях переменного тока и напряжения;
- качественно улучшены характеристики срабатывания, в большей степени учитывающие признаки и условия повреждения объекта;
- повышены чувствительность, быстродействие и надежность защит;
- расширено информационное совершенство, пределом которого является распознаваемость аварийной ситуации при различных состояниях защищаемого объекта [4];
- снижены габаритно-массовые показатели и др.

В микропроцессорных токовых направленных защитах органы направления мощности имеют «контур памяти», который обеспечивает их срабатывание при близких трехфазных КЗ и исключает тем самым мертвую зону в защите. Учитывая то, что все реле в защите виртуальны, защиты могут свободно, без особых затрат дополняться органами направления мощности и контуром памяти.

Микропроцессорные дифференциальные защиты в сравнении с аналоговыми защитами прежнего поколения значительно усовершенствованы.

В них используют иной алгоритм построения измерительных органов защиты, а именно — торможение тока небаланса дифференциальной цепи тормозным током, особым образом образованным из токов плеч защиты. В результате, ток срабатывания дифференциальных защит трансформаторов распределительной сети 110 – 220 кВ снижен до 0,3 – 0,5 номинального тока (против

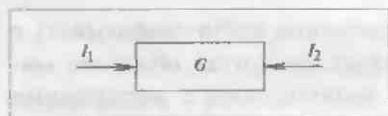


Рис. В.1. Объяснение принципа торможения

1,1 – 1,5 в защитах прежнего поколения — реле серии РНТ-560, ДЗТ-10 [5, 6, 8]), в генераторах — снижен до 0,1 – 0,15 (против 0,6 номинального тока — реле РНТ-560)[1, 24].

Такие уставки срабатывания трансформаторов имеют повышенную чувствительность к витковым замыканиям в переплетенных обмотках и к межкатушечным замыканиям в любых обмотках [11].

На рис. В1 показан принцип используемого торможения микропроцессорной дифференциальной защиты генератора G [9].

Тормозной ток защиты

$$I_T = \sqrt{I_1 I_2 \cos \alpha},$$

где I_1, I_2 — токи плеч защиты; α — угол между токами.

Тормозной ток в дифференциальной цепи присутствует при $\cos \alpha > 0$, что соответствует внешнему КЗ: направление токов согласное, защита не срабатывает.

При КЗ в объекте токи направлены к объекту, угол между ними равен 180° или близок к нему, $\cos \alpha = -1$, тормозной ток отсутствует и защита срабатывает.

Тормозная характеристика дифференциальной защиты генератора приведена на рис. В.2. Ток срабатывания защиты находит-

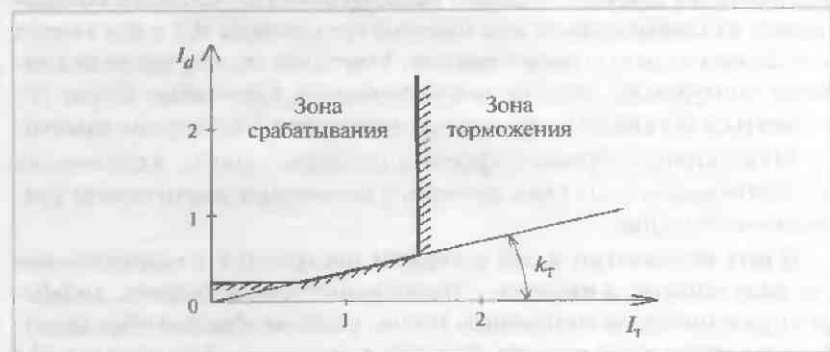


Рис. В.2. Тормозная характеристика дифференциальной защиты генератора: I_d, I_T — дифференциальный и тормозные токи.

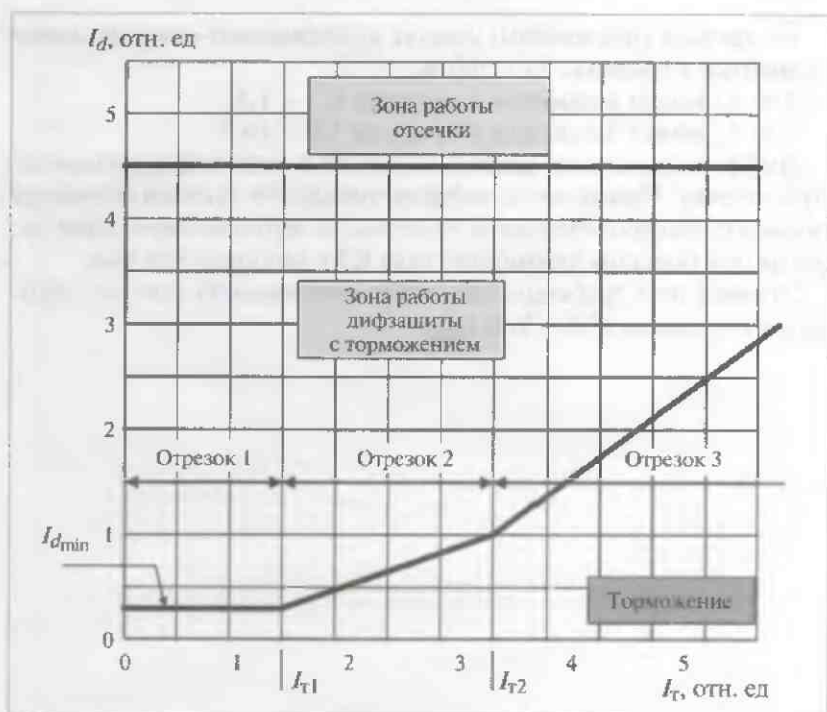


Рис. В.3. Тормозная характеристика дифференциальной защиты трансформатора

ся в пределах $0,1 - 0,6$ номинального тока генератора. Наклонный участок тормозной характеристики характеризуется коэффициентом торможения. Коэффициент торможения $k_t = 0,3 \div 0,7$.

Тормозная характеристика трансформатора формируется на базе основных гармоник дифференциального и тормозного токов (рис. В.3). Она состоит из трех отрезков прямых линий:

- первого (горизонтального) — до тормозного тока I_{T1} ;
- второго (наклонного) — до тормозного тока I_{T2} ;
- третьего (наклонного) — до максимально возможного значения тормозного тока [10].

Минимальное значение дифференциального тока срабатывания защиты находится в пределах $0,1 - 0,6$ номинального тока трансформатора (первый участок).

На втором (наклонном) участке коэффициент наклона может задаваться в пределах $10 - 50 \%$.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Принципы построения логических защит

Все объекты энергосистемы — генераторы, трансформаторы, линии электропередачи и др. — снабжены устройствами релейной защиты.

Составными элементами устройств релейной защиты являются измерительные органы и логическая часть.

Измерительные органы защиты непрерывно получают информацию о состоянии защищаемых объектов, непосредственно контролируя параметры их токов, напряжений.

Логическая часть определяет условия срабатывания соразмерно значениям воздействующих величин, устанавливает место, размеры повреждения и действует в соответствии с назначением. Так, например, в газовой защите трансформатора срабатывание сигнального элемента может свидетельствовать о снижении межвитковой изоляции, ее пробое и появлении дуговых межвитковых замыканий; срабатывание отключающего элемента — о междуфазных коротких замыканиях в трансформаторе. В первом случае защита действует на сигнал, во втором — на полное отключение трансформатора.

Измерительные органы осуществляют контроль параметров электрических величин в соответствии с принадлежностью и селективностью защит.

В защитах с абсолютной селективностью, таких как дифференциальные, измерительные органы используют информацию в виде токов с двух или более сторон защищаемого объекта. В защитах с относительной селективностью, например максимальных токовых, измерительные органы используют информацию с одной, питающей, стороны объекта.

Переходные процессы в электрических сетях учитываются конструкциями и назначением измерительных органов защит.

В защитах с абсолютной селективностью, действующих без выдержек времени, используются измерительные органы, имеющие отстройку от переходных токов коротких замыканий, бросков токов намагничивания трансформаторов. Поэтому они имеют более сложное конструктивное исполнение.

Наличие выдержки времени в защитах с относительной селективностью позволяет использовать в них устройства упрощенных конструкций.

Эти особенности учитываются при разработках и построении защит.

Принцип построения защиты с абсолютной селективностью — дифференциальной защиты сосредоточенного объекта или дифференциальной защиты линии электропередачи — состоит в контроле токов с обеих сторон объекта и сравнении их комплексов (значения и фазы) в измерительных органах. Защиты обладают быстродействием — действуют без выдержки времени и используются в качестве основных защит объекта.

Логические защиты содержат измерительные органы на входе и выходе защищаемого объекта, и повреждение объекта выявляется по поведению измерительных органов на выходе объекта.

Логическая часть защиты образована контактами этих измерительных органов: замыкающих на входе и размыкающих на выходе, соединенных последовательно в цепь действия защиты без выдержки времени. Замыкающие контакты измерительных органов на входе соединены между собой параллельно, размыкающие на выходе — последовательно.

На рис. 1.1 приведена принципиальная схема логической защиты объекта с односторонним питанием.

При коротких замыканиях в защищаемом объекте (точка KI), током короткого замыкания обтекаются трансформаторы тока $TA1$, от которых в их цепях срабатывают токовые измерительные органы $1KA - 3KA$ и замыкают свои контакты в цепи логической защиты. Трансформаторы тока $TA2$ не обтекаются током короткого замыкания, измерительные органы $4KA - 6KA$ на выходе объекта остаются в неработавшем положении, их размыкающие контакты в цепи логической защиты замкнуты, и замкнутой ока-

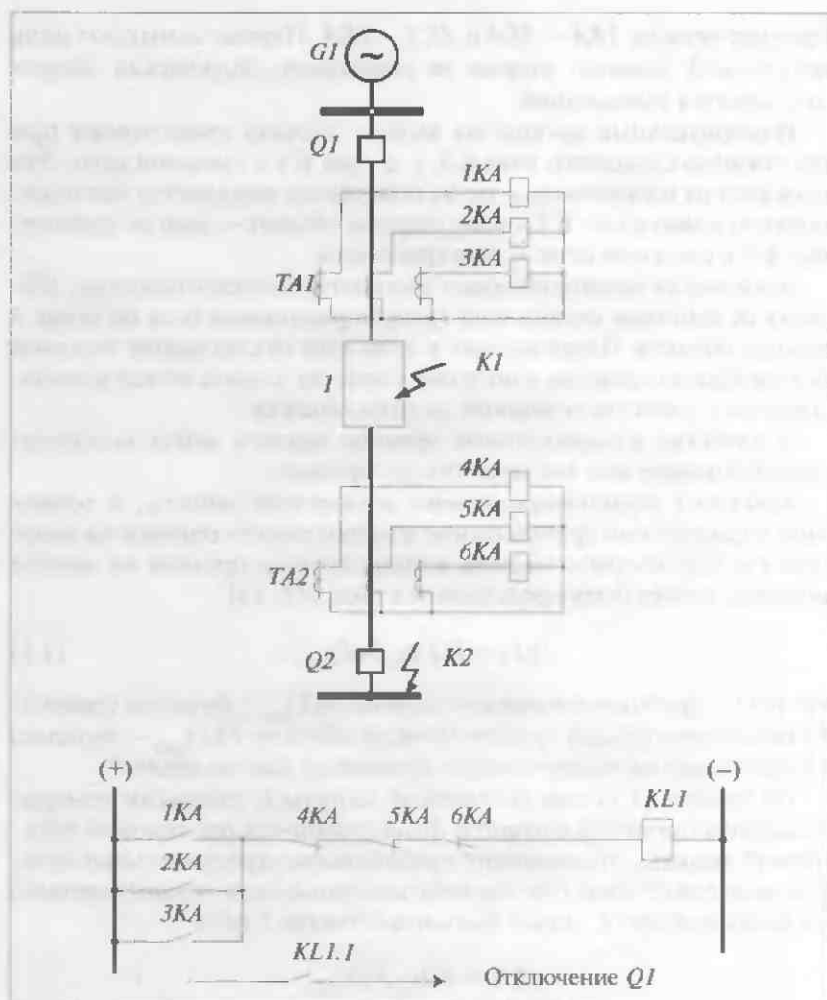


Рис. 1.1. Принципиальная схема логической защиты объекта с односторонним питанием:

I — защищаемый объект; $TA1$, $TA2$ — трансформаторы тока; $1KA$ — $6KA$ — реле тока; KL — промежуточное реле

зывается цепь логической защиты на электромагнит YAT выключателя $Q1$. Отключение происходит без выдержки времени.

При КЗ на участках смежной сети (точка $K2$) ток от КЗ обтекаются трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$ и срабатывают их измери-

тельные органы 1КА – 3КА и 4КА – 6КА. Первые замыкают цепь логической защиты, вторые ее разрывают. Логическая защита оказывается выведенной.

Измерительные органы на выходе объекта срабатывают при протекании сквозного тока КЗ, т. е. при КЗ в смежной сети. Это отражает их назначение — по их поведению выявляется место короткого замыкания: КЗ в защищаемом объекте — они не сработаны, КЗ в смежной сети — они сработаны.

Логическая защита обладает абсолютной селективностью. Область ее действия ограничена трансформаторами тока на входе и выходе объекта. Повреждения в этой зоне отключаются защитой без выдержки времени и по этому свойству защита может использоваться в качестве основной защиты объекта.

В качестве измерительных органов защиты могут использоваться токовые или дистанционные органы.

Алгоритм функционирования логической защиты, в общем виде отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе объекта, может быть представлен в виде [12, 13]

$$F(J) = F(J)_{\text{ВХ}} \overline{F(J)_{\text{ВЫХ}}}, \quad (1.1)$$

где $F(J)$ — функция логической защиты; $F(J)_{\text{ВХ}}$ — функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $F(J)_{\text{ВЫХ}}$ — функция несрабатывания измерительных органов на выходе объекта.

На основе (1.1) для логической защиты с токовыми измерительными органами алгоритм функционирования токовой логической защиты, отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе объекта, может быть представлен в виде

$$F(I) = F(I)_{\text{ВХ}} \overline{F(I)_{\text{ВЫХ}}},$$

где $F(I)$ — функция токовой логической защиты; $F(I)_{\text{ВХ}}$ — функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $F(I)_{\text{ВЫХ}}$ — функция несрабатывания измерительных органов на выходе объекта.

В защите токи срабатывания измерительных органов на входе и выходе объекта согласованы между собой. Коэффициент отстройки (согласования) $k_{\text{отс}}$ может быть принят равным 1,1. Большой чувствительностью должны обладать измерительные органы на выходе объекта, чтобы исключалась возможность срабатыва-

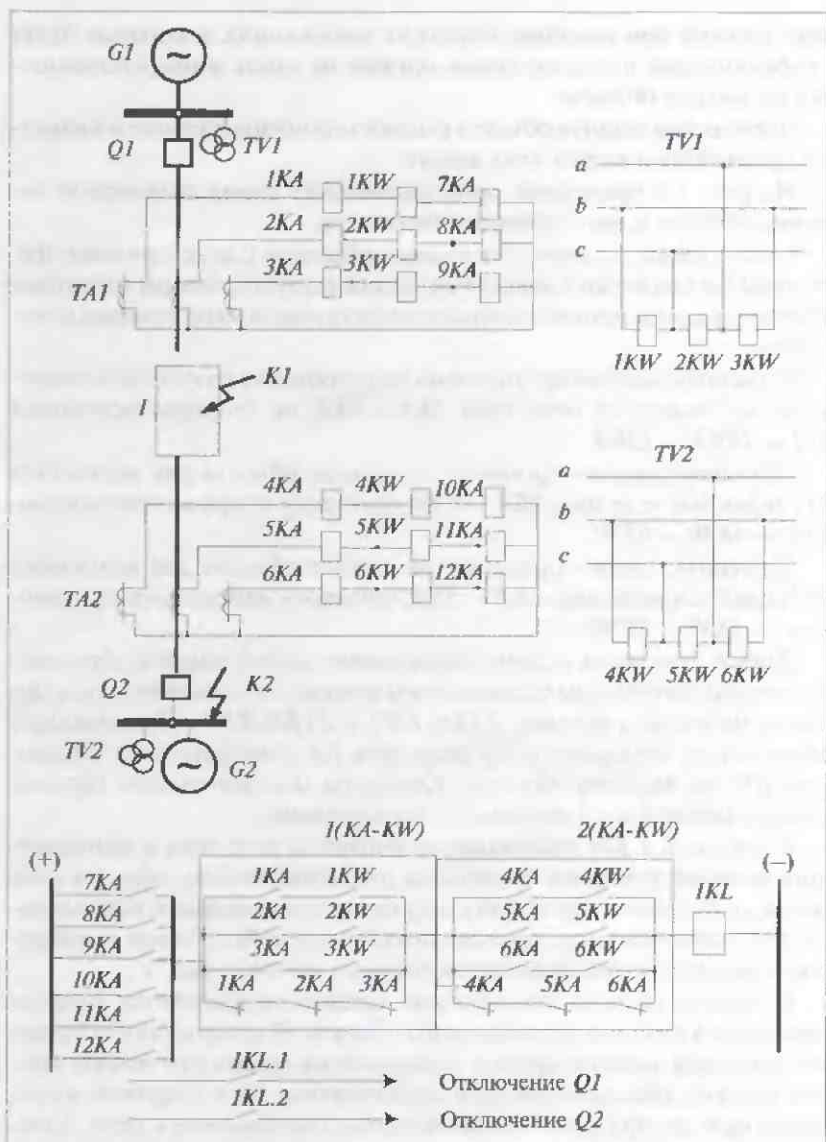


Рис. 1.2. Принципиальная схема логической защиты объекта с двусторонним питанием:

I — защищаемый объект; $G1, G2$ — источники питания; $Q1, Q2$ — выключатели; $TA1, TA2$ — трансформаторы тока; $1KA-12KA$ — реле тока; $1KW-6KW$ — реле направления мощности; IKL — промежуточное реле

ния защиты при внешних коротких замыканиях, в которых будут сработанными измерительные органы на входе и несработанными на выходе объекта.

Логическая защита объекта с односторонним питанием является простейшим видом этих защит.

На рис. 1.2 приведена принципиальная схема логической защиты объекта с двусторонним питанием.

Селективность логических защит объектов с двусторонним питанием по аналогии с защитами линий с двусторонним питанием обеспечивается использованием в них органов направления мощности.

Измерительными органами на входе объекта со стороны источника $G1$ являются реле тока $7KA - 9KA$, со стороны источника $G2 - 10KA - 12KA$.

Измерительными органами на выходе объекта для источника $G1$ являются реле тока $4KA - 6KA$, органами направления мощности — $4KW - 6KW$.

Измерительными органами на выходе объекта для источника $G2$ являются реле тока $1KA - 3KA$, органами направления мощности — $1KW - 3KW$.

Логическая часть в схеме оперативных цепей защиты образована последовательным соединением контактов измерительных органов на входе и органов $1 (KA-KW)$ и $2 (KA-KW)$, образованных контактами измерительных реле тока KA и направления мощности KW на выходах объекта. Контакты измерительных органов входов между собой соединены параллельно.

