МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭНЕРГОСИСТЕМ

ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОВЕРКЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭНЕРГОСИСТЕМ

ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОВЕРКЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

(Издание второе, дополненное и переработанное)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

СОСТАВЛЕНО БЮРО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОРГРЭС

Авторы: инженеры **Н. В. Виноградов, В. А. Семенов, Н. Ф. Шибенко**

Редактор инж. **М. А. Беркович**

УДК 621.316.925.2.004(083.96)

Редактор *Л. В. Копейкина* Техн. редактор *Т. Г. Усачева*

Сдано в набор 3/III 1966 г. Подписано к печати 14/VI 1966 г.
Т-07163 Бумага типографская № 1 84×108¹/₃₂ Печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 3,89
Тираж 22 900 экз. Цена 21 коп. Заказ. 2277

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проверка правильности включения реле направления мощности током нагрузки и рабочим напряжением является одной из наиболее ответственных операций при включении в работу направленных защит. Этот этап завершает проверку защиты и дает окончательное представление о правильности включения реле направления мощности.

В настоящей инструкции рассмотрены способы проверки реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения в схемах направленных токовых и поперечных дифференциальных защит, реле направления мощности, включенных на ток и напряжение нулевой и обратной последовательности, и реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией.

Угловые характеристики реле направления мощности и схемы их включения рассмотрены в объеме, необходимом для правильного включения реле при монтаже и при проверке их током нагрузки и рабочим напряжением.

Настоящая инструкция является вторым, переработанным и дополненным изданием «Инструкции по проверке правильности включения реле направления мощности», Госэнергоиздат, 1960 (авторы: М. А. Беркович, Н. В. Виноградов, В. А. Семенов и Н. Ф. Шибенко). Из инструкции исключены сведения по реле старых типов: ИМ-141, ИМ-142, ИМ-148 и др., но она дополнена материалами по новым реле мощности типов РБМ, РМП, РМОП, выпущенным промышленностью в последние годы.

Часть рисунков переработана в соответствии с новым ГОСТ, добавлены новые рисунки. Уточнен ряд формулировок и добавлены некоторые пояснения и сведения о способах проверок новых реле.

Принципиальные изменения в методику проверки и инструктивные указания не вносились. Поэтому первое издание инструкции остается действующим наряду с настоящим изданием.

УТВЕРЖДАЮ
Зам. начальника Технического управления по эксплуатации энергосистем, главный специалист-электрик

П. И. Устинов

Раздел первый

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОВЕРКЕ РЕЛЕ

Для определения направления мощности при коротких замыканиях и ненормальных режимах в схемах релейной защиты и автоматики применяются реле направления мощности.

Эти реле делятся на реле с поляризацией от напряжения, к одной из обмоток которых подводится напряжение, а к другой — ток, и реле с токовой поляризацией, к обеим обмоткам которых подаются токи.

Наряду с реле направления мощности в схемах автоматики применяются реле активной и реактивной мощности, которые срабатывают, когда передаваемая мощность имеет не только определенное направление, но и превышает уставку реле. Правильность включения этих реле проверяется так же, как и реле направления мощности.

Если к реле направления мощности подключить цепи от трансформаторов тока и напряжения с учетом полярности их обмоток, а также полярности обмоток самого реле, то при повреждениях в первичной сети реле направления мощности будут действовать правильно.

Однако при монтаже, а также при определении полярности обмоток трансформаторов тока и напряжения и самих реле возможны ошибки. Поэтому перед включением новых защит или реле, а также после работ, связанных с отсоединением или переключением монтажных проводов в первичных или вторичных цепях измерительных трансформаторов, на панелях защиты или в самих реле, необходимо проверить правильность включения реле направления мощности, т. е. убедиться в том, что реле при коротких замыканиях и ненормальных режимах в первичной сети будет действовать так, как это предусмотрено в схеме по принципу действия релейной защиты или автоматики.

Проверка правильности включения реле направления мощности производится током нагрузки и рабочим напряжением. Такая проверка является наиболее полноценной, так как ток и напряжение подаются к реле из первичной цепи через измерительные трансфор-

маторы, питающие защиту, что соответствует действительным условиям работы реле.

Перед проверкой цепи защиты и питающих ее трансформаторов тока и напряжения должны быть полностью соединены, а измерение вторичных токов и снятие векторных диаграмм следует производить без отсоединения цепей токоизмерительными клещами или измерительными приборами с включением их при помощи измерительных зажимов или испытательных блоков.

Схемы включения реле направления мощности обеспечивают правильное действие при всех видах коротких замыканий. Поэтому если схема защиты выполнена с постоянным подводом цепей тока и напряжения к реле направления мощности, то достаточно произвести проверку действия реле в условиях, соответствующих какому-либо одному виду короткого замыкания.

В схемах, где цепи тока или напряжения, подводимые к реле направления мощности, переключаются при действии защиты, проверка действия реле должна производиться для каждого возможного сочетания подводимых токов и напряжений.

Действие двухфазных и трехфазных реле, в которых совмещено два или три однофазных элемента, воздействующих на одну и ту же подвижную систему, проверяется при поочередной подаче тока и напряжения в каждый элемент.

Проверка правильности включения реле направления мощности током нагрузки и рабочим напряжением выполняется по этапам в следующем порядке:

а) проверяется исправность и правильность подключения цепей напряжения;

б) снимается и строится векторная диаграмма токов, проверяется исправность и правильность подключения токовых цепей;

в) имитируются аварийные условия с помощью тока нагрузки и рабочего напряжения и производится наблюдение за действием реле;

г) на угловой характеристике реле производится построение линии изменения знака вращающего момента и определяются зона работы и зона заклинивания *, которые должно иметь проверяемое реле для того, чтобы правильно действовать при коротком замыкании на защищаемом присоединении;

д) производится анализ правильности включения реле.

2. УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

Величина и направление (знак) вращающего момента на подвижной системе реле направления мощности зависят от угла фазового сдвига $\varphi_р$ между током $I_р$ и напряжением $U_р$, подводимыми к обмоткам реле, и от их величины.

