

Релейная защита двойной селективности. Логические защиты электрических объектов

МАРУДА И.Ф.

Предложен способ защиты электрических объектов от коротких замыканий (КЗ), при котором релейная защита без выдержки времени отключает КЗ на объекте и с выдержкой времени при КЗ в смежной сети.

Ключевые слова: электрический объект, короткое замыкание, релейная защита, селективность

Микропроцессорные дифференциальные защиты в сравнении с аналогичными защитами прежнего поколения значительно усовершенствованы. В них используют иной алгоритм построения устройств защиты, а именно – торможение тока небаланса дифференциальной цепи тормозным током, особым образом образованным из токов плеч защиты. Эти устройства позволили решить актуальные проблемы дифференциальных защит: значительно повысить чувствительность, быстродействие и надежность.

Так, в дифференциальных защитах трансформаторов распределительных сетей 110–220 кВ ток срабатывания защиты снижен до 0,3–0,5 значения номинального тока против (1,1–1,5) I_N в защитах прежнего поколения (реле серий РНТ-560, ДЗТ-10), в генераторах – снижен до 0,1–0,15 против 0,6 значения номинального тока.

Такие уставки срабатывания трансформаторов имеют повышенную чувствительность к витковым замыканиям в переплетенных обмотках и к межкатушечным замыканиям в любых обмотках [1].

Уставку срабатывания меньше номинального тока трансформатора (0,35–0,7) I_N имеют микроэлектронные реле типов ДЗТ-21, ДЗТ-23, использующие времяимпульсный принцип блокирования защиты при появлении в кривой дифференциального тока пауз длительностью, превышающей заданную, в сочетании с торможением от второй гармоники. Эти реле, выпускавшиеся около 20 лет назад, широко использовались в основном для ответственных блочных трансформаторов электростанций, автотрансформаторов подстанций. В настоящее время назрела необходимость их модернизации и обновления.

В части резервных защит так сложилось, что на автотрансформаторах 220 кВ отсутствуют защиты, резервирующие в полной мере ее основную дифференциальную защиту. Дистанционные защиты панелей ПЭ-2105 (ПЗ-5), используемые в качестве

A method for protecting electric plants from short-circuit faults is proposed. According to the proposed method, the relay protection clears short-circuit faults in the plant without time delay and faults in the adjacent network with time delay.

Key words: electric plant, short-circuit fault, relay protection, selectivity

резервных защит автотрансформаторов, позволяют выполнить резервные дистанционные защиты одноступенчатыми с включением одной ступени на сторону высшего напряжения (ВН), другую – на сторону среднего (СН) и в соответствии с [2] не используются для резервирования основной защиты автотрансформатора: их назначение – резервирование защит элементов смежной сети. При отключении дифференциальной защиты, например из-за неисправности, автотрансформатор лишается всех защит, кроме газовой.

Видимо учитывая эти обстоятельства, действующими нормативно-техническими документами РАО «ЕЭС России» (2008 г.) повышена роль основных защит автотрансформаторов 110–220 кВ: на автотрансформаторах мощностью 63 МВ·А и выше для повышения надежности отключения коротких замыканий (КЗ) в автотрансформаторах предусматривается устанавливать два комплекта дифференциальных защит [3]. В общем-то, это дорогостоящее решение, так как микропроцессорные терминалы релейной защиты имеют высокую стоимость.

Ниже предлагаются пути совершенствования принципов построения резервных защит электрических сосредоточенных объектов: трансформаторов, автотрансформаторов, генераторов, трансформаторов блоков электростанций, токоограничивающих реакторов и др. Основной недостаток резервных защит этих объектов заключается в том, что КЗ на защищаемом объекте отключаются ими с выдержкой времени.

Для повышения быстродействия резервных защит и резервирования в полной мере основных дифференциальных защит предлагается выполнять резервные защиты, обладающие двойной селективностью: защитой с абсолютной селективностью, действующей без выдержки времени при КЗ на защищаемом объекте, и защитой с относительной се-

лестивностью, действующей с выдержкой времени при КЗ во внешней сети.

Примером такой защиты является максимальная токовая защита с временной селективностью на вводе низшего напряжения трансформатора подстанции после дополнения ее сигналами блокировки от релейной защиты отходящих от шин линий и цепями работы защиты без выдержки времени, дополнительно образовав таким образом логическую защиту шин как защиту с абсолютной селективностью, действующую без выдержки времени [4]. Логическая защита шин позволяет повысить быстродействие защиты при КЗ на системе шин подстанции.

Для «создания» релейной защиты двойной селективности приведенных сосредоточенных объектов предлагается использовать их резервные защиты с временной селективностью, дополнив их логической защитой, в которой на входе объекта используют первые измерительные органы, а на выходе объекта дополнительно используют вторые измерительные органы и оперативные цепи работы защиты без выдержки времени. Логическая защита работает без выдержки времени, чем повышается быстродействие резервной защиты при КЗ на защищаемом объекте.

Уставки срабатывания измерительных органов на входе объекта рассчитывают по значениям параметров КЗ в защищаемом объекте, на выходе объекта – по значениям параметров КЗ на участках внешней сети и сниженными по согласованию с уставками срабатывания измерительных органов на входе объекта.

Большой чувствительностью измерительных органов на выходе объекта исключаются случаи неселективной работы логической защиты, когда при КЗ во внешней сети срабатывают измерительные органы на входе объекта и не срабатывают на выходе объекта, что приводит к неселективной работе логической защиты.

Коэффициент отстройки (согласования) может быть принят $K_{отс} = 1,1$.

Измерительные органы на выходе объекта выполняют функцию определения места КЗ: на объекте или на участке внешней сети. При КЗ на защищаемом объекте они разрешают работу логической защиты, при внешнем КЗ выводят из работы цепи логической защиты, и она работает как резервная с выдержкой времени, определяемой ее временной селективностью.

Релейная защита двойной селективности электрических объектов характеризуется двумя зонами срабатывания:

зоной абсолютной селективности, расположенной между трансформаторами тока на входе и вы-

ходе объекта, в которой она работает без выдержки времени;

зоной относительной селективности при работе с выдержкой времени в качестве резервной к защитам элементов смежной сети.

Резервная защита трансформатора работает следующим образом (рис. 1). Цепь последовательно соединенных размыкающих контактов измерительных органов КА4, КА5 на выходе объекта включена в схему оперативных цепей защиты в цепи работы ее без выдержки времени – цепи логической защиты трансформатора.

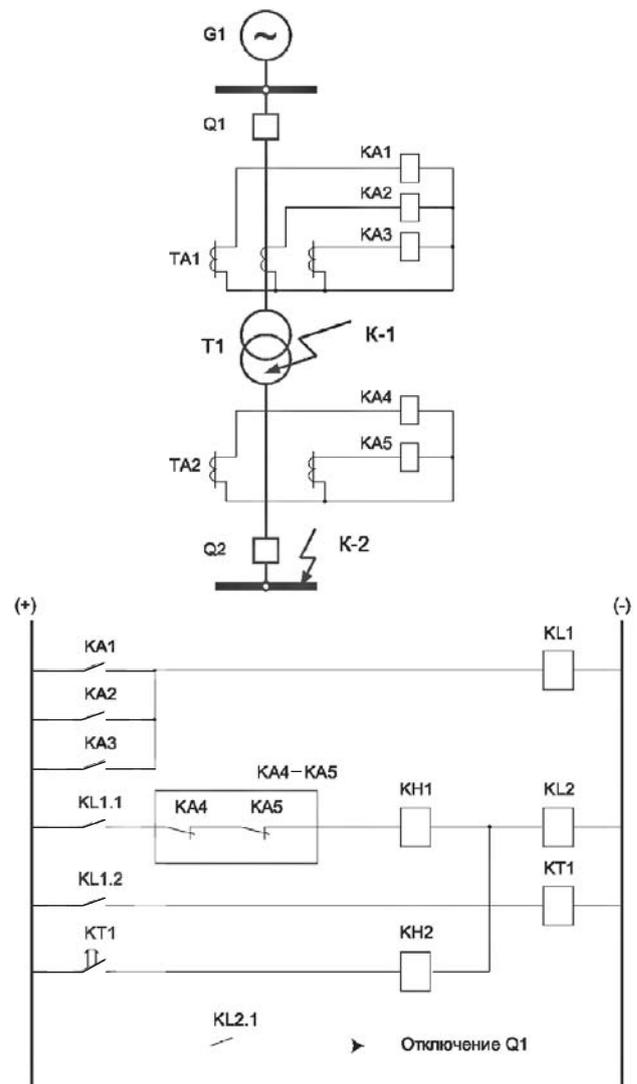


Рис. 1. Принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности трансформатора: Т1 – трансформатор; ТА1 – трансформаторы тока на стороне высшего напряжения трансформатора – на входе защищаемого объекта; ТА2 – то же низшего напряжения – на выходе защищаемого объекта; Q1, Q2 – выключатели трансформатора; G1 – источник питания; КА1–КА3 – измерительные органы защиты – реле тока на входе объекта; КА4, КА5 – то же на выходе; KL1, KL2 – реле промежуточное; KT – реле времени; KH1 – указатель срабатывания защиты без выдержки времени (указатель срабатывания логической защиты); KH2 – то же с выдержкой времени

При отсутствии КЗ измерительные органы защиты на входе и выходе объекта не задействованы, контакты реле КА4, КА5 в цепи работы 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 режимах КЗ защита работает следующим образом. При КЗ в Т1 в зоне логической защиты (точка К-1) трансформаторы тока ТА1 обтекаются током КЗ и срабатывают реле КА1 – КА3; в схеме оперативных цепей защиты их срабатывание приводит к срабатыванию реле КЛ1 и замыканию контакта КЛ1.1 в цепях защиты без выдержки времени.

Трансформаторы тока ТА2 на выходе трансформатора не обтекаются током КЗ, реле КА4 и КА5 не задействованы, цепь их размыкающих контактов КА4–КА5 замкнута и защита срабатывает без выдержки времени и выходным промежуточным реле КЛ2 по цепи контакта КЛ2.1 отключает Q1. Срабатывание логической защиты фиксируется КН1.

При КЗ на участке внешней сети (точка К-2) трансформаторы тока ТА2 обтекаются током КЗ, что приводит к срабатыванию реле КА4 и КА5, размыканию их размыкающих контактов в цепи работы защиты без выдержки времени КА4–КА5 и выводу из работы логической защиты.

Резервная максимальная токовая защита срабатывает с выдержкой времени. Срабатывание защиты фиксируется указателем КН2. В виде функций она может быть представлена [5]:

$$F(I)D = F(I)D_0 + F(I)D_t, \quad (1)$$

где $F(I)D$ – функция максимальной токовой защиты; $F(I)D_0$ – функция логической защиты; $F(I)D_t$ – функция работы защиты с выдержкой времени; D – оператор выдержки времени.

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 в виде:

$$F(I)D_0 = F(I)_{\text{вх}} \overline{F(I)_{\text{вых}}}, \quad (2)$$

где $F(I)_{\text{вх}}$ – функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $\overline{F(I)_{\text{вых}}}$ – функция несрабатывания измерительных органов на выходе объекта, функция разрешающего сигнала к срабатыванию логической защиты.

Учитывая работу логической защиты без выдержки времени, измерительные органы на входе могут иметь отстройку от бросков токов намагничивания.

Использование в защите измерительных органов максимальной токовой защиты на стороне низшего напряжения трансформатора в качестве измерительных органов на выходе объекта упрощает выполнение защиты.

Аналогичным образом может быть выполнена максимальная токовая защита двойной селективности токоограничивающего реактора.

Принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности генератора приведена на рис. 2.

Учитывая, что защищаемый объект имеет двухстороннее питание, измерительные органы на выходе объекта выполняются направленными: в простейшем виде – с реле направления мощности прямой последовательности.

Релейная защита генератора работает следующим образом. Цепь последовательно соединенных размыкающих контактов измерительных органов – реле тока и параллельно включенные ей цепи последовательно соединенных замыкающих контактов реле тока и реле направления мощности, образующие цепи измерительных органов КА – КВ на выходе объекта, включают в схему оперативных цепей защиты без выдержки времени – цепи логической защиты генератора.

В режиме без КЗ измерительные органы защиты на входе и выходе объекта не работают, размыкающие контакты измерительных органов – реле КА4–КА6 – замкнуты в цепи работы защиты без выдержки времени КА–КВ и защита по этим цепям введена в работу. По цепям работы с выдержкой времени защита также готова к срабатыванию.

При КЗ в генераторе в зоне логической защиты (точка К-1) трансформаторы тока ТА1 обтекаются током КЗ и в защите срабатывают реле КА1–КА3; в схеме оперативных цепей защиты их срабатывание приводит к срабатыванию реле КЛ1 и замыканию контакта КЛ1.1 в цепях работы защиты без выдержки времени.

Трансформаторы тока ТА2 на выходе генератора обтекаются током КЗ от G2, реле КА4–КА6 могут сработать, их размыкающие контакты в цепях работы защиты без выдержки времени разомкнуты, но при этом замыкается цепь, образованная замыкающими контактами реле КА4–КА6 и реле КВ1–КВ3, для которых КЗ в генераторе является КЗ в зоне, и защита срабатывает без выдержки времени: реле КЛ2 по цепи контакта КЛ2.1 отключает выключатель. Срабатывание логической защиты фиксируется указателем КН1.

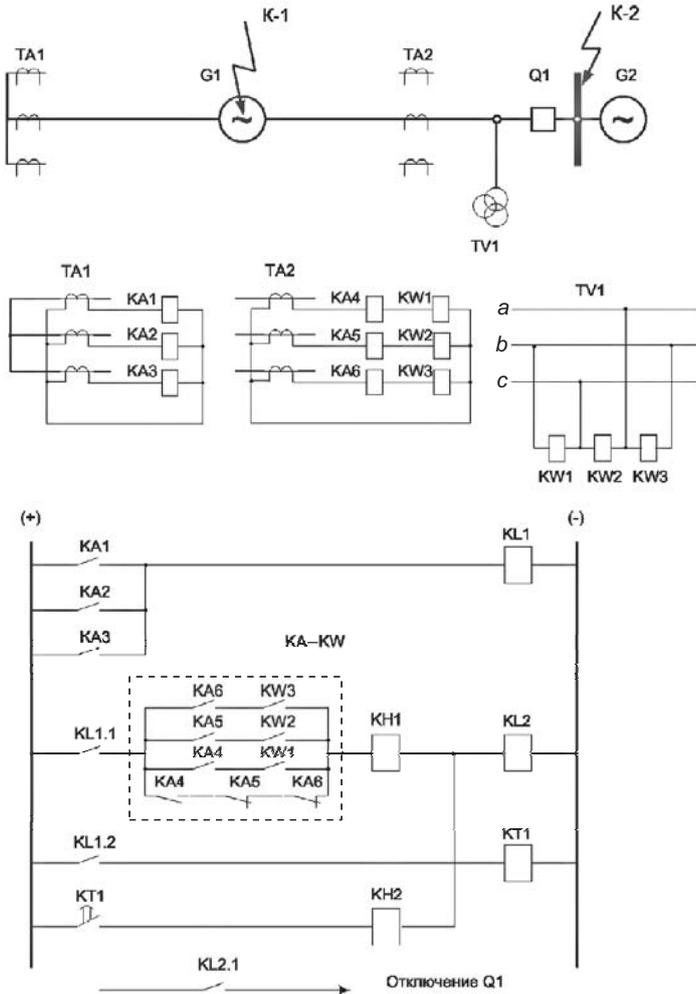


Рис. 2. Принципиальная схема максимальной токовой защиты двойной селективности генератора: G1 – генератор; Q1 – выключатель; G2 – другие источники питания; TA1 – трансформаторы тока на входе защищаемого объекта – на стороне нулевых выводов генератора; TA2 – то же на выходе – на стороне выводов генератора; TV – трансформатор напряжения; KA1–KA3 – измерительные органы – реле тока защиты на входе защищаемого объекта; KA4–KA6 – то же на выходе; KW1–KW3 – измерительные органы – реле направления мощности защиты на выходе защищаемого объекта; KL1, KL2; KT; KH1, KH2 – то же, что на рис. 1

На генераторе, не включенном в сеть, при КЗ в нем логическая защита срабатывает по цепи последовательно соединенных размыкающих контактов реле KA4–KA6.

При трехфазных КЗ в «мертвой зоне» реле направления мощности микропроцессорных защит срабатывают по контуру памяти.