В органе $KA-KW$ замыкающие контакты реле тока и направления мощности в фазах соединены последовательно, образуя цепь фазы, цепи фаз между собой соединены параллельно и параллельно им включена цепь, образованная последовательным соединением размыкающих контактов токовых органов фаз.

В защите органы направления мощности включены направленными в сторону защищаемого объекта. В микропроцессорном исполнении защиты органы направления мощности имеют контур памяти, обеспечивающий срабатывание их в «мертвой зоне», когда при трехфазных КЗ напряжения, подводимые к реле, близки или равны нулю.

В качестве органов направления могут использоваться направленные реле сопротивления.

При КЗ в защищаемом объекте (точка $K1$) током короткого замыкания обтекаются трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$, каждый от

своего источника, и срабатывают в их цепях реле тока на входе и реле тока и направления мощности на выходе объекта.

Срабатывания измерительных органов образуют замкнутую цепь логической защиты на исполнительный орган защиты и отключение выключателей объекта.

Замыкание цепей в органах $KA-KW$ является разрешающим сигналом к срабатыванию защиты.

При КЗ в смежной сети (точка $K2$) током короткого замыкания от источника $G1$ обтекаются трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$ и сработанными будут измерительные органы на входах защиты $7KA - 9KA$ и $10KA - 12KA$, реле тока и направления мощности в органе $I(KA - KW)$, для которых КЗ является в зоне, реле тока в органе $II(KA - KW)$, но несработанными остаются реле направления мощности в органе $III(KA - KW)$. Для них это КЗ является внешним и логическая защита оказывается выведенной органом $II(KA - KW)$.

Соответственно логическая защита будет выведена и при внешнем КЗ в сети на стороне источника $G1$, при котором несработанными будут реле направления мощности в органе $I(KA - KW)$.

В защите токи срабатывания измерительных органов на входе $7KA - 9KA$, $10KA - 12KA$ и выходе $4KA - 6KA$, $1KA - 3KA$ объекта согласовываются между собой. Коэффициент отстройки (согласования) $k_{отс}$ может быть принят равным 1,1. Большей чувствительностью должны обладать измерительные органы на выходе объекта, чтобы исключалась возможность срабатывания защиты при внешних коротких замыканиях, в которых будут сработанными измерительные органы на входе и несработанными на выходе объекта.

Логическая защита обладает абсолютной селективностью. Область ее действия ограничена трансформаторами тока $TA1$ и $TA2$ на входе и выходе (сторонах) объекта. Повреждения в этой зоне отключаются защитой без выдержки времени и поэтому она может использоваться в качестве основной защиты объекта.

В логической защите отдается предпочтение использованию направленности измерительных органов в сторону защищаемого объекта — «к объекту». Включение их направленными в сторону внешней сети — «от объекта» может привести к неселективному срабатыванию логической защиты в случаях близких трехфазных КЗ на присоединениях внешней сети, защиты которых имеют выдержки времени на срабатывание.

Контур памяти органов направления мощности обеспечивает кратковременное несрабатывание логической защиты на эти КЗ, после чего в оставшееся время уставки срабатывания защиты при соединении логическая защита оказывается введенной и может неселективно срабатывать на внешние КЗ.

Для объектов с двусторонним питанием алгоритм функционирования логической защиты в виде (1.1) отражает срабатывание измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе объекта или срабатывание измерительных органов на входе объекта при разрешающем сигнале к срабатыванию измерительных органов на выходе объекта.

Цепи последовательно соединенных размыкающих контактов реле тока в органах $KA-KW$ обеспечивают срабатывание защиты при отключении источника питания.

Функция $\bar{F}(I)_{\text{вых}}$ в выражении (1.1) означает как несрабатывание измерительных органов на выходе объекта, так и разрешающий сигнал к срабатыванию измерительных органов на выходе объекта.

Выводы

1. Логическая защита представляет собой устройство, содержащее измерительные органы на входе и выходе защищаемого объекта, оперативные цепи, образованные последовательным соединением контактов измерительных органов на входе и выходе защищаемого объекта, первые в которых между собой соединены параллельно, а вторые — последовательно, и выходные цепи.

2. Логическая защита обладает абсолютной селективностью и быстродействием в пределах защищаемой зоны.

Зона действия защиты расположена между трансформаторами тока на входе и выходе объекта.

Эти свойства защиты позволяют использовать ее в качестве основной защиты объекта.

3. В логических защитах трансформаторов, генераторов, по которым протекают броски токов намагничивания трансформаторов, в качестве измерительных органов на входе объекта используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Защиты двойной селективности

2.1. Общие сведения

Защиты обладают абсолютной или относительной селективностью (см. Введение).

По выполняемым функциям защиты с абсолютной селективностью относятся к основным, а с относительной — к резервным, которые выполняются с выдержками времени.

Защита, выполненная на основе защиты с временной селективностью на входе объекта с дополнением сигналами измерительных органов на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени, таким образом дополнительно образовав в ее составе логическую защиту объекта, действующую без выдержки времени, обладает двойной селективностью: абсолютной в зоне действия логической защиты и относительной в зоне действия защиты с временной селективностью [19].

Рассмотрим пример образования максимальной токовой защиты двойной селективности объекта.

Максимальная токовая защита (МТЗ) на входе объекта как защита с относительной селективностью с дополнением сигналами несрабатывания измерительных органов на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени, таким образом образовав в ее составе логическую защиту объекта как защиту с абсолютной селективностью, обладает двойной селективностью — абсолютной и относительной.

Защита двойной селективности может использоваться в качестве основной и резервной защиты объекта и поэтому она обладает повышенной эффективностью.

Аналогичным образом может быть образована защита двойной селективности на основе дистанционной защиты объекта.

Защита двойной селективности позволяет распознавать место короткого замыкания:

- срабатывание логической защиты указывает на повреждение в защищаемом объекте;
- срабатывание максимальной токовой защиты — на КЗ в смежной сети.

Алгоритм функционирования защиты двойной селективности, в общем случае отражающий алгоритм функционирования логической защиты и защиты с временной селективностью, может быть представлен в виде

$$F(J)D = F(J)D_0 + F(J)D_t \quad (2.1)$$

где $F(J)D$ — функции защиты; $F(J)D_0$ — функция работы защиты без выдержки времени, функция логической защиты — защиты с абсолютной селективностью; $F(J)D_t$ — функция работы защиты с выдержкой времени — защиты с относительной селективностью; D — оператор выдержки времени; D_0 — действие без выдержки времени; D_t — действие с выдержкой времени.

Защита двойной селективности обладает возможностью выполнять функции основной и резервной защиты объекта:

- как основная — логическая защита обладает быстродействием в пределах защищаемого объекта;
- как резервная — действие защиты с выдержкой времени.

Далее рассматриваются примеры построения логических защит и использования защит двойной селективности электрических объектов энергосистем.

2.2. Электрические распределительные сети 110 – 220 кВ

Электрические распределительные сети 110 – 220 кВ энергосистем и потребителей содержат узловые, проходные, ответвительные и тупиковые подстанции [15].

Узловые подстанции напряжением 220/110 кВ содержат, как правило, автотрансформаторы 220/110 кВ, остальные подстанции — трансформаторы.

Подстанции распределительной сети 220 кВ используются большей частью для питания ответственных потребителей газокomppressorных, нефтеперекачивающих станций, содержащих синхронные двигатели больших единичных мощностей: 2,5; 4; 8; 12 МВт. Для них используются трансформаторы больших мощностей, часто с обмоткой НН, расщепленной на части.

В распределительной сети 110 кВ используются трансформаторы больших, средних и малых мощностей. Трансформаторы 4,0 МВ·А и менее относятся к трансформаторам малой мощности. Для них используются защиты с пониженной защищенностью.

Трансформаторы с односторонним питанием. Самое широкое распространение в распределительной сети имеют трансформаторы с односторонним питанием.

В типовых решениях в качестве резервной защиты трансформатор имеет максимальную токовую защиту на стороне высшего напряжения.

Для повышения эффективности использована максимальная токовая защита двойной селективности.

Максимальная токовая защита двойной селективности выполнена на основе максимальной токовой защиты, дополненной измерительными органами на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени. В результате в ее составе образуется логическая защита.

На рис. 2.1 приведена принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности трехобмоточного трансформатора 110 кВ.

В качестве измерительных органов на выходе объекта могут использоваться измерительные органы максимальных токовых защит на сторонах среднего (СН) и низшего напряжений трансформатора. Этим упрощается выполнение защиты двойной селективности.

У трансформаторов, не имеющих максимальной токовой защиты на стороне среднего напряжения, измерительные органы на выходе объекта логической защиты включаются в цепи трансформаторов тока других измерительных органов стороны среднего напряжения.

В оперативных цепях логической защиты трансформаторов, имеющих несколько выходов, таких как трехобмоточный трансформатор, трансформатор с обмоткой низшего напряжения, раз-

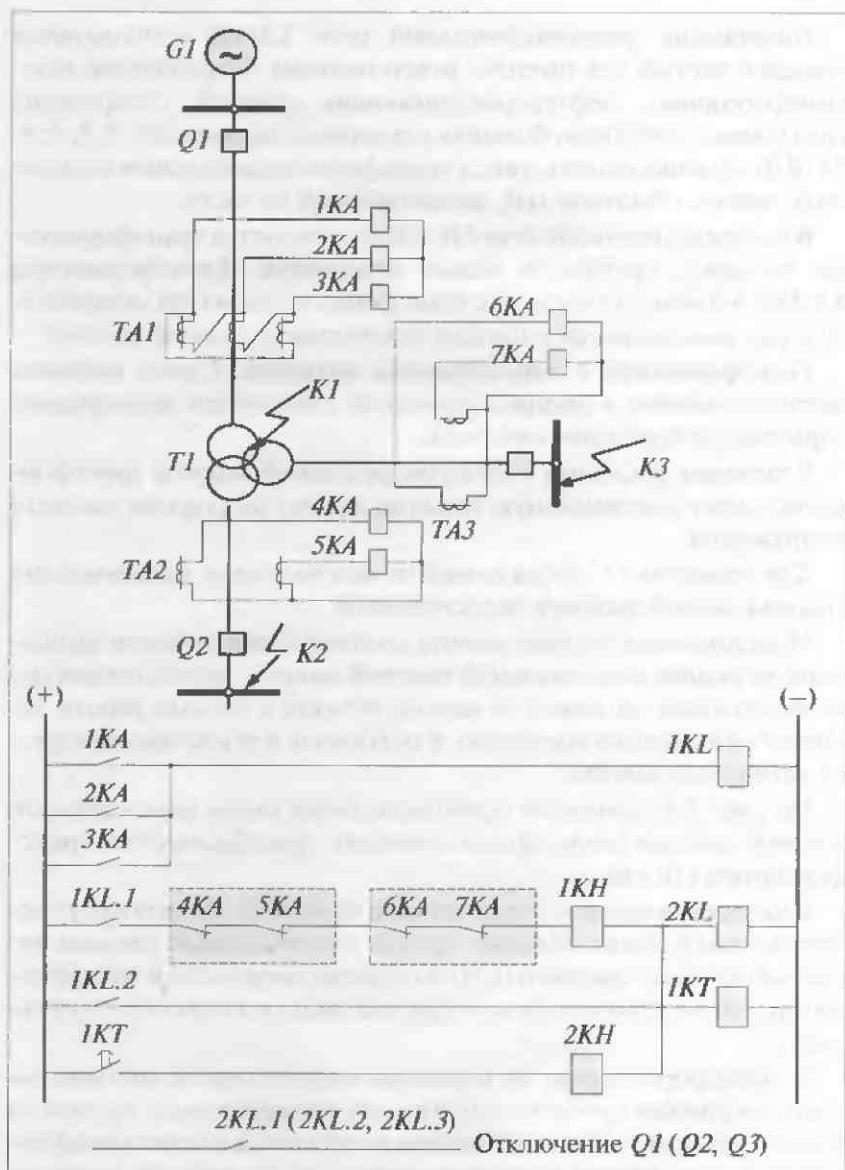


Рис. 2.1. Принципиальная схема МТЗ двойной селективности трехобмоточного трансформатора:

$T1$ — трансформатор; $TA1 - TA3$ — трансформаторы тока; $Q1 - Q3$ — выключатели; $1KA - 7KA$ — реле тока; $1KL, 2KL$ — реле промежуточные; $1KT$ — реле времени

деленной на части, измерительные органы выходов соединяются последовательно. Этим обеспечивается селективность несрабатывания логической защиты при КЗ в смежных сетях объекта одной из сторон трансформатора.

При КЗ в трансформаторе (точка KI), током короткого замыкания обтекаются трансформаторы тока $TA1$ и срабатывают в их цепях измерительные органы МТЗ и логической защиты — реле тока $1KA - 3KA$. При несработанных измерительных органах на сторонах среднего и низшего напряжений, трансформаторы тока которых не обтекаются током КЗ, и замкнутых их размыкающих контактах в цепях логической защиты происходит срабатывание логической защиты и отключение трансформатора без выдержки времени.

При КЗ в смежной сети 6 – 10 кВ трансформатора током короткого замыкания обтекаются трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$ и срабатывают в их цепях реле тока $1KA - 3KA$ и $4KA, 5KA$. Первые осуществляют пуск МТЗ и логической защиты, вторые, разрывая цепь логической защиты на срабатывание, выводят ее. Максимальная токовая защита далее действует как резервная защита для смежной сети в соответствии с временной селективностью.

Аналогичным образом действуют защиты при КЗ в смежной сети СН трансформатора.

Максимальная токовая защита двойной селективности трансформатора, как отмечено в § 2.1, обладает абсолютной и относительной селективностью.

Логическая защита действует без выдержки времени как защита с абсолютной селективностью. Ее зона ограничена трансформаторами тока на стороне ВН и сторонах СН и НН трансформатора.

С выдержкой времени защита действует как защита с относительной селективностью.

Алгоритм функционирования максимальной токовой защиты двойной селективности на основе выражения (2.1) может быть представлен в виде выражения

$$F(I)D = F(I)D_0 + F(I)D_1. \quad (2.2)$$

Алгоритм функционирования логической защиты, отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при

несрабатывании измерительных органов на выходе объекта на основе выражения (1.1) можно представить выражением

$$F(I)D_0 = F(I)_{\text{вх}} \sum_{i=1}^k \overline{F(I)}_{\text{вых}},$$

где $F(I)_{\text{вх}}$ — функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $\overline{F(I)}_{\text{вых}}$ — функция несрабатывания измерительных органов на выходе объекта; k — число выходов объекта.

Защита двойной селективности улучшает распознавание места короткого замыкания. Срабатывание логической защиты указывает на повреждение защищаемого объекта.

Токи срабатывания измерительных органов на входе и выходе объекта в общем случае должны быть согласованы между собой. Но в случае использования измерительных органов МТЗ сторон СН и НН в качестве измерительных органов на выходе логической защиты они согласованы как измерительные органы защит на стороне ВН и сторонах СН и НН.

В качестве измерительных органов на входе логической защиты трансформатора, обладающей быстродействием, — измерительных органов максимальной токовой защиты двойной селективности трансформатора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков тока намагничивания трансформатора.

Трансформаторы с двусторонним питанием. Принципиальная схема резервной максимальной токовой защиты двойной селективности трансформатора 220 кВ с обмоткой НН, расщепленной на части, приведена на рис. 2.2.

Такие трансформаторы часто используются на подстанциях газокompрессорных и нефтеперекачивающих станций для питания крупных синхронных двигателей.

Источниками питания трансформатора являются: на стороне ВН — $G1$ в виде питающей энергосистемы; на стороне НН — $G2$ и $G3$ в виде синхронных двигателей потребителей.

Для защиты трансформатора использована максимальная токовая защита двойной селективности как защита с повышенной эффективностью. Защита выполнена на основе максимальной токовой защиты, дополненной измерительными органами на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени. В результате в ее составе образуется логическая защита, действующая без выдержки времени.

Селективность защиты с действием без выдержки времени — логической защиты трансформатора как объекта с двусторонним питанием обеспечивается использованием в измерительных органах на выходе объекта органов направления мощности. В защите органы направления мощности применены только в измерительных органах на сторонах НН трансформатора. Такое использование допустимо в случаях, когда МТЗ трансформатора на стороне ВН не приходит в действие от токов короткого замыкания синхронных двигателей при КЗ за трансформатором в питающей сети 220 кВ.

Измерительные органы тока и направления мощности на выходах образуют органы 1 (КА-КВ) и 2 (КА-КВ), соединенные последовательно в цепи действия защиты без выдержки времени — цепи логической защиты, чтобы защита выводилась при КЗ в смежной сети любой стороны НН трансформатора. Этим обеспечивается селективность несрабатывания логической защиты при КЗ в смежной сети одной из сторон НН трансформатора.

Органы направления мощности включены направленными в трансформатор. В микропроцессорном исполнении они имеют контур памяти, обеспечивающий срабатывание их при близких трехфазных КЗ в «мертвой зоне», когда подводимое напряжение к реле равно или близко к нулю и реле не работает.

При КЗ в трансформаторе (точка К1) током КЗ обтекаются трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА3, каждый от своего источника, и срабатывание в их цепях измерительных органов тока и направления мощности приводит к отключению трансформатора логической защитой без выдержки времени. Селективность действия защиты обеспечивается органами направления мощности, срабатывающими на КЗ в трансформаторе.

При отключенных источниках G2 и G3 или одного из них и том же КЗ в органах 1 (КА-КВ) и 2 (КА-КВ) будут замкнуты цепи замыкающих контактов токовых реле и условия для срабатывания защиты сохраняются.

При КЗ в смежной сети (точка К2) током КЗ обтекаются трансформаторы тока ТА1 от источника G1, трансформаторы тока ТА2 — от источника G2, трансформаторы тока ТА3 — от источников G1 и G2. Для измерительных органов МТЗ на стороне ВН, измерительных органов 1 (КА-КВ) КЗ находится в зоне, для измерительных органов 2 (КА-КВ) — вне зоны. Их органы направления

мощности не сработаны, и логическая защита оказывается выведенной. Селективность логической защиты обеспечивается.

Максимальная токовая защита трансформатора остается введенной в работу и далее действует в соответствии с временной селективностью.

В случае, когда МТЗ стороны ВН трансформатора от токов КЗ синхронных двигателей будет чувствительна к КЗ в смежной сети 220 кВ, логическая защита трансформатора будет содержать дополнительно орган тока и направления мощности $KA-KW$ измерительных органов, включенных в трансформаторы тока стороны ВН трансформатора. Этим органом логическая защита будет выводиться при КЗ во внешней сети 220 кВ.

Алгоритм функционирования максимальной токовой защиты двойной селективности может быть представлен в виде выражения (2.2).

Алгоритм функционирования логической защиты, отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе объекта или срабатывание измерительных органов на входе объекта при разрешающем сигнале к срабатыванию измерительных органов на выходе объекта, может быть представлен выражением (2.3), в котором функция $\bar{F}(I)_{\text{ВНХ}}$ означает как несрабатывание измерительных органов на выходе объекта, так и разрешающий сигнал к срабатыванию измерительных органов на выходе объекта.

В качестве измерительных органов на входе логической защиты трансформатора, обладающей быстродействием, — измерительных органов МТЗ двойной селективности на стороне ВН трансформатора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков тока намагничивания трансформатора.

Зона действия логической защиты как защиты с абсолютной селективностью ограничена трансформаторами тока высшей и низших сторон трансформатора.

Токи срабатывания измерительных органов на выходе объекта согласовываются с токами срабатывания МТЗ стороны ВН трансформатора. Они должны обладать большей чувствительностью к КЗ в смежной сети НН подстанции, чтобы исключалась возможность срабатывания логической защиты при КЗ в этих сетях, когда будут сработанными измерительные органы МТЗ и несрабо-

танними измерительные органы на выходе. Коэффициент отстройки (согласования) $k_{отс}$ может быть принят равным 1,1.

Шины 6 – 10 кВ низшего напряжения подстанций. Распределительные устройства 6 – 10 кВ подстанций в основном содержат комплектные распределительные устройства внутренней и наружной установки КРУ(Н). Основными местами повреждений являются внутренние повреждения в ячейках КРУ(Н).

Возникновение внутренних КЗ обусловлено разными причинами: попаданием влаги через неплотности в конструкциях КРУ и последующей ее конденсации на изоляторах, загрязнением поверхностей изоляторов (наиболее частые) и перекрытием по их поверхностям, перенапряжениями, возникающими в сети 6 – 10 кВ в процессе возникновения и протекания дуговых замыканий на землю с переходом их в междуфазные КЗ в КРУ, старением оборудования, а иногда упущениями в эксплуатации выключателей КРУ, приводящими к неспособности отключений КЗ и их разрушениям и др.

Короткие замыкания в КРУ вызывают повреждения одной или нескольких ячеек КРУ, иногда приводят к разрушениям целых секций.

Исследованиями установлено, что для избежания значительных повреждений в КРУ необходимо ликвидировать КЗ со временем, не превышающим 0,1 – 0,15 с [3]. Это в значительной мере достигается применением быстродействующих защит от дуговых КЗ, таких как разработанные в ЮРГТУ(НПИ) на кафедре электрических машин [3].

В качестве быстродействующей токовой защиты используются максимальные токовые защиты шин, основанные на ускорении МТЗ вводов НН трансформаторов при отсутствии повреждения на отходящих фидерах путем установки дополнительных токовых реле в цепи МТЗ фидеров, в том числе МТЗ с реле РТВ, несрабатывание которых ускоряет действие МТЗ ввода [16]. Эти защиты в последующем получили название логических защит шин (ЛЗШ).

Максимальная токовая защита ввода при этом обладает двойной селективностью.

Разработаны и получают применение встречно-направленные логические защиты шин с несколькими источниками [17].

На рис. 2.3 приведена принципиальная схема логической защиты секции шин НН двухтрансформаторной подстанции.

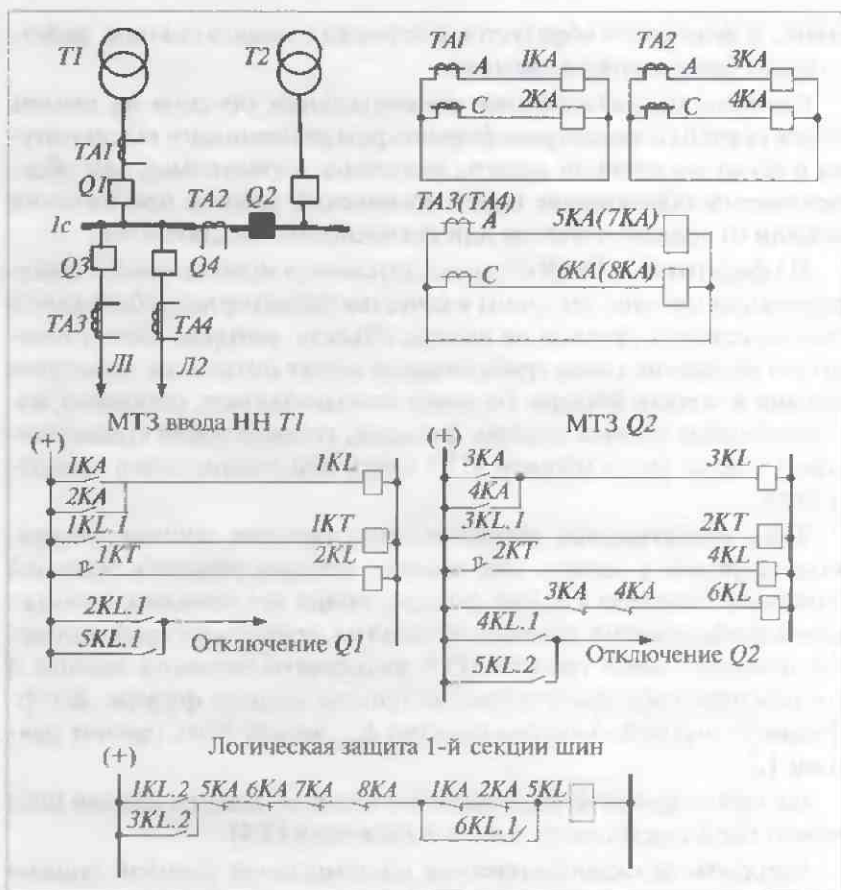


Рис. 2.3. Принципиальная схема МТЗ двойной селективности ввода НН трансформатора $T1$, секционного выключателя и логической защиты 1-й секции шин НН двухтрансформаторной подстанции:

$T1, T2$ — трансформаторы; lc — 1-я секция шин; $Q1, Q2$ — выключатели; $W1, W2$ — линии; $TA1 - TA4$ — трансформаторы тока; $1KA - 8KA$ — реле тока; $1KL - 6KL$ — промежуточные реле; $1KT, 2KT$ — реле времени

Схемой подстанции предусматривается раздельная работа трансформаторов на стороне НН с отключенным секционным выключателем (СВ) $Q2$ и включенном на нем АВР.

Максимальная токовая защита двойной селективности ввода и СВ выполнена на основе их максимальных токовых защит, дополненных измерительными органами на выходе объекта — на присоединениях секции, и цепями работы защит без выдержки вре-

мени. В результате образуется логическая защита секции, действующая без выдержки времени.

Сигналы несрабатывания измерительных органов на выходе объекта ячейки ввода трансформатора и секционного выключателя в цепях логической защиты включены параллельно, чем обеспечивается образование цепей логической защиты при питании секции от трансформатора или секционного выключателя.

На фидерах 6 – 10 кВ секции допускается использование измерительных органов тех защит в качестве сигналов несрабатывания измерительных органов на выходе объекта, которые обеспечивают согласование токов срабатывания защит питающих элементов секции и защиты фидера. Не могут использоваться, например, измерительные органы отсечек фидеров, уставки токов срабатывания которых выше уставок МТЗ ввода или секционного выключателя.

Токи срабатывания измерительных органов защиты фидера, используемой в логической защите, должны обладать большей чувствительностью к КЗ на фидере, чтобы исключалась возможность срабатывания логической защиты, когда будут сработанными измерительные органы МТЗ питающего элемента секции и несработанными измерительные органы защиты фидера. Коэффициент отстройки (согласования) $k_{отс}$ может быть принят равным 1,1.

Алгоритм функционирования логической защиты секции шин может быть представлен в виде выражения (2.3).

Алгоритм функционирования максимальной токовой защиты двойной селективности ввода НН трансформатора и секционного выключателя — в виде выражения (2.2).

Трансформаторы 110 кВ малой мощности (4МВ·А и менее). Они снабжаются более простыми комплектами защит. Основное отличие состоит в использовании токовой отсечки в качестве основной защиты вместо дифференциальной защиты у трансформаторов большой мощности [18].

Токовая отсечка менее затратная. Для нее не требуются трансформаторы тока на стороне НН трансформатора, и их токовые цепи в защите используют простые токовые реле, вместо дифференциальных.

Однако эта защита обладает пониженной защитоспособностью. Ее уставка тока срабатывания отстраивается от тока в транс-

форматоре при КЗ на стороне НН и не защищает весь трансформатор. Весь трансформатор защищается максимальной токовой защитой с выдержкой времени [1, 2].

Использование логической защиты, также менее затратной в сравнении с дифференциальной, позволяет повысить быстродействие защиты трансформатора.

Логическая защита может быть образована на основе токовой отсечки или в составе максимальной токовой защиты двойной селективности.

МТЗ двойной селективности образуется на основе МТЗ трансформатора с дополнением ее сигналами несрабатывания токовых измерительных органов на стороне НН трансформатора и целями работы защиты без выдержки времени, образовав таким образом логическую защиту в ее составе.

Короткие замыкания в трансформаторе в этом случае отключаются логической защитой без выдержки времени.

Отличие в исполнении логической защиты здесь может состоять в используемых типах измерительных органов логической защиты на входе объекта.

В случае с токовой отсечкой — для них могут использоваться простые токовые реле. Как правило, они позволяют произвести отстройку защиты от бросков токов намагничивания трансформаторов и обеспечить чувствительность защиты.

В случае использования МТЗ — для измерительных органов МТЗ используются более сложные устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

Использование измерительных органов МТЗ трансформатора на стороне НН в качестве сигналов несрабатывания измерительных органов на выходе объекта в логической защите упрощает ее исполнение.

Принципиальная схема защиты двойной селективности трансформатора, ее поведение при КЗ в трансформаторе и участках внешней сети соответствуют схеме и поведению защиты трансформатора с односторонним питанием, приведенным выше в этом разделе.

Выводы

1. Максимальные токовые защиты двойной селективности в качестве резервных защит трансформаторов, шин низшего на-

пряжения подстанций распределительной сети 110 – 220 кВ повышают эффективность защит объектов:

- обладают быстродействием при повреждении защищаемого объекта — логические защиты объектов действуют без выдержки времени;

- улучшают распознавание места короткого замыкания — срабатывание логической защиты указывает на повреждение объекта, срабатывание защиты с выдержкой времени — на КЗ в прилегающей сети.

2. Использование измерительных органов максимальных токовых защит на сторонах низшего напряжения трансформаторов, отходящих фидеров шин НН подстанций в качестве измерительных органов на выходе в логических защитах трансформаторов, шин упрощает выполнение логических защит.

3. На трансформаторах небольшой мощности (4 МВ·А и меньше), имеющих в качестве основной защиты токовую отсечку, не охватывающую весь трансформатор, логическая защита обеспечивает быстродействие защиты при коротких замыканиях в пределах всего трансформатора. Логические защиты трансформаторов могут быть образованы на основе токовых отсечек или в составе максимальных токовых защит двойной селективности трансформаторов.

4. В качестве измерительных органов на входе логических защит трансформаторов, обладающих быстродействием, — измерительных органов максимальных токовых защит двойной селективности, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

2.3. Автотрансформаторы 220 кВ

Автотрансформаторы 220/110 кВ устанавливаются на узловых подстанциях и питают распределительную сеть 110 кВ. Основной защитой от всех видов коротких замыканий на них являются дифференциальные защиты. Резервные защиты имеют исполнение от междуфазных КЗ и КЗ на землю [10, 20].

К основным относятся: дистанционная защита, токовая защита обратной последовательности, максимальная токовая защита с пуском минимального напряжения. От коротких замыканий на землю используется, как правило, трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности.

Так сложилось, что используемые дистанционные защиты на основе типовых панелей ПЗ-2105 по ряду причин не осуществляют резервирование основной защиты автотрансформаторов (АТ). Максимальная токовая защита с пуском минимального напряжения не резервирует трехфазные короткие замыкания на стороне НН автотрансформатора.

Основным назначением дистанционной двухступенчатой защиты является создание условий для согласования защит смежных линий с защитами автотрансформатора и обеспечение дальнего резервирования в сетях высшего или среднего напряжений. При этом дистанционные защиты могут резервировать основные защиты автотрансформатора частично [10]. Их уставки срабатывания не охватывают весь автотрансформатор.

Но чаще на автотрансформаторах устанавливается одна ступень дистанционной защиты для дальнего резервирования.

Зона защиты максимальной токовой защиты с пуском минимального напряжения ограничена органом минимального напряжения и также не охватывает весь автотрансформатор. При отключении дифференциальной защиты или неисправностях в ее цепях автотрансформатор становится незащищенным.

Для повышения надежности защит автотрансформаторов решением РАО «ЕЭС России» 2008 г. повышена роль основных защит автотрансформаторов 110 – 220 кВ: на автотрансформаторах мощностью 63 МВ·А и выше в целях повышения надежности отключения коротких замыканий в автотрансформаторах предусматривается устанавливать два комплекта дифференциальных защит [21].

При использовании современных терминалов микропроцессорных защит в качестве защит автотрансформаторов сделана попытка резервирования АТ дистанционными защитами (ДЗ). Для этого из пяти ступеней ДЗ-терминалов на каждой стороне используют по две ступени [22].

Первые ступени вводятся без выдержки времени. Параметры сопротивления срабатывания ступени выбираются по отстройке от противоположной стороны автотрансформатора. Защищаемая зона этих защит невелика. Вторые ступени, встречно направленные, объединены и образуют резервную дистанционную защиту.

Однако уставки срабатывания рекомендуются производителями выбирать традиционно по отстройке от КЗ на стороне НН ав-

тотрансформатора и поэтому защита не обеспечивает полное резервирование основных защит автотрансформатора.

Совершенствование резервных защит и полное резервирование основных защит достигаются использованием дистанционной защиты двойной селективности, образованной на основе резервной дистанционной защиты [23].

Дистанционная защита, образованная на основе резервной дистанционной защиты на входе объекта, как защиты с относительной селективностью, дополненная сигналами измерительных органов на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени таким образом организует в ее составе логическую защиту, действующую без выдержки времени, как защиту с абсолютной селективностью, и обладающую двойной селективностью — абсолютной и относительной.

На рис. 2.4 приведена принципиальная схема дистанционной защиты двойной селективности автотрансформатора. Входом объекта в защите являются стороны ВН и СН АТ с источниками питания $G1$ и $G2$.

Измерительные органы защиты на входе — вторые ступени дистанционных защит $AKZ1$ и $AKZ2$ сторон ВН и СН АТ — включены встречно направлено в АТ и в цепях оперативного тока резервной дистанционной защиты соединены последовательно.

На выходе объекта, стороне НН АТ, измерительными органами, которыми дополнена защита, являются токовые органы и органы направления мощности. Необходимость последних вызвана наличием источника питания $G3$ на стороне НН АТ.

В цепях работы защиты без выдержки времени, представляющими собой цепи логической защиты автотрансформатора, органом $KA-KW$ вводится информация измерительных органов на выходе объекта. Они выявляют место КЗ — в автотрансформаторе или во внешней сети.

В режиме без коротких замыканий измерительные органы защиты на входе и выходе автотрансформатора не сработаны, замыкающие контакты измерительных органов — реле тока $KA1$, $KA2$, $KA3$ — в цепи работы защиты без выдержки времени замкнуты и логическая защита по этим цепям введена в работу. По цепям работы с выдержкой времени защита также готова к срабатыванию.

При коротком замыкании в автотрансформаторе (точка $K1$), трансформаторы тока $TA1$ и $TA2$ обтекаются током КЗ от источников $G1$ и $G2$, в защите срабатывают дистанционные органы

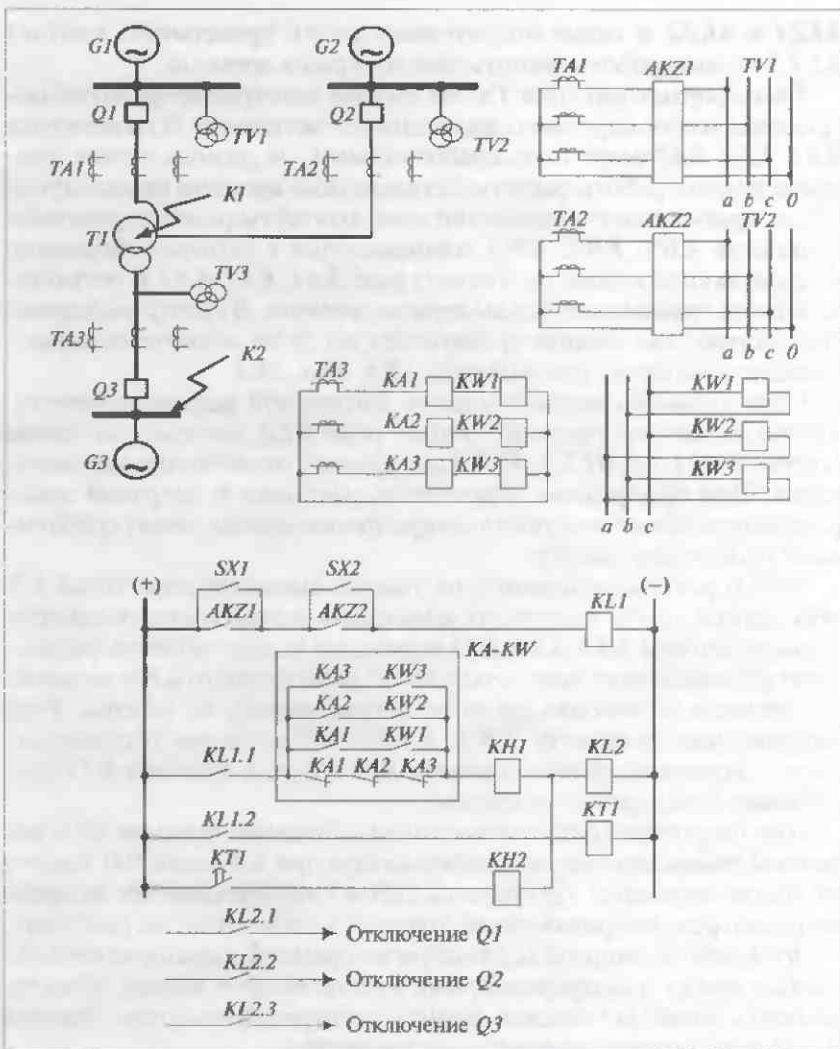


Рис. 2.4. Принципиальная схема дистанционной защиты двойной селективности трансформатора:

T_1 — автотрансформатор (АТ); G_1 , G_2 , G_3 — источники питания; Q_1 , Q_2 , Q_3 — выключатели на сторонах АТ; TA_1 , TA_2 , TA_3 — трансформаторы тока защиты на стороне ВН, СН, НН АТ соответственно; TV_1 , TV_2 , TV_3 — трансформаторы напряжения; AKZ_1 , AKZ_2 — измерительные органы дистанционной защиты на входе объекта (дистанционные органы второй ступени ВН и СН соответственно); KA_1 , KA_2 , KA_3 — измерительные органы — реле тока на выходе объекта; KW_1 , KW_2 , KW_3 — измерительные органы — реле направления мощности на выходе объекта

AKZ1 и *AKZ2*, в схеме оперативных цепей срабатывает контакт *KL1.1* в цепях работы защиты без выдержки времени.

Трансформаторы тока *TA3* на выходе автотрансформатора обтекаются током короткого замыкания от источника *G3* и реле тока *KA1*, *KA2*, *KA3* могут быть сработанными, их размыкающие контакты в цепях работы защиты без выдержки времени разомкнутыми, но срабатывают и замыкают свои контакты реле направления мощности *KW1*, *KW2*, *KW3*, направленные в автотрансформатор и замыкающие контакты токовых реле *KA1*, *KA2*, *KA3*. В результате защита срабатывает без выдержки времени. В автотрансформаторе логическая защита срабатывает по цепи замкнутых размыкающих контактов токовых реле *1KA*, *2KA*, *3KA*.

Селективность несрабатывания логической защиты осуществляется выходным промежуточным реле *KL2*, которые по цепям контактов *KL2.1*, *KL2.2*, *KL2.3* производит отключение выключателей. При трехфазных коротких замыканиях в «мертвой зоне» реле направления мощности микропроцессорных защит срабатывают по контуру памяти.

При коротком замыкании на участке смежной сети (точка *K2*) обтекаются током короткого замыкания и срабатывают измерительные органы *KA1*, *KA2*, *KA3* защиты на выходе объекта, размыкают размыкающие контакты в цепях работы защиты без выдержки времени и выводят по этим цепям защиту из работы. Реле направления мощности *KW1*, *KW2*, *KW3* остаются несработанными. Защита по цепям контакта *KL1.2* и реле времени *KT1* срабатывает с выдержкой времени.

При отсутствии или отключенном источнике питания *G3* и коротком замыкании автотрансформатора при *K3* в сети ВН защита от токов источника *G3* стороны НН АТ обеспечивается направленными реле сопротивления, которые в этом случае не работают.

Зона работы защиты без выдержки времени, ограниченная областью между трансформаторами тока на входе и выходе объекта, является зоной логической защиты автотрансформатора. Защита в ней обладает абсолютной селективностью.

Работа защиты с временной селективностью при *K3* на участках внешней сети характеризует ее как защиту с относительной селективностью.

Функционально защита может быть представлена в виде

$$F(Z)D = F(Z)D_0 + F(Z)D_1, \quad (2.4)$$

где $F(Z)D$ — функции защиты; $F(Z)D_0$ — функция работы защиты без выдержки времени, функция логической защиты — защиты с

абсолютной селективностью; $F(Z)D_i$ — функция работы защиты с выдержкой времени — защиты с относительной селективностью; D — оператор выдержки времени.

Алгоритм функционирования логической защиты, отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе или срабатывание измерительных органов на входе объекта при разрешающем срабатывании сигнале измерительных органов на выходе объекта, может быть представлен в виде

$$F(Z)D_0 = F(Z)_{\text{вх}} F(I)_{\text{вых}}, \quad (2.5)$$

где $F(Z)_{\text{вх}}$ — функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $F(I)_{\text{вых}}$ — функция разрешающего срабатывание сигнала измерительных органов на выходе объекта.

Положение, при котором замкнута цепь $KA - W$, свидетельствует о работе защиты без выдержки времени и введении логической защиты.

В режиме одностороннего питания автотрансформатора со стороны высшего напряжения с отключенным выключателем $Q2$ среднего напряжения в оперативных цепях защиты исключают измерительные органы защиты стороны среднего напряжения переключателем $SX2$, включением которого шунтируют их контакты в цепи работы промежуточного реле KLI . Аналогичным образом включением переключателя $SX1$ выводят из работы измерительные органы защиты стороны высшего напряжения при одностороннем питании автотрансформатора со стороны среднего напряжения.

В дополнение к переключателям может выполняться автоматическое исключение указанных цепей в зависимости от положения выключателей. В обоих случаях защита остается в работе.

В защите автотрансформатора без источника питания на стороне низшего напряжения исключаются органы направления мощности из измерительных органов на выходе и цепи с их контактами в цепи логической защиты.

В защите производится согласование уставок срабатывания измерительных органов на входе и выходе объекта. Большей чувствительностью должны обладать измерительные органы на выходе объекта. В этом случае исключается возможность неселективной работы логической защиты автотрансформатора при коротких за-

мыканиях во внешней сети НН. Коэффициент отстройки (согласования) $k_{отс}$ между ними может быть принят равным 1,1.

Уставка срабатывания в случае токовых измерительных органов на выходе объекта $I_{блок}$ рассчитывается из условий:

1) согласование с уставкой сопротивления срабатывания защиты на стороне ВН АТ производится при отключенной стороне СН АТ (питание дистанционных органов от ТН 220 кВ):

$$I_{с.з.блок} = \frac{E_{эКВ}}{(Z_c + Z_{с.зВН})k_{отс}};$$

2) согласование с уставкой сопротивления срабатывания защиты на стороне СН АТ производится при отключенной стороне ВН АТ (питание дистанционных органов от ТН 110 кВ):

$$I'_{с.з.блок} = \frac{E'_{эКВ}}{(Z'_c + Z'_{с.зСН})k_{отс}},$$

где $I_{с.з.блок}$, $I'_{с.з.блок}$ — уставки тока срабатывания блокирующих измерительных органов на выходе объекта для защиты стороны ВН и защиты стороны СН АТ; $E_{эКВ}$, $E'_{эКВ}$ — эквивалентные ЭДС стороны ВН и стороны СН АТ; Z_c , Z'_c — сопротивления питающей системы на стороне ВН и на стороне СН АТ, принимаются значения максимального режима питающих систем; $Z_{с.зВН}$, $Z'_{с.зСН}$ — уставки сопротивления срабатывания дистанционных органов защиты стороны ВН и дистанционных органов стороны СН АТ. Все значения электрических величин стороны СН приведены к значениям параметров стороны ВН АТ.

Использование в качестве измерительных органов на выходе объекта измерительных органов защиты на стороне низшего напряжения автотрансформатора упрощает выполнение защиты.

Высокая стоимость современных цифровых терминалов релейной защиты обуславливает поиск альтернативных вариантов. На автотрансформаторах небольшой мощности, например 63 МВ·А, вместо установки второго дорогостоящего комплекта дифференциальной защиты может выполняться дистанционная защита двойной селективности, логическая защита которой при коротких замыканиях в автотрансформаторе обладает быстродействием, но более простая и менее затратная в исполнении, на авто-

трансформаторах 32 МВ·А она же может применяться в качестве второй быстродействующей защиты.

Пример расчета дистанционной защиты двойной селективности автотрансформатора. Автотрансформаторы 220/110 кВ имеют устройства регулирования напряжения под нагрузкой на стороне среднего напряжения, изменения положений которых приводят к изменению сопротивлений их обмоток. При расчете уставок срабатывания дистанционных защит на сторонах высшего и среднего напряжений автотрансформатора эти изменения должны учитываться [10].

Чтобы уставки срабатывания защит не были неоправданно завышенными и были наиболее близкими к фактическим значениям сопротивлений сторон автотрансформатора, целесообразно их расчет производить не для полного диапазона регулирования напряжения, а для ограниченного — рабочего.

В примере приведены значения сопротивлений сторон высшего, среднего и низшего напряжений автотрансформатора АТДЦТН-63000/220/110 для принятого рабочего диапазона регулирования напряжения, рассчитанные по его техническим параметрам.

На рис. 2.5 приведены первичная схема автотрансформатора, его схема замещения и зависимости изменения сопротивлений сторон высшего X'_{01} , среднего X'_{02} и низшего X'_{03} напряжений, приведенных к напряжению стороны ВН для принятого рабочего диапазона регулирования напряжения $X = f(U_{\text{СНрег}})$.

Принят рабочий диапазон регулируемых напряжений $U_{\text{СН}} = 112,3 \div 128,2$ кВ и определены соответствующие ему коэффициенты трансформации АТ ($n_{\text{АТ}} = 2,05 \div 1,8$) и значения сопротивлений сторон:

- для $n_{\text{АТ}} = 1,8$ $X_{01} = 89$ Ом; $X'_{02} = -9$ Ом; $X'_{03} = 208$ Ом;
- для $n_{\text{АТ}} = 1,9$ $X_{01} = 104,5$ Ом; $X'_{02} = -7,7$ Ом; $X'_{03} = 197$ Ом;
- для $n_{\text{АТ}} = 2,05$ $X_{01} = 121$ Ом; $X'_{02} = 12$ Ом; $X'_{03} = 182$ Ом.

Уставка сопротивления срабатывания второй ступени рассчитывается из условия отстройки от нагрузки стороны НН автотрансформатора и обеспечения чувствительности защиты к коротким замыканиям на сторонах автотрансформатора, включая сторону низшего напряжения, с коэффициентом чувствительности согласно Правил устройства электроустановок [18], равным

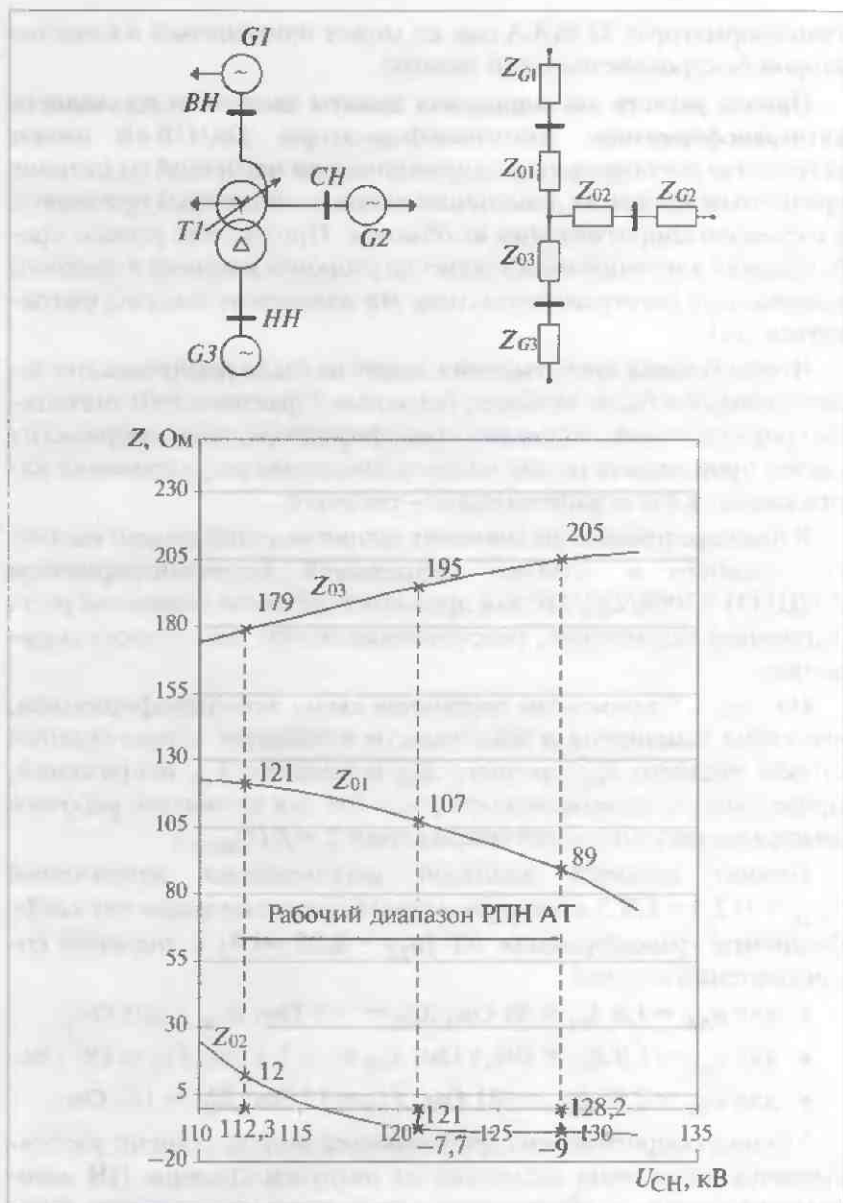


Рис. 2.5. Первичная схема, схема замещения и зависимости изменения сопротивлений автотрансформатора АТДЦТН-63000/220/110 сторон высшего, среднего и низшего напряжений, приведенных к напряжению стороны ВН для принятого рабочего диапазона регулирования РПН

$k_q = 1,5$ в рабочем диапазоне регулирования напряжения автотрансформатора при максимальных значениях сопротивлений.

Выражение для расчета уставки срабатывания второй ступени стороны ВН автотрансформатора имеет вид:

- при КЗ на стороне НН автотрансформатора (точка $K1$)

$$Z_{c.з}^{II} = k_q Z_p = k_q (Z_{01} + k_{n1} Z'_{03});$$

- при КЗ на стороне СН автотрансформатора (точка $K2$)

$$Z_{c.з}^{II} = k_q Z_p = k_q (Z_{01} + k_{n2} Z'_{02}),$$

где Z_p — сопротивление на зажимах реле; Z'_{02}, Z'_{03} — сопротивления сторон СН и НН автотрансформатора, приведенные к напряжению стороны ВН автотрансформатора; k_{n1} — коэффициент подпитки источника $G2$ стороны СН при КЗ в точке $K1$; k_{n2} — коэффициент подпитки источника $G3$ стороны НН при КЗ в точке $K2$.

Коэффициент подпитки k_n равен отношению сопротивлений элемента с подпиткой короткого замыкания от источника смежного элемента к сопротивлению этого элемента без подпитки. Он является величиной обратнопропорциональной коэффициенту токораспределения. Практика проведения расчетов показывает, что в расчетах и при анализе уставок срабатывания дистанционных защит удобнее пользоваться коэффициентом подпитки, чем коэффициентом токораспределения.

Выражение для расчета уставки срабатывания второй ступени стороны СН автотрансформатора имеет вид:

- при КЗ на стороне НН автотрансформатора (точка $K1$)

$$Z_{c.з}^{II} = k_q Z_p = k_q (Z_{02} + k_{n3} Z'_{03});$$

- при КЗ на стороне ВН автотрансформатора (точка $K3$)

$$Z_{c.з}^{II} = k_q Z_p = k_q (Z_{02} + k_{n4} Z'_{02}),$$

где Z_p — сопротивление на зажимах реле; k_{n3} — коэффициент подпитки источника $G1$ стороны ВН при КЗ в точке $K1$; k_{n4} — коэффициент подпитки источника $G3$ стороны НН при КЗ в точке $K3$; Z_{02} — сопротивление стороны СН автотрансформатора; Z'_{01}, Z'_{03} — на-

пряжению стороны автотрансформатора, на которой включена рассматриваемая защита.

Из рассчитанных значений уставок сопротивлений срабатывания вторых ступеней сторон ВН и СН принимается их большие значения.

Уставка выдержки времени срабатывания второй ступени рассчитывается из условий согласования с защитами элементов смежных участков.

Выводы

1. Использование дистанционных защит двойной селективности в качестве резервных защит автотрансформаторов повышает эффективность защиты автотрансформаторов:

- обеспечивает резервирование автотрансформаторов;
- увеличивает быстродействие при коротких замыканиях в автотрансформаторах — логические защиты действуют без выдержки времени;
- улучшает распознавание места короткого замыкания — срабатывание логической защиты указывает на повреждение в автотрансформаторе, срабатывание защиты с выдержкой времени — на КЗ в прилегающей сети.

2. Логическая защита дистанционной защиты двойной селективности обладает абсолютной селективностью, сравнимой с дифференциальной защитой, но в сравнении с ней менее затратная. Поэтому в ряде случаев она может использоваться в качестве второй быстродействующей защиты автотрансформаторов.

2.4. Генераторы электростанций

В качестве резервных защит на генераторах используются максимальные токовые защиты с дополнительным пуском напряжения [24].

Генераторы электростанций являются последними элементами электрической сети в цепях защит с временной селективностью, выдержки времени срабатывания которых выполняются нарастающими по ступенчатому принципу от потребителя к источнику. Поэтому защиты генераторов могут иметь большие выдержки времени срабатывания.

Как резервная для защит элементов внешней сети, защита генератора срабатывает при отказах их защит или отключающих аппаратов.

Как резервная к основной, дифференциальной, защите генератора, она срабатывает при ее отказе и КЗ в генераторе, а также при КЗ на участках у выключателя, не охваченных дифференциальной защитой генераторов, работающих на сборные шины.

Во всех этих случаях отключения коротких замыканий производятся с большими временами и могут вызывать значительные разрушения, что нежелательно.

Распознавание места повреждения при срабатывании максимальной токовой защиты генератора затруднительно и производится с учетом дополнительных признаков.

Использование максимальной токовой защиты двойной селективности в качестве резервной защиты генератора устраняет часть из перечисленных недостатков и повышает эффективность защиты.

На рис. 2.6 приведена принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности генератора.

Защита образована на основе максимальной токовой защиты с дополнением измерительными органами на выходе объекта (генератора) и цепями работы защиты без выдержки времени, таким образом образовав логическую защиту генератора в ее составе.

Токовые измерительные органы максимальной токовой защиты (они же измерительные органы на входе логической защиты) включены в цепи трансформаторов тока нулевых выводов генератора, измерительные органы на выходе логической защиты включены в цепи трансформаторов тока выводов генератора. Зона логической защиты ограничена трансформаторами тока нулевых выводов и выводов генератора. В этой зоне защита работает без выдержки времени как защита с абсолютной селективностью.

Генератор представляет собой объект с двусторонним питанием и поэтому измерительные органы логической защиты на выходе объекта выполняются направленными. В простейшем виде — с реле направления мощности. В защите они образуют орган КА - КИ, в котором цепи последовательно соединенных замыкающих контактов реле тока и направления мощности фаз соединены параллельно и параллельно им включена цепь, образованная по-

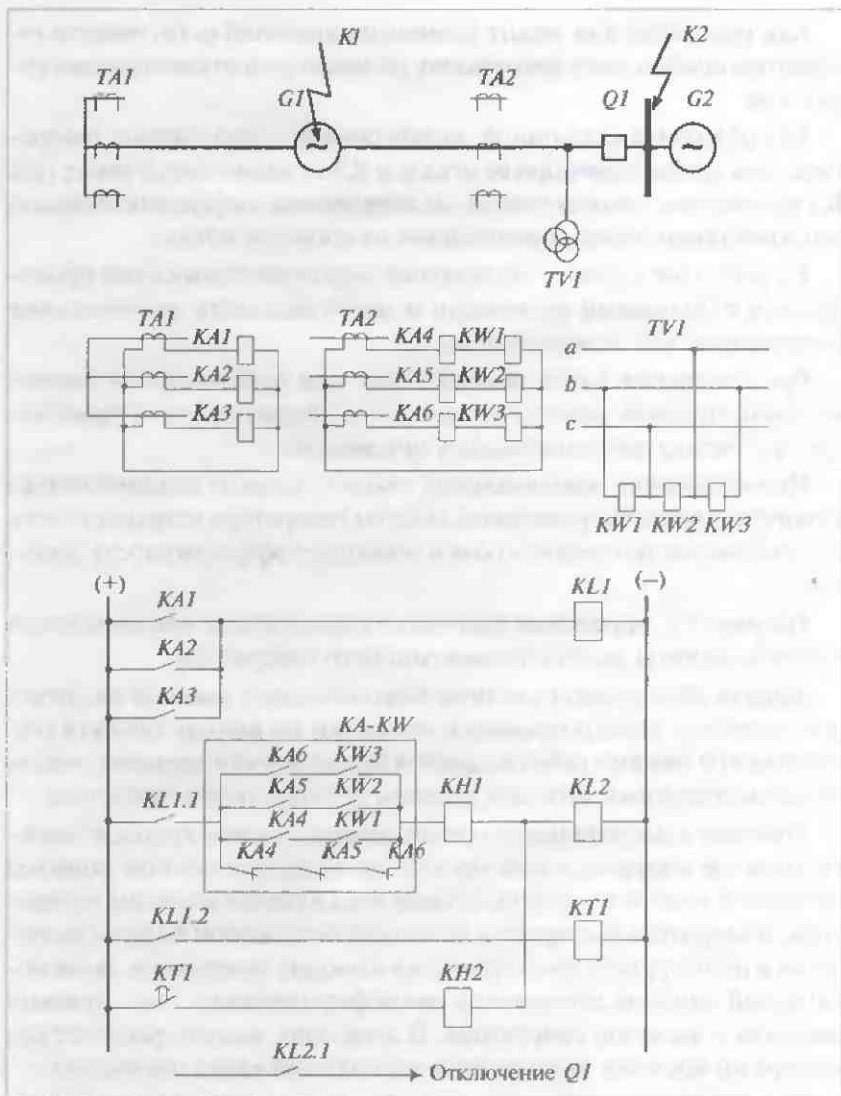


Рис. 2.6. Принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности трансформатора:

$G1$ — генератор; $Q1$ — выключатель; $G2$ — другие источники питания; $TA1$, $TA2$ — трансформаторы тока; TV — трансформатор напряжения; $KA1$ — $KA3$ — измерительные органы на входе защищаемого объекта; $KA4$ — $KA6$ — то же на выходе объекта; $KW1$ — $KW3$ — измерительные органы направления мощности на выходе объекта; $KL1$, $KL2$ — реле промежуточные; KT — реле времени; $KH1$, $KH2$ — реле сигнальные

следовательно соединенными размыкающими контактами токовых реле.

В режиме без коротких замыканий измерительные органы защиты на входе и выходе объекта не сработаны, размыкающие контакты реле тока *КА4*, *КА5*, *КА6* в цепи органа *КА-КВ* работы логической защиты без выдержки времени замкнуты и защита по этим цепям введена в работу. По цепям работы с выдержкой времени защита также готова к срабатыванию. В защите с выдержкой времени дополнительный пуск по напряжению на рис. 2.6 условно не показан.

При коротком замыкании в генераторе в зоне логической защиты (точка *К1*) трансформаторы тока *ТА1* обтекаются током короткого замыкания и в защите срабатывают реле тока *КА1*, *КА2*, *КА3*. В схеме оперативных цепей защиты их срабатывание приводит к срабатыванию промежуточного реле *КЛ1* и замыканию контакта *КЛ1.1* в цепях работы логической защиты.

Трансформаторы тока *ТА2* на выходе генератора обтекаются током короткого замыкания от источника *Г2*, реле тока *КА4*, *КА5*, *КА6* могут быть сработанными, тогда в органе *КА-КВ* будет разомкнутой цепь размыкающих контактов токовых реле, но будет замкнутой цепь (цепи), образованная замыкающими контактами реле тока *КА4*, *КА5*, *КА6* и реле направления мощности *КВ1*, *КВ2*, *КВ3*, направленными в генератор, для которых короткое замыкание в генераторе является коротким замыканием в зоне. Логическая защита срабатывает без выдержки времени и выходным промежуточным реле *КЛ2* по цепи контакта *КЛ2.1* производит отключение выключателя. Срабатывание логической защиты фиксируется указателем *КН1*.

На генераторе, не включенном в сеть, при том же коротком замыкании в генераторе, логическая защита срабатывает по цепи последовательно соединенных размыкающих контактов токовых реле *КА4*, *КА5*, *КА6* в органе *КА-КВ*.

При трехфазных коротких замыканиях в «мертвой зоне» реле направления мощности микропроцессорных защит срабатывают по контуру памяти. В защите в качестве органов направления могут использоваться направленные реле сопротивления, имеющие контур памяти.

При коротком замыкании на участке внешней сети (точка *К2*), обтекаются током короткого замыкания от генератора трансфор-

маторы тока $TA2$ и токовые измерительные органы логической защиты на выходе генератора — реле тока $KA4$, $KA5$, $KA6$ срабатывают и разомкнутой будет их цепь размыкающих контактов в органе $KA - KW$. Несработанными будут органы направления мощности в органе $KA - KW$, и в целом логическая защита будет выведена из работы.

Защита срабатывает с выдержкой времени в соответствии с временной селективностью. Срабатывание защиты фиксируется указателем $KH2$.

Таким образом, максимальная токовая защита двойной селективности повышает быстродействие при ликвидации повреждений в генераторе и по срабатыванию указательных реле облегчает распознавание места КЗ.

Функционально защита двойной селективности генератора может быть представлена выражением (2.1), логическая защита — выражением (1.1).

В качестве измерительных органов максимальной токовой защиты двойной селективности, являющихся измерительными органами на входе логической защиты, обладающей быстродействием, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

Максимальная токовая защита двойной селективности эффективна на генераторах, снабженных тиристорной системой самовозбуждения. Максимальная токовая защита на таких генераторах из-за большой выдержки времени в большинстве случаев не работает при близких трехфазных коротких замыканиях из-за снижения тока короткого замыкания в процессе протекания короткого замыкания и возврата реле тока защиты.

Логическая защита срабатывает без выдержки времени до снижения тока короткого замыкания в генераторе и поэтому является успешной. Уставки срабатывания измерительных органов на выходе согласовываются с уставками срабатывания МТЗ генератора. Коэффициент отстройки (согласования) может быть принят равным 1,05.

Уставки срабатывания измерительных органов на выходе объекта принимаются более чувствительными для предотвращения случаев неселективных срабатываний логических защит при внешних КЗ, когда сработанными будут измерительные органы

МТЗ на входе и несработанными окажутся измерительные органы на выходе генератора.

Логические защиты не исключают использование максимальной токовой защиты от трехфазных КЗ на выводах генератора с реле минимального тока и напряжения (РМТН), в которой ток срабатывания защиты с учетом спада тока КЗ в процессе протекания короткого замыкания настраивается в пределах 50 % номинального тока генератора с фиксацией начального всплеска тока короткого замыкания [25]. Фиксация всплеска тока в момент возникновения КЗ отражает возникновение КЗ и спадание тока КЗ в процессе протекания короткого замыкания. Недостаток этой защиты состоит в том, что она имеет выдержку времени на срабатывание. Время срабатывания защиты определяется временем спада тока короткого замыкания от момента возникновения короткого замыкания до уставки срабатывания защиты.

Выводы

1. Использование максимальных токовых защит двойной селективности в качестве резервных повышает эффективность защиты генераторов:

- защиты обладают быстроедействием при повреждении защищаемых генераторов — логические защиты действуют без выдержки времени при коротких замыканиях в генераторах;
- улучшают распознавание места короткого замыкания — срабатывание логической защиты указывает на повреждение в генераторе, срабатывание защиты с выдержкой времени — на КЗ в прилегающей сети.

2. На генераторах, имеющих тиристорную систему самовозбуждения, быстроедействие логических защит позволяет исключать возможные отказы максимальных токовых защит из-за снижения тока КЗ в процессе протекания короткого замыкания. Отключение коротких замыканий логическими защитами генераторов производится до снижения тока короткого замыкания.

3. В качестве измерительных органов на входе логических защит генераторов, обладающих быстроедействием, — измерительных органов максимальных токовых защит двойной селективности генераторов, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

2.5. Блоки генератор – трансформатор электростанций

На блоках в качестве резервных используются защиты генераторов: максимальная токовая защита с дополнительным пуском напряжения или защита с использованием тока обратной последовательности, дополненная органами от симметричных коротких замыканий в виде реле тока одной фазы и реле напряжения, включенного на линейное напряжение. Отдельной защиты трансформаторы блоков не имеют [26]. Поэтому, недостатки, характерные для максимальной токовой защиты генераторов, приведенные в § 2.4, в равной мере относятся к резервным защитам блоков, а именно:

- большая выдержка времени срабатывания, так как резервная защита генератора является последним звеном в цепи нарастающих уставок выдержек времени срабатывания защит элементов сети;

- затруднения в распознавании поврежденного участка.

В блоке — это элементы блока: генератор или трансформатор и участки внешней сети.

Использование максимальной токовой защиты двойной селективности в качестве резервной защиты генератора повышает эффективность защиты блоков [27].

Блок генератор — трансформатор без выключателя в цепи генератора. Максимальная токовая защита двойной селективности выполнена на основе максимальной токовой защиты генератора, дополнена измерительными органами на выходе объекта и целями работы защиты без выдержки времени, таким образом образована логическая защита объекта в ее составе.

Логическая защита может выполняться как для всего блока и охватывать генератор и трансформатор, так и отдельно для генератора и трансформатора. В последнем случае обеспечивается распознавание поврежденного элемента блока, что является достоинством такого исполнения защит.

Для выполнения отдельных логических защит требуется установка трансформаторов тока в цепи генератора и измерительных органов, используемых в логической защите в качестве измерительных органов на выходе объекта.

В выборе варианта исполнения логической защиты ориентиром может служить дифференциальная защита, которая на таких

блоках выполняется общей. Поэтому здесь рассматривается логическая защита блока.

Измерительные органы логической защиты на выходе блока, как элемента с двухсторонним питанием, содержат направленные органы, включенные направленными к защищаемому объекту, т. е. в сторону блока.

На рис. 2.7 приведена принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности блока.

Измерительными органами логической защиты являются:

- на входе: реле тока *1КА, 2КА, 3КА* МТЗ генератора;
- на выходе: реле тока и направления мощности *4КА, 5КА, 6КА, 1КВ, 2КВ, 3КВ* на стороне ВН трансформатора блока и реле тока *7КА, 8КА, 9КА* ответвительного трансформатора собственных нужд (с.н.).

Последовательное соединение контактов повторителей измерительных органов максимальной токовой защиты на входе объекта *КЛ1.2*, измерительных органов на выходах объекта *КЛ3.1* и *КЛ4.1* в защите образует цепь работы защиты без выдержки времени — цепь логической защиты блока.

В режиме без КЗ измерительные органы на выходе объекта не сработаны, размыкающие контакты токовых реле *4КА, 5КА, 6КА* и *7КА, 8КА, 9КА* замкнуты, их повторители *КЛ3* и *КЛ4* находятся в сработанном состоянии и контактами *КЛ3.1* и *КЛ4.1* цепь работы логической защиты без выдержки времени введена в работу. Цепи действия защиты с выдержкой времени также готовы к срабатыванию.

При КЗ в блоке (точка *К1*), и отключенном выключателе *Q1* срабатывают измерительные органы на входе объекта — реле тока *1КА, 2КА, 3КА*, их повторитель — промежуточное реле *КЛ1*, и по цепи контактов *КЛ1.2, КЛ3.1, КЛ4.1* — цепи работы логической защиты — защита срабатывает без выдержки времени.

При включенном выключателе *Q1* и том же КЗ в точке *К1* от источника *G2* срабатывают в цепях трансформаторов тока *2ТА* токовые реле *4КА, 5КА, 6КА* и реле направления мощности *1КВ, 2КВ, 3КВ*, направленные в сторону блока, промежуточное реле *КЛ3* органа *КА-КВ* и по той же цепи срабатывает логическая защита без выдержки времени.

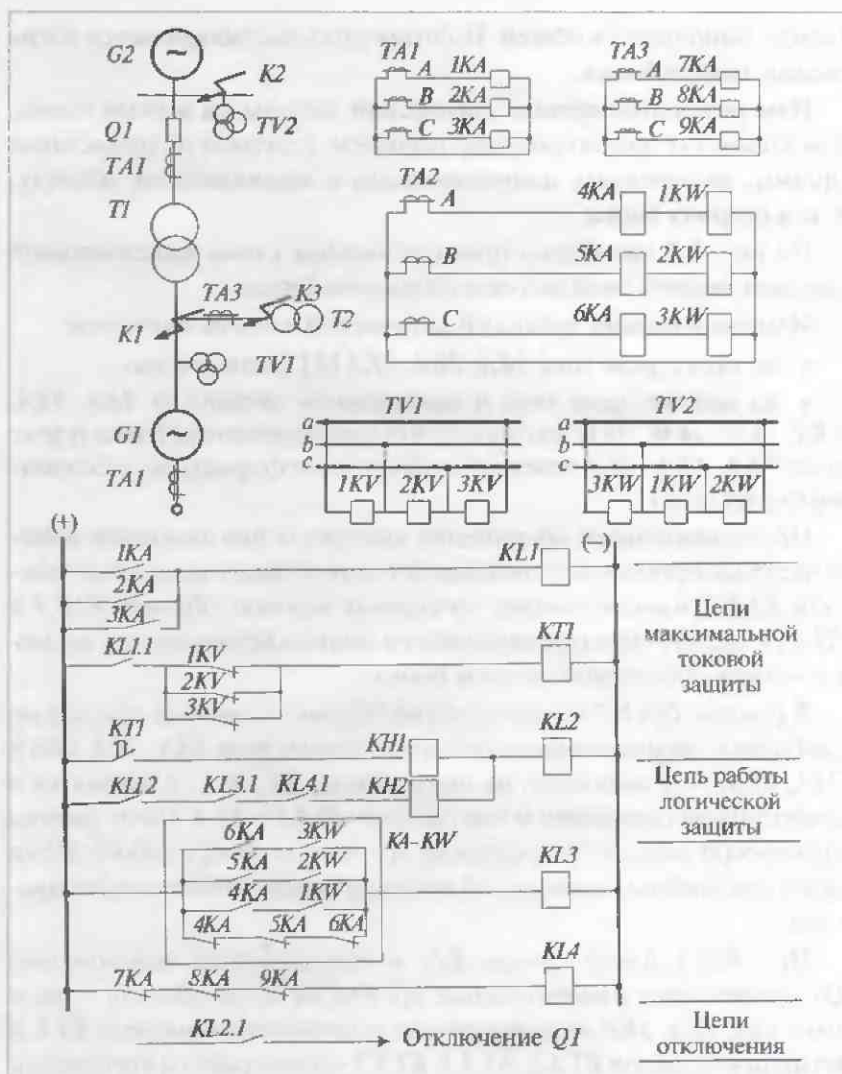


Рис. 2.7. Принципиальная схема МТЗ двойной селективности блока генератор — трансформатор без выключателя в цепи генератора:

G — генератор; *Q* — выключатель; *TV* — трансформатор напряжения; *TA1* — трансформаторы тока нулевых выводов генератора (на входе объекта); *TA2* — трансформаторы тока стороны ВН трансформатора (на выходе объекта); *TA3* — трансформаторы тока ответвительного трансформатора собственных нужд; *1KA*—*3KA* — токовые органы максимальной токовой защиты; *4KA*—*9KA* — токовые органы (для логической защиты — измерительны органы на выходах объекта); *1KW*—*3KW* — реле направления мощности

При КЗ на участках внешней сети:

- в сети ВН блока (точка $K2$) — несработанными будут реле направления мощности $1KW, 2KW, 3KW$ (для них КЗ за «спиной») измерительных органов на выходе объекта и логическая защита блока будет выведена;

- на ответвительном трансформаторе $T2$ (точка $K3$) — логическая защита выводится срабатыванием токовых реле $7KA - 9KA$.

На эти КЗ срабатывает максимальная токовая защита с выдержкой времени. Срабатывания защит указываются сигнальными реле.

Итак, максимальная токовая защита двойной селективности блока:

- в зоне логической защиты — в зоне абсолютной селективности, расположенной между трансформаторами тока на входе и выходе объекта, работает без выдержки времени;

- в зоне относительной селективности — работает с выдержкой времени в качестве резервной к защитам элементов внешней сети.

Алгоритмы функционирования логической защиты и максимальной токовой защиты двойной селективности описываются выражениями (1.1) и (2.1).

Уставки срабатывания измерительных органов на выходе логической защиты блока и максимальной токовой защиты генератора согласовываются между собой аналогично уставкам защит генератора. Коэффициент отстройки (согласования) может быть принят равным 1,05. Измерительные органы логической защиты на выходе объекта выполняются более чувствительными для предотвращения неселективных срабатываний логической защиты при внешних КЗ в сети ВН блока, когда сработанными будут измерительные органы МТЗ на входе и несработанными окажутся измерительные органы на выходе блока.

В качестве измерительных органов на входе логических защит генераторов, обладающих быстродействием, — измерительных органов максимальных токовых защит двойной селективности генераторов, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

Измерительные органы логической защиты содержат реле направления мощности, обеспечивающие селективность ее срабатывания. В микропроцессорных защитах срабатывание при близ-

ких трехфазных КЗ в мертвой зоне обеспечивается “контуром памяти”.

Блок генератор — трансформатор с выключателем в цепи генератора. Блоки такого типа в дополнение к максимальной токовой защите генератора имеют максимальную токовую защиту на стороне ВН трансформатора блока. Последняя при работе блока выведена из работы и вводится при отключении генератора. В этом случае она осуществляет резервирование защит ответственного трансформатора собственных нужд.

На основе этих защит выполнены максимальные токовые защиты двойной селективности с логическими защитами в их составе:

- на основе МТЗ генератора — логическая защита генератора и логическая защита трансформатора на стороне НН трансформатора;
- на основе МТЗ стороны ВН трансформатора — логическая защита трансформатора на стороне ВН трансформатора [27].

На рис. 2.8 приведены принципиальные схемы максимальных токовых защит двойной селективности блока генератор — трансформатор с выключателем в цепи генератора.

Логическая защита генератора. Логическая защита образована: токовые реле МТЗ генератора $1KA, 2KA, 3KA$ — как измерительные органы на входе объекта; токовые реле $4KA, 5KA, 6KA$ и реле направления мощности $1KW, 2KW, 3KW$ — как измерительные органы на выходе объекта.

Орган $KA-KW$ с реле $4KA, 5KA, 6KA$ измерительных органов на выходе объекта образует цепи логических защит генератора и стороны НН трансформатора. Для генератора используются реле направления мощности $1KW, 2KW, 3KW$, для стороны НН трансформатора — $7KW, 8KW, 9KW$.

В режиме без КЗ измерительные органы на выходе объекта $4KA, 5KA, 6KA$ не сработаны, их размыкающие контакты замкнуты, реле-повторитель $4KL$ находится в сработанном состоянии и контактом $4KL.1$ логическая защита введена в работу.

По цепям с выдержкой времени максимальная токовая защита также готова к срабатыванию.

При КЗ в генераторе (точка $K1$) и отключенном выключателе $Q1$ генератора срабатывают измерительные органы на входе объекта — реле тока $1KA, 2KA, 3KA$, их реле-повторитель $1KL$, и по

цепи контактов *1KL.2*, *4KL.1* логическая защита срабатывает без выдержки времени.

При включенном выключателе *Q1* генератора и том же *K3* в генераторе от источника *G2* в цепях трансформаторов тока *TA2* срабатывают реле тока *4KA*, *5KA*, *6KA*, реле направления мощности *1KW*, *2KW*, *3KW*, направленные в генератор, и их реле-повторитель *5KL* органа *KA-KW* и контактом *5KL.1* вводится и срабатывает логическая защита, которая отключает генератор без выдержки времени.

При *K3* на участке внешней сети (точки *K2*, *K3*, *K4*) срабатывают токовые реле *4KA*, *5KA*, *6KA* и отпадает их реле-повторитель *4KL*, но несработанными будут реле направления мощности *1KW*, *2KW*, *3KW*, несработанным будет реле-повторитель *5KL* органа *KA-KW* и контактами *4KL.1*, *5KL.1* логическая защита выводится из работы.

При этих *K3* максимальная токовая защита генератора в случае отказа защит элементов внешних участков срабатывает с выдержками времени: с первой — на отключение выключателя ВН блока; со второй — на отключение выключателя генератора.

Логическая защита трансформатора блока на стороне НН трансформатора. Логическая защита трансформатора на стороне НН трансформатора образована:

- измерительными органами на входе объекта являются реле тока максимальной токовой защиты двойной селективности генератора *1KA*, *2KA*, *3KA*;

- измерительными органами на выходе объекта являются реле тока *10KA*, *11KA*, *12KA*, реле направления мощности *4KW*, *5KW*, *6KW*, включенные в цепи трансформаторов тока *TA3* на стороне ВН трансформатора и образованный ими орган *KA-KW* с реле-повторителем *11KL*;

- измерительными органами на выходе объекта являются реле тока *4KA*, *5KA*, *6KA*, реле направления мощности *7KW*, *8KW*, *9KW*, включенные в цепи трансформаторов тока *TA2* с реле-повторителем *10KL* органа *KA-KW*;

- реле тока *13KA*, *14KA*, *15KA* и их реле-повторитель *7KL* ответственного трансформатора собственных нужд.

В режиме без *K3* измерительные органы защиты на выходах объекта — реле тока *10KA*, *11KA*, *12KA* трансформаторов тока *TA3* стороны ВН трансформатора — реле тока *13KA*, *14KA*, *15KA*

трансформаторов тока трансформатора с.н. не сработаны, их размыкающие контакты в цепях логической защиты замкнуты, реле-повторители *6KL* и *7KL* находятся в сработанном состоянии и

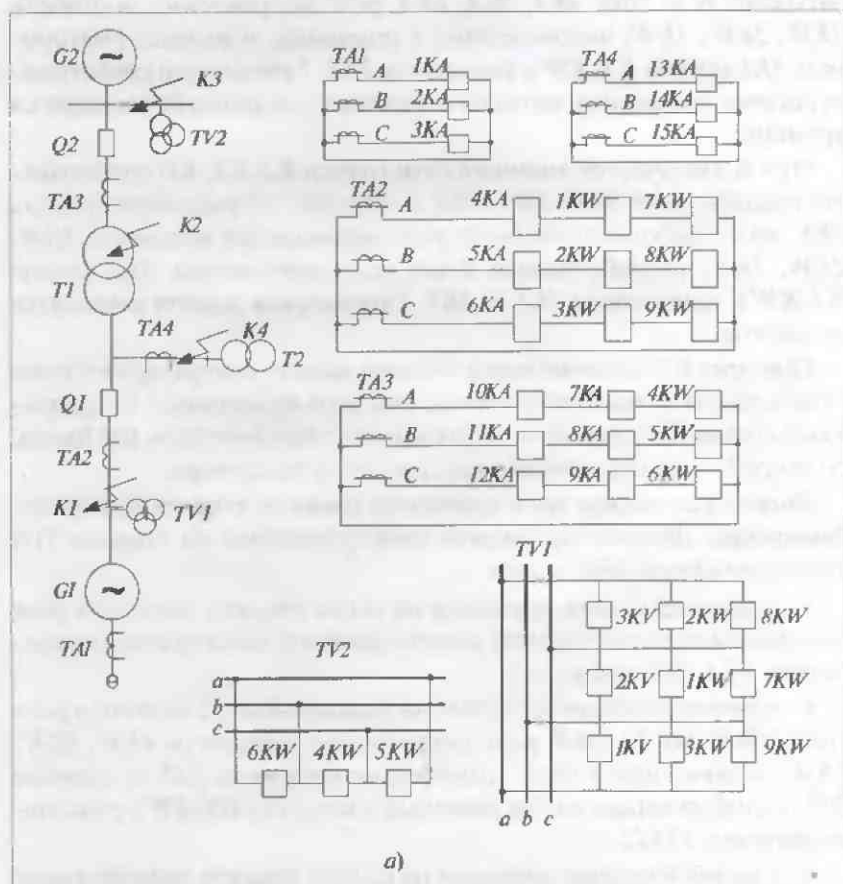
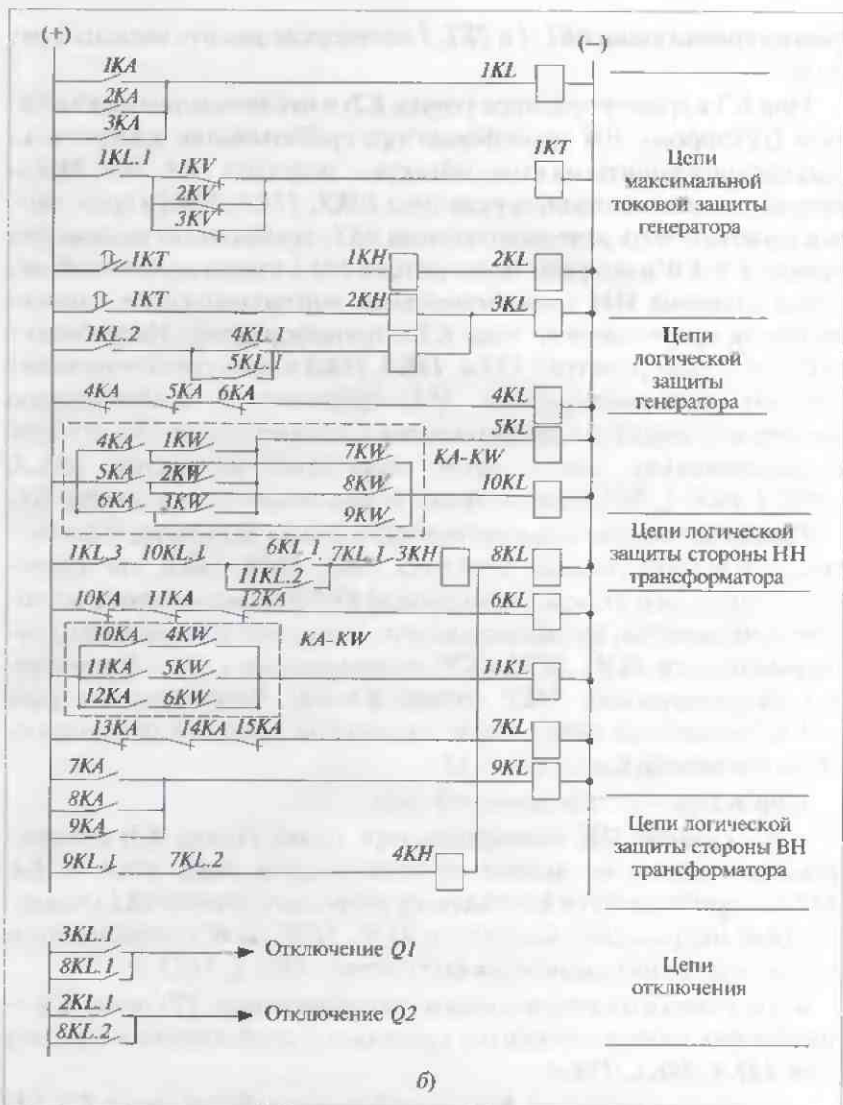


Рис. 2.8. Принципиальная схема МТЗ двойной селективности блока генератор — трансформатор с выключателем в цепи генератора:

a — цепи переменного тока и напряжения защит; *b* — оперативные цепи защит; *TA1* — трансформаторы тока нулевых выводов генератора; *TA2* — трансформаторы тока выводов трансформатора; *TA3* — трансформаторы тока стороны ВН трансформатора; *TA4* — трансформаторы тока ответвительного трансформатора с.н.; *1KA, 2KA, 3KA* — токовые органы МТЗ генератора; *4KA, 5KA, 6KA* — реле тока (для логической защиты генератора — измерительные органы на выходе объекта); *1KW, 2KW, 3KW* — реле направления мощности (для логической защиты генератора — измерительные органы на выходе объекта); *7KA, 8KA,*



9KA — токовые органы МТЗ генератора на стороне ВН трансформатора; 10KA, 11KA, 12KA — реле тока (для логической защиты стороны НН трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 4KW, 5KW, 6KW — реле направления мощности (для логической защиты стороны НН трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 7KW, 8KW, 9KW — реле направления мощности (для логической защиты стороны НН трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 13KA, 14KA, 15KA — реле тока ответственного трансформатора с. н.

своими контактами *6KL.1* и *7KL.1* логическая защита введена в работу.

При *K3* в трансформаторе (точка *K2*) и отключенном выключателе *Q2* стороны ВН трансформатора срабатывание измерительных органов защиты на входе объекта — реле тока *1KA, 2KA, 3KA* — несработавшее положение реле тока *10KA, 11KA, 12KA* и сработавшее положение их реле-повторителя *6KL*, сработавшее положение органа *KA-KW* и его реле-повторителя *10KL* в цепи логической защиты стороны НН трансформатора, контролирующее направленность протекающего тока *K3* в трансформатор. Несработавшее положение реле тока *13KA, 14KA, 15KA* и сработавшее положение их реле-повторителя *7KL* приводят к срабатыванию логической защиты — срабатыванию выходного реле *8KL* по цепи последовательно соединенных замкнутых контактов *1KL.3, 10KL.1, 6KL.1, 7KL.1* и отключению выключателя генератора *G1*.

При включенном выключателе *Q2* и том же *K3* в точке *K2* от источника *G2* срабатывают реле тока *10KA, 11KA, 12KA*, что приводит к отпаданию их реле-повторителя *6KL* и размыканию цепи логической защиты, но одновременно срабатывают реле направления мощности *4KW, 5KW, 6KW*, направленные в трансформатор, и реле-повторитель *11KL* органа *KA-KW*. Через контакт реле *11KL.2* образуется цепь работы логической защиты и отключаются выключатели блока *Q1* и *Q2*.

При *K3* на участках внешней сети:

- на стороне ВН трансформатора блока (точка *K3*) измерительные органы на выходе объекта — реле тока *10KA, 11KA, 12KA* — срабатывают и контакты их реле-повторителя *6KL* отпадают, реле направления мощности *4KW, 5KW, 6KW* не сработаны и логическая защита выведена контактами *6KL.1, 11KL.2*;
- на участке ответвительного трансформатора *T2* (точка *K4*) — логическая защита выводится в результате срабатывания токовых реле *13KA, 14KA, 15KA*;
- в генераторе (точка *K1*), несработанным будет орган *KA-KW* с реле направления мощности *7KW, 8KW, 9KW*, направленными в трансформатор, и логическая защита выведена контактом его реле-повторителя *10KL.1*.

На эти *K3* МТЗ генератора срабатывает с выдержками времени.

В качестве измерительных органов на входе логических защит генератора и трансформатора блока, обладающих быстродействи-

ем, — измерительных органов максимальной токовой защиты двойной селективности генератора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

Логическая защита трансформатора блока на стороне ВН трансформатора. Логическая защита трансформатора выполнена в составе максимальной токовой защиты двойной селективности стороны ВН трансформатора.

Измерительные органы защиты:

- на входе объекта — реле тока *7КА, 8КА, 9КА* и их реле-повторитель *9КЛ*;
- на выходе объекта — реле тока *13КА, 14КА, 15КА* и их реле-повторитель *7КЛ* ответственного трансформатора *Т2*.

При работе блока логическая защита вместе с МТЗ трансформатора выведена и вводится при отключении генератора. Ввод и вывод защиты может выполняться автоматическим в зависимости от положения выключателя генератора (на схеме эти цепи не показаны).

Трансформатор блока в режиме питания трансформатора с.н. с отключенным генератором блока может рассматриваться как трансформатор с односторонним питанием.

Поведение МТЗ и логической защиты при КЗ в трансформаторе и во внешней сети аналогично описанному в § 2.2 для трансформатора с односторонним питанием.

Цепи работы МТЗ с выдержкой времени стороны ВН трансформатора на рис. 2.8, б не показаны.

В качестве измерительных органов на входе логической защиты трансформатора, обладающей быстродействием, — измерительных органов МТЗ двойной селективности на стороне ВН трансформатора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков тока намагничивания трансформатора.

Срабатывание логических защит фиксируется указательными реле, что способствует распознаванию места короткого замыкания.

Укрупненные блоки ГЭС. Крупные гидроэлектростанции содержат, как правило, значительное число гидрогенераторов. В схемах первичных соединений таких электростанций используются укрупненные блоки с трансформаторами, обмотка НН которых расщеплена на две-три части, и к ним подключены генераторы.

В качестве резервных защит на блоках используются максимальные токовые защиты генераторов. Отдельных резервных защит трансформатор блока не имеет.

Помимо недостатков максимальных токовых защит генераторов, приведенных в § 2.4, а именно:

- большая выдержка времени срабатывания, так как резервная защита генератора является последним звеном в цепи нарастающих уставок выдержек времени срабатывания защит элементов сети;
- затруднения в распознавании поврежденного элемента блока: генератора или трансформатора, или участка внешней сети, максимальные токовые защиты генераторов укрупненных блоков имеют недостаточную защитоспособность — они нечувствительны к трехфазным коротким замыканиям на смежных сторонах НН трансформатора блока. В § 2.7 это показано на примере расчета чувствительности максимальной токовой защиты генератора укрупненного блока 500 кВ одной из ГЭС.

Использование максимальной токовой защиты двойной селективности генератора с содержащимися в ее составе логическими защитами элементов блока в качестве резервной приводит к повышенным техническим эффектам [27].

Защита двойной селективности выполнена на основе максимальной токовой защиты генератора, дополненной измерительными органами на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени. В результате образуется логическая защита генератора и на стороне НН трансформатора блока.

На генераторах защиты идентичны, поэтому на рис. 2.9 приведены защиты для одного из них и для одной его стороны НН трансформатора блока.

Логическая защита генератора G1. Построение защиты аналогично приведенной выше для генератора блока генератор — трансформатор с выключателем в цепи генератора и показано на принципиальных схемах (рис. 2.9).

Логическая защита генератора при КЗ в генераторе действует без выдержки времени.

Максимальная токовая защита генератора при внешних КЗ (точка КЗ), как и предусматривается типовыми решениями [26], с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя стороны ВН трансформатора блока, со второй — на отключение выключателя генератора.

Логическая защита трансформатора блока на стороне Т1.1 трансформатора. Построение и логика работы логической защиты на стороне Т1.1 трансформатора аналогичны описанной для трансформатора блока генератор – трансформатор с выключателем в цепи генератора со свойственными ей особенностями.

К ним относятся:

- измерительные органы на выходах всех сторон НН трансформатора содержат органы направления мощности, поскольку на этих сторонах трансформатора блока имеются генераторы, как источники питания. Выходами защиты являются стороны трансформатора и их измерительные органы: Т1.1 – 4КА, 5КА, 6КА и 4КВ, 5КВ, 6КВ; Т1.2 – 7КА, 8КА, 9КА и 7КВ, 8КВ, 9КВ; Т1.3 – 10КА, 11КА, 12КА и 10КВ, 11КВ, 12КВ; сторона ВН трансформатора – 4КА, 5КА, 6КА и 4КВ, 5КВ, 6КВ;
- логическая защита каждой стороны трансформатора действует на отключение выключателей смежных генераторов, т. е. на отключение всего трансформатора.

Уставки срабатывания измерительных органов на выходе объекта стороны ВН и НН трансформатора в логической защите стороны Т1.1 рассчитываются из условия протекания по ним тока КЗ одного генератора при внешнем КЗ (точки КЗ, КИ). При включенных трех генераторах условия согласования уставок срабатывания измерительных органов на входе и выходе логической защиты стороны Т1.1 улучшаются.

Аналогичным образом согласовываются уставки измерительных органов логических защит сторон Т1.2 и Т1.3.

Функционально защита на каждой стороне может быть представлена выражением (1.1).

Алгоритм функционирования логической защиты i -й стороны многообмоточного трансформатора, отражающий срабатывание его измерительных органов на входе объекта при несрабатывании измерительных органов на выходе объекта или срабатывание измерительных органов на входе при разрешающем срабатывании сигнала измерительных органов на выходе остальных k сторон объекта, может быть представлен в виде

$$F(I)D_0 = F(I)_{\text{ВХ}} \prod_{i=1}^k \bar{F}(I)_{\text{ВЫХ}}, \quad (2.6)$$

где $F(I)_{\text{вх}}$ — функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $F(I)_{\text{вых}}$ — функция несрабатывания измерительных органов на выходе объекта.

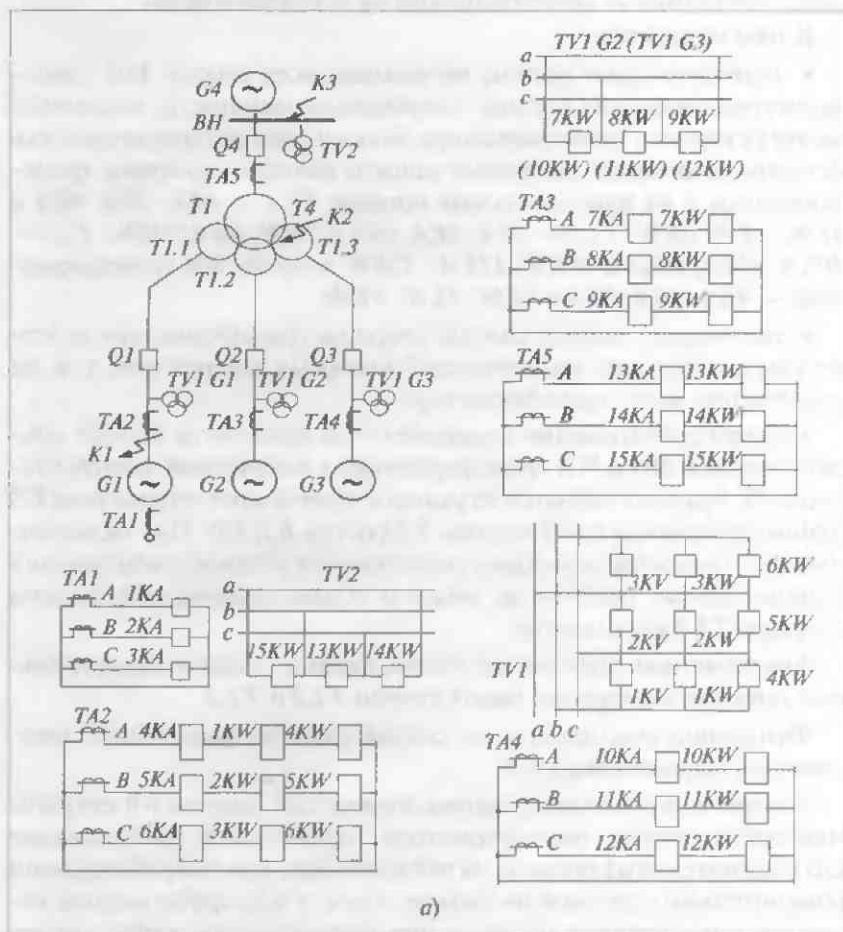
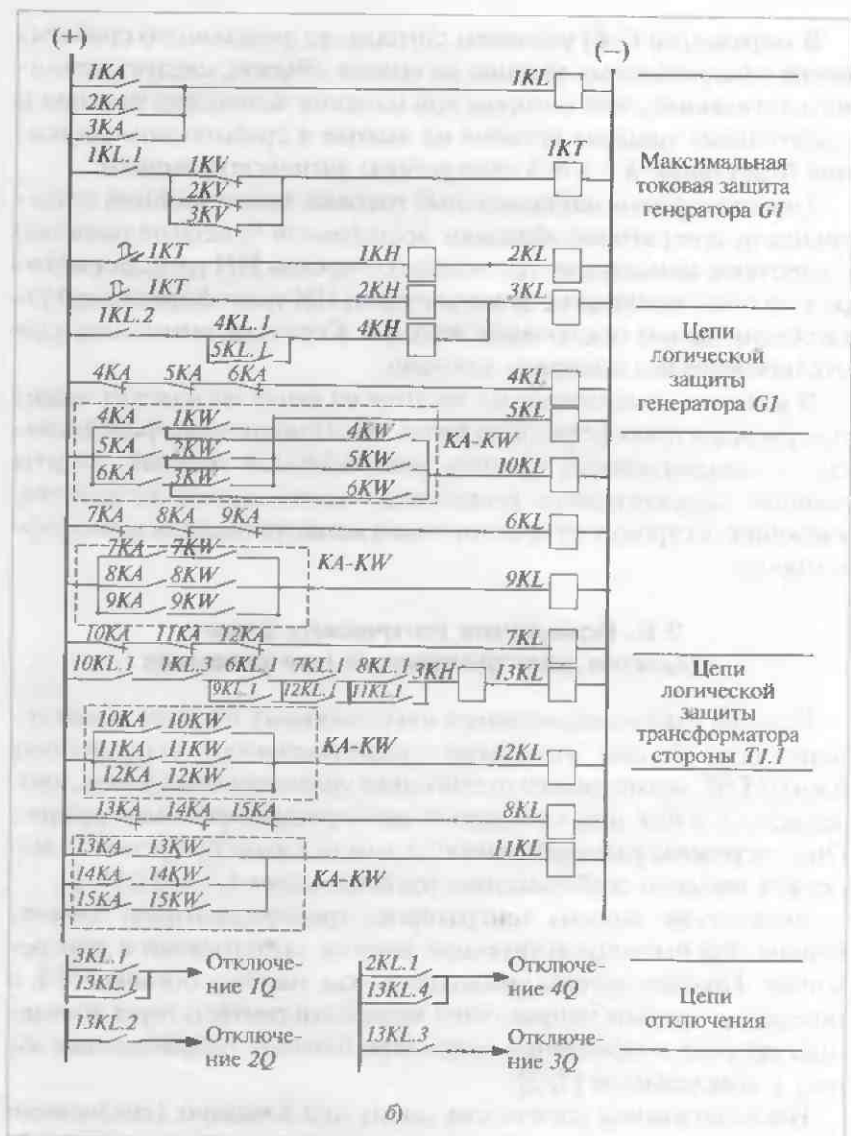


Рис. 2.9. Принципиальная схема МТЗ двойной селективности генератора, логических защит генератора и его стороны НН многообмоточного трансформатора блока:

a — цепи переменного тока и напряжения защит; b — цепи оперативного тока защит; $TA1$ — трансформаторы тока нулевых выводов генератора; $TA2$ — трансформаторы тока на выводах генератора; $TA3$, $TA4$ — трансформаторы тока на выводах смежных генераторов; $TA5$ — трансформаторы тока на стороне ВН трансформатора блока; $1KA$, $2KA$, $3KA$ — токовые органы МТЗ генератора;



4KA, 5KA, 6KA и 1KW, 2KW, 3KW — измерительные органы на выходе генератора; 4KA, 5KA, 6KA и 4KW, 5KW, 6KW — измерительные органы на выходе стороны T1.1 трансформатора блока; 7KA, 8KA, 9KA и 7KW, 8KW, 9KW — измерительные органы на выходе стороны T1.2 трансформатора блока; 10KA, 11KA, 12KA и 10KW, 11KW, 12KW — измерительные органы на выходе стороны T1.3 трансформатора блока; 13KA, 14KA, 15KA и 13KW, 14KW, 15KW — измерительные органы на выходе стороны ВН трансформатора блока

В выражении (2.6) условием сигнала, разрешающего срабатывание измерительных органов на выходе объекта, следует принимать положение, при котором при наличии источника питания и сработанных токовых органов на выходе в сработанном состоянии будет орган $KА-KИ$ в цепи работы логической защиты.

Токовые органы максимальных токовых защит двойной селективности генераторов обладают достаточной чувствительностью к коротким замыканиям на смежных сторонах НН трансформатора и поэтому логические защиты сторон НН трансформатора блока обеспечивают отключение этих КЗ. Короткие замыкания ими отключаются без выдержек времени.

В качестве измерительных органов на входе логических защит генератора и трансформатора блока, обладающих быстродействием, — измерительных органов максимальной токовой защиты двойной селективности генератора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

2.6. Поведение логических защит объектов электростанций при качаниях

Уставки токов срабатывания максимальных токовых защит генераторов, блоков генератор — трансформатор, укрупненных блоков ГЭС не отстроены от значений уравнильных токов, протекающих в них при качаниях и асинхронных режимах работы. Они отстроены и не срабатывают в этих режимах при уставках выдержек времени срабатывания, превышающих 1,5 — 2 с [1, 2].

Логические защиты генераторов, трансформаторов блоков, блоков, как быстродействующие защиты, срабатывают в этих режимах. Токовые органы срабатывают как токовые органы МТЗ, а поведение органов направления мощности соответствует поведению органов направления мощности токовых направленных защит в этих режимах [1, 2].

Несрабатывание логических защит при качаниях (аналогично защитами линии электропередачи) достигается выводом защит из действия устройствами блокировок при качаниях [1, 28].

Схемы логических защит с блокировками при качаниях приведены на рис. 2.10 для защит блока генератор — трансформатор с выключателем в цепи генератора. В защитах используется устройство блокировки при качаниях с двумя дистанционными органа-

ми разной чувствительности [1]. Могут использоваться также устройства блокировки при качаниях, обеспечивающие пуск защиты при возникновении КЗ в сети, реагирующие на появление даже кратковременно токов обратной последовательности [28].

Выводы

1. Резервные максимальные токовые защиты двойной селективности генераторов блоков электростанций, укрупненных блоков ГЭС обладают повышенной эффективностью:

- быстродействием к коротким замыканиям на защищаемом объекте — логические защиты блоков, генераторов, трансформаторов блоков действуют без выдержки времени при внутренних повреждениях, что особенно важно для генераторов, трансформаторов;

- на генераторах укрупненных блоков ГЭС защитами охватывается весь трансформатор, они не имеют зоны нечувствительности;

- позволяют распознавать место короткого замыкания: срабатывание логической защиты указывает на повреждение объекта — блока, генератора, трансформатора; срабатывание максимальной токовой защиты с выдержкой времени — на КЗ во внешней сети.

2. В качестве измерительных органов на входе логических защит генератора и трансформатора блока, обладающих быстродействием, — измерительных органов максимальной токовой защиты двойной селективности генератора, используются устройства, имеющие отстройку от бросков токов намагничивания трансформаторов.

2.7. Максимальная токовая защита с двумя зонами защиты блочных генераторов ГЭС

Электрические схемы гидроэлектростанций с большим числом генераторов содержат укрупненные блоки, трансформаторы которых выполнены с расщепленными на две-три части обмотками низшего напряжения и включенными на них генераторами.

Руководящими указаниями по релейной защите [26] на блоках в качестве резервных защит могут использоваться защиты, содержащие от несимметричных коротких замыканий устройства, реагирующие на токи обратной последовательности, от симметричных коротких замыканий — максимальные токовые защиты с пус-

ком минимального напряжения в виде реле тока одной фазы и реле напряжения, включенное на линейное напряжение.

На электростанциях, имеющих защиты прежнего поколения, в качестве резервных защит блоков используются максимальные токовые защиты с пуском минимального напряжения генераторов.

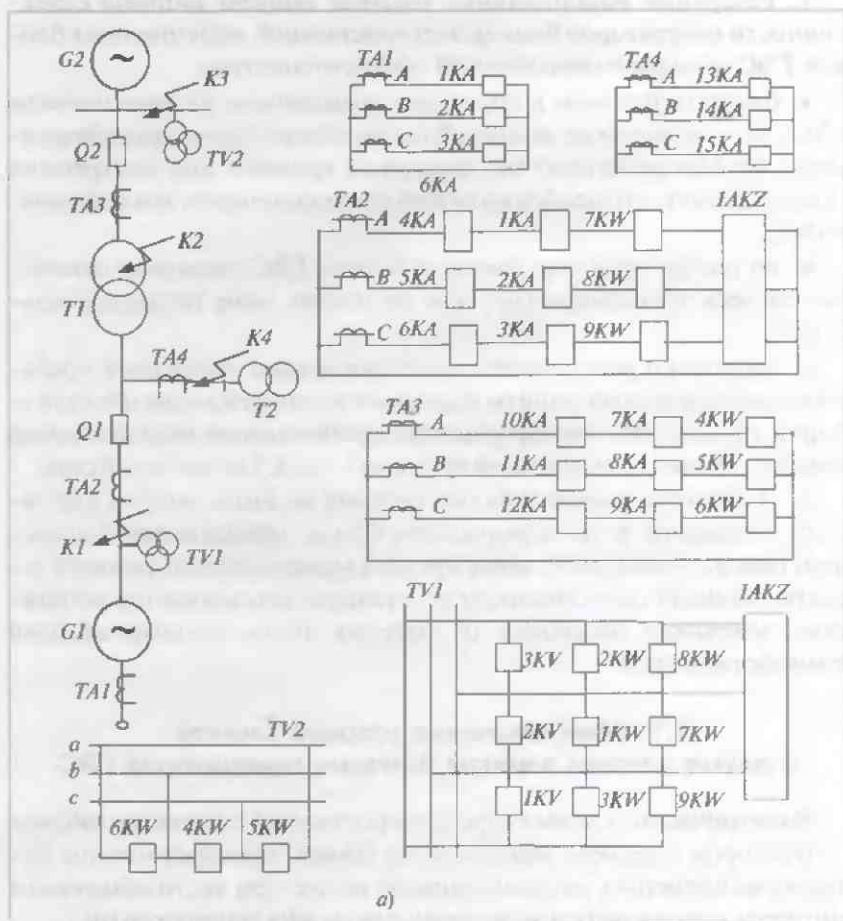
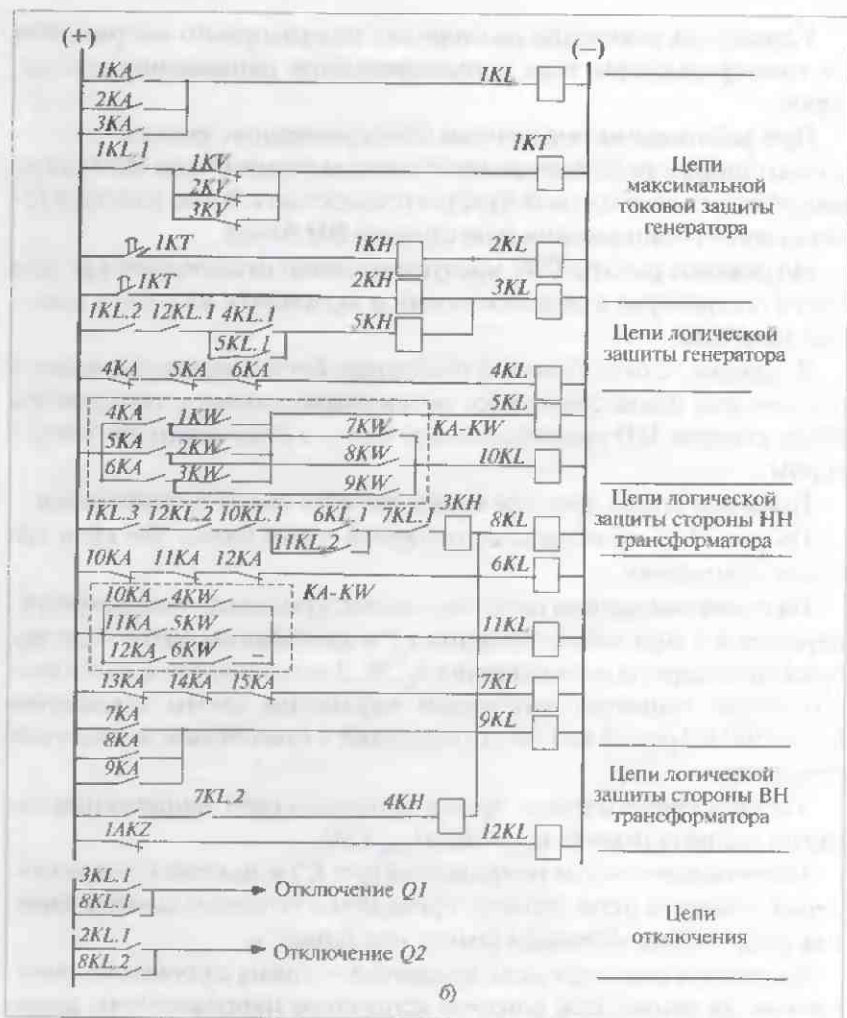


Рис. 2.10. Принципиальные схемы МТЗ двойной селективности блока генератор – трансформатор с выключателем в цепи генератора:

a — цепи переменного тока и напряжения защит; b — оперативные цепи защит; TA_1 — трансформаторы тока нулевых выводов генератора; TA_2 — трансформаторы тока выводов генератора; TA_3 — трансформаторы тока стороны ВН трансформатора; TA_4 — трансформаторы тока ответвительного трансформатора с. н.;



1KA, 2KA, 3KA — токовые органы МТЗ генератора; 4KA, 5KA, 6KA — реле тока (для логической защиты генератора — измерительные органы на выходе объекта); 1KW, 2KW, 3KW — реле направления мощности (для логической защиты генератора — измерительные органы на выходе объекта); 7KA, 8KA, 9KA — токовые органы МТЗ на стороне ВН трансформатора; 10KA, 11KA, 12KA — реле тока (для логической защиты стороны НН трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 4KW, 5KW, 6KW — реле направления мощности (для логической защиты стороны НН трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 7KW, 8KW, 9KW — реле направления мощности (для логической защиты трансформатора — измерительные органы на выходе объекта); 13KA, 14KA, 15KA — реле тока ответственного трансформатора с. н.; 1AKZ — блокировка при качаниях

Устройства включены на сторонах генераторного напряжения на трансформаторы тока и трансформатор напряжения генераторов.

При работающих генераторах блока резервные защиты обеспечивают полное резервирование основных защит блока. Каждая из них обладает достаточной чувствительностью к КЗ на участках генераторного напряжения и на стороне ВН блока.

Но режимы работы ГЭС предусматривают отключение в резерв части генераторов в обычное время и включение их в часы пиковых нагрузок.

В условиях с отключением генератора блока защиты остальных генераторов блока становятся нечувствительными к трехфазным КЗ на стороне НН трансформатора блока с отключенным генератором.

Покажем это на примере блока 500 кВ с тремя генераторами.

На рис. 2.11 приведена структурная схема блока 500 кВ и его схема замещения.

На схеме замещения показаны параметры схемы замещения генераторов в виде сопротивления x_d'' и трансформатора в виде напряжения короткого замыкания $u_k, \%$. Для примера там же в относительных единицах приведены параметры схемы замещения блока 500 кВ одной из ГЭС, отнесенные к единичным параметрам генератора.

Уставка срабатывания органа минимального напряжения защиты принята равной $U_{с.з} = 0,6 U_{ном}$ [26].

Расчеты остаточных напряжений при КЗ и значений сопротивлений участков цепи удобнее проводить в относительных единицах сопротивлений схемы замещения блока.

В качестве аналога в цепи генератор — линия с коротким замыканием на линии, при котором остаточное напряжение на выводах генератора равно $U_{ост} = 0,6 U_{ном}$, относительные значения падений напряжений и соответствующие им значения сопротивлений участков цепи составляют:

- генератор — падение напряжения до $0,4 U_{ном}$, сопротивление — 1 отн. ед.;
- линия — падение напряжения до $0,6 U_{ном}$, сопротивление — 1,5 отн. ед.

Отсюда уставка срабатывания органа минимального напряжения защиты составляет $U_{с.з} = 1,5$ отн. ед.

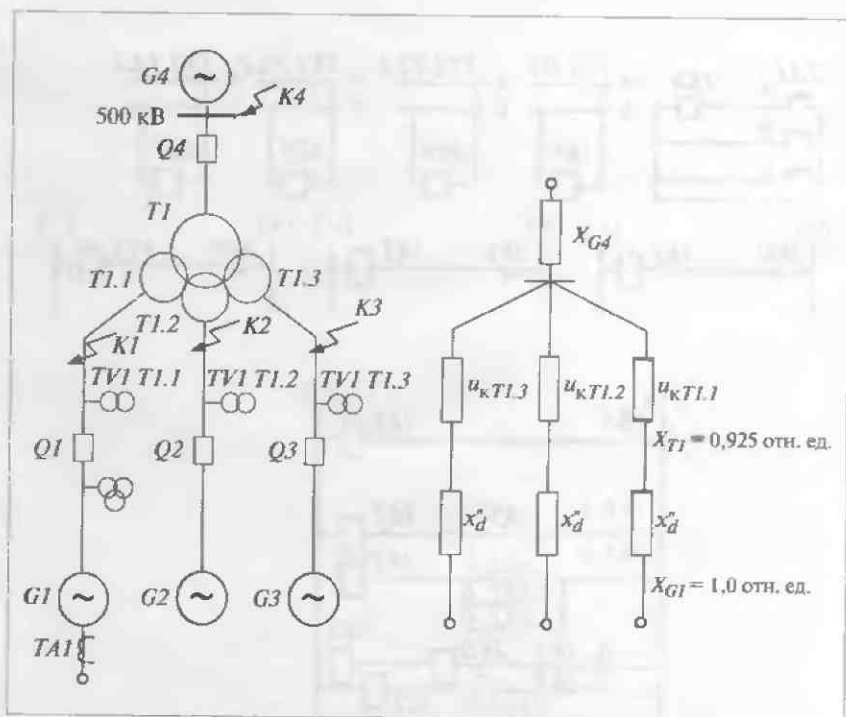


Рис. 2.11. Первичная схема замещения укрупненного блока:

$G1, G2, G3$ — генераторы; $G4$ — источник внешней сети; $T1$ — трансформатор; $T1.1, T1.2, T1.3$ — стороны НН трансформатора; $TV1 T1.1, TV1 T1.2, TV1 T1.3, TVIG1$ — трансформаторы напряжения; $Q1 - Q4$ — выключатели; $TA1$ — трансформатор тока

При трехфазных КЗ максимальная токовая защита имеет чувствительность:

- КЗ на стороне ВН трансформатора (точка $K1$ на рис. 2.11):

$$U_{ост} = 0,925 \text{ отн. ед.};$$

$k_v = U_{с.з.}/U_{ост} = 1,5/0,925 = 1,62 > 1,5$ — защита обладает достаточной чувствительностью, где $U_{ост}$ — значение остаточного напряжения на шинах генераторного напряжения и зажимах реле напряжения защиты при трехфазном КЗ, выраженное через относительное значение сопротивлений; k_v — коэффициент чувствительности; 1,5 — требуемый коэффициент чувствительности защиты;

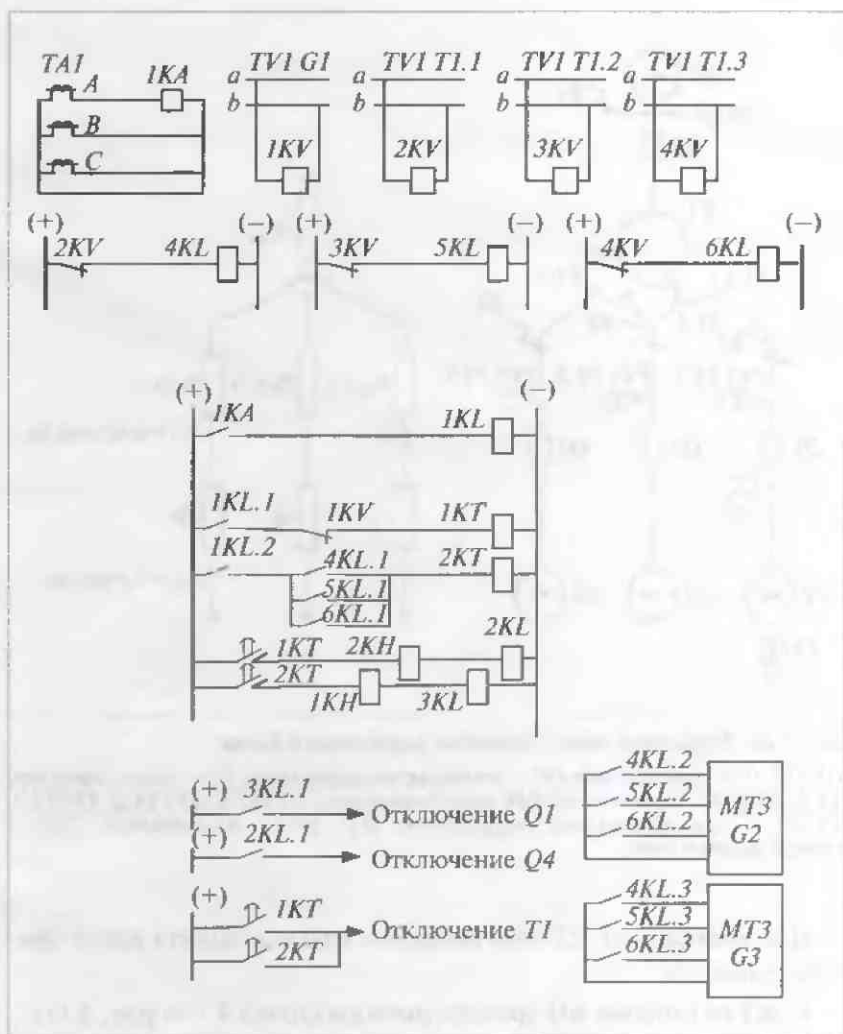


Рис. 2.12. Принципиальная схема, оперативные цепи и цепи переменного тока и напряжения максимальной токовой защиты с двумя зонами защиты блочного генератора ГЭС:

1KA — реле тока; 1KV — 4KV — реле напряжения; 1KT, 2KT — реле времени; 1KL — 6KL — реле промежуточные; 1KH, 2KH — реле сигнальные

- КЗ на участке НН смежной обмотки трансформатора блока при протекании по ней тока короткого замыкания одного генератора (точка К2):

$$U_{\text{ост}} = 0,925 + 0,925 = 1,85 \text{ отн. ед.};$$

$$k_{\text{ч}} = 1,5/1,85 < 1,5 \text{ — защита нечувствительна};$$

• КЗ на участке НН смежной обмотки трансформатора блока при протекании по ней тока короткого замыкания двух генераторов (точка К2):

$$U_{\text{ост}} = 2 \cdot 0,925 + 0,925 = 2,775 \text{ отн. ед.};$$

$$k_{\text{ч}} = 1,5/2,775 < 1,5 \text{ — защита нечувствительна.}$$

В обоих случаях органы минимального напряжения защиты генераторов не чувствительны к КЗ на смежных участках НН трансформатора. Токовые органы МТЗ генератора обладают достаточной чувствительностью к КЗ на рассматриваемых участках.

В целом МТЗ генераторов блока к трехфазным коротким замыканиям имеют недостаточную защитоспособность. Они не защищают участки низших напряжений смежных сторон трансформатора блока.

Обеспечить защиту трансформатора блока резервными защитами генераторов можно одним из способов:

1) использованием максимальных токовых защит двойной селективности в качестве резервных МТЗ генераторов блока, логические защиты сторон НН трансформатора блока в которой обеспечивают полную защиту трансформатора. Построение защит приведено в § 2.6;

2) использованием максимальных токовых защит с двумя зонами защиты в качестве резервных МТЗ генераторов блока. Построение защит приведено ниже.

Обеспечение работоспособности традиционных максимальных токовых защит генераторов с удовлетворением требуемой чувствительности к коротким замыканиям на участках НН смежных сторон трансформатора блока достигается дополнением МТЗ каждого генератора органами минимального напряжения, включенными на трансформаторы напряжения смежных обмоток низшего напряжения трансформатора блока.

Однако в таком исполнении ликвидация КЗ на участках низшего напряжения трансформатора блока производится с временем действия МТЗ, значительным из-за согласования с резервными защитами объектов стороны ВН трансформатора.

Для повышения быстродействия защиты при КЗ на участках низшего напряжения трансформатора блока МТЗ генератора дополнена целями работы защиты с минимальными уставками

срабатывания органов минимального напряжения и выдержки времени [29]. Максимальная токовая защита, таким образом, выполняется с двумя зонами защиты, отличающимися уставками срабатывания органов минимального напряжения и выдержек времени:

- зоной с минимальной уставкой напряжения срабатывания и малой выдержкой времени — зоной генераторных напряжений;
- зоной с уставками органа минимального напряжения, традиционно соответствующими Руководящим указаниям по релейной защите блоков, и с выдержками времени в соответствии с временной селективностью сети — зоной традиционных уставок МТЗ.

Органы минимального напряжения — реле напряжения с минимальной уставкой напряжения срабатывания — включаются на трансформаторы напряжения сторон НН трансформатора, их уставка срабатывания принимается из условия чувствительности к напряжению на дуге КЗ при КЗ на стороне НН трансформатора. Она может быть принята равной $0,225U_{\text{ном}}$ в соответствии с [3] при коэффициенте чувствительности $k_{\text{ч}} = 1,5$.

Уставки срабатывания органов дополнительной цепи защиты:

$$U_{\text{с.з}} = 0,225U_{\text{ном}};$$

$$T_{1\text{с.з}} = 0,4 \text{ с} — \text{ на отключение выключателя генератора};$$

$$T_{2\text{с.з}} = 0,8 \text{ с} — \text{ на полное отключение блока}.$$

Уставка выдержки времени защиты 0,4 с принимается из условия согласования с быстродействующей дифференциальной защитой генератора при КЗ в ее зоне.

На рис. 2.12 приведена принципиальная схема максимальной токовой защиты с двумя зонами защиты блочного генератора ГЭС.

Защита зон генераторных напряжений включает:

- токовый орган *1КА*;
- органы минимального напряжения *4KV* — от *ТВ1Т1.1*, *5KV* — от *ТВ2Т1.2*, *6KV* — от *ТВ3Т1.3*;
- орган выдержки времени *2КТ*.

Защита традиционных уставок МТЗ включает:

- токовый орган *1КА*;
- орган минимального напряжения *1KV* — от *ТВ1Г1*;
- орган выдержки времени *1КТ*.

Выводы

Максимальная токовая защита генератора укрупненного блока с трансформатором с обмоткой низшего напряжения расщепленной на части и подключенными к ним генераторами, дополненная органами минимального напряжения с минимальной уставкой срабатывания от трансформаторов напряжения своей и остальных сторон низшего напряжения трансформатора блока и цепями работы защиты с малой выдержкой времени, образовав таким образом защиту зон генераторного напряжения, имеет две защищаемые зоны:

- зоны генераторных напряжений блока, в которых защита действует с малой выдержкой времени;
- зону резервирования, определяемую временной селективностью с защитами внешней сети.

Защита позволяет повысить быстродействие к коротким замыканиям в зонах генераторных напряжений.

Список литературы

1. Федосеев А. М. Релейная защита электрических систем: Учебник для вузов. М.: Энергия, 1976.
2. Федосеев А. М., Федосеев И. А. Релейная защита электрических систем: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Нагай В. И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей; для ИТР энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 2002.
4. Принцип информационного совершенства релейной защиты / Ю. Я. Лямец, Е. Б. Ефимов, Г. С. Нудельман, Я. Законьшек и др. // Электротехника. 2001. № 2. С. 30 – 34.
5. Дроздов А. Д. Электрические цепи с ферромагнитными сердечниками в релейной защите. М.-Л.: Энергия, 1965.
6. Дроздов А. Д. Несимметричные переходные режимы в электрических системах и цепях релейной защиты. Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1977.
7. Электрические цепи с ферромагнитными элементами в релейной защите. / А. Д. Дроздов, А. С. Засыпкин, С. Л. Кужеков и др.; Под общ. ред. В. В. Платонова. М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Руководящие указания по релейной защите. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 – 500 кВ. Расчеты. Вып. 13Б. М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Информационные материалы по микропроцессорным защитам гидрорегенераторов Волжской ГЭС (Волгоградская обл.), ОАО «ЭКРА», г. Чебоксары.
10. Рекомендации по применению и выбору уставок функции дифференциальной защиты трансформаторов устройства RET 670. Методическое пособие АББ4.650031.002. Чебоксары: Фирма Силовые и автоматизированные системы.
11. Засыпкин А. С. Релейная защита трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1989.

12. **Теоретические основы** построения логической части релейной защиты и автоматики / В. Е. Поляков, С. Ф. Жуков, С. М. Проскурин и др. Под ред. В. Е. Полякова. М.: Энергия, 1979.
13. **Поляков В. Е., Клецель М. Я.** Алгоритмы централизованных защит подстанций и свойства функций, их описывающих // Изв. вузов: Энергетика. 1979. С. 90 — 93.
14. **Свидетельство РФ № 105784 на полезную модель.** Устройство релейной защиты сосредоточенного объекта от коротких замыканий / И. Ф. Маруда. Оpubл. 20.05.11. № 17.
15. **Рожкова Л. Д., Козулин В. С.** Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1987.
16. **Кучеров Ю. И., Таубес И. Р., Удрис А. П.** Региональный семинар по релейной защите трансформаторов // Энергетик. 1994. № 3. С. 24 — 25.
17. **Гринев Н.** Алгоритм встречно-направленной логической защиты шин // Новости электротехники. 2010. № 4(40).
18. **Правила устройства электроустановок.** 6-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1987.
19. **Маруда И. Ф.** Релейная защита двойной селективности. Логические защиты электрических объектов. // Электричество. 2011. № 1. С. 17 — 25.
20. **Руководящие указания по релейной защите.** Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110 — 500 кВ. Схемы. Вып. 13А. М.: Энергоатомиздат, 1985.
21. **Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России.** Приказ ОАО «ЕЭС России», 11.02.08. № 57 (Приложение № 1).
22. **Руководство по эксплуатации ОАО «ЭКРА» 656453.028 РЭ «Шкаф релейной защиты автотрансформатора 110 — 220 кВ и автоматики управления выключателями типа ШЛ 2607.071».**
23. **Маруда И. Ф.** Совершенствование и расчет резервных защит автотрансформаторов 220 кВ // Электрические станции. 2011. № 4. С. 40 — 45.
24. **Руководящие указания по релейной защите.** Защита генераторов, работающих на сборные шины. М.-Л.: ГЭИ, 1961. Вып. 1.
25. **Савченко Е. В.** Резервная защита синхронных генераторов // Электрические станции. 1974. № 5.
26. **Руководящие указания по релейной защите.** Защита блоков генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор. М.-Л.: Энергия, 1963. Вып. 5.
27. **Маруда И. Ф.** Повышение эффективности резервных защит от коротких замыканий объектов электростанций // Электрические станции. 2013. № 1. С. 37 — 43.

28. **Руководящие указания по релейной защите.** Дистанционная защита линий 35 – 330 кВ. М.-Л.: Энергия, 1966. Вып. 7.
29. **Маруда И. Ф.** О максимальной токовой защите блочных генераторов ГЭС // *Электрические станции.* 2011. № 7. С. 50 – 51.
30. **Маруда И. Ф.** Способ обеспечения селективности токовых защит нулевой последовательности // *Электричество.* 2000. № 9. С. 27 – 31.
31. **Руководящие указания по релейной защите.** Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 220 кВ. М.-Л.: ГЭИ, 1961. Вып. 2.
32. **Маруда И. Ф.** Решение проблемы релейной защиты тупиковых ВЛ 110 – 220 кВ параллельного следования с взаимоиндукцией // *Энергетик.* 2001. № 6. С. 28 – 29.
33. **Чернин А. Б.** Вычисление электрических величин и поведение релейной защиты при неполнофазных режимах в электрических системах. М.: Госэнергоиздат, 1963.
34. **Маруда И. Ф.** Релейная защита линий 110 – 220 кВ при разрывах фаз // *Электрические станции.* 2002. № 1. С. 40 – 42.
35. **Свидетельство РФ № 3512** на полезную модель. Устройство с избираемостью действия для релейной защиты / И. Ф. Маруда. Опубл. 16.01.97. № 1.
36. **Свидетельство РФ № 3667** на полезную модель. Селективный орган токовых защит / И. Ф. Маруда. Опубл. 16.07.97. № 2.
37. **Казанский В. Е.** Трансформаторы тока в схемах релейной защиты. М.: Энергия, 1969.
38. **Руководящие указания по релейной защите.** Токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110 – 500 кВ. Расчеты. М.: Энергия, 1980. Вып. 12.
39. **Пат. 2120168 РФ.** Способ обеспечения селективности токовых защит нулевой последовательности / И. Ф. Маруда. Опубл. 10.01.98. № 28.
40. **Пат. 2143164 РФ.** Способ обеспечения селективности токовых защит нулевой последовательности / И. Ф. Маруда. Опубл. 20.12.99. № 35.
41. **Маруда И. Ф.** Токовые защиты нулевой последовательности автотрансформаторов // *Электрические станции.* 1997. № 6. С. 48 – 52.
42. **Вавин В. Н.** Релейная защита блоков турбогенератор – трансформатор. М.: Энергоатомиздат, 1982.
43. **Маруда И. Ф.** Релейная защита понижающих трансформаторов от коротких замыканий на линиях при разрывах фаз // *Электрические станции.* 2003. № 2. С. 44 – 46.

Содержание

Часть 1. Логические защиты

Предисловие	3
Список принятых сокращений	6
Введение	7
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Принципы построения логических защит	13
ГЛАВА ВТОРАЯ. Защиты двойной селективности	21
2.1. Общие сведения	21
2.2. Электрические распределительные сети 110 – 220 кВ	22
2.3. Автотрансформаторы	34
2.4. Генераторы электростанций	44
2.5. Блоки генератор – трансформатор электростанций	50
2.6. Поведение логических защит объектов электростанций при качаниях.	64
2.7. Максимальная токовая защита с двумя зонами защиты блочных генераторов ГЭС	65
Список литературы	74

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»

МАРУДА ИВАН ФЕДОРОВИЧ

Релейная защита электрических объектов.

Часть 1. Логические защиты

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14

Тел. (495) 675-19-06, тел./факс 234-74-21

Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская

Сдано в набор 02.02.15. Подписано в печать 20.02.15.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 4,875. Заказ БЭТ/02(194)-2015.

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 157.

Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 157.

Журнал «Энергетика за рубежом»

Приложение к журналу «Энергетик»

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу «Энергетик» — **«Энергетика за рубежом»**. Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал «Энергетика за рубежом» знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики:

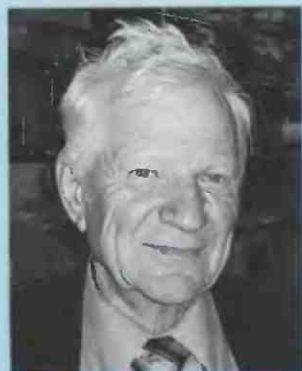
- *развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;*
- *особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;*
- *опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;*
- *модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;*
- *распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;*
- *энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.*

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу **«ПРЕССА РОССИИ»**. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Подписной индекс журнала «Энергетика за рубежом» — приложения к журналу «Энергетик»

87261

Об авторе



**Маруда
Иван Федорович —**

кандидат технических наук, ведущий специалист службы РЗА «СО ЕЭС» — Волгоградское РДУ.

Автор монографии, статей, изобретений в области релейной защиты.

Повышение эффективности резервных защит электрических объектов электростанций, электрических сетей