---

* Здесь и в дальнейшем под зоной работы понимается та область угловой характеристики реле, в пределах которой вращающий момент на подвижной системе реле обеспечивает его срабатывание (реле переключает свои контакты). *Под зоной заклинивания подразумевается область угловой характеристики*, в пределах которой вращающий момент на подвижной системе реле препятствует его срабатыванию (реле не переключает свои контакты, его подвижная система остается в том же положении, как и у обесточенного реле).

Зависимость вращающего момента на подвижной системе реле от угла между током и напряжением при неизменных величинах тока и напряжения выражается угловой характеристикой:

$$M_{вр}=f(\varphi_р) \text{ при } I_р=\text{const и } U_р=\text{const}. \quad (1)$$

Угловую характеристику принято изображать графически как зависимость напряжения срабатывания реле от угла между током и напряжением при неизменной величине тока, т. е.

$$U_{ср}=f(\varphi_р) \text{ при } I_р=\text{const}, \quad (2)$$

или как зависимость мощности срабатывания реле от угла между током и напряжением при неизменной величине тока, т. е.

$$S_{ср}=f(\varphi_р) \text{ при } I_р=\text{const}, \quad (3)$$

где $S_{ср}=U_{ср}I_р$.

Угол $\varphi_р$ между током и напряжением, подводимыми к реле, отсчитывается от вектора напряжения $U_р$ и считается положительным, если направление отсчета совпадает с направлением вращения часовой стрелки.

Аналогично для реле с токовой поляризацией угловые характеристики определяют зависимости:

$M_{вр}=f(\varphi_р)$ при $I_{р1}=\text{const}$ и $I_{р2}=\text{const}$; (1а)

$I_{ср2}=f(\varphi_р)$ при $I_{р1}=\text{const}$; (2а)

$S_{ср}=f(\varphi_р)$ при $I_{р1}=\text{const}$, (3а)

где $S_{ср}=I_{ср2}I_{р1}$;

$I_{р1}$ и $I_{р2}$ — токи в обмотках реле;

$I_{ср2}$ — ток в обмотке *2*, соответствующий срабатыванию реле при $I_{р1}=\text{const}$;

В качестве примера на рис. 1 приведены угловые характеристики реле направления мощности типа РБМ-171, вращающий момент на подвижной системе которого выражается уравнением

$$M_{вр}=kU_рI_р\cos(\varphi_р+45°),$$

где k — коэффициент, зависящий от параметров реле.

На рис. 1,*а* эта угловая характеристика приведена в прямоугольной, а на рис. 1,*б* и *в* — в полярной системе координат.

При анализе поведения реле используется упрощенная угловая характеристика, показанная на рис. 1,*в*, где минимальная мощность срабатывания реле предполагается равной нулю.

Область угловой характеристики (рис. 1,*в*), в пределах которой вращающий момент на реле имеет положительное значение или, что то же самое, обеспечивает срабатывание реле, названа «зоной работы». Область угловой характеристики, где вращающий момент на реле имеет отрицательное значение и препятствует его срабатыванию, названа «зоной заклинивания».

Зоны работы и заклинивания разделяются прямой *1—1*, проходящей через начало координат (точка *0*). Прямую *1—1* принято называть линией изменения знака вращающего момента, а угол на-

клона этой линии к вектору напряжения — углом изменения знака вращающего момента.

Линия *2—2*, расположенная перпендикулярно линии *1—1*, соответствует максимальному значению вращающего момента на реле и называется линией максимальных вращающих моментов, а угол, который она составляет с вектором напряжения, — углом максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$.

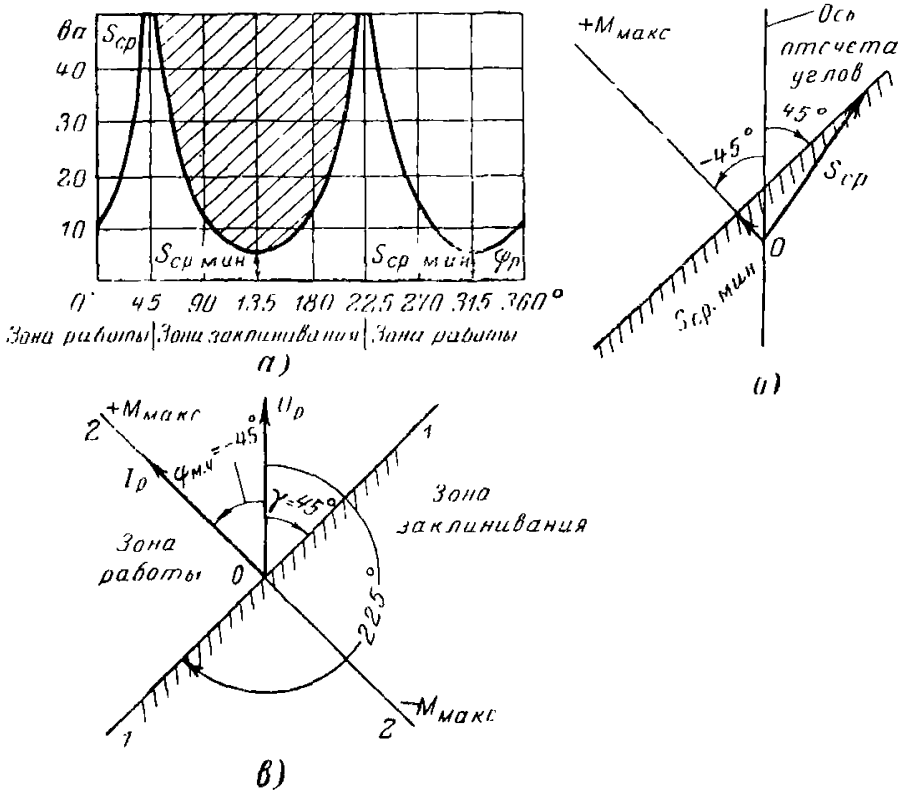


Рис 1. Угловые характеристики реле направления мощности типа РБМ-171.