При КЗ на участке внешней сети (точка К-2) током КЗ от генератора обтекаются трансформаторы тока TA2 и реле KA4–KA6, что приводит к их срабатыванию, размыканию размыкающих контактов в цепи работы защиты без выдержки времени KA–KW и выводу из работы защиты по цепям без выдержки времени. Защита срабатывает с выдержкой времени; ее срабатывание фиксируется указателем KH2. Функционально она может быть пред-

ставлена выражением (1), алгоритм функционирования логической защиты – выражением (2). Учитывая работу логической защиты без выдержки времени, измерительные органы на входе могут иметь отстройку от бросков токов намагничивания.

Защита эффективна на генераторах, снабженных тиристорной системой самовозбуждения. Максимальная токовая защита на таких генераторах из-за большой выдержки времени в большинстве случаев не работает при КЗ в генераторе из-за снижения тока КЗ и возврату реле тока. Защита не выполняет функции резервирования основной защиты генератора. Это ее недостаток.

Выполнение на генераторе логической защиты исключает этот недостаток. Логическая защита срабатывает до снижения тока КЗ в генераторе.

Релейная защита автотрансформатора. В терминалах микропроцессорных защит для резервирования защит автотрансформаторов используют на каждой стороне по две ступени дистанционных защит и токовых защит нулевой последовательности [6]: первые ступени – дистанционной и токовой – как отсечки, вторые – как защиты с выдержками времени.

В техническом описании шкафа резервных защит ШЭ 2607.071 ООО НПП «ЭКРА» при расчетах уставок срабатывания используются положения, согласно которым уставки сопротивления срабатывания второй ступени дистанционной защиты принимаются из условия отстройки от КЗ на стороне низшего напряжения автотрансформатора. Ясно, что с такими уставками она не осуществляет защиту автотрансформатора и резервирование его основной дифференциальной защиты.

Для повышения быстродействия защит от КЗ в автотрансформаторе и обеспечения полного резервирования основной его защиты предлагается выполнять дистанционную защиту двойной селективности. В ней в качестве измерительных органов на входе используются вторые ступени дистанционных защит на сторонах высшего и среднего напряжений. В схеме оперативных цепей защиты дистанционные органы включаются последовательно (рис. 3).

Учитывая, что защищаемый объект имеет многостороннее питание, измерительные органы на выходе объекта выполняются направленными: в простейшем виде – с реле направления мощности прямой последовательности.

Защита работает следующим образом. Цепь последовательно соединенных размыкающих контактов измерительных органов – реле тока и параллельно включенные ей цепи последовательно соединенных замыкающих контактов реле тока и реле направления мощности, образующие цепи измерительных органов KA – KW на выходе объекта, включают в схему логической защиты автотрансформатора.

При отсутствии КЗ измерительные органы защиты на входе и выходе автотрансформатора не работают, размыкающие контакты реле KA1–KA3 в цепи работы защиты без выдержки времени замкнуты и защита по этим цепям введена в работу. По цепям работы с выдержкой времени защита также готова к срабатыванию.

При КЗ в автотрансформаторе в зоне логической защиты (точка К-1) TA1 и TA2 обтекаются током КЗ от Q1 и Q2, в защите срабатывают дистанционные органы АКZ1 и АКZ2, в схеме оперативных цепей защиты их срабатывание приводит к срабатыванию промежуточного реле KL1 и замыканию контакта KL1.1 в цепях работы защиты без выдержки времени.

Трансформаторы тока TA3 на выходе автотрансформатора обтекаются током КЗ от G3, реле KA1 –KA3 могут сработать, их размыкающие контакты в цепях работы защиты без выдержки времени разомкнуты, но при этом замыкается цепь, образованная замыкающими контактами реле KA1–KA3 и реле направления мощности KW1–KW3, направленными в автотрансформатор, для которых КЗ в автотрансформаторе является КЗ в зоне и защита срабатывает без выдержки времени. Выходное промежуточное реле KL2 по цепи контактов KL2.1, KL2.2, KL2.3 отключает выключатели. Срабатывание защиты фиксируется указателем КН1.

При трехфазных КЗ в «мертвой зоне» реле направления мощности микропроцессорных защит срабатывают по контуру памяти.

Работа защиты без выдержки времени в пределах защищаемого автотрансформатора харак-

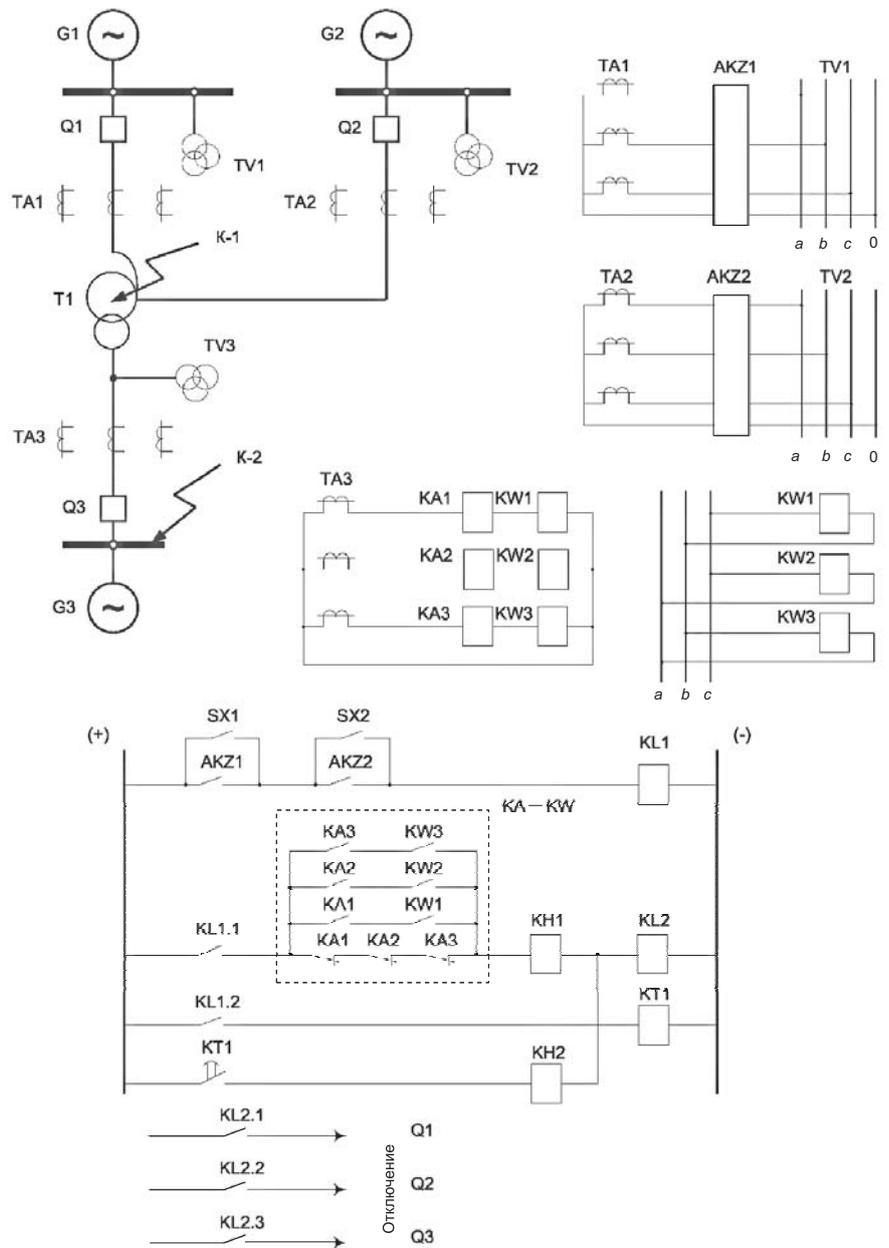


Рис. 3. Принципиальная схема дистанционной защиты двойной селективности автотрансформатора: T1 – автотрансформатор (АТ); G1, G2, G3 – источники питания; Q1, Q2, Q3 – выключатели на сторонах АТ; TA1 – трансформаторы тока защиты на стороне ВН АТ; TA2 – то же на стороне СН АТ; TA3 – то же на стороне НН АТ; TV1, TV2, TV3 – трансформаторы напряжения; АКZ1, АКZ2 – измерительные органы дистанционной защиты на входе объекта – дистанционные органы второй ступени стороны ВН и стороны СН соответственно; KA1–KA3 – измерительные органы – реле тока на выходе объекта; KW1–KW3 – измерительные органы – реле направления мощности на выходе объекта

теризуется как защита с абсолютной селективностью.

При КЗ на участке смежной сети (точка К-2) обтекаются током КЗ и срабатывают реле KA1 – KA3 защиты на выходе объекта, размыкают размыкающие контакты в цепях работы защиты без выдержки времени и по этим цепям выводится защита из работы. Реле KW1–KW3 остаются несработанными. Защита по цепям контакта KL1.2 и реле времени КТ1 срабатывает с выдержкой времени.

Срабатывание защиты фиксируется указателем КН2.

Функционально защита может быть представлена в виде:

$$F(Z)D = F(Z)D_0 + F(Z)D_t, \quad (3)$$

где $F(Z)D$ – функции защиты; $F(Z)D_0$ – функция работы логической защиты; $F(Z)D_t$ – функция работы защиты с выдержкой времени; D – оператор выдержки времени.

Алгоритм функционирования логической защиты, отражающий срабатывание измерительных органов на входе объекта при разрешающем к срабатыванию сигнале измерительных органов на выходе объекта, может быть представлен в виде:

$$F(Z)D_0 = F(Z)_{\text{вх}} \overline{F(I)_{\text{вых}}}, \quad (4)$$

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

В режиме одностороннего питания автотрансформатора со стороны высшего напряжения с отключенным выключателем среднего напряжения Q2 в оперативных цепях защиты выводятся из работы измерительные органы защиты стороны среднего напряжения переключателем SX2: при его включении шунтируются их контакты в цепи работы промежуточного реле KL1. 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 измерительные органы – реле направления мощности.

В защите проводится согласование, как отмечено ранее, уставок срабатывания дистанционных измерительных органов на входе и токовых – на выходе объекта.

Уставка срабатывания измерительных органов на выходе объекта $I_{\text{бл}}$ рассчитывается при условии согласования с уставкой сопротивления срабатывания защиты:

на стороне ВН АТ при отключенной стороне СН АТ:

$$I_{\text{с.з.бл}} = \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{(Z_{\text{с}} + Z_{\text{ВН}} + Z_{\text{с.з.ВН}})k_{\text{отс}}};$$

на стороне СН АТ при отключенной стороне ВН АТ:

$$I'_{\text{с.з.бл}} = \frac{E'_{\text{ЭКВ}}}{(Z'_{\text{с}} + Z'_{\text{ВН}} + Z'_{\text{с.з.ВН}})k_{\text{отс}}},$$

где – $I_{\text{с.з.бл}}$, $I'_{\text{с.з.бл}}$ – уставка тока срабатывания блокирующих измерительных органов на выходе объекта для защиты стороны ВН и приведенной защиты стороны СН АТ; $E_{\text{ЭКВ}}$, $E'_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентная ЭДС стороны ВН и приведенной стороны СН АТ; $Z_{\text{с}}$, $Z'_{\text{с}}$ – сопротивление питающей системы на стороне ВН и приведенное на стороне СН АТ (принимаются значения максимального режима питающих систем); $Z_{\text{ВН}}$, $Z'_{\text{сн}}$ – сопротивление стороны ВН и приведенное сопротивление стороны СН АТ; $Z_{\text{с.з.ВН}}$, $Z'_{\text{с.з.сн}}$ – уставка сопротивления срабатывания дистанционных органов защиты стороны ВН и приведенная 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 с логической защитой при КЗ в автотрансформаторе, обладающей таким же быстродействием, но более простой и дешевой в исполнении.

Наличие трансреакторов в дистанционных реле, воздушными промежутками которых поглощается апериодическая составляющая броска тока намагничивания автотрансформатора, позволяет обходиться в логической защите без специальных мер по отстройке ее от броска тока намагничивания автотрансформатора.

Релейная защита трансформатора блока электростанции. На рис. 4 приведена схема многообмоточного трансформатора электростанции с питающими генераторами и системой. На всех сторонах он имеет защиты, в которых каждая сторона трансформатора представлена как входная, остальные стороны по отношению к ней – выходными.

Схемы измерительных органов показаны на рис. 5.

Релейная защита трансформатора работает следующим образом. Так как защищаемый объект имеет многостороннее питание, измерительные органы на выходе объекта в каждой защите выполняются направленными: в простейшем виде – с реле направления мощности прямой последовательности. Для многообмоточного трансформатора электростанции приведена работа защиты одной стороны (например Т1.1). На остальных сторонах поведение их защит аналогичное.

Цепь последовательно соединенных размыкающих контактов измерительных органов – реле тока и параллельно включенные ей цепи последовательно соединенных замыкающих контактов реле тока и реле направления мощности, образующих цепи измерительных органов КА – КВ на выходе объекта, включают в схему логической защиты трансформатора с использованием реле повторителей КЛ3, КЛ6, КЛ9.

При отсутствии КЗ измерительные органы защиты на входе и выходе автотрансформатора не задействованы, размыкающие контакты измерительных органов – реле тока КА8–КА10 – в цепи работы защиты без выдержки времени замкнуты и защита по этим цепям введена в работу. По цепям работы с выдержкой времени защита также готова к срабатыванию.

При КЗ в трансформаторе в зоне логической защиты (точка К-1) трансформаторы тока ТА1 обтекаются током КЗ от Q1, в защите срабатывают токовые органы КА8–КА10, в схеме оперативных цепей защиты их срабатывание приводит к срабатыванию промежуточного реле КЛ4 и замыканию контакта КЛ4.1 в цепях работы логической защиты. В цепях измерительных органов на выходе объекта КА–КВ сторон Т1.3 и Т1.2 срабатывают токовые органы КА4–КА6, КА17–КА19 и органы направления мощности КВ1–КВ3, КВ8–КВ10, для которых КЗ в трансформаторе является КЗ в зоне, и защита срабаты-

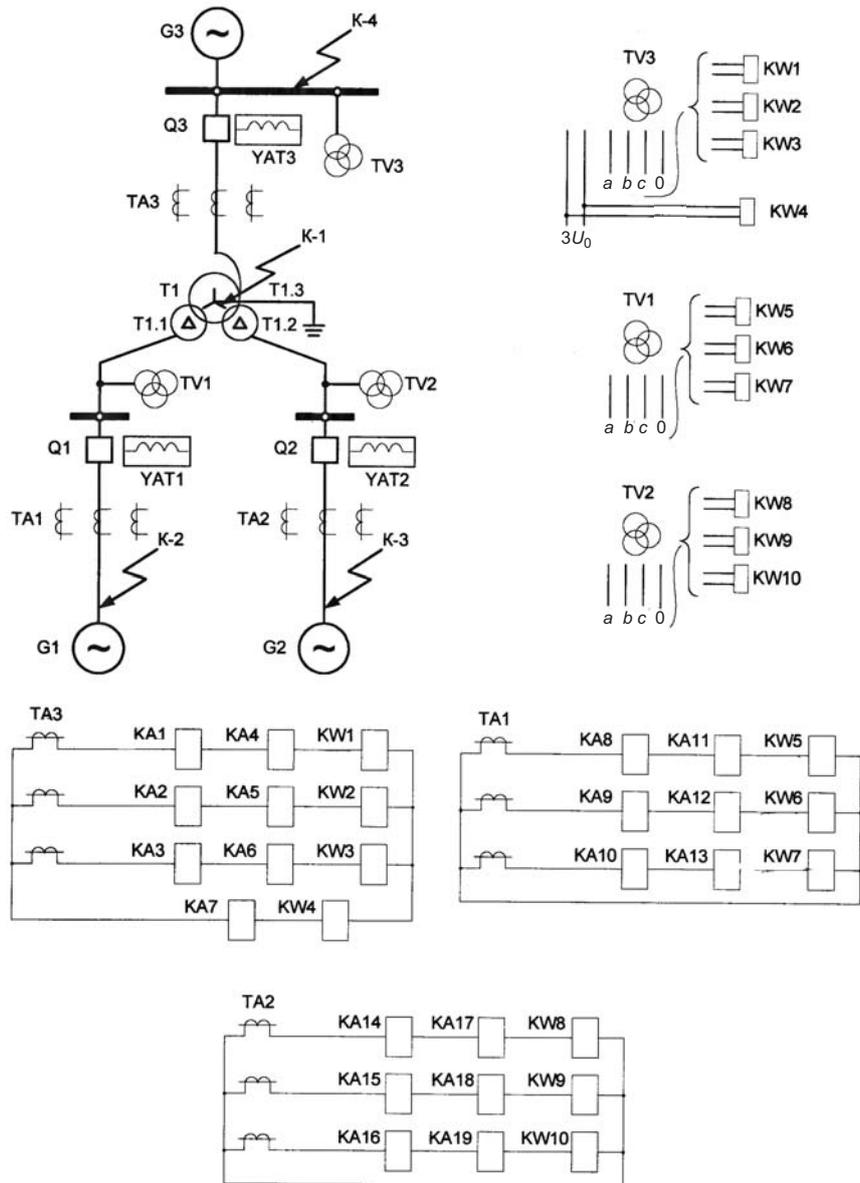


Рис. 4. Принципиальная схема максимальных токовых защит двойной селективности трансформатора блока электростанции: Т1 – трансформатор; Т1.1, Т1.2, Т1.3 – обмотки трансформатора сторон ВН и НН; G1, G2 – генераторы; G3 – источник питания стороны ВН трансформатора; Q1 – Q3 – выключатели; ТА1, ТА2 – трансформаторы тока на сторонах НН трансформатора; ТА3 – то же на стороне ВН; TV1, TV2 – трансформаторы напряжения на сторонах НН трансформатора; TV3 – то же на стороне ВН; YAT1–YAT3 – электромагниты отключения выключателей

вает без выдержки времени. Срабатывание защиты фиксируется указателем КН4.

При трехфазных КЗ в «мертвой зоне» реле направления мощности микропроцессорных защит срабатывают по контуру памяти.

Учитывая, что рассматриваемый трансформатор является трехсторонним и имеет защиты на каждой стороне, то при КЗ в трансформаторе срабатывают защиты всех его сторон.

При внешнем КЗ (точка К-3) обтекаются током КЗ и срабатывают измерительные органы КА17–КА19 защиты на выходе стороны Т1.2 объекта, размыкают размыкающие контакты в цепях работы

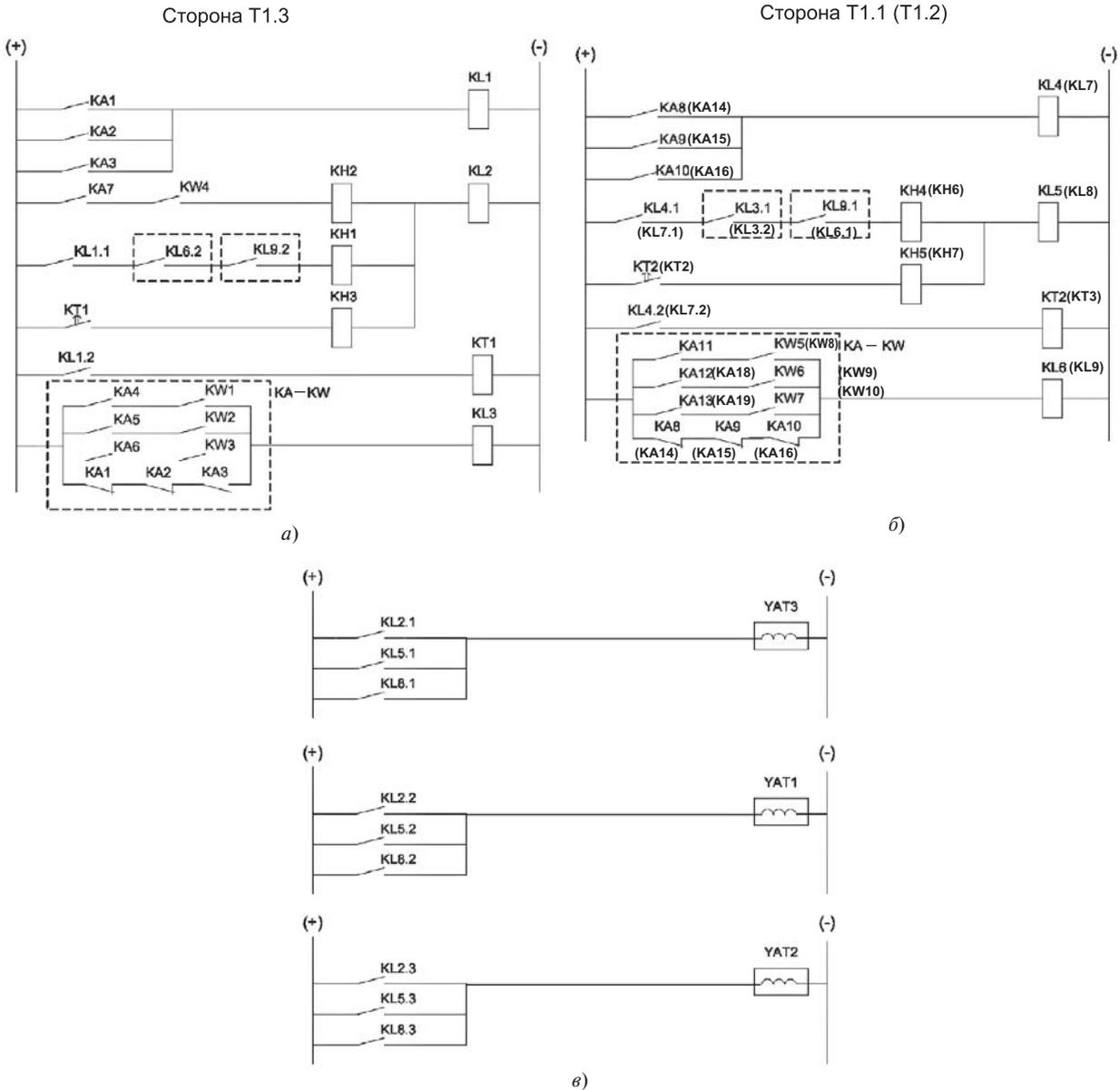


Рис. 5. Схемы измерительных органов защит: *а* – на стороне Т1.3 обмотки ВН; *б* – на стороне Т1.1 (Т1.2) обмотки НН (в скобках указаны обозначения измерительных органов (реле) для стороны Т1.2 обмотки НН; схемы соединений одинаковы); *в* – цепи отключения: KA1–KA3, KA8–KA10, KA14–KA16 – измерительные органы на входе объекта; KA4–KA6, KA11–KA13, KA17–KA19 – то же на выходе объекта; KW1–KW3, KW5–KW10 – измерительные органы направления мощности на выходе объекта; KA7, KW4 – реле тока и направления мощности токовой защиты нулевой последовательности; KL1, KL4, KL7 – промежуточные реле в схемах защит; KL2, KL5, KL8 – выходные промежуточные реле защит; KT1–KT3 – органы выдержки времени защит; KL3, KL6, KL9 – реле-повторители измерительных органов на выходе объекта; KH1, KH4, KH6 – указатели срабатывания логических защит трансформатора; KH2 – то же токовой защиты нулевой последовательности; KH3, KH5, KH7 – то же защит с выдержкой времени; KA–KW – цепи измерительных органов на выходе объекта в схемах защит

защиты без выдержки времени и выводят по этим цепям защиту из работы. Реле направления мощности KW8–KW10 не работают. Защита по цепям контакта KL4.2 и реле времени KT2 срабатывает с выдержкой времени. Срабатывание защиты фиксируется указателем KH5. Поведение защиты при внешнем КЗ в точке К-4 аналогичное.

Функционально защита каждой стороны может быть представлена выражением (1).

Алгоритм функционирования логической защиты многообмоточного трансформатора (*k* сторон),

отражающий срабатывание измерительного органа одной *i*-й стороны на входе объекта при разрешающем к срабатыванию сигнале измерительных органов на выходе остальных *k* сторон объекта, может быть представлен в виде:

$$F(I)D_0 = F(I)_{\text{ВХ}} \sum_{i=1}^k \overline{F(I)_{\text{ВЫХ}}}, \quad (5)$$

где $F(I)_{\text{ВХ}}$ – функция срабатывания измерительных органов на входе объекта; $\overline{F(I)_{\text{ВЫХ}}}$ – функция

несрабатывания измерительных органов на выходе объекта или функция разрешающего к срабатыванию сигнала измерительных органов на выходе объекта.

При несимметричных КЗ на землю на стороне ВН трансформатора срабатывает токовая защита нулевой последовательности без выдержки времени.

Учитывая работу логических защит сторон трансформатора и токовой защиты нулевой последовательности без выдержки времени, измерительные органы на входах объектов и токовой защиты нулевой последовательности могут иметь отстройку от бросков токов намагничивания.

Логические защиты на ряде трансформаторов блоков могут рассматриваться как вторые (к дифференциальным) быстродействующие защиты, и на них можно отказаться от установки вторых дорогостоящих комплектов дифференциальных защит.

Выражение (5) справедливо также для логической защиты шин многостороннего питания.

Выводы. 1. Релейная защита электрического объекта с измерительными органами на входе и оперативными цепями работы защиты с выдержкой времени, дополненная измерительными органами на выходе объекта и цепями работы защиты без выдержки времени, образует релейную защиту с двумя зонами селективности: зоной абсолютной селективности, расположенной между трансформаторами тока на входе и выходе объекта, в которой она работает без выдержки времени, и зоной относительной селективности при работе с выдержкой времени в качестве резервной к защитам элементов смежной сети.

2. Защита двойной селективности повышает быстродействие резервных защит: в зоне абсолютной селективности логическая защита работает без выдержки времени, что особенно важно для отключения коротких замыканий на защищаемом объекте.

3. Логическая защита объекта в ряде случаев позволяет отказаться от установки на объекте дорогостоящего второго комплекта дифференциальной защиты.

4. Использование, например, на трансформаторе, автотрансформаторе, реакторе измерительных органов максимальной токовой защиты стороны низшего напряжения в качестве измерительных органов на выходе объекта упрощает и удешевляет выполнение защиты двойной селективности.

5. Шкафы максимальных токовых микропроцессорных защит трансформаторов, многоступенчатых дистанционных защит резервных защит автотрансформаторов могут быть дополнены логическими защитами, что позволит повысить быстродействие, надежность резервных защит трансформаторов и автотрансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Засыпкин А.С.** Релейная защита трансформаторов. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. **Руководящие указания по РЗ: Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ.** Вып. 13Б. Расчеты. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. **Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России.** — Приложение № 1 к приказу ОАО РАО «ЕЭС России» от 11.02.2008 № 57.
4. **Логическая защита шин.** — Новости электротехники, 2006, № 4 (40).
5. **Поляков В.Е., Жуков С.Ф., Проскурин С.М. и др.** Теоретические основы построения логической части релейной защиты и автоматики/Под ред. В.Е. Полякова.—М.: Энергия, 1979.
6. **Руководство по эксплуатации.** ЭКРА 656453.028 РЭ. Шкаф релейной защиты автотрансформатора 110–220 кВ и автоматики управления выключателями типа ШЭ 2607.071. (НПП «ЭКРА»).

[12.07.10]

Автор: Маруда Иван Федорович окончил энергетический факультет Новочеркасского политехнического института (ныне Южно-Российский государственный технический университет — ЮРГТУ (НПИ)) в 1960 г. В 2003 г. защитил диссертацию «Повышение эффективности релейной защиты электрических распределительных сетей 110–220 кВ при несимметричных режимах в ЮРГТУ (НПИ). Ведущий специалист филиала ОАО «СО ЕЭС «Волгоградское РДУ».

* * *

Уважаемые читатели!

Номера журнала «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО» за 2009–2010 гг., а также ксерокопии статей начиная с 1917 г. можно приобрести в редакции журнала (Москва, Красноказарменная ул., 14, комн. 3-111, тел. (495) 362-7485)