

7 ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 110-220 КВ

7.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сети напряжением 110-220кВ работают в режиме с эффективно или глухозаземленной нейтралью. Поэтому замыкание на землю в таких сетях является коротким замыканием с током, иногда превышающим ток трехфазного КЗ, и подлежит отключению с минимально возможной выдержкой времени.

Воздушные и смешанные (кабельно-воздушные) линии оснащаются устройствами АПВ. В ряде случаев, если применяемый выключатель выполнен с пофазным управлением, применяется пофазное отключение и АПВ. Это позволяет отключить и включить поврежденную фазу без отключения нагрузки. Так как в таких сетях нейтраль питающего трансформатора заземлена, нагрузка практически не ощущает кратковременной работы в неполнофазном режиме.

На чисто кабельных линиях АПВ, как правило, не применяется.

Линии высокого напряжения работают с большими токами нагрузки, что требует применения защит со специальными характеристиками. На транзитных линиях, которые могут перегружаться, как правило, применяются дистанционные защиты, позволяющие эффективно отстроиться от токов нагрузки. На тупиковых линиях во многих случаях можно обойтись токовыми защитами. Как правило, не допускается, чтобы защиты срабатывали при перегрузках. Защита от перегрузки, при необходимости, выполняется на специальных устройствах.

Согласно ПУЭ, устройства предотвращения перегрузки должны применяться в случаях, если допустимая для оборудования длительность протекания тока составляет менее 10-20 мин. Защита от перегрузки должна действовать на разгрузку оборудования, разрыв транзита, отключение нагрузки, и только в последнюю очередь на отключение перегрузившегося оборудования.

Линии высокого напряжения, как правило, имеют значительную длину, что усложняет поиск места повреждения. Поэтому, линии должны оснащаться устройствами, определяющими расстояние до места повреждения. Согласно директивным материалам СНГ, средствами ОМП должны оснащаться линии длиной 20 км и более.

Задержка в отключении короткого замыкания может привести к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций, из-за длительной посадки напряжения может остановиться оборудование и нарушиться технологический процесс производства, могут произойти дополнительные повреждения линии, на которой возникло короткое замыкание. Поэтому, на таких линиях очень часто применяются защиты, которые отключают короткие замыкания в любой точке без выдержки времени. Это могут быть дифференциальные защиты, установленные по концам линии и связанные высокочастотным, проводниковым или оптическим каналом. Это могут быть обычные защиты, ускоряемые при получении разрешающего, или снятии блокирующего сигнала с противоположной стороны.

Токовые и дистанционные защиты, как правило, выполняются ступенчатыми. Количество ступеней не менее 3, в ряде случаев бывает необходимо 4, или даже 5 ступеней.

Во многих случаях, все требуемые защиты можно выполнить на базе одного устройства. Однако, выход со строя этого одного устройства оставляет оборудование без защиты, что недопустимо. Поэтому защиты линий высокого напряжения целесообразно выполнять из 2 комплектов. Второй комплект является резервным и может быть упрощен по сравнению с основным: не иметь АПВ, ОМП, иметь меньшее количество ступеней и т.д. Второй комплект должен питаться от другого автомата оперативного тока и комплекта трансформаторов тока. По воз-

возможности, резервный комплект может питаться от другой аккумуляторной батареи и трансформатора напряжения, действовать на отдельный соленоид отключения выключателя.

Устройства защиты высоковольтных линий должны учитывать возможность отказа выключателя и иметь УРОВ, либо встроенное в само устройство, либо организованное отдельно.

Для анализа аварии и работы релейной защиты и автоматики требуется регистрация как аналоговых величин, так и дискретных сигналов при аварийных событиях.

Таким образом, для высоковольтных линий комплекты защиты и автоматики должны выполнять следующие функции:

- Защиту от междуфазных коротких замыканий и коротких замыканий на землю.
- Пофазное или трехфазное АПВ.
- Защиту от перегрузки.
- УРОВ.
- Определение места повреждения.
- Осциллографирование токов и напряжений, а также регистрация дискретных сигналов защиты и автоматики.
- Устройства защиты должны резервироваться или дублироваться.
- Для линий, имеющих выключатели с пофазным управлением, необходимо иметь защиту от неполнофазного режима, действующую на отключение своего и смежных выключателей, так как длительный неполнофазный режим в сетях СНГ не допускается.

7.2 ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Как указывалось в гл. 1, в сетях с заземленной нейтралью необходимо учитывать дополнительно два вида короткого замыкания: однофазного и двухфазного замыкания на землю.

Расчеты токов и напряжений при коротких замыканиях на землю ведутся методом симметричных составляющих см. гл. 1. Это важно, в том числе, и потому, что защиты используют такие симметричные составляющие, которые в симметричных режимах отсутствуют. Использование токов обратной и нулевой последовательности позволяет не отстраивать защиту от тока нагрузки, и иметь уставку по току меньшую тока нагрузки. Например, для защиты от замыканий на землю, главным образом используется токовая защита нулевой последовательности, включаемая в нулевой провод соединенных в звезду трех трансформаторов тока.

При использовании метода симметричных составляющих, схема замещения для каждой из них составляется отдельно, затем они соединяются вместе по месту КЗ. Например, составим схему замещения для схемы рис 7.1.

$$X_{1 \text{ сист.}} = 15 \text{ Ом}$$

$$X_{0 \text{ сист.}} = 25 \text{ Ом}$$

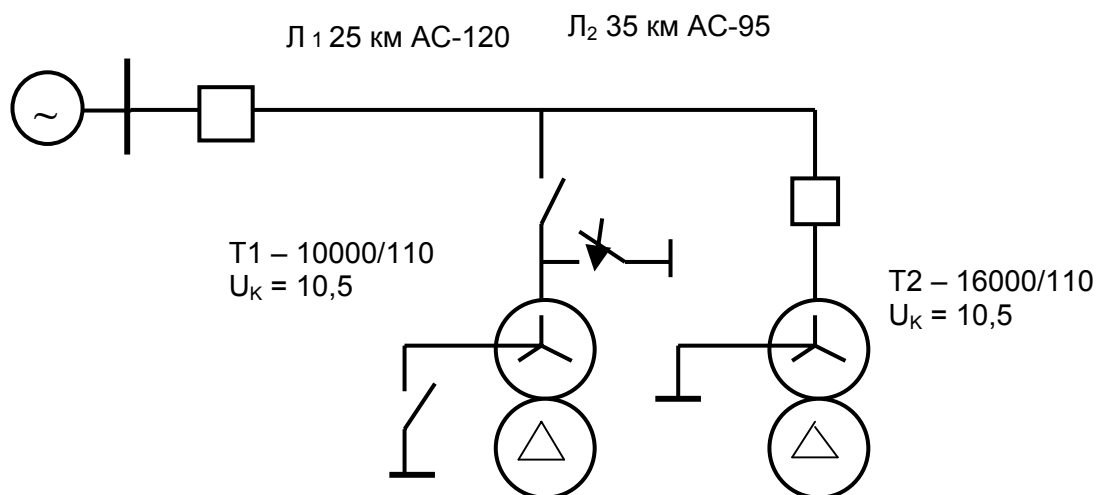


Рис. 7.1 Пример сети для составления схемы замещения в симметричных составляющих.

При расчете параметров линии 110 кВ и выше для схемы замещения, обычно пренебрегают активным сопротивлением линии. Индуктивное сопротивление прямой последовательности (X_1) линии по справочным данным равно: AC-95 – 0,429 Ом на км, AC-120 – 0,423 Ом на км. Сопротивление нулевой последовательности для линии со стальными тросами равно $3X_1$ т.е. соответственно $0,429 \cdot 3 = 1,287$ и $0,423 \cdot 3 = 1,269$.

Определим параметры линии:

$$X_{1L1} = 25 \cdot 0,423 = 10,6 \text{ Ом}; \quad X_{0L1} = 25 \cdot 1,269 = 31,7 \text{ Ом}$$

$$X_{1L2} = 35 \cdot 0,423 = 15,02 \text{ Ом}; \quad X_{0L2} = 35 \cdot 1,269 = 45,05 \text{ Ом}$$

Определим параметры трансформатора:

T1 10000кВА.

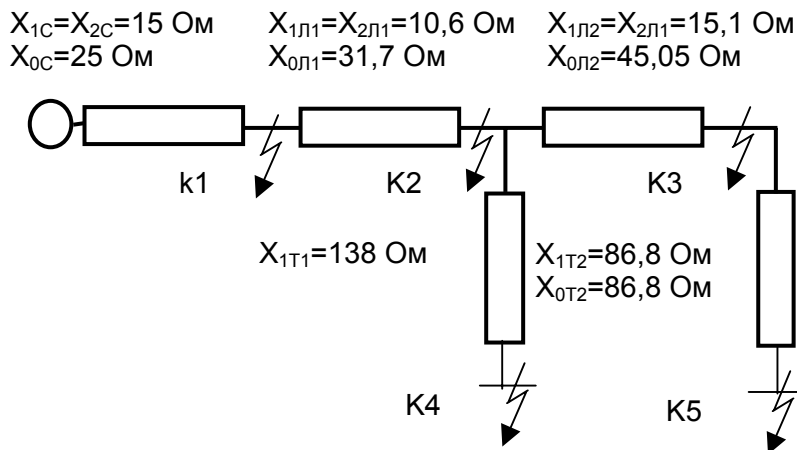
$$X_{1T1} = 0,105 \cdot 115^2 / 10 = 138 \text{ Ом};$$

$$X_{1T2} = 0,105 \cdot 115^2 / 16 = 86,8 \text{ Ом}; \quad X_{0T2} = 86,8 \text{ Ом}$$

Сопротивление обратной последовательности в схеме замещения равно сопротивлению прямой последовательности.

Сопротивление нулевой последовательности трансформаторов обычно принимается равным сопротивлению прямой последовательности. $X_{1T} = X_{0T}$. Трансформатор T1 не входит в схему замещения нулевой последовательности, так как его нейтраль разземлена.

Составляем схему замещения.



Расчет трехфазных и двухфазных КЗ производится обычным путем, см. таблицу 7.1.
Таблица 7.1

точка КЗ	сопротивление до места КЗ $X_{1\Sigma} = \sum X_1$	Ток КЗ трехфазный $I^{(3)} = (115/\sqrt{3})/X_1$	Ток КЗ двухфазный $I^{(2)} = 0,87 \cdot I^{(3)}$
к1	15 Ом	4,43 кА	3,85 кА
к2	15+10,6 = 25,6 Ом	2,59 кА	2,26 кА
к3	25,6+15,1 = 40,7 Ом	1,63 кА	1,42 кА
к4	25,6+ 138=163,6 Ом	0,406кА	0,35 кА
к5	40,7+86.8 =127,5 Ом	0,52 кА	0,45 кА

Для расчета токов замыкания на землю необходимо использовать метод симметричных составляющих. Согласно этому методу, эквивалентные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности вычисляются относительно точки КЗ и включаются последовательно в схеме замещения для однофазных КЗ на землю рис.7.2, а и последовательно/параллельно для двухфазных на землю рис.7.2, б.

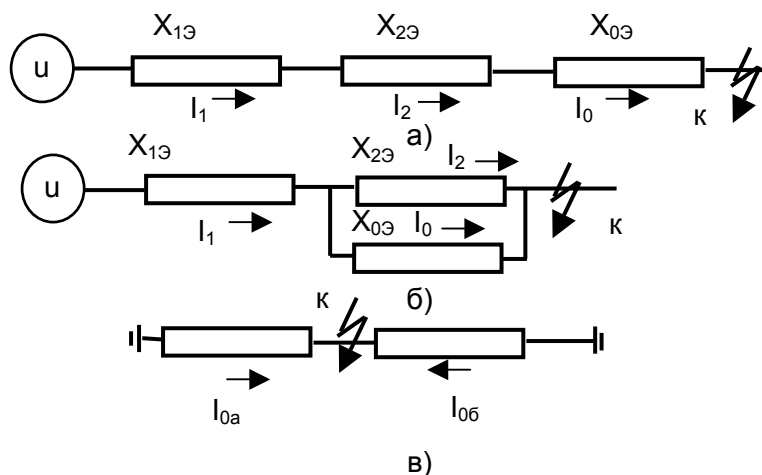


Рис. 7.2 Схема включения эквивалентных сопротивлений прямой, обратной и нулевой последовательности для расчета токов короткого замыкания на землю:

а) – однофазного; б) – двухфазного; в) – распределение токов нулевой последовательности между двумя точками заземления нейтрали.

Выполним расчет КЗ на землю, см. таблицы 7.2, 7.3.

Схема прямой и обратной последовательности состоит из одной ветви: от источника питания до места короткого замыкания. В схеме нулевой последовательности 2 ветви от заземленных нейтралей, которые являются источниками тока КЗ и должны в схеме замещения соединяться параллельно. Сопротивление параллельно соединенных ветвей определяется по формуле:

$$X_3 = (X_a \cdot X_6) / (X_a + X_6) \quad (7.1)$$

Токораспределение по параллельным ветвям определяется по формулам:

$$I_a = I_3 \cdot X_3 / X_a ; I_6 = I_3 \cdot X_3 / X_6 \quad (7.2)$$

Токи однофазного КЗ

Таблица 7.2

Точка КЗ	X_{13}	X_{23}	$X_{03} = X_{0a} // X_{06}^*$	X_3	I_{K31}	I_{K32}	I_{K30}	I_{K30a}^{**}	I_{K306}^{**}	$I_{K3} = I_1 + I_2 + I_0$
к1	15	15	25//163,5=21,6	51,6	1,29	1,29	1,29	1,11	0,18	3,87
к2	25,6	25,6	56,7//131,8=39,6	90,8	0,73	0,73	0,73	0,51	0,22	2,19
к3	40,7	40,7	91,7//86,8= 42,2	123,6	0,53	0,53	0,53	0,24	0,29	1,59

**Примечание.* Определяется сопротивление параллельно соединенных двух участков схемы нулевой последовательности по формуле 7.1.

***Примечание.* Распределяется ток между двумя участками нулевой последовательности по формуле 7.2.

Токи двухфазного КЗ на землю

Таблица 7.3

Точка КЗ	X_{13}	X_{23}	X_{03}^* таб.7.2	$X_{0-23}^{**} = X_{03} // X_2$	X_3	I_{K31}	I_{K32}^{***}	I_{K30}	I_{K30a}^{****}	I_{K306}	$I_{K3}^{*****} \approx I_1 + \frac{1}{2}(I_2 + I_0)$
к1	15	15	21,6	8,85	23,85	2,78	1,64	1,14	0,98	0,16	4,17
к2	25,6	25,6	39,6	15,55	42,05	1,58	0,95	0,63	0,44	0,19	2,37
к3	40,7	40,7	42,2	20,71	61,41	1,08	0,55	0,53	0,24	0,29	1,62

**Примечание.* Определяется сопротивление параллельно соединенных двух участков схемы нулевой последовательности по формуле 7.1, расчет выполнен в таблице 7.2.

***Примечание.* Определяется сопротивление параллельно соединенных двух сопротивлений обратной и нулевой последовательности по формуле 7.1.

****Примечание.* Распределяется ток между двумя сопротивлениями обратной и нулевой последовательности по формуле 7.2.

*****Примечание.* Распределяется ток между двумя участками нулевой последовательности по формуле 7.2.

******Примечание.* Ток двухфазного КЗ на землю указан по приближенной формуле, точное значение определяется геометрическим путем см. ниже.

Определение фазных токов после расчета симметричных составляющих

При однофазном КЗ весь ток КЗ протекает в поврежденной фазе, в остальных фазах ток не протекает. Токи всех последовательностей равны между собой.

Для соблюдения таких условий симметричные составляющие располагаются следующим образом (рис.7.3):

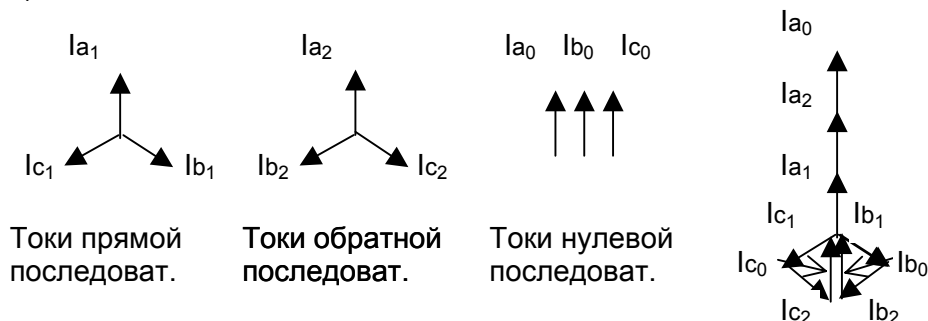


Рис. 7.3 Векторные диаграммы для симметричных составляющих при однофазном КЗ.

При однофазном КЗ токи $I_1 = I_2 = I_0$. В поврежденной фазе они равны по величине и совпадают по фазе. В неповрежденных фазах равные токи всех последовательностей образуют равносторонний треугольник и результирующая сумма всех токов равна 0.

При двухфазном коротком замыкании на землю ток в одной неповрежденной фазе равен нулю. Ток прямой последовательности равен сумме токов нулевой и обратной последовательности с обратным знаком. Исходя из таких положений, строим токи симметричных составляющих (рис. 7.4):

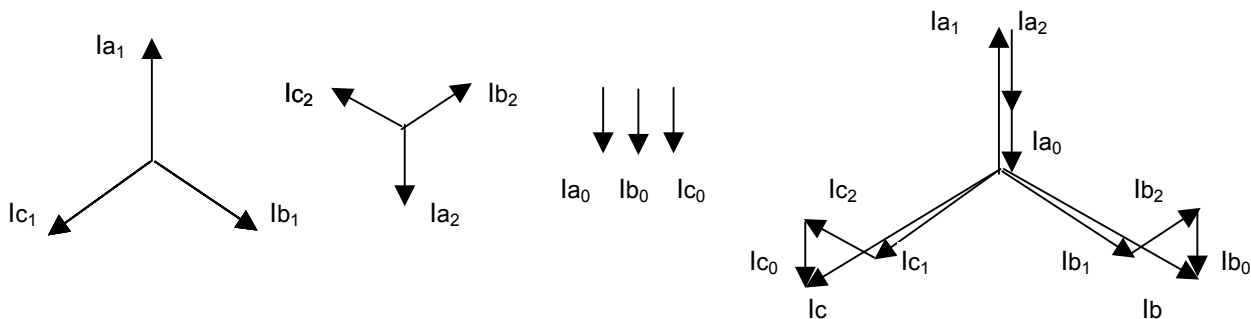


Рис. 7.4 Векторные диаграммы симметричных составляющих токов двухфазного КЗ на землю.

Из построенной диаграммы видно, что фазные токи при замыканиях на землю построить довольно сложно, так как угол фазного тока отличается от угла симметричных составляющих. Его следует строить графически или использовать ортогональные проекции. Однако с достаточной для практики точностью величину тока можно определить по упрощенной формуле:

$$I_{\phi} = I_1 + \frac{1}{2}(I_2 + I_0) = 1,5I_1 \quad (7.3)$$

Токи в таблице 7.3 подсчитаны по этой формуле.

Если сравнить токи двухфазного КЗ на землю по таблице 7.3 с током двухфазного и трехфазного КЗ по таблице 7.1, можно сделать вывод, что токи двухфазного КЗ несколько ниже тока двухфазного КЗ на землю, поэтому чувствительность защиты следует определять по току двухфазного КЗ. Токи трехфазного КЗ соответственно выше тока двухфазного КЗ на землю, поэтому определение максимального тока КЗ для отстройки защиты производится по трех-

фазному КЗ. Это значит, что для расчетов защиты не нужен ток двухфазного КЗ на землю, и его считать незачем. Ситуация несколько изменяется при расчете токов короткого замыкания на шинах мощных электростанций, где сопротивление обратной и нулевой последовательности меньше сопротивления прямой. Но к распредсетям это не имеет отношения, а для электростанций токи считаются на ЭВМ по специальной программе.

7.3 ПРИМЕРЫ ВЫБОРА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ТУПИКОВЫХ ВЛ 110-220 КВ

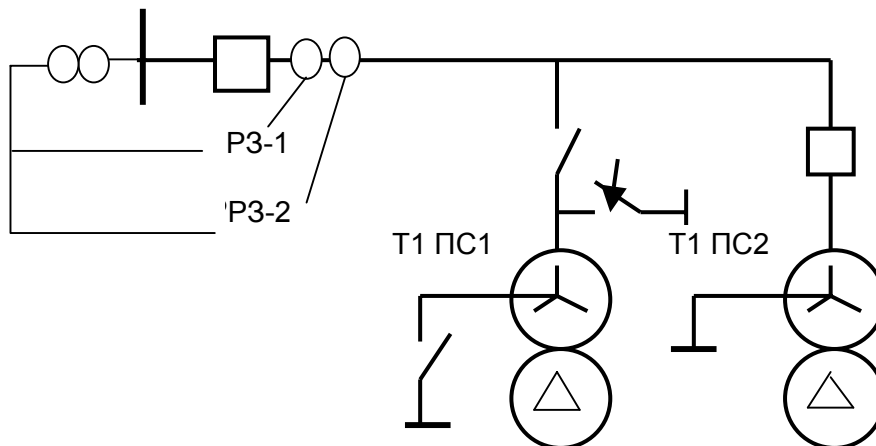


Схема 7.1. Тупиковая воздушная линия 110–220 кВ. Со стороны ПС1 и ПС2 питание отсутствует. Т1 ПС1 включен через отделитель и короткозамыкатель. Т1 ПС2 включен через выключатель. Нейтраль стороны ВН Т1 ПС2 заземлена, на ПС1 – изолирована. Минимальные требования к защите:

Вариант 1. Должна быть применена трехступенчатая токовая защита от междуфазных коротких замыканий (первая ступень, ТО без выдержки времени, отстроена от КЗ на шинах ВН ПС2, вторая, ТО с малой выдержкой времени, от КЗ на шинах НН ПС1 и ПС2, третья ступень – максимальная защита). Защиты от замыканий на землю – 2 ступени (первая ступень, без выдержки времени отстроена от тока, посылаемого на шины заземленным трансформатором ПС2, вторая ступень с выдержкой времени, обеспечивающей ее согласование с защитами внешней сети, но не отстроенная от тока КЗ, посылаемого трансформатором ПС2). Должно быть применено двух или однократное АПВ. Чувствительные ступени должны ускоряться при АПВ. Защиты пускают УРОВ питающей подстанции. К дополнительным требованиям можно отнести защиту от обрыва фаз, определение места повреждения на ВЛ, контроль ресурса выключателя.

Вариант 2. В отличие от первого защита от замыканий на землю выполнена направленной, что позволяет не отстраивать ее от обратного тока КЗ и, таким образом, выполнить более чувствительную защиту без выдержки времени. Таким образом, удастся защитить всю линию без выдержки времени.

Примечание. В этом и последующих примерах не даются точные рекомендации по выбору уставок защиты, упоминания о настройке защит используются для обоснования выбора типов защиты. В реальных условиях может быть применена другая настройка защит, что и требуется определить при конкретном проектировании. Защиты могут быть заменены устройствами защиты других типов, имеющих подходящие характеристики.

Набор защит, как уже было сказано, должен состоять из 2 комплектов. Защита может быть реализована на 2х устройствах выбранных из:

- MiCOM P121, P122, P123, P126, P127 фирмы ALSTOM,
- F 60, F650 фирмы GE

- двух реле REF 543 фирмы ABB – подбирается 2-е подходящие модификации,
- 7SJ 511, 512, 531, 551 SIEMENS– подбирается 2-е подходящие модификации,
- двух реле SEL 551 фирмы SEL.

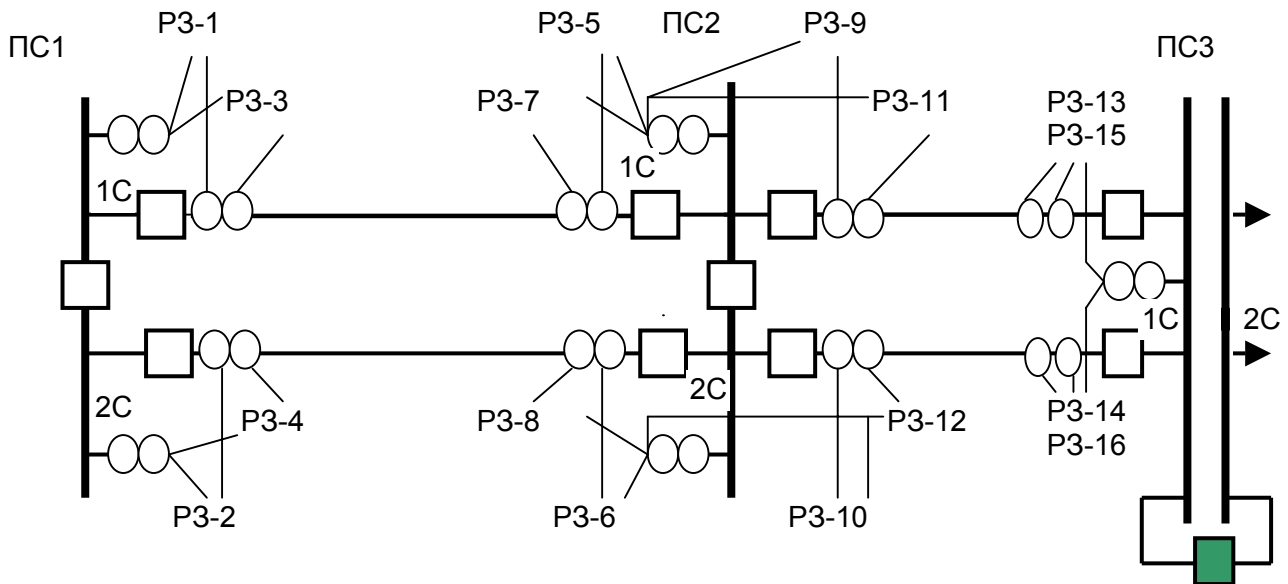


Схема 7.2. Разомкнутый транзит на подстанции 3.

. Двухцепная воздушная линия заходит на подстанцию 2, секции которой работают параллельно. Предусматривается возможность переноса разреза на ПС2 в ремонтном режиме. В этом случае включается секционный выключатель на ПС3. Транзит замыкается только на время переключения и, при выборе защит, его замыкание не учитывается. На 1 секции ПС3 включен трансформатор с заземленной нейтралью. Источника тока для однофазного КЗ на подстанциях 2 и 3 нет. Поэтому защита на стороне без питания работает только в «каскаде», после отключения линии со стороны питания. Несмотря на отсутствие питания с противоположной стороны защита должна быть выполнена направленной как при замыканиях на землю, так и при междуфазных коротких замыканиях. Это позволяет на приемной стороне правильно определить поврежденную линию.

В общем случае для того, чтобы обеспечить селективную защиту с небольшими выдержками времени, особенно на коротких линиях, необходимо применить четырехступенчатую токовую защиту, уставки которой выбираются следующим образом: 1 ступень отстраивается от КЗ в конце линии, 2 ступень согласовывается с первой ступенью параллельной линии в каскаде и первой ступенью смежной линии, 3 ступень согласовывается со вторыми ступенями этих ВЛ. При согласовании защит со смежной линией учитывается режим одна с двумя: на первом участке - 1 ВЛ, на втором участке – 2, что существенно грубит защиту. Эти три ступени защищают линию, а последняя, 4 ступень резервирует смежный участок. При согласовании защит по времени учитывается время действия УРОВ, что увеличивает выдержки времени согласуемых защит на время действия УРОВ. При выборе уставок защиты по току, они должны быть отстроены от суммарной нагрузки двух линий, так как одна из параллельных ВЛ может отключиться в любой момент, и вся нагрузка будет подключена к одной ВЛ.

В составе устройств защиты оба комплекта защит должны быть направленными. Можно применить следующие варианты защит:

- MiCOM P127 и P142 фирмы ALSTOM,
- F60 и F650 фирмы GE,
- два реле REF 543 фирмы ABB – подбираются направленные модификации,
- реле 7SJ512 и 7SJ 531 фирмы SIEMENS,
- два реле SEL 351 фирмы SEL.

В ряде случаев, из соображений обеспечения чувствительности, отстройки от токов нагрузки или обеспечения селективной работы, может потребоваться применение дистанционной защиты. Для этой цели одна из защит заменяется на дистанционную. Может быть применена дистанционная защита:

- MiCOM P433, P439, P441 фирмы ALSTOM,
- D30 фирмы GE,
- REL 511 фирмы ABB – подбираются направленные модификации,
- реле 7SA 511 или 7SA 513 фирмы SIEMENS,
- реле SEL 311 фирмы SEL.

7.4 ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ

Назначение и принцип действия

Дистанционные защиты (ДЗ) - это сложные направленные или ненаправленные защиты с относительной селективностью, выполненные с использованием минимальных реле сопротивления, реагирующих на сопротивление линии до места КЗ, которое пропорционально расстоянию, т.е. дистанции. Отсюда и происходит название дистанционной защиты. Дистанционные защиты реагируют на междуфазные КЗ (кроме микропроцессорных ДЗ). Для правильной работы дистанционной защиты необходимо наличие цепей тока от ТТ присоединения и цепей напряжения от ТН. При отсутствии или неисправности цепей напряжения возможна излишняя работа ДЗ при КЗ на смежных участках.

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания простые и направленные МТЗ (НТЗ) не могут обеспечить селективного отключения КЗ. Так, например, при КЗ на *W2* (рис. 7.5) НТЗ 3 должна подействовать быстрее РЗ 1, а при КЗ на *W1*, наоборот, НТЗ 1 должна подействовать быстрее РЗ 3. Эти противоречивые требования не могут быть выполнены с помощью НТЗ. Кроме того, МТЗ и НТЗ часто не удовлетворяют требованиям быстроедействия и чувствительности. Селективное отключение КЗ в сложных кольцевых сетях может быть обеспечено с помощью дистанционной РЗ (ДЗ).

Выдержка времени ДЗ t_3 зависит от расстояния (дистанции) $t_3 = f(L_{PK})$ (рис. 7.5) между местом установки РЗ (точка Р) и точкой КЗ (К), т. е. L_{PK} , и нарастает с увеличением этого расстояния. Ближайшая к месту повреждения ДЗ имеет меньшую выдержку времени, чем более удаленные ДЗ.

Например, при КЗ в точке К1 (рис. 7.6) ДЗ2, расположенная ближе к месту повреждения, работает с меньшей выдержкой времени, чем более удаленная ДЗ1. Если же КЗ возникает и в точке К2, то время действия ДЗ2 увеличивается, и КЗ селективно отключается ближайшей к месту повреждения ДЗ3.

Основным элементом ДЗ является дистанционный измерительный орган (ДО), определяющий удаленность КЗ от места установки РЗ. В качестве ДО используются реле сопротивления (РС), реагирующие на полное, реактивное или активное сопротивление поврежденного участка ЛЭП (Z , X , R).

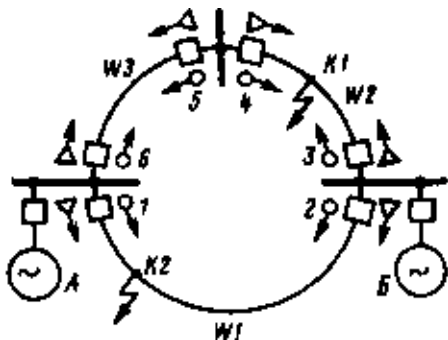


Рис. 7.5 Кольцевая сеть с двумя источниками питания

- О — максимальная токовая на-
правленная защита;
- Δ — дистанционная защита

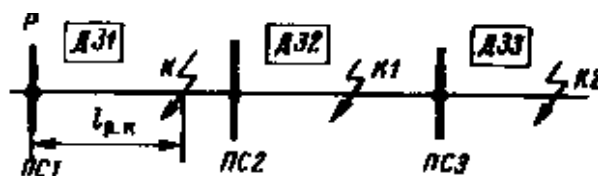


Рис. 7.6 Зависимость выдержки времени дистанционной защиты от расстояния до места КЗ

Сопротивление фазы ЛЭП от места установки реле P до места КЗ (точки К) пропорционально длине этого участка, так как величина сопротивления до места КЗ равна длине участка умноженному на удельное сопротивление линии: $Z = L \cdot Z_{уд}$.

Таким образом, поведение дистанционного органа, реагирующего на сопротивление линии, зависит от расстояния до места повреждения. В зависимости от вида сопротивления, на которое реагирует ДО (Z , X или R), ДЗ подразделяются на РЗ полного, реактивного и активного сопротивлений. Реле сопротивления, применяемые в ДЗ для определения сопротивления Z_{PK} до точки КЗ, контролируют напряжение и ток в месте установки ДЗ (рис. 7.7.). К зажимам РС подводятся вторичные значения U_P и I_P от ТН и ТТ. Реле выполняется так, чтобы его поведение в общем случае зависело от отношения U_P к I_P . Это отношение является некоторым сопротивлением Z_P . При КЗ $Z_P = Z_{PK}$, и при определенных значениях Z_{PK} , РС срабатывает; оно реагирует на уменьшение Z_P , поскольку при КЗ U_P уменьшается, а I_P возрастает. *Наибольшее значение, при котором РС срабатывает, называется сопротивлением срабатывания реле Z_{cp} .*

$$Z_P = U_P / I_P \leq Z_{cp} \quad (7.4)$$

Для обеспечения селективности в сетях сложной конфигурации на ЛЭП с двухсторонним питанием ДЗ необходимо выполнять направленными, действующими при направлении мощности КЗ от шин в ЛЭП. Направленность действия ДЗ обеспечивается при помощи дополнительных РНМ или применением направленных РС, способных реагировать и на направление мощности КЗ.

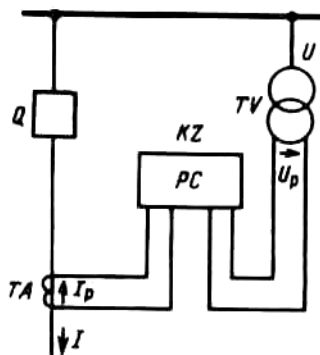


Рис. 7.7 Подключение цепей тока и напряжения реле сопротивления

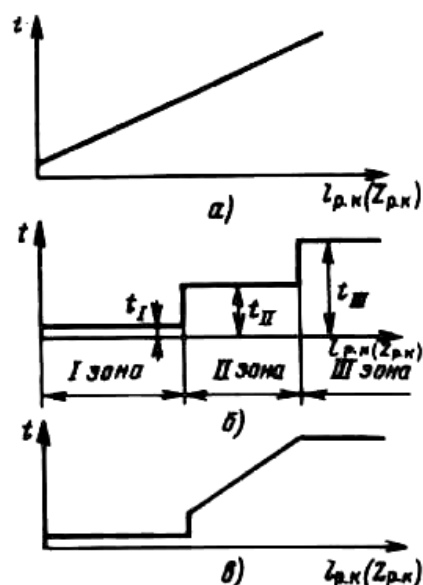


Рис. 7.8 Характеристики зависимости времени дистанционных защит $t = f(L_{PK})$

- а – наклонная;
- б – ступенчатая;
- в – комбинированная

Характеристики выдержки времени дистанционных защит

Зависимость времени действия ДЗ от расстояния или сопротивления до места КЗ $t_3 = f(L_{PK})$ или $t_3 = f(Z_{PK})$ называется характеристикой выдержки времени ДЗ. По характеру этой зависимости ДЗ делятся на три группы: с нарастающими (наклонными) характеристиками времени действия, ступенчатыми и комбинированными характеристиками (рис. 7.8). Ступенчатые ДЗ действуют быстрее, чем ДЗ с наклонной и комбинированной характеристиками и, как правило, получаются проще в конструктивном исполнении. ДЗ со ступенчатой характеристикой производства ЧЭАЗ выполнялись обычно с тремя ступенями времени, соответствующими трем зонам действия ДЗ (рис. 7.8, б). Современные микропроцессорные защиты имеют 4, 5 или 6 ступеней защиты. Реле с наклонной характеристикой разрабатывались специально для распределительных сетей (например, ДЗ-10).

Принципы выполнения селективной защиты сети с помощью устройств дистанционной защиты

На ЛЭП с двухсторонним питанием ДЗ устанавливаются с обеих сторон каждой ЛЭП и должны действовать при направлении мощности от шин в ЛЭП. Дистанционные РЗ, действующие при одном направлении мощности, необходимо согласовать между собой по времени и по зоне действия так, чтобы обеспечивалось селективное отключение КЗ. В рассматриваемой схеме (рис. 7.9.) согласуются между собой ДЗ1, ДЗ3, ДЗ5 и ДЗ6, ДЗ4, ДЗ2.

С учетом того, что первые ступени ДЗ не имеют выдержки времени ($t_1 = 0$), по условию селективности они не должны действовать за пределами защищаемой ЛЭП. Исходя из этого протяженность первой ступени, не имеющей выдержки времени ($t_1 = 0$), берется меньше протяженности защищаемой ЛЭП и обычно составляет 0,8–0,9 длины ЛЭП. Остальная часть защищаемой ЛЭП и шины противоположной подстанции охватываются второй ступенью ДЗ этой ЛЭП. Протяженность и выдержка времени второй ступени согласуются (обычно) с протяженностью и выдержкой первой ступени ДЗ следующего участка. Например, у второй ступени ДЗ1 зона дей-

ствия отстраивается от конца первой ступени ДЗЗ (т.е. $Z_{II(1)} < (Z_{Л(1)} + Z_{I(2)})$), а время действия выбирается на ступень Δt больше $t_{I(3)}$: $t_{II(1)} = t_{I(3)} + \Delta t$

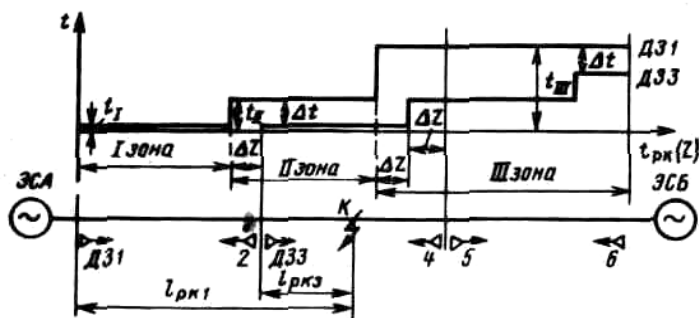


Рис.7.9 Согласование выдержек времени дистанционных РЗ со ступенчатой характеристикой:

Δz – погрешность дистанционного реле;

Δt – ступень селективности

Последняя третья ступень ДЗ является резервной, ее протяженность выбирается из условия охвата следующего участка, на случай отказа его РЗ или выключателя. Выдержка времени принимается на Δt больше времени действия второй или третьей зоны ДЗ следующего участка. При этом зона действия третьей ступени должна быть отстроена от конца второй или третьей зоны следующего участка.

Структура защиты линии с использованием дистанционной защиты

В отечественных энергосистемах ДЗ применяется для действия при междуфазных КЗ, а для действия при однофазных КЗ используется более простая ступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности (ТНЗНП). Большинство микропроцессорной аппаратуры имеет дистанционную защиту, действующую при всех видах повреждения, в том числе и при замыканиях на землю. Реле сопротивления (РС) включается через ТН и ТТ на первичные напряжения в начале защищаемой ЛЭП. Вторичное напряжение на зажимах РС: $U_p = U_{pn} / K_U$, а вторичный ток: $I_p = I_{pn} / K_I$.

Сопротивление на входных зажимах реле определяется по выражению:

$$Z_p = (K_I / K_U) Z_{pn} \quad (7.5)$$

где: Z_{pn} – первичное значение сопротивления, подведенного к зажимам реле.

Первичное сопротивление $Z_{сз} = Z_{ср} (K_U / K_I)$ называется сопротивлением срабатывания ДЗ.

Кроме измерительных органов в состав дистанционной защиты входят органы выдержки времени, а также ряд блокировок, предотвращающих неправильную работу защиты, в режимах, при которых защита может сработать при отсутствии повреждения на защищаемой ЛЭП. К таким режимам относятся качания в энергосистеме и повреждения в цепях ТН, питающих ДЗ.

Устройство блокировки при качаниях УБК блокирует неправильную работу при качаниях. При качаниях, дистанционная защита измеряет расстояние от места установки до электрического центра качаний и если этот центр качаний находится на защищаемой линии, измерительный орган защиты срабатывает (см. рис. 7.10).

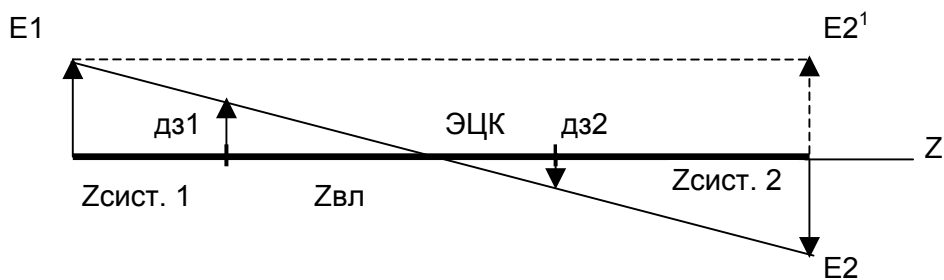


Рис. 7.10 Расположение электрического центра качаний на защищаемой линии

На диаграмме показаны напряжения вдоль линии при качаниях. В момент, показанный на рисунке ЭДС по концам связи, находятся в противофазе, а в электрическом центре, который находится примерно посередине линии, на которой в масштабе построены сопротивления системы 1, линии и системы 2, напряжение равно 0. Дистанционный орган защиты воспринимает центр качаний, как место короткого замыкания и срабатывает. Пунктиром показан момент, когда ЭДС E_2 находится в фазе с E_1 . В этот момент напряжения во всех точках линии примерно одинаковы и ДО возвращается. Таким образом, при качаниях дистанционная защита то срабатывает, то возвращается. Если времени, пока ДО сработал, достаточно для срабатывания защиты, защита может отключить линию. Наверняка успевает сработать 1 ступень защиты и может сработать вторая, если время ее срабатывания менее 1–1,5 сек. Поэтому блокировка УБК, как правило, блокирует первую ступень, а в тех случаях, когда время действия второй ступени мало (менее 1 сек) – и вторую.

Распространены 2 принципа блокировки от качаний

В электромеханических защитах прежних выпусков ЭПЗ-1636, ПЗ-5, ДЗ-501, блокируемые ступени защиты нормально выведены из работы и вводятся при появлении кратковременной несимметрии, которой сопровождается любое, даже трехфазное, короткое замыкание. Ступени вводятся на время, достаточное для срабатывания ДО (обычно на 0,3–0,4 сек), после чего они из работы выводятся. При качаниях ДО срабатывают через некоторое время, после того, как разойдутся вектора напряжения по концам линии связи. К этому моменту защита из работы уже выведена.

В аналоговых защитах последних выпусков (ШДЭ-2802, ПДЭ-2003), а также в микропроцессорных защитах применяется блокировка по скорости изменения сопротивления. Для блокировки измеряется время между срабатываниями ДО с разными уставками. При КЗ они срабатывают одновременно, а при качаниях срабатывает сначала более чувствительное реле сопротивления, а затем, через некоторое время, более грубое. Наличие времени между срабатываниями двух ДО и является признаком качаний, при которых соответствующие ступени выводятся из работы.

Устройства блокировки при неисправности цепей напряжения (УБН)

При неисправностях в цепях напряжения ТН напряжение U_p , подводимое к РС, исчезает или резко понижается. В результате этого, реле сопротивления, включенные на это напряжение, фиксируют снижение сопротивления и приходят в действие, что приводит к неправильному срабатыванию ДЗ. При неисправном состоянии цепей напряжения дистанционная защита должна немедленно выводиться из работы. При этом блокировка должна опередить срабатывание реле сопротивления. Ниже приведены два принципа блокиров-

ки при неисправности цепей напряжения, применяющихся на электромеханических и аналоговых дистанционных защитах.

Блокирующие устройства, реагирующие на появление U_0 при повреждениях в цепях напряжения, приведены на рис. 7.11.

В нормальных условиях напряжение на реле отсутствует. При обрыве одной или двух фаз цепи напряжения возникает U_0 , под влиянием которого в реле KV появляется ток, и оно срабатывает, давая сигнал. Подобные устройства применяются в дистанционных РЗ, имеющих токовые пусковые органы, и которые не выводятся из работы автоматически. Блокировка, выполненная на таком принципе, не отличает U_0 , появляющееся при перегорании предохранителя, от появления замыкания на землю в сети. Она также не срабатывает, при отключении используемого в цепях напряжения трехфазного автомата.

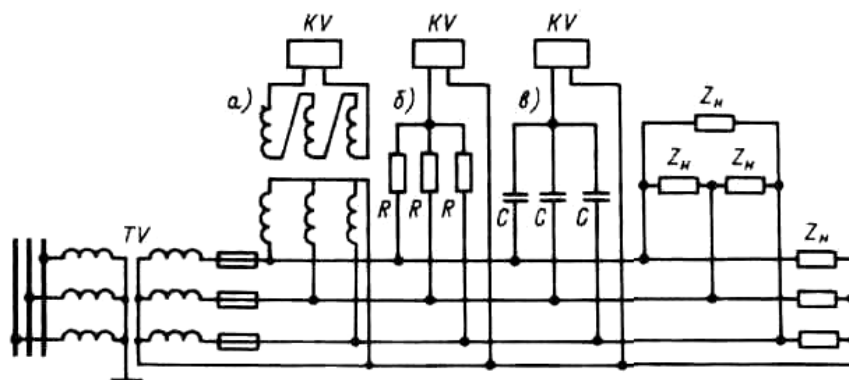


Рис. 7.11 Схемы сигнализации обрыва в цепях ТН:

- а – с трансформаторным фильтром U_0 ;
- б – с фильтром на активных сопротивлениях;
- в – с фильтром на конденсаторах C .

Улучшенная схема подобной блокировки типа КРБ-11 для дистанционных РЗ в сетях с заземленной нейтралью приведена на рис. 7.12. Она состоит из трех конденсаторов C одинаковой емкости, реле напряжения KVO и тока $КАО$. В провод, соединяющий нулевые точки конденсаторов и вторичной обмотки ТУ, включено реле KVO , через размыкающий контакт которого подается оперативный ток на комплект релейной защиты (РЗ). Цепь обмотки KVO проходит через размыкающий контакт $КАО$, обмотка которого включена в нулевой провод ТА.

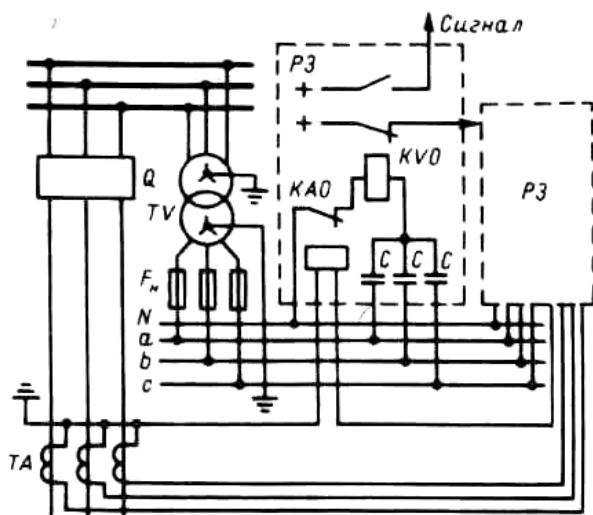


Рис. 7.12 Схема включения блокировки при перегорании предохранителей

Нормально, когда сумма фазных напряжений равна нулю, потенциалы нулевых точек звезды конденсаторов и вторичной обмотки TV равны, и поэтому ток в реле KVO отсутствует. При перегорании одного или двух предохранителей потенциал нулевой точки звезды конденсаторов станет равным сумме напряжений оставшихся фаз, а потенциал нулевой точки звезды вторичной обмотки TV останется равным нулю. Под воздействием напряжения, возникающего между нулевыми точками, через обмотку KVO проходит ток, и реле, сработав, нижним контактом снимает оперативный ток с РЗ, а верхним подает сигнал. Для обеспечения работы блокировки при перегорании предохранителей всех трех фаз (отключении трехфазного автомата) одна из фаз автомата или предохранитель шунтируется конденсатором, величина которого подбирается таким образом, чтобы при отключении трех фаз блокировка сработала.

При двухфазном КЗ на землю на защищаемой ЛЭП симметрия фазных напряжений, подводимых к звезде конденсаторов, нарушается, и блокировка может сработать и вывести РЗ из действия. Для предотвращения такого неправильного действия блокировки предусмотрено токовое реле KAO, которое срабатывает и, размыкая цепь обмотки реле KV₀, препятствует его действию.

Блокирующее устройство на сравнении напряжений двух вторичных обмоток ТН

Недостатком рассмотренных выше устройств блокировки типа КРБ-11 является то, что при КЗ в цепях фазных напряжений ТН они не действуют, а срабатывают лишь после отключения автоматических выключателей или предохранителей поврежденных фаз. Подобные блокировки не могут предотвратить ложного срабатывания первых ступеней быстродействующих дистанционных РЗ, применяемых в сетях сверхвысоких напряжений. Другим недостатком этих блокировок является то, что они не могут предотвратить ложного срабатывания дистанционных РЗ при отключении всех трех фаз напряжения общим автоматическим выключателем или ключом.

Этих недостатков лишена блокировка, схема которой приведена на рис. 7.13.

Четырехобмоточный промежуточный трансформатор *TL* устройства блокировки подключен через добавочные резисторы к измерительному трансформатору напряжения *TV* с соединением вторичных обмоток в звезду и разомкнутый треугольник. В цепях обмотки *w*₁ сопротивление резистора в фазе А – *R*_а принято в два раза меньшим относительно сопротивлений *R*_б и *R*_с, равных между собой. К обмотке *w*₂ с выводов *H* – *K* подано напряжение $3U_0$. Обмотка *w*₃ (компенсационная) находится под воздействием напряжения фазы А. Ко вторичной обмотке *w*₄ через выпрямительный мост VS присоединен реагирующий элемент - реле KV.

В нормальном режиме, при исправных вторичных цепях *TV* и соответствующих значениях сопротивлений резисторов, токи в обмотках *w*₁ и *w*₃ направлены встречно: $I_0 = I_a + I_b + I_c = -I_{ад}$ (рис. 7.13, в, г). МДС в сердечнике взаимно уравновешены - реле KV не работает. При обрывах в цепях *TV* (одной или двух фаз) равновесие МДС нарушается, что вызывает срабатывание реле KV. В случае КЗ на землю в сети реле не работает, так как МДС обмотки *w*₁ будет скомпенсирована МДС обмотки *w*₂, включенной на $3U_0$.

При отключении всех трех фаз напряжения со стороны обмоток ТН, соединенных в звезду, блокировка срабатывает за счет тока в обмотке *w*₃. Блокировка без замедления срабатывает также при всех видах КЗ в цепях напряжения, за исключением КЗ между фазами В и С.

В последнем случае блокировка подействует только после отключения автоматического выключателя. Указанная блокировка не срабатывает при снятии напряжения с ТН т.е. исчезновении напряжения одновременно в схеме звезды и треугольника. Это возможно при переводе защиты на ТН другой системы шин и погашении последней – в этом случае ток в защите не исчезнет вместе с напряжением.

Микропроцессорные защиты осуществляют одновременный контроль за цепями напряжения и тока путем логического сопоставления изменений, происходящих в этих цепях, например: в случае КЗ при посадке напряжения одновременно должен увеличиться ток.

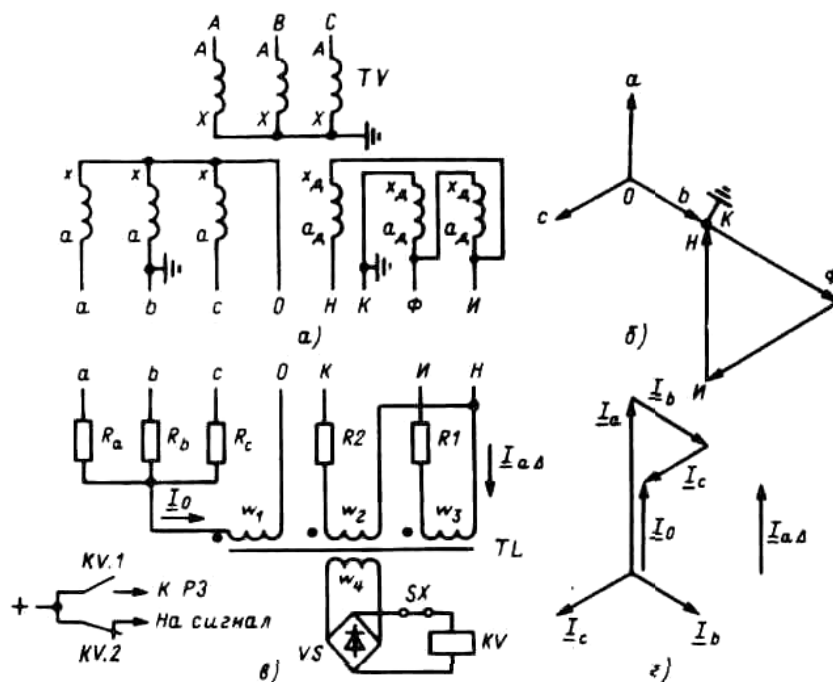


Рис. 7.13 Устройство блокировки для предотвращения ложных срабатываний дистанционных защит при нарушении цепей напряжения:

- а – схема соединения обмоток измерительного трансформатора TV;
- б – векторная диаграмма напряжений во вторичных обмотках TV;
- в – схема внутренних соединений устройства;
- г – векторная диаграмма, поясняющая работу устройства в нормальном режиме.

Схемы включения дистанционных органов на ток и напряжение

Требования к схемам включения. Измерительные ДО, выполняемые с помощью РС, должны включаться на такие напряжения и токи сети, при которых сопротивление на зажимах реле Z_p , во-первых, будет пропорционально расстоянию Z_{pk} до места повреждения и, во-вторых, будет иметь одинаковые значения (по модулю и углу) при всех видах КЗ в одной точке. Для соблюдения этих требований к ДО необходимо подводить напряжение в месте установки ДЗ, равное падению напряжения в сопротивлении Z_{pk} до точки К: $U_p = I_k \cdot Z_{pk}$ (рис. 7.14). При этом для обеспечения одинакового Z_p при всех видах КЗ ток I_p , подводимый к РС, должен равняться току КЗ I_k , вызывающему падение напряжения в сопротивлении Z_{pk} :

$$Z_p = U_p / I_p = I_k \cdot Z_{pk} / I_k = Z_{pk}$$

С учетом сказанного ДО включаются на напряжение и ток петли КЗ. Схемы включения ДО, реагирующих на междуфазные КЗ и ДО, реагирующих на однофазные КЗ, должны быть разными.

Включение дистанционных органов, реагирующих на междуфазные КЗ.

Включение на междуфазные напряжения и разность фазных токов осуществляются согласно табл. 7.5. При трехфазных КЗ все три ДО находятся в одинаковых условиях, к каждому из них подводится междуфазное напряжение, равное $\sqrt{3}U_\phi$. Фазное напряжение равно падению напряжения в проводе от места установки РС до точки К. Отсюда напряжение $U_p^{(3)} = \sqrt{3}I_K^{(3)}Z_{1K} = \sqrt{3}I_K^{(3)}Z_{1y} \cdot L_K$, где $I_K^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ, проходящий по фазе; Z_{1K} – сопротивление прямой последовательности фазы от места установки реле до точки К; L_K – расстояние до места КЗ; Z_{1y} – удельное сопротивление прямой последовательности фазы на 1 км.

Таблица 7.5

Реле фаз	U_p	I_p
AB	U_{ab}	$I_a - I_b$
BC	U_{bc}	$I_b - I_c$
CA	U_{ca}	$I_c - I_a$

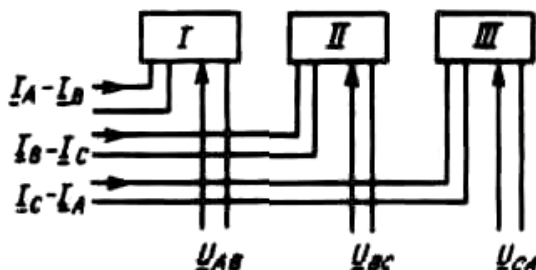


Рис. 7.14 Схема включения дистанционных органов от междуфазных КЗ.

Ток в каждом реле равен геометрической разности токов двух фаз, т. е. $I_p^{(3)} = \sqrt{3}I_K^{(3)}$ следовательно, сопротивление на зажимах каждого РС:

$$Z_p^{(3)} = U_p^{(3)} / I_p^{(3)} = \sqrt{3}U_K^{(3)} / \sqrt{3}I_K^{(3)} = Z_{1K} \quad (7.6)$$

При двухфазных КЗ, например между фазами В и С только один ДО, включенный на напряжение между поврежденными фазами В и С, получает напряжение, пропорциональное расстоянию L . Это напряжение равно падению напряжения в фазах В и С: $U_p^{(2)} = U_{BC} = 2I_K Z_{1K}$.

Ток $I_p = I_b - I_c = 2I_K$. Отсюда находим: $Z_p^{(2)} = U_p^{(2)} / I_p^{(2)} = 2I_K \cdot Z_{1K} / 2I_K = Z_{1K}$.

Можно показать, что и при двухфазных КЗ на землю $Z_p^{(1)} = Z_{1K}$.

Таким образом, при всех видах междуфазных КЗ сопротивление на зажимах реле равно сопротивлению прямой последовательности фазы Z_{1K} .

Включение дистанционных органов, реагирующих на однофазные КЗ

Дистанционные органы, предназначенные для определения удаленности мест однофазных КЗ, включаются по схеме с токовой компенсацией (рис. 7.15). Схема предусматривает три РС, каждое из которых включается согласно таблице 7.6 на напряжение U_ϕ и ток $I_\phi + k3I_0$.

Таблица 7.6

Реле фаз	U_p	I_p
А	U_a	$I_a + k3I_0$
В	U_b	$I_b + k3I_0$
С	U_c	$I_c + k3I_0$

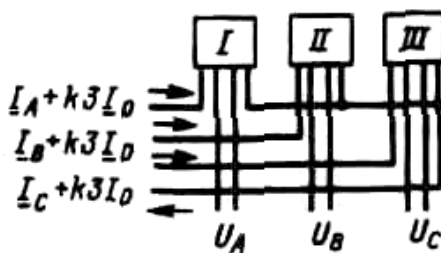


Рис. 7.15 Схемы включения дистанционных органов на ток $I_\phi + 3I_0$.

Коэффициент компенсации $k = (Z_0 - Z_1)/3Z_1$. При таком значении k сопротивление на зажимах реле при однофазных КЗ $Z_p = U_\phi / (I_\phi + k3I_0)$ получается равным сопротивлению прямой последовательности до места КЗ Z_1 . Следовательно, при включении по табл. 7.6 ИО реагирующего на однофазные КЗ, сопротивление Z на его зажимах получается таким же, как и у реле, реагирующих на междуфазные КЗ и включенных по табл. 7.5. В обоих случаях $Z_p = Z_1$.

Коэффициент компенсации задается постоянной величиной, однако его точное значение зависит от места КЗ и влияния смежных линий электропередачи.

Величина активного сопротивления задается отдельно для междуфазных и однофазных замыканий т.к. активное сопротивление в месте КЗ при однофазном замыкании существенно больше, чем при междуфазных КЗ.

Для одиночной линии без троса можно считать, что $Z_0 = 3.5Z_1$ поэтому $k = (3.5 - 1)/3 = 0.83$.

Если данная линия находится в зоне влияния других линий, по которым протекает ток КЗ, то на поврежденной линии наводится напряжение, которое либо совпадает по фазе и при этом увеличивается напряжение на поврежденной линии, а значит и замер сопротивления; либо в противофазе и напряжение, а также сопротивление уменьшается. Сопротивление связи между ВЛ называется сопротивлением взаимоиндукции, оно зависит от расстояния между проводами 2 ВЛ а также длиной участка на котором линии взаимодействуют. Напряжение нулевой последовательности рассчитываемой линии будет равно $U_{0.л} = I_0 X_0 + I_{01} X_{M1} + I_{02} X_{M2} + \dots$

К напряжению нулевой последовательности собственной линии добавляется напряжение влияющих линий равное падению напряжения от тока нулевой последовательности в сопротивлении взаимоиндукции между рассчитываемой и влияющей линией. При приближенном расчете необходимо учитывать направление тока в этой влияющей линии. Если ток совпада-

ет по направлению, напряжение складывается, если нет – то вычитается. Точный расчет требует учитывать фазу тока влияющей линии по сравнению с фазой рассчитываемой, т. е. влияющее напряжение нужно складывать геометрически. Разделив полученное напряжение $U_{0Л}$ на ток I_0 рассчитываемой линии, получим $Z_{0э}$ – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности. Коэффициент компенсации с учетом влияния определяется по формуле:

$$k = (Z_{0э} - Z_1) / 3Z_1 \quad (7.7)$$

где

$Z_{0э}$ – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности, с учетом влияния смежных линий, влияющих на расчет.

При нескольких влияющих линиях расчет коэффициента компенсации представляет сложную задачу. Его можно рассчитать на ЭВМ, используя упоминавшийся выше в п.1.6.1. «Комплекс программ расчета аварийных режимов в сложной электрической сети объемом до 3000 узлов V-VI-50» института Электродинамики НАН Украины.

Во всех случаях уставки коэффициентов компенсации рассчитываются по приведенной ниже формуле при однофазном металлическом ($R_{нep} = 0$) КЗ в конце защищаемой ВЛ без учета нагрузочного режима.

$$k = (U_{\phi} - Z_{1\phi}) / Z_{1Л} 3I_0 \quad (7.8)$$

Указанные данные берутся непосредственно из расчета на ПЭВМ.

Ниже приводится пример расчета коэффициента компенсации для часто встречающегося случая – одной цепи двучепной линии, в зависимости от состояния другой цепи.

Как видно из примера, коэффициент компенсации меняется по величине в зависимости от режима параллельной линии. В ряде защит, например: MiCOM P435, можно учесть ток параллельной линии, введя его в комплект защиты

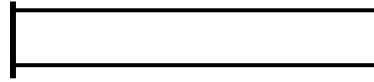
.Наличие в общем коридоре нескольких линий сильно усложняет расчеты. Учитывая отсутствие в настоящее время автоматизированных программ для таких расчетов, повидимому, целесообразно частично отказаться от применения ступеней дистанционной защиты от замыканий на землю. Предлагается такой вариант:

Контур замыкания на землю вводится на 1 и 2 ступенях, в остальных ступенях он не вводится, и применяются ступени токовой защиты от замыканий на землю, которые имеются в любом устройстве дистанционной защиты, расчет уставок этих защит с учетом влияния уже освоен. Таким образом, остается выбор 1 ступени и 2, для которых определить расчетный режим значительно проще.

2 цепи включены параллельно:

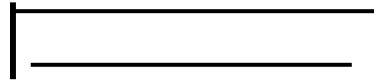
$$Z_{0Э} = Z_{0Л} + Z_M$$

$$k = (Z_{0Л} + Z_M - Z_1) / 3Z_1$$



2 цепь отключена:

$$Z_{0Э} = Z_{0Л} \quad k = (Z_{0Л} - Z_1) / 3Z_1$$



2 цепь отключена и заземлена:

$$Z_{0Э} = Z_{0Л} - Z_M^2 / Z_{0Л}$$

$$k = (Z_{0Л} - Z_M^2 / Z_{0Л} - Z_1) / 3Z_1$$

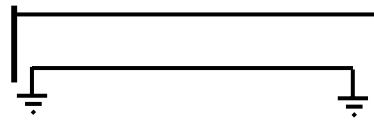


Рис. 7.16 Зависимость величины коэффициента компенсации от режима параллельной линии.

Характеристики срабатывания дистанционной защиты и их изображение на комплексной плоскости

Сопротивление является комплексной величиной, поэтому характеристики срабатывания РС $Z_{ср}(z_p, \varphi_p)$ и сопротивления на их зажимах Z_p удобно изображать на комплексной плоскости в осях R, jX (рис. 7.17). В этом случае по оси вещественных величин откладываются активные сопротивления R , а по оси мнимых величин – реактивные сопротивления X . Полное сопротивление на зажимах реле $Z_p = U_p / I_p$ может быть выражено через активные и реактивные составляющие в виде комплексного числа $Z_p = R_p + jX_p = Z_p e^{-j\varphi_p}$ и изображено в осях R, jX вектором с координатами R_p и jX_p (рис. 7.17, а). Величина этого вектора характеризуется модулем $|Z_p| = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$, а его направление – углом φ_p , который определяется соотношением X_p и R_p , поскольку $\operatorname{tg} \varphi_p = X_p / R_p$. На рис. 7.17, б видно, что угол φ_p равен углу сдвига фаз между векторами тока I и напряжения U , следовательно, можно считать, что на комплексной плоскости вектор I_p совпадает с осью положительных сопротивлений R , а напряжение U_p – с вектором Z_p .

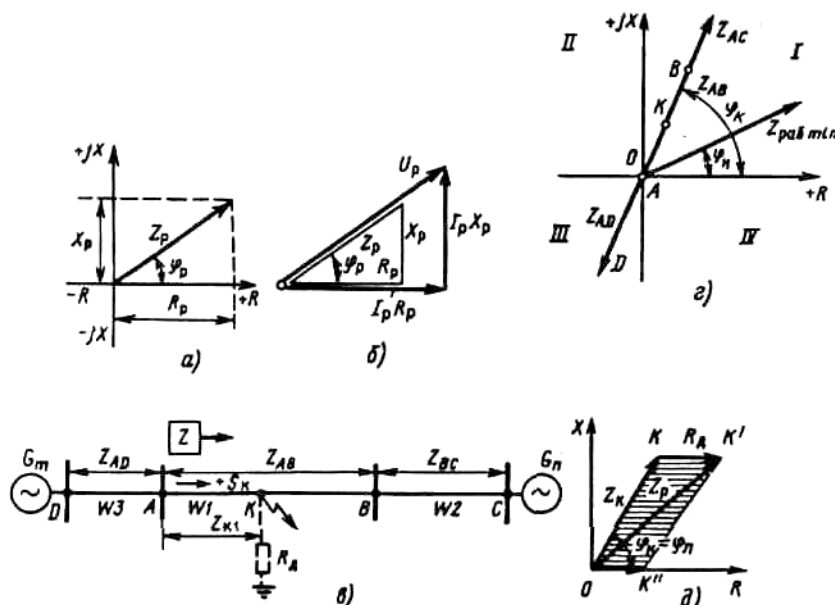


Рис. 7.17 Построение характеристик реле сопротивления на комплексной плоскости R, JX :

- а – изображение вектора Z_p ;
- б – треугольник сопротивлений;
- в, г – участок сети и его изображение в осях R, JX ;
- д – область сопротивлений Z_p при КЗ через сопротивление электрической дуги R_δ

Любой участок сети, например $W1$ (рис. 7.17, в) можно представить в осях R, JX вектором $Z_{AB} = Z_{w1}$, имея в виду, что каждая точка ЛЭП характеризуется определенными сопротивлениями R_{w1} и X_{w1} .

Если сопротивление всех участков сети имеет один и тот же угол $\varphi_L = \arctg X_L / R_L$, то их геометрическое место на комплексной плоскости изображается в виде прямой, смещенной относительно оси R на угол φ_L (рис. 7.17, г). Начало защищаемой ЛЭП, где установлена рассматриваемая ДЗ А, совмещается с началом координат (рис. 7.17, в, г). Координаты всех участков сети, попадающих в зону ДЗ А, считаются положительными и располагаются в I квадранте комплексной плоскости (рис. 7.17, г). Координаты участков сети, расположенные на рис. 7.17, в слева от точки А, считаются отрицательными и располагаются в III квадранте. Сопротивление линии W_1 показано на диаграмме отрезком АВ, W_2 – отрезком ВС и W_3 – отрезком АО. Сопротивление Z_K от места установки ДЗ до точки К изображено отрезком АК под углом $\varphi_K = \varphi_L$ к оси R (рис. 7.17, в, г). Если КЗ произошло через электрическую дугу, имеющую активное сопротивление R_δ , то сопротивление до места КЗ будет изображаться вектором AK' равным геометрической сумме векторов Z_K и R_δ (рис. 7.17, д):

$$AK' = Z_K + R_\delta$$

Исследования показали, что значение R пропорционально длине дуги L_δ , м, и тем меньше, чем больше ток КЗ:

$$R_\delta = KL_\delta / I_\delta$$

где K – постоянная величина, равная 1200–1500.

Графическое изображение характеристик срабатывания реле

Характеристики срабатывания РС выпуска ЧЭАЗ, изображенные на рис. 7.18, представляют собой геометрическое место точек, удовлетворяющих условию $Z_p = Z_{cp}$. Заштрихованная часть характеристики, где $Z_p < Z_{cp}$, соответствует области действия реле. При Z_p , выходящих за пределы заштрихованной части, т. е. при $Z_p > Z_{cp}$, реле не работает.

Характеристика срабатывания реле должна обеспечивать работу реле при КЗ в пределах принятой зоны действия (Z'). С учетом сопротивления электрической дуги вектор $Z_p = Z_K + R_d$ может располагаться при КЗ на защищаемом участке ЛЭП в пределах площади четырехугольника $ОКК'К''$ показанного на рис. 7.18, д. Действие реле при КЗ будет обеспечено, если характеристики срабатывания реле, показанные на рис. 7.18, будут охватывать область комплексной плоскости, в которой может находиться вектор сопротивления Z_p при КЗ на ЛЭП (площадь $ОКК'К''$ на рис. 7.18, д). Однако область срабатывания РС имеет ограничения: реле не должно действовать при сопротивлении нагрузки (при $Z_{p\text{рабmin}}$) и при качаниях. Для этого векторы $Z_{p\text{рабmin}}$ и $Z_{\text{кач}}$ должны располагаться за пределами области срабатывания реле, т. е. должно соблюдаться условие $Z_{cp} < Z_{p\text{рабmin}}$ и по возможности $Z_{cp} < Z_{\text{кач}}$.

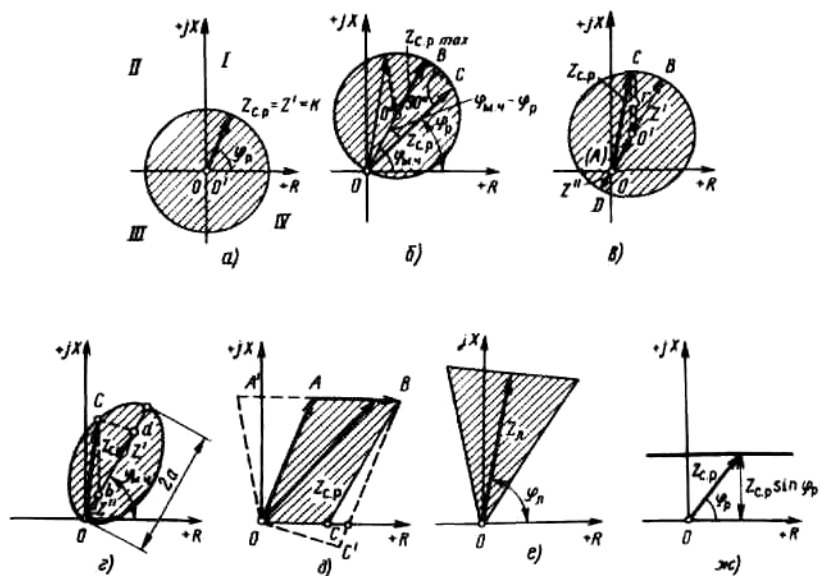


Рис. 7.18 Характеристики срабатывания реле сопротивления

Ненаправленное реле полного сопротивления (рис. 7.18, а). Характеристика этого реле имеет вид окружности с центром в начале координат и радиусом, равным K . Реле работает при $Z_p \leq K$ при любых углах φ_p между вектором Z_p и осью R . Характеристика срабатывания РС выражается уравнением

$$Z_{cp} = K \quad \text{где } K - \text{постоянная величина.}$$

Зона действия реле расположена в четырех квадрантах, в том числе в I и III. Реле с характеристикой, изображенной на рис. 7.17, а, работает как ненаправленное РС.

Направленное реле полного сопротивления имеет Z_{cp} , зависящее от угла φ_p (рис. 7.18, б). Его характеристика срабатывания изображается окружностью, проходящей через начало координат. Сопротивление срабатывания имеет максимальное значение при $\varphi_p = \varphi_{мч}$, где

$\varphi_{мч}$ - угол максимальной чувствительности реле, при котором $Z_{cp} = Z_{cp\max}$, т. е. равен диаметру окружности 0В.

Зависимость срабатывания этого реле от угла φ_p может быть представлена уравнением:

$$Z_{cp} = Z_{cp\max} \cdot \cos(\varphi_{мч} - \varphi_p)$$

Реле не работает при Z_p , расположенных в III квадранте. Это означает, что оно не может действовать, если мощность направлена к шинам подстанции. Следовательно, рассмотренное реле является направленным. Направленное РС имеет "мертвую зону" при повреждениях в начале защищаемой ЛЭП.

Реле с круговой характеристикой, смещенной относительно начала координат. На рис. 7.18, в показана характеристика, смещенная в III квадрант на расстояние Z'' . Такое реле рассчитано на работу при КЗ на защищаемой линии W_1 (рис. 7.17, в) и включает в зону своего действия питающие эту ЛЭП шины и часть длины (пропорциональную Z'') других отходящих от шин ЛЭП (на рис. 7.17, в это шины А и часть ЛЭП W_3). Уравнение смещенной характеристики в векторной форме имеет вид

$$(Z' - Z'')/2 = Z_{cp} - (Z' - Z'')/2 = 0$$

Для дистанционных органов второй и третьей ступеней находят применение реле с характеристикой, смещенной в сторону I квадранта. Такая характеристика позволяет увеличить зону действия и улучшить отстройку от нагрузки.

Реле с эллиптической характеристикой. На рис. 7.18, г изображена характеристика направленного реле, имеющая вид эллипса. Сопротивление срабатывания такого реле Z_{cp} зависит от угла φ_p и имеет наибольшее значение при $\varphi_p = \varphi_{мч}$. Угол $\varphi_{мч}$, как и в предыдущем случае, равен φ_{λ} . Сопротивление $Z_{cp\max}$ равно большой оси эллипса $2a$. Как известно, эллипс является геометрическим местом точек, сумма расстояний которых до фокусов b и d постоянна и равна большой оси $2a$. На основании этого, обозначая координаты фокусов b и d , Z' и Z'' , а координаты любой точки C эллипса Z_{cp} , получаем уравнение эллиптической характеристики

$$|Z_{cp} - Z'| + |Z_{cp} - Z''| = 2a$$

По сравнению с круговой характеристикой эллиптическая характеристика имеет меньшую рабочую область. Это дает возможность лучше отстроить реле от качаний и перегрузок, но ухудшает чувствительность при КЗ через переходное сопротивление $R_{пер}$.

Реле с характеристикой в виде многоугольника. Подобная характеристика направленных РС, имеющая форму четырехугольника, показана на рис. 7.18, д. Сопоставляя эту характеристику с площадью $OKK'K''$ на рис. 7.18, д. можно установить, что четырехугольная характеристика реле в большей мере, чем другие характеристики, совпадает с контуром области расположения векторов Z_p при КЗ и является с этой точки зрения наиболее рациональной.

Пунктиром показан вариант характеристики OA' и BC' , предусматривающий расширение зоны реле для обеспечения его действия при двустороннем питании КЗ через переходное сопротивление.

На рис. 7.18, е показана характеристика, имеющая форму треугольника, применяемая для третьей зоны ДЗ. Она позволяет отстроиться от Z_p при больших значениях тока нагрузки

$I_{\text{раб max}}$, чему соответствует минимальное значение $Z_{\text{раб min}} = 0,9U_{\text{ном}} / I_{\text{раб max}}$, и допускает срабатывание РС при значительном переходном сопротивлении $R_{\text{пер}}$ в случае удаленных КЗ.

Реле реактивного сопротивления срабатывает при $X_{\text{ср}} = -Z_{\text{ср}} \cdot \sin \varphi_p$, $X_{\text{ср}} = K$, где K – постоянная величина. Характеристика таких РС изображается прямой линией, параллельной оси X (рис. 7.18, ж), отстоящей от нее на расстоянии $X_{\text{ср}} = K$.

Характеристики микропроцессорных дистанционных защит

Микропроцессорная дистанционная защита работает при всех видах повреждения, измеряя при междуфазных коротких замыканиях разность фазных токов и линейное напряжение. При однофазном коротком замыкании реле измеряет фазный ток и фазное напряжение. Сопротивление при однофазном замыкании значительно больше, чем при междуфазном $X_0 = 3,5X_1$. Кроме этого, в проводе, в котором возникло короткое замыкание, наводится напряжение от тока, протекающего в других линиях, находящихся в зоне влияния. В защите все это учитывается коэффициентом компенсации. При однофазном замыкании реле измеряет величину $Z_{\text{pg}} = V_{\text{pg}} / (I_p + K_g I_n)$. К фазному току добавляется ток нулевой последовательности, умноженный на коэффициент компенсации. Поскольку ток в смежных линиях может не совпадать по фазе с током на поврежденной линии, коэффициент компенсации представляет собой комплексную величину, должны быть рассчитаны величина и угол компенсации. Дистанционная защита учитывает что, короткое замыкание может быть через дугу, имеющую активное сопротивление. Это сопротивление учитывается расширенной характеристикой защиты. Величина сопротивления дуги зависит от величины тока и длины дуги. При замыкании на землю ток меньше, а длина дуги значительно больше. Поэтому и сопротивление дуги значительно больше. Уставки по активному сопротивлению защиты стараются выполнить по возможности большими, отстроив их от активного сопротивления нагрузки.

Дистанционная защита PD-532 или MiCOM P433-P439 фирмы ALSTOM может быть выполнена с круговой характеристикой или прямоугольной.

Защита с круговой характеристикой малоэффективна, поэтому ее применение может быть рекомендовано для резервной защиты шин 6-35 кВ с кабельными линиями. В таких случаях угол нагрузки и угол КЗ близки друг к другу. При таких напряжениях значительное влияние на ток КЗ оказывает активное сопротивление электрической дуги. Улучшить чувствительность в этом режиме помогает дуговая компенсация, которая расширяет характеристику при близких КЗ.

В случае применения дуговой компенсации задается угол « δ », определяющий начальную точку для построения дуги (пунктирная линия с точками).

$$Z_{\text{откл}} = Z(1 + \sin \delta)$$

где

угол « δ » показан на рисунке.

Выбирается направленность защиты.

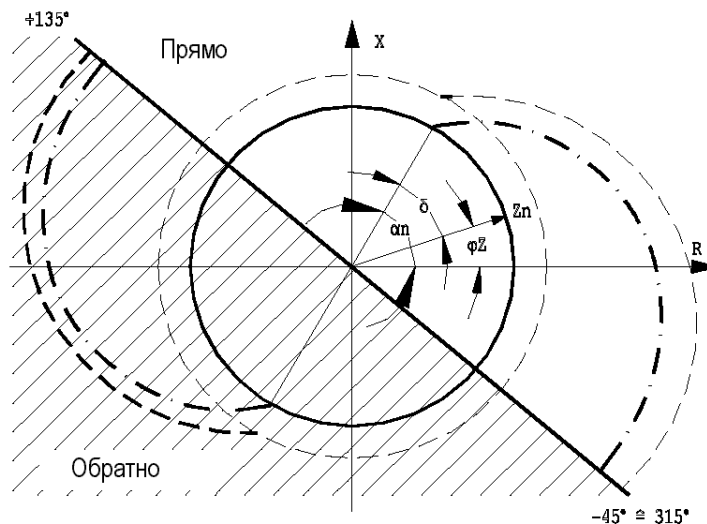


Рис.7.19 Пример круговой характеристики для PD 532 $n = 1 \div 4$; $\alpha = 60^\circ$

Пунктирная линия ограничивает зону расширения (коэффициент расширения – K_{ze}).

Круговая характеристика срабатывания ДЗ с «дуговой» компенсацией

Защита с многоугольной характеристикой более эффективна на длинных линиях высокого напряжения, где влияние активного сопротивления дуги меньше сказывается.

Характеристика работы представлена на рис. 7.20, где

X_n – реактивное сопротивление;

R_n – активное сопротивление для петли «фаза – фаза» или «фаза – земля»;

α_n – угол характеристики (угол максимальной чувствительности);

σ_n – угол, показанный на рисунке.

Активные сопротивления для петель «фаза – фаза» (R_n , PP) и «фаза – земля» (R_n , PG) задаются отдельно для каждой зоны. Ширина характеристики самой чувствительной ступени (R_n) определяется условиями отстройки от активной нагрузки линии.

Выбирается направленность защиты.

Расчет уставок для случая КЗ на землю производится с применением коэффициента K_g , который учитывает большую величину сопротивления дуги и переходного сопротивления при замыканиях на землю.

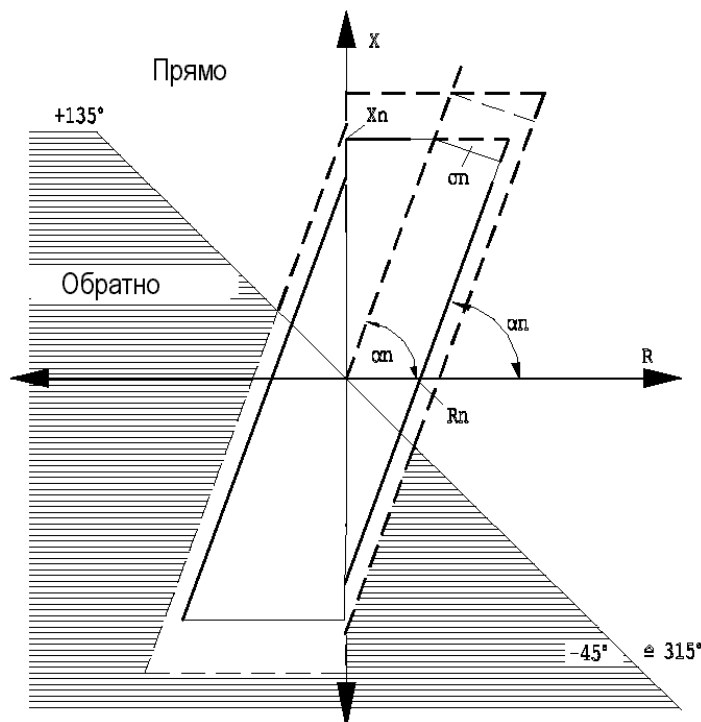


Рис. 7.20 Пример прямоугольной характеристики для PD 532, MiCOM серии P430.

Пример: $X_n = 6,5 \, \Omega$; $R_n = 2,0 \, \Omega$; $\alpha_n = 70^\circ$; $\sigma_n = -20^\circ$; $n = 1 \div 4$

Зона расширения: $k_{ze}=1,2$ (расширение 1-ой зоны).

В отличие от реле серии MiCOM P440 и реле PD 532, MiCOM серии P430 имеют отдельный пусковой орган. Он может быть выполнен по току и напряжению, или по сопротивлению, в последнем случае имеется возможность улучшить отстройку защиты от нагрузки за счет выреза характеристики защиты в зоне нагрузки (рис. 7.21).

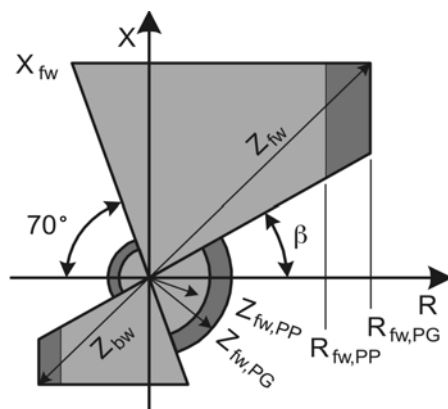


Рис.7.21 Характеристика пускового органа сопротивления защиты серии MiCOM P433 – P439.

Устанавливаемые параметры:

Реактивное сопротивление X_{fw} fw = в сторону линии

Активное сопротивление $R_{fw,PP}$ и $R_{fw,PG}$ bw = в сторону шин

Полное сопротивление $Z_{fw,PP}$ и PP = контур фаза-фаза
 $Z_{fw,PG}$

Угол нагрузки β PG = контур фаза-земля

Коэффициент границы зоны Z_{bw}/Z_{fw} fw = в сторону линии

Базисный ток линии $I>$

Характеристики дистанционной защиты MiCOM P 440

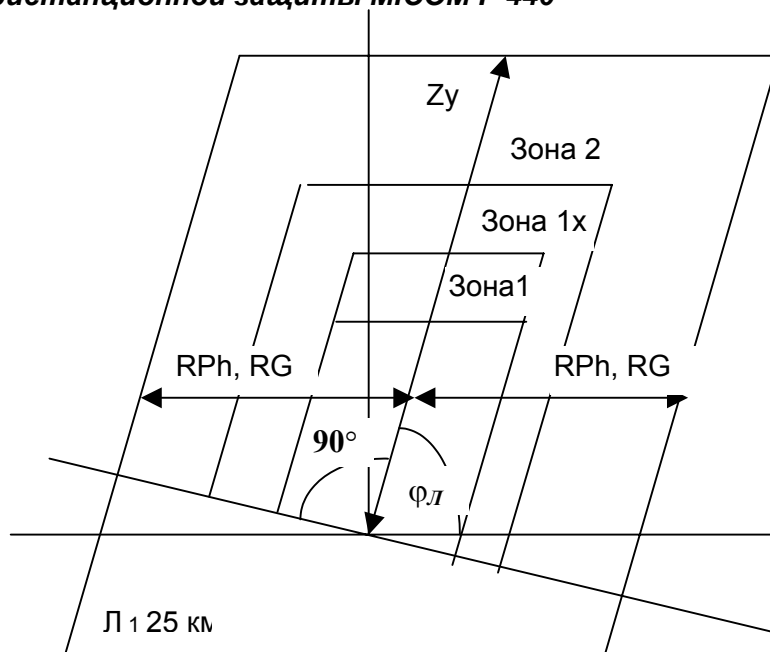


Рис. 7.22 Характеристики дистанционной защиты серии MiCOM P440.

Кроме изображенных на рисунке зон, имеется еще одна 5, программируемая зона "Р", которая может быть направлена либо вперед либо назад.

Для каждой ступени защиты должны быть заданы: угол линии – ϕ_L , полное сопротивление срабатывания – Z , активное сопротивление при междуфазных КЗ – RPh , активное сопротивление при замыканиях на землю – RG , коэффициент компенсации при замыканиях на землю KZ – величина и фаза.

7.5. УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ДЛЯ ВЛ 110-220 кВ

Устройства защиты фирмы ALSTOM

Дистанционная защита MiCOM P433 - P439 имеет 6 ступеней. Устройство имеет также четырехступенчатую защиту от замыканий на землю и четырехступенчатую токовую защиту обратной последовательности. Они могут быть выполнены направленными. Для MiCOM P433, P439, может быть использована схема ускорения защиты по ВЧ каналу. Среди возможных способов ускорения по ВЧ каналу, имеется способ ускорения для режима слабого питания (тупиковый режим).

Устройство MiCOM P439 имеет жидкокристаллический графический дисплей, на котором может быть изображена мнемосхема ячейки с разъединителями и заземляющими ножами, и

может управлять до 6 аппаратами. Поэтому, область применения такой защиты - ячейки с дистанционным управлением разъединителями и заземляющими ножом, например КРУЭ.

Защита MiCOM P441 работает при междуфазных коротких замыканиях и при замыканиях на землю и имеет 5 ступеней ДЗ. Устройство имеет также трехступенчатую защиту от замыканий на землю и четырехступенчатую максимальную токовую защиту от междуфазных коротких замыканий. Она может быть выполнена направленной и применена, в каких то режимах, взамен дистанционной защиты. Может быть также использована схема ускорения защиты по ВЧ каналу. Среди возможных способов ускорения по ВЧ каналу, имеется способ ускорения для режима слабого питания.

В серии MiCOM имеется набор дифференциальных защит линии MiCOM P540. Может быть применено устройство MiCOM P541, если не нужно АПВ, или если выполнить АПВ на резервной дистанционной защите, MiCOM P542 имеет четырехкратное АПВ. Перечисленные защиты могут работать по проводному или оптоволоконному каналу. Имеется также дифференциально-фазная защита MiCOM P547 которая работает по ВЧ каналу. Принцип ее действия похож на широко применяемые в СНГ защиты ДФЗ-201, и они работают со стандартными ВЧ приемопередатчиками ПВЗ. Все эти устройства могут быть применены в качестве основной защиты, а в качестве резервной применяются вышеупомянутые дистанционные защиты P433-P439, P441.

Как и ранее, на воздушных линиях должно быть предусмотрено АПВ. В данном случае, АПВ обычно выполняется однократным, чтобы не увеличивать объем повреждения на линии, так как даже при однократном включении линия включается от АПВ два раза (с двух сторон).

Для того чтобы обеспечить селективную защиту с небольшими выдержками времени, особенно на коротких линиях, необходимо применить четырехступенчатую защиту, уставки которой выбираются следующим образом: 1 ступень отстраивается от КЗ в конце линии, 2 ступень согласовывается с первой ступенью параллельной линии в каскаде и первой ступенью смежной линии. 3 ступень согласовывается со вторыми ступенями этих ВЛ. При согласовании защит со смежной линией, учитывается режим одна с двумя: на первом участке – 1 ВЛ на втором участке – 2, что существенно загроубляет защиту. Эти три ступени защищают линию, а 4 ступень резервирует смежный участок. Имеющуюся пятая ступень направлена к шинам и может обеспечить защиту шин, или резервирование смежных участков линии. При согласовании защит по времени учитывается время действия УРОВ, что увеличивает выдержки времени согласуемых защит на время действия УРОВ. При выборе уставок защиты они должны быть отстроены от суммарной нагрузки двух линий, так как одна из параллельных ВЛ может отключиться в любой момент, и вся нагрузка будет подключена к одной ВЛ. Кроме этого, возможен наброс нагрузки на линию при размыкании транзита в удаленной точке, или отключении генерации.

Устройство дистанционной защиты MiCOM P433-P435 работает при междуфазных коротких замыканиях и при замыканиях на землю и имеет 6 ступеней. В состав защиты входят четырехступенчатые защиты от замыканий на землю и междуфазных коротких замыканий.

На воздушных линиях должно быть предусмотрено АПВ. В данном случае, АПВ обычно выполняется однократным, чтобы не увеличивать объем повреждения на линии, так как даже при однократном включении линия включается от АПВ два раза (с двух сторон). Устройство АПВ может быть выполнено с контролем синхронизма с какой то стороны, для чего на линии должен быть установлен ТН.

Рекомендуется применять следующие устройства защиты:

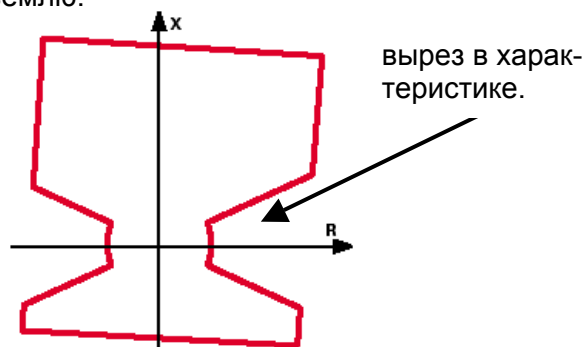
1. Набор из двух дистанционных защит MiCOM P441, или P435 с ВЧ каналом.

Примечание: аппаратура для передачи сигнала отключения по ВЧ или другому каналу может быть использована любой фирмы, в том числе и выпускаемые на Украине ВЧ постам ПВЗ, АНКА-АВПА, АКПА.

2. Набор дистанционной защиты MiCOM P435, P441 и продольной дифзащиты MiCOM P541, P542.
3. Набор дистанционной защиты MiCOM P435, P441 и продольной диффазной защиты MiCOM P547.

Устройства защиты фирмы GE

Предлагаются 2 дистанционных защиты: более простая D30 и D60. Защита D30 имеет 3 ступени а D60 - 4 ступени дистанционной защиты от междуфазных замыканий и замыканий на землю.



Обе защиты имеют дополнительно 4 ступени направленной токовой защиты по фазному току, току обратной и нулевой последовательности. Имеется блокировка при качаниях и АПВ. Защита может иметь круговую, эллиптическую или прямоугольную характеристику. Четырехугольная характеристика может иметь вырез при углах нагрузки (см. рис.7.23) , что позволяет ей отстроится от тока нагрузки и иметь высокую чувствительность к коротким замыканиям. Защита может ускоряться с использованием стандартной ВЧ аппаратуры, например: ПВЗ или АКПА.

В качестве основной защиты для транзитных линий предлагается продольная дифференциальная защита линии L90 и дифференциально - фазная защита L60. Обе защиты могут работать по проводному и оптоволоконному каналу. Защита L60 может работать по высокочастотному каналу, с использованием стандартных для СНГ высокочастотных приемопередатчиков, например: ПВЗ.

Устройства защиты фирмы ABB

Для линий 110-220В предлагаются устройства защиты типа REL 500. Аппаратура ABB отличается значительным объемом функций, которые в принципе не умещаются в устройстве. Поэтому необходимые функции определяются при заказе. Предоставляется широкие возможности по разработке логики защиты (ранжированию). REL 521 является более совершенной модификацией защиты REL 511 с примерно одинаковым набором функций, но расширенными возможностями.

Защиты включают:

Дистанционную защиту от всех видов замыканий с общим критерием повреждения и пятью независимыми ступенями для отключения многофазных замыканий и замыканий на землю. Защиты имеют четырехугольную характеристику с вырезом в зоне наибольших нагрузок.

Четырехступенчатую токовую направленную защиту нулевой последовательности для отключения замыканий на землю,

Библиотеку дополнительных базовых функций защиты, автоматики, блокировок и конфигурируемых логических схем.

Наличие функции определения места повреждения.

Набор функций управления.

Возможность заказа дополнительных функций, (в том числе функций АПВ и контроля синхронизма для схем с двумя выключателями, УРОВ).

Возможность ускорения защиты по проводному, оптоволоконному или высокочастотному каналу.

Защиты фирмы SIEMENS.

Дистанционные защиты 7SA511, 513 имеют 5 ступеней дистанционной защиты от междуфазных коротких замыканий и замыканий на землю с прямоугольными характеристиками срабатывания см. рис.7.24. Устройство 7SA513 реализует различные дополнительные функции, обычно требуемые для выполнения защиты и автоматики присоединения (ступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ и замыканий на землю, АПВ, ОМП, защита от перенапряжения и т. д.), функцию определения места повреждения на линии электропередачи. Имеется:

- компенсация токов параллельной линии при выполнении дистанционных измерительных органов и определении расстояния до места повреждения, логика приема/передачи телесигналов по каналу связи (нормально-присутствующих / отсутствующих, блокирующих / разрешающих);
- блокировка от качаний и/или отключение электропередачи при потере устойчивости (два органа полного сопротивления: “чувствительный” и “грубый” для идентификации качаний, измерение и контроль скорости изменения сопротивления);
- защита от повышения /понижения напряжения;
- однофазное и/или трехфазное автоматическое повторное включение (АПВ), одно- или многократное, свободно программируемое. Контроль синхронизма при АПВ и включении линии под нагрузку;
- защита от повреждения выключателя (УРОВ);

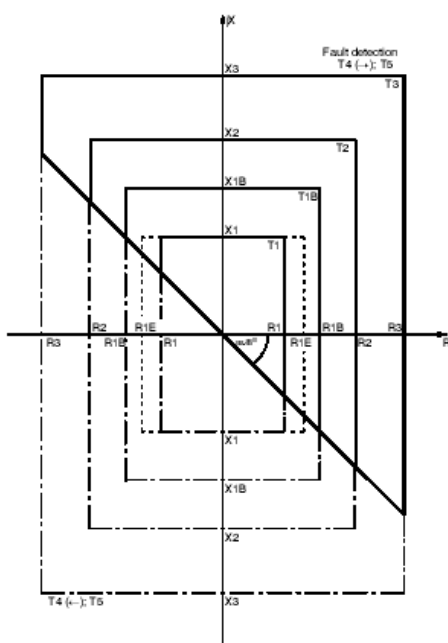


Рис. 7.24. Характеристика дистанционной защиты 7SA513.

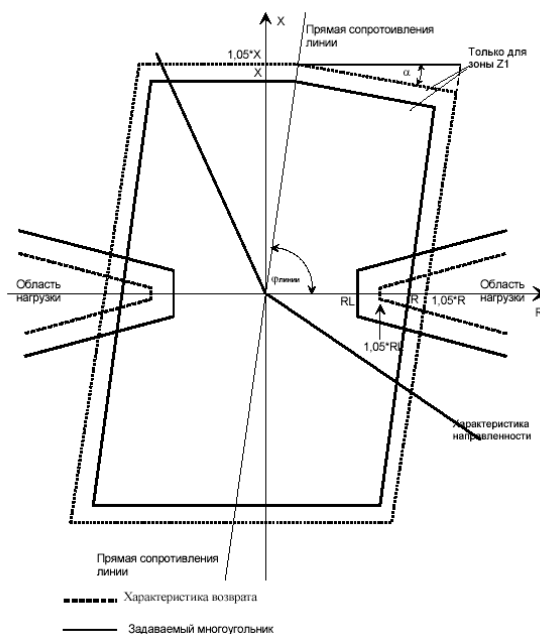


Рис. 7.25. Многоугольная характеристика дистанционной защиты 7SA522.

Дистанционная защита 7SA522 имеет по заказу либо многоугольные (рис. 7.25) либо круговые (рис.7.26) характеристики. Имеется вырез характеристики в зоне максимальных нагрузок.

Используются

- шестисистемные дистанционные измерительные органы;
- 6 дистанционных ступеней, направленных “вперед” или “назад”, одна из ступеней используется в качестве управляемой ступени;
- 9 ступеней выдержки времени для дистанционных ступеней;
- обнаружение качаний с помощью контроля скорости изменения (dZ/dt) и анализа годографа сопротивления;
- максимальная токовая направленная ступенчатая защита от замыканий на землю имеет 3 независимые ступенями и одну зависимую.

- автоматическое повторное многократное включение (АПВ) после однофазного отключения (ОАПВ), трехфазного отключения (ТАПВ), одно-трехфазного отключения (ОАПВ/ТАПВ);

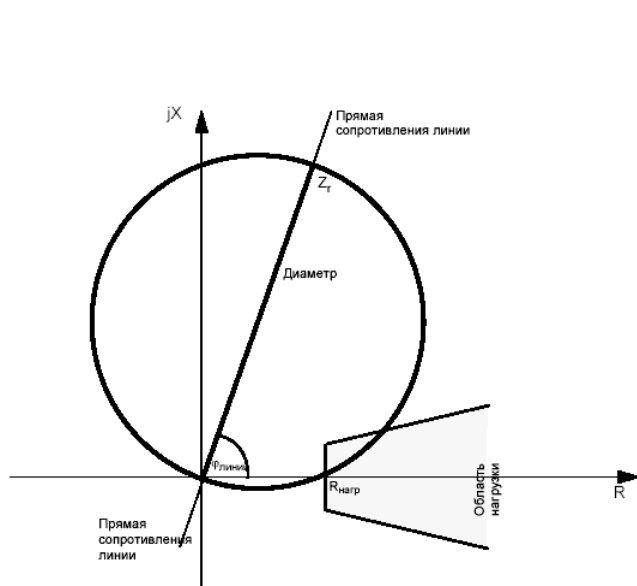


Рис. 7.26. Круговая характеристика дистанционной защиты 7SA522.

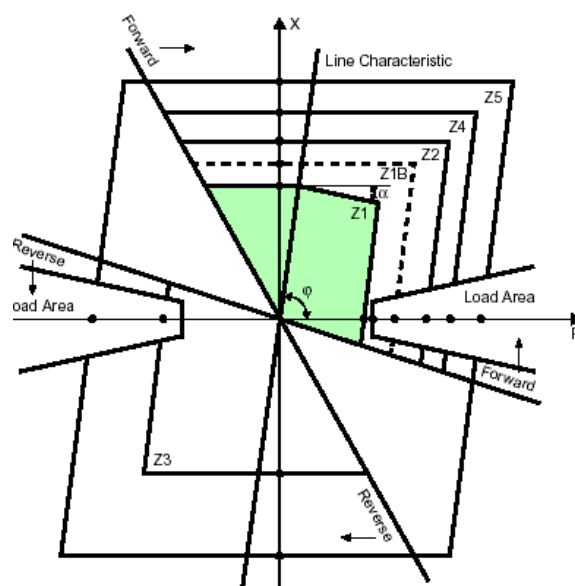


Рис. 7.27. Полигональная характеристика дистанционной защиты 7SA6__.

Семейство дистанционных защит серии 7SA 600 отличается друг от друга количеством входов выходов и соответственно размерами: последняя цифра 0 размер 1/3; 1 - размер 1/2, 2 – 1/1 –полный размер 19". Вторая цифра определяет тип дисплея: 1 - четырехстрочный буквенно-цифровой, 2 – графический, 3 - графический и возможность местного управления разъединителями и заземляющими ножами. Электрические характеристики всех устройств одинаковые. Наиболее существенными отличиями этой защиты от предыдущих, является широкие возможности программирования логики защиты, управления несколькими аппаратами в ячейке, программирование графической схемы присоединения. Электрические характеристики всех устройств одинаковые:

- 6 зон дистанционной защиты, одна из них является управляемой, полигональные характеристики защиты показаны на рис.7.27;
- блокировка от качаний путем измерения скорости изменения вектора полного сопротивления и анализа годографа;
- резервная максимальная токовая защита: 2 степени с независимой временной характеристикой / 1 степень с инверсной временной характеристикой от междуфазных КЗ и замыканий на землю;
- максимальная токовая защита с независимой и зависимой временной характеристикой;
- токовая отсечка при включении на повреждение;
- защита от повышения напряжения 2 степени;
- защита от понижения напряжения 2 степени;
- защита при отказе выключателя УРОВ:
 - автоматическое повторное многократное включение (АПВ) после однофазного отключения (ОАПВ), трехфазного отключения (ТАПВ), одно-трехфазного отключения (ОАПВ/ТАПВ);

Дистанционные защиты фирмы SEL

Фирма SEL предлагает 3 модификации дистанционной защиты разной степени сложности:

SEL 311A имеет 2 степени дистанционной защиты от междуфазных КЗ и замыканий на землю с круговыми характеристиками направленными вперед;

SEL 311В имеет еще одну реверсивную ступень дистанционной защиты;
SEL 311С имеет 2 ступени дистанционной защиты от междуфазных КЗ и замыканий на землю с четырехугольными и круговыми характеристиками направленными вперед 2 реверсивных ступени с такими же характеристиками.
Защиты имеют также дополнительные ступени токовой направленной защиты от междуфазных КЗ и замыканий на землю - соответственно по 1, 3 и 4.
Защиты модификации В и С имеют четырехкратное АПВ.

Ускорение защиты по ВЧ каналу

Уставка 1 зоны обычно устанавливается ниже 100 % длины линии, чтобы избежать срабатывания на ВЛ, отходящих от смежных подстанций. Защитное телеускорение расширяет область влияния защиты до 100%, посредством сигнала, переданного с другой подстанции (другого конца линии).

Защитное отключение может работать, используя одну из следующих схем:

- Прямая передача команды отключения (прямое отдаленное отключение).
- Разрешение срабатывания ступени с выдержкой времени со стороны, где не сработала 1 ступень.
- Расширение 1 зоны на всю длину линии.

Имеется значительное количество разновидностей этих принципов.

С помощью указанных способов можно обеспечить отключение коротких замыканий на всем протяжении линии без выдержки времени.

Имеется 2 главных принципа взаимодействия защит между собой: разрешающий и блокирующий. Для срабатывания защиты с разрешающим импульсом требуется приход команды по каналу с противоположной стороны. Пример: ускорение защиты по ВЧ каналу на аппаратуре АКПА. При применении такого принципа с ВЧ каналом по защищаемой линии следует учитывать, что разрешающий сигнал может проходить через место короткого замыкания, вносящее большое затухание сигнала. Поэтому должен иметься большой запас по затуханию ВЧ сигнала (для аппаратуры АКПА – 23-28 дБ). Должно быть 2 канала для передачи сигнала с каждого конца на противоположный. Аналог такой защиты: широко применяемое в СНГ в качестве второй быстродействующей защиты телеускорение резервной защиты на аппаратуре АНКА, АКПА. Защита, работающая на блокирующем принципе, срабатывает, если отсутствует блокирующий сигнал. Блокирующий сигнал создает полуконтакт, для которого короткое замыкание является внешним (используется направленный к шинам пусковой орган). При отсутствии такого сигнала на каждом конце, защита срабатывает, если срабатывает пусковой орган, направленный в линию. ВЧ сигнал передается только при внешнем КЗ, а значит он не передается через место повреждения. Поэтому запас по затуханию канала может быть меньшим (12-18 дБ). Все передатчики и приемники подсоединяются к одному каналу. Аналог такой защиты в СНГ – защита с ВЧ блокировкой, например: ПДЭ-2802.

Такие возможности предоставляет дистанционная защита любой из перечисленных фирм, совместно с которой можно применить кроме проводного (оптоволоконного) канала ВЧ аппаратуру применяемую в СНГ: ВЧ посты ПВЗ и аппаратуру АКПА.