Если вектор тока, подводимого к реле направления мощности, располагается в зоне работы, реле должно срабатывать, если в зоне заклинивания, — то заклинивать.

Если направление вектора тока совпадает с линией *1—1*, вращающий момент на подвижной системе реле равен нулю. Для рассматриваемого реле типа РБМ-171 это имеет место при углах между током и напряжением ($\varphi_р$), равных +45° и +225° (рис. 1,*в*). Максимальный вращающий момент в сторону срабатывания реле имеет место при $\varphi_р = -45°(+315°)$, а в сторону заклинивания — при $\varphi_р = +135°$. В обоих случаях направление вектора тока совпадает с линией *2—2*.

Таким образом, углами изменения знака вращающего момента реле направления мощности являются углы между векторами тока и напряжения, при которых вращающий момент равен нулю.

Углами максимальной чувствительности реле направления мощности являются углы между током и напряжением, соответствующие максимальным вращающим моментам в сторону срабатывания реле и в сторону заклинивания.

Величина угла максимальной чувствительности для любого реле направления мощности с поляризацией от напряжения, а следовательно, и положение линии изменения знака вращающего момента определяются внутренним углом реле $\gamma_н$, на величину которого ток в обмотке напряжения реле отстает от напряжения, приложенного к зажимам этой обмотки или к зажимам вспомогательных устройств, если они имеются. Часто для математического выражения вращающего момента на подвижной системе реле используется не угол $\gamma_н$, а дополняющий его до 90° угол α:

$$\alpha = 90° - \gamma_н. \qquad (4)$$

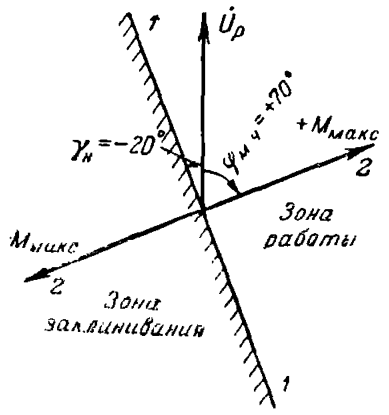


Рис. 2. Угловая характеристика реле направления мощности типа РБМ-178 для защиты от замыканий на землю.

При этом в ряде случаев получается более простое выражение вращающего момента.

Для всех реле направления мощности, применяемых в защитах от междуфазных коротких замыканий и включенных на полные токи и напряжения, действительно выражение

$$M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + \alpha). \qquad (5)$$

На угловой характеристике реле типа РБМ-171, имеющего внутренний угол $\gamma_н = 45°$ и, следовательно, $\alpha = 45°$ (рис. 1,*б*), зона работы реле и зона заклинивания определяются в соответствии с выражением вращающего момента (5). При этом положительным считается момент на подвижной системе, соответствующий зоне работы, т. е. момент, при котором реле срабатывает и замыкает контакты.

В отличие от реле направления мощности, применяемых для защиты от междуфазных коротких замыканий, характеристика реле направления мощности для защиты от замыканий на землю выражается формулой

$$M_{вр} = kU_р I_р \sin(\varphi_р + \alpha'), \qquad (6)$$

причем $\alpha' = -\gamma_н$.

Характеристика реле направления мощности РБМ-178, применяемого в схемах защит от замыканий на землю, приведена на рис. 2 Внутренний угол реле $\gamma_н = -20°$.

Снятие угловых характеристик реле направления мощности должно производиться в соответствии с указаниями инструкции по проверке реле направления мощности.

Некоторые особенности имеет анализ угловых характеристик реле направления мощности, включенных через фильтры напряжения и тока обратной последовательности. Для снятия угловых ха-

рактеристик таких реле на зажимах панели в цепях тока и напряжения имитируется режим двухфазного короткого замыкания и определяются углы между током и напряжением, подаваемыми на зажимы панели, при которых изменяется знак вращающего момента реле. Снятая таким образом угловая харктеристика используется для проверки правильности включения реле направления мощности током нагрузки и рабочим напряжением, поскольку при этом могут быть созданы такие же условия, как и при снятии угловой характеристики.

Угловая характеристика реле типа ИМБ-171/Ф1 защиты ПЗ-164 или ПЗ-156, снятая по схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание, имеет следующее выражение через полные токи и напряжения:

$$M_{вр}=kU_рI_р\cos(\varphi_р+195°). \quad (7)$$

Эта характеристика представлена на рис. 3,*а*. Угол максимальной чувствительности равен 165° (—195°).

Анализ действия реле направления мощности обратной последовательности при несимметричных коротких замыканиях можно также производить, используя угловую характеристику в составляющих обратной последовательности тока и напряжения.

Угловые характеристики в составляющих обратной последовательности и в полных токах и в напряжениях взаимосвязаны. Если известна угловая характеристика в полных токах и напряжениях при имитации двухфазного короткого замыкания, по ней может быть построена угловая характеристика в составляющих тока и напряжения обратной последовательности, и наоборот.

Переход от одной характеристики к другой может быть рассмотрен на примере того же реле направления мощности типа

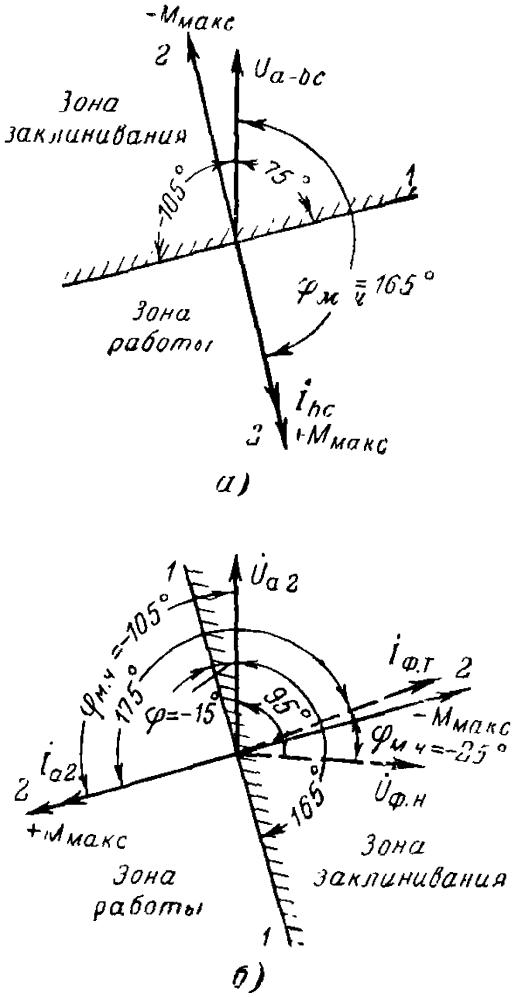


Рис. 3. Угловые характеристики реле направления мощности, включенного на фильтры тока и напряжения обратной последовательности (защиты ПЗ-164 и ПЗ-156).

а — характеристика, снятая относительно полных токов и напряжений по схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание между фазами *B* и *C*; *б* — характеристика, построенная относительно составляющих обратной последовательности; $\dot{U}_{a2}$ и $\dot{I}_{a2}$ — напряжение и ток обратной последовательности фазы *A*; $\dot{I}_{ф.т}$ и $\dot{U}_{ф.н}$ — ток и напряжение на выходе соответственно фильтров тока и напряжения обратной последовательности.

ИМБ-171/Ф1 фильтровой высокочастотной защиты ПЗ-164 (или ПЗ-156).

Составляющие токов и напряжений обратной последовательности могут быть определены по полным токам и напряжениям, подаваемым на панель защиты при имитации двухфазного короткого замыкания, на основании известных соотношений для этого вида повреждения.

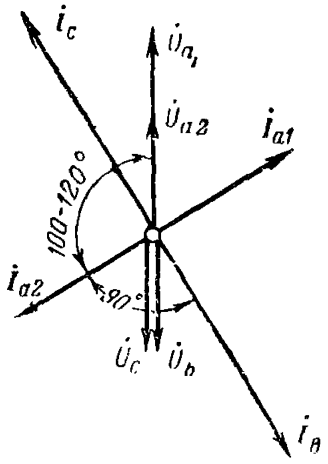


Рис. 4. Векторная диаграмма токов и напряжений при двухфазном коротком замыкании между фазами B и C.
$\dot{U}_a$, $\dot{U}_b$, $\dot{U}_c$ — полные фазные напряжения; $\dot{U}_{a2}$ — фазное напряжение обратной последовательности фазы A; $\dot{I}_в$ и $\dot{I}_c$ — полные токи короткого замыкания фаз B и C; $\dot{I}_{a1}$, $\dot{I}_{a2}$ — токи прямой и обратной последовательности фазы A; $\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} = 0$.

Например, при имитации двухфазного короткого замыкания между фазами B и C будут следующие соотношения:

для полных напряжений

$$\dot{U}_b = \dot{U}_c = -0{,}5\dot{U}_a; \qquad (8)$$

для составляющих напряжения

$$\dot{U}_{a1} = \dot{U}_{a2}; \qquad (9)$$

для полных токов

$$\dot{I}_a = 0; \qquad (10)$$

$$\dot{I}_b = -\dot{I}_c; \qquad (11)$$

для составляющих тока

$$\dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} = 0; \qquad (12)$$

$$\dot{I}_{b1} + \dot{I}_{b2} = -(\dot{I}_{c1} + \dot{I}_{c2}). \qquad (13)$$

На основании этих соотношений на рис. 4 графически выполнено разложение полных токов и напряжений на составляющие прямой и обратной последовательности. Как видно из рисунка, напряжение обратной последовательности неповрежденной фазы $\dot{U}_{a2}$ совпадает по направлению с подводимым к панели при снятии угловой характеристики напряжением $\dot{U}_{a-bc}$, а ток обратной последовательности неповрежденной фазы $\dot{I}_{a2}$ отстает от подводимого к панели тока $\dot{I}_{bc}$ на 90°. Таким образом, когда напряжение $\dot{U}_{a-bc}$ совпадает с током $\dot{I}_{bc}$, напряжение обратной последовательности $\dot{U}_{a2}$ опережает ток обратной последовательности $\dot{I}_{a2}$ на 90°.

В соответствии с этим и зона работы реле, построенная в токах и напряжениях обратной последовательности, поворачивается по часовой стрелке на 90° (рис. 3,*б*) относительно характеристики, приведенной на рис. 3,*а*.

Выражение для вращающего момента реле направления мощности обратной последовательности, применяемого в защите ПЗ-164 (ПЗ-156), по составляющим тока и напряжения обратной последо-

вательности имеет вид:

$$M_{вр}=kU_2I_2\cos(\varphi_2+105°). \qquad (14)$$

Характеристика вращающего момента реле направления мощности нулевой последовательности типа РБМ-272, имеющего токовую поляризацию (рис. 5), определяется согласно следующему выражению:

$$M_{вр}=k3I_{0(1)}3I_{0(2)}\sin(\varphi_р+90°), \qquad (15)$$

или, что то же самое,

$$M_{вр}=k3I_{0(1)}3I_{0(2)}\cos\varphi_р, \qquad (15а)$$

где $3I_{0(1)}$ и $3I_{0(2)}$ — токи нулевой последовательности, проходящие

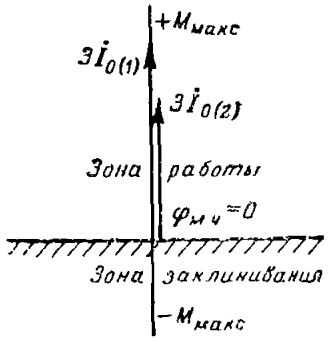


Рис. 5. Угловая характеристика реле направления мощности с токовой поляризацией типа РБМ-272.

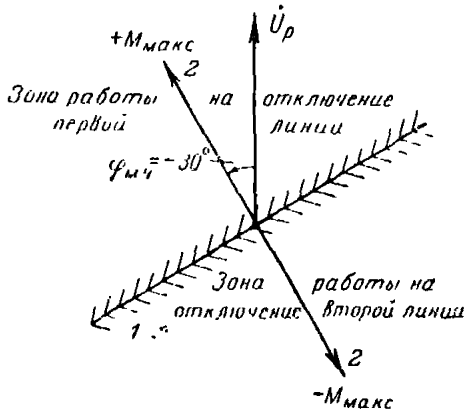


Рис. 6. Угловая характеристика реле направления мощности двустороннего действия типа РБМ-271, используемого в схемах направленной поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

1—1 — линия изменения знака вращающего момента; *2—2*—линия максимальных моментов.

соответственно в первой и второй обмотках реле направления мощности;

$\varphi_р$ — угол между этими токами.

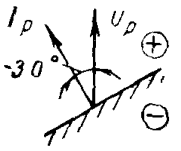
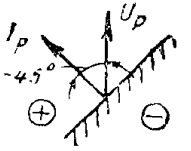
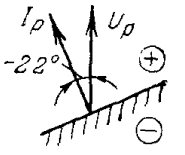
При снятии угловой характеристики для разных значений $\varphi_р$ величина тока в одной из обмоток реле, например $I_{р1}$, поддерживается постоянной, а в другой обмотке ток $I_{р2}$ увеличивается до срабатывания реле.

Выше были рассмотрены угловые характеристики реле направления мощности одностороннего действия. В схемах направленных поперечных дифференциальных защит применяются реле двустороннего действия, к которым, в частности, относятся реле серий РБМ-271, РБМ-272, РБМ-277, РБМ-278. Эти реле отличаются от реле одностороннего действия наличием двух замыкающих контактов.

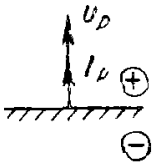
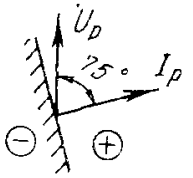
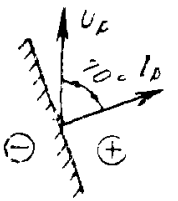
В зависимости от угла между током и напряжением замыкается один или другой контакт реле, обеспечивая соответствующее действие защиты. Поэтому угловая характеристика реле двусторон-

Таблица 1

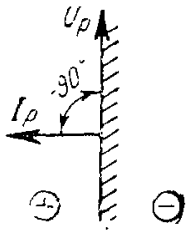
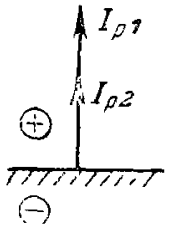
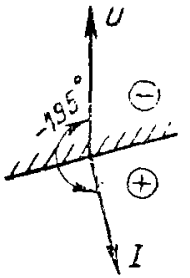
Угловые характеристики реле направления мощности

Тип реле	Выражение момента вращения	Угловая характеристика реле	Реле включается на токи и напряжения	Примечание
ИМБ-171А РБМ-171 РБМ-271	$kU_pI_p \cos(\varphi_p + 30°)$		Полные токи и напряжения	Без дополнительного сопротивления
ИМБ-171 ИМБ-171А РБМ-171 РБМ-271	$kU_pI_p \cos(\varphi_p + 45°)$		То же	С дополнительным сопротивлением
ИМБ-171	$kU_pI_p \cos(\varphi_p + 22°)$		То же	Без дополнительного сопротивления

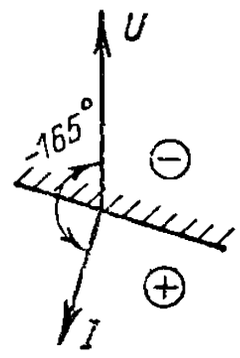
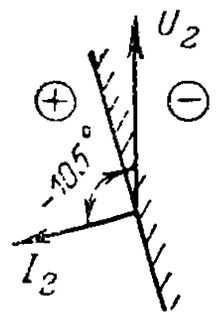
Продолжение табл. 1

Тип реле	Выражение момента вращения	Угловая характеристика реле	Реле включается на токи и напряжения	Примечание
ФДМ-3/б ФДМ-3/2 РАМ } ЦЛЭМ Мосэнерго	$kU_pI_p \cos \varphi_p$		Полные токи и напряжения	Реле трехфазное
ИМБ-178	$kU_pI_p \sin (\varphi_p + 15°)$		Напряжение и ток нулевой последовательности	
ИМБ-178А РБМ-177 РБМ-277 РБМ-178 РБМ-278	$kU_pI_p \sin (\varphi_p + 20°)$		То же	

Продолжение табл. 1

Тип реле	Выражение момента вращения	Угловая характеристика реле	Реле включается на токи и напряжения	Примечание
РБМ-01	$kU_{р}I_{р}\sin(-\varphi_{р})$		Напряжение и ток нулевой последовательности	—
РБМ-272 РМП-272	$kI_{р1}I_{р2}\sin(\varphi_{р}+90°)$		Токи нулевой последовательности	У реле РМП-272 угол максимальной чувствительности колеблется в пределах $-10° \div +10°$
2ИМ (в ПЗ-164) $1ИМ_2$ (в ПЗ-156) ИМБ-171/Ф1	$kUI\cos(\varphi+195°)$		Ток и напряжение обратной последовательности	Характеристика момента вращения на реле и зоны даны для полного тока и напряжения, подаваемых на панель по схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание

Продолжение табл. 1

Тип реле	Выражение момента вращения	Угловая характеристика реле	Реле включается на токи и напряжения	Примечание
2ИМ (в ПЗ-161 и ПЗ-162) ИМБ-171/Ф1	$kUI\cos(\varphi + 165°)$		То же	То же
РМОП1	$kU_2I_2\cos(\varphi_2 + 105°)$		То же	Характеристика момента вращения на реле и зоны даны для тока и напряжения обратной последовательности

Примечания: 1. Знаком „+" обозначена зона работы реле, знаком „—" — зона заклинивания реле.
2. Однополярными зажимами обмоток реле РБМ-01, РБМ-171, РБМ-271, ИМБ-171, ИМБ-171А являются зажимы реле *5* и *8*. Однополярными зажимами обмоток реле РБМ-177, РБМ-178, РБМ-277, РБМ-278, РБМ-272, ИМБ-178, ИМБ-178А являются зажимы реле *5* и *7*. Однополярными зажимами обмоток реле ФДМ-3/б и ФДМ-3/2 являются зажимы реле *1* и *2*, *4* и *5*, *7* и *8*.

него действия имеет зону на замыкание левого контакта и зону на замыкание правого контакта. Когда реле направления мощности двустороннего действия применяется в схеме направленной поперечной дифференциальной защиты двух параллельных линий, зоны работы реле обычно называют зоной работы на отключение первой линии и зоной работы на отключение второй линии, как это показано на рис. 6.

Выражение вращающего момента реле направления мощности различных типов, включенных как на полные ток и напряжение, так и через фильтры симметричных составляющих, а также изображение угловых характеристик этих реле приведены в табл. 1.

3. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

а) ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реле направления мощности обычно включаются через измерительные трансформаторы. Поэтому для того чтобы правильно включить реле, необходимо точно знать полярность обмоток реле, полярность обмоток трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, к которым оно подключается.

Выводы (зажимы) обмоток напряжения и тока реле маркируются на заводе, получая условные обозначения полярности «начало» и «конец». Для одной обмотки «начало» ее принимается произвольно. Для второй обмотки «начало» принимается таким образом, чтобы при подведении к обеим обмоткам реле тока и напряжения, сдвинутых под углом, при котором вращающий момент имеет положительное значение, реле срабатывало.

Аналогично и реле с токовой поляризацией должно срабатывать и переключать свои контакты, когда угол между токами, подводимыми к его обмоткам, имеет величину, соответствующую положительному знаку вращающего момента. Однополярные выводы или «начала» обмоток обозначаются на щитке реле звездочками.

Неправильное подсоединение цепей к одной из обмоток реле равносильно перемене мест зоны работы и зоны заклинивания.

Обмотки трансформаторов тока и напряжения маркируются таким образом, чтобы при направлении тока в первичной обмотке от «начала» к «концу» во вторичной обмотке ток вытекал из «начала». Как для трансформаторов тока, так и для трансформаторов напряжения за «начало» первичной обмотки принимается вывод, присоединенный к шинам высокого напряжения.

Обмотки трансформаторов напряжения, соединенные в звезду, обычно имеют группу Y/Y-12, т. е. соединяются так, как показано на рис. 7.

При включении трансформаторов напряжения на линейные напряжения за «начало» первичных обмоток принимаются выводы, подключаемые к опережающим фазам, т. е. в порядке их электрического чередования (например, при чередовании фаз A, B, C и включении первичной обмотки трансформатора напряжения на фазы C и A за начало принимается вывод первичной обмотки, подключенный к фазе C; при включении на фазы A и B за начало принимается вывод, подключенный к фазе A, и т. д.).

Обычно с учетом полярности выводов трансформаторов тока и напряжения реле включают таким образом, чтобы токи в цепях тока и напряжения реле имели такую же фазу, как если бы реле было включено в первичные цепи, минуя трансформаторы тока и напряжения.

Схемы включения реле направления мощности должны обеспечивать правильное поведение реле направления мощности при тех режимах или видах короткого замыкания, при которых должны

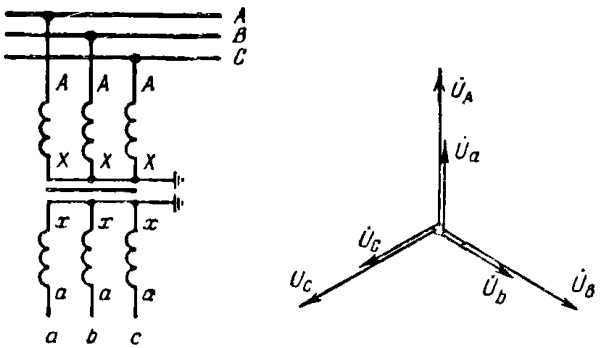


Рис. 7. Схема соединения обмоток трансформатора напряжения Y/Y-12 и векторная диаграмма первичных и вторичных напряжений.

A и *a* — обозначения начал первичной и вторичной обмоток фаз трансформаторов напряжения; *X* и *x* — обозначения концов первичной и вторичной обмоток фаз трансформаторов напряжения; U_A, U_B, U_C и U_a, U_b, U_c — первичные и вторичные фазные напряжения.

действовать устройства защиты или автоматики, содержащие рассматриваемые реле. Схемы включения реле направления мощности зависят от их типа и назначения и рассматриваются ниже.

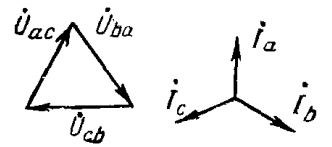
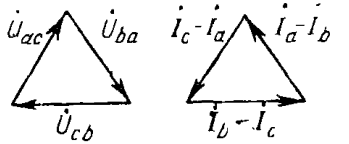
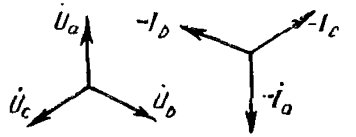
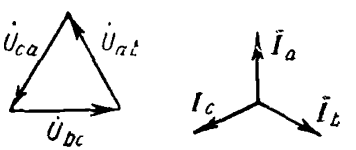
б) СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ В ЗАЩИТЕ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Реле направления мощности в защитах от междуфазных коротких замыканий обычно включаются по схемам, приведенным в табл. 2.

Подключение обмоток реле к цепям тока и напряжения и поведение реле при трехфазном коротком замыкании рассмотрены на примере включения реле направления мощности типа РБМ-171 по 90-градусной схеме (рис. 8,*а*). Реле включено на ток I_a фазы *A* и линейное напряжение $\dot{U}_{bc}$. При этом к однополярным зажимам реле, обозначенным на рис. 8,*а* точками, подведены напряжение фазы *B* (начало вектора напряжения $\dot{U}_{bc}$) и ток от начала вторичной обмотки u_1 трансформатора тока фазы *A* (трансформаторы напряжения включены по схеме Y/Y-12).

Таблица 2

Схемы включения реле направления мощности в защитах от междуфазных коротких замыканий

Наименование схемы	Напряжения, подводимые к реле	Ток, подводимый к реле	Векторные диаграммы токов и напряжений на реле
30-градусная	$\dot{U}_{ac}$ $\dot{U}_{ba}$ $\dot{U}_{cb}$	$\dot{I}_a$ $\dot{I}_b$ $\dot{I}_c$	
60-градусная с включением на разность фазных токов	$\dot{U}_{ac}$ $\dot{U}_{ba}$ $\dot{U}_{cb}$	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$ $\dot{I}_b - \dot{I}_c$ $\dot{I}_c - \dot{I}_a$	
60-градусная с включением на фазные токи	$\dot{U}_a$ $\dot{U}_b$ $\dot{U}_c$	$-\dot{I}_b$ $-\dot{I}_c$ $-\dot{I}_a$	
90-градусная	$\dot{U}_{ab}$ $\dot{U}_{bc}$ $\dot{U}_{ca}$	$\dot{I}_c$ $\dot{I}_a$ $\dot{I}_b$	

На рис. 8,*б* построена угловая характеристика реле и определена зона его работы на основании выражения вращающего момента этого реле и табл. 2.

Наименование схемы характеризует угол между токами и напряжениями, подводимыми к реле, при $\cos\varphi=1$ (токи и напряжения совпадают по фазе).

Здесь и в дальнейшем предполагается, что трансформатор напряжения соединен по схеме Y/Y-12. Поскольку зажим обмотки напряжения, обозначенный точкой, подключен к фазе *B*, угловая характеристика реле направления мощности построена относительно вектора вторичного напряжения $\dot{U}_{bc}$, который совпадает по направлению с вектором первичного напряжения $\dot{U}_{BC}$ (на рис. 8,*б* не показан). Зона работы относительно напряжения $\dot{U}_{BC}$, когда вращающий момент имеет положительный знак, ограничена углами от —135° до 0° и от 0° до +45°.

На том же рисунке построен вектор первичного тока $\dot{I}_A$ фазы A, проходящего в первичной сети при трехфазном коротком замыкании на защищаемой линии, и совпадающий с ним вектор вторичного тока $\dot{I}_a$, попадающего в этом случае в реле.

Вектор тока $\dot{I}_a$, который входит в зажим токовой обмотки реле, обозначенный точкой, расположен, как показано на рис. 8,б, в зоне работы реле, вследствие чего оно срабатывает и замыкает цепь на отключение поврежденного присоединения. Таким образом, реле, включенное в соответствии с рис. 8,*а*, будет правильно работать при повреждении на защищаемой линии.

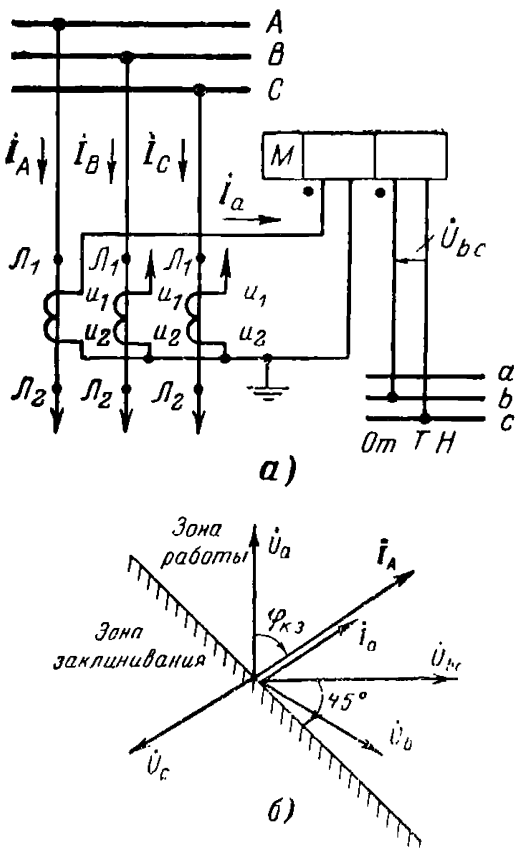


Рис. 8. Включение реле РБМ-171 по 90-градусной схеме.

а — схема включения; *б* — диаграмма для оценки поведения реле при трехфазном коротком замыкании на защищаемом присоединении; $\Phi_{к.з}$ — угол между напряжением и током при коротком замыкании; $Л_1$; u_1 — начала первичных и вторичных обмоток трансформаторов тока; $Л_2$; u_2 — концы первичных и вторичных обмоток трансформаторов тока.

в) СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ В НАПРАВЛЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ

Реле направления мощности, применяемые в схемах направленной поперечной дифференциальной защиты от междуфазных коротких замыканий, включаются на разность токов одноименных фаз двух линий, как показано для одной из фаз на рис. 9.

При использовании в схеме защиты трехфазных реле типа ФДМ-3/6 (RW-6) их включают по 30-градусной схеме, показанной на рис. 9, а при использовании однофазных реле типа ИМБ-171 и РБМ-271—обычно по 90-градусной схеме.

При коротком замыкании на одной из защищаемых параллельных линий реле направления мощности двустороннего действия замкнет тот из двух своих контактов, который разрешает пусковым органам защиты подействовать на отключение поврежденной линии.

Угловые характеристики реле РБМ-271 и векторные диаграммы, поясняющие его работу при коротких замыканиях на защищаемых линиях, показаны на рис. 10. Угловая характеристика реле построена относительно напряжения $\dot{U}_{bc}$, поскольку так же, как в случае, рассмотренном выше, зажим обмотки напряжения реле, обо-

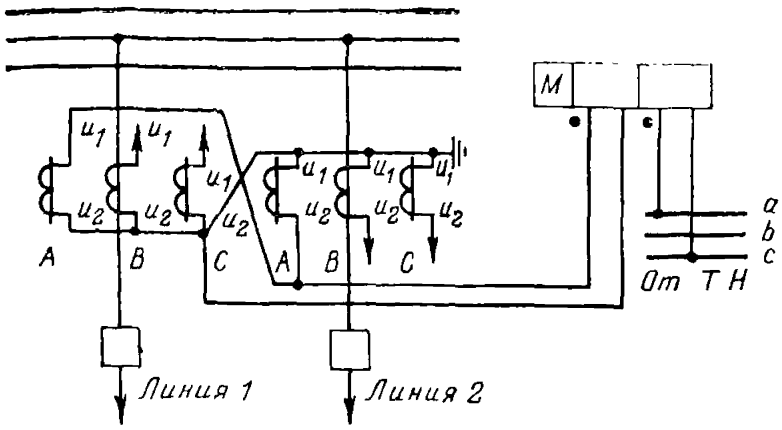


Рис. 9. Схема включения одного элемента реле направления мощности двустороннего действия в поперечной дифференциальной защите по 30-градусной схеме (на ток $\dot{I}_a$ и напряжение $\dot{U}_{ac}$).

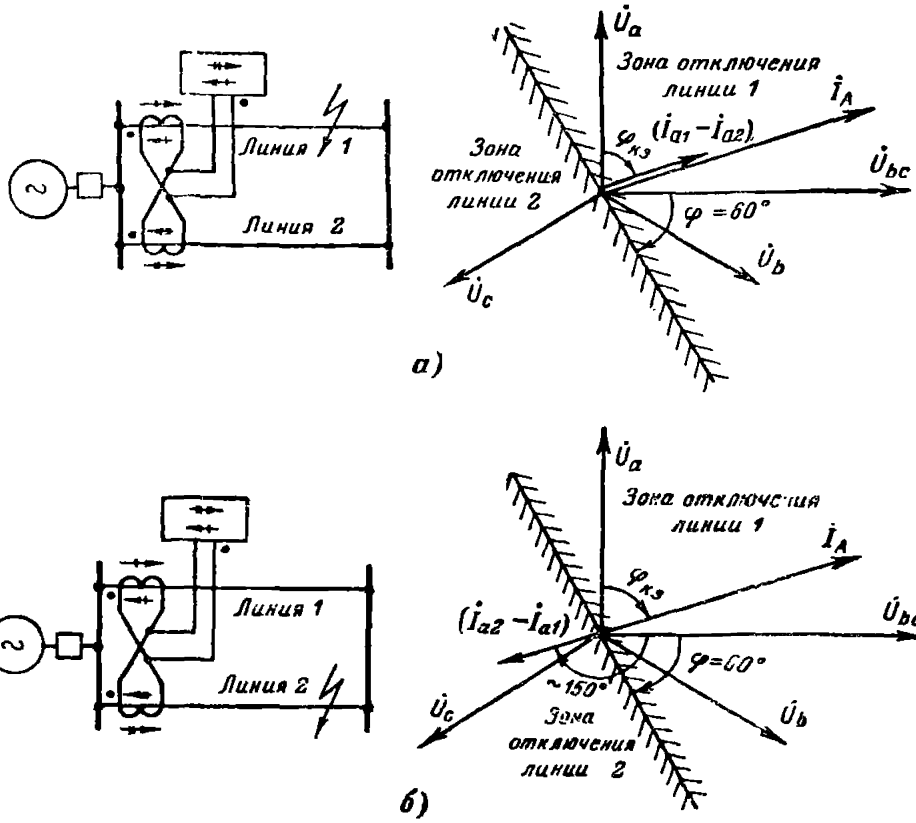


Рис. 10. Угловые характеристики реле РБМ-271 и векторные диаграммы токов и напряжений при трехфазном коротком замыкании.

а — на линии *1* ($I_{a1} > I_{a2}$); *б* — на линии *2* ($I_{a2} > I_{a1}$).

значенный точкой, подключен к фазе *b* (трансформатор напряжения соединен по схеме Y/Y-12).

Условимся, что положительный вращающий момент на реле соответствует его действию на отключение линии *1*. Рассмотрим поведение реле при трехфазном коротком замыкании на линии *1* (рис. 10,*а*).

Первичный ток, проходящий в поврежденной фазе $\dot{I}_A$, отстает от фазного напряжения $\dot{U}_A$ на угол $\varphi_{к.з}$. В реле же при этом будет проходить разность вторичных токов одноименных фаз двух параллельных линий ($\dot{I}_{a1} - \dot{I}_{a2}$), поскольку „начало" обмоток трансформаторов тока линии *1* подключено к зажиму токовой обмотки реле, обозначенному точкой. Эта разность токов имеет положительный знак, так как $I_{a1} > I_{a2}$, и вектор $\dot{I}_{a1} - \dot{I}_{a2}$ совпадает с вектором $\dot{I}_A$, т. е. попадает в зону работы реле на отключение линии *1*. Вращающий момент на реле при этом также положительный, так как угол между током и напряжением на обмотках реле примерно равен углу максимальной чувствительности реле.

При коротком замыкании на линии *2* векторная диаграмма будет иметь аналогичный вид (рис. 10,*б*). Однако при этом вектор разности токов $\dot{I}_{a2} - \dot{I}_{a1}$ расположится в противофазе с вектором $\dot{I}_A$, так как $I_{a2} > I_{a1}$. Поскольку вектор $\dot{I}_{a2} - \dot{I}_{a1}$ попадает в зону работы на отключение линии *2*, она и будет отключена. Вращающий момент на реле имеет отрицательную величину, так как угол между током и напряжением, подведенными к реле, равен примерно 150°.

г) СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ В ЗАЩИТЕ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ В ЦЕПЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

В некоторых схемах защиты применяется одно реле направления мощности для защиты от всех видов междуфазных коротких замыканий. К такому реле постоянно подводится разность токов двух фаз и в зависимости от вида короткого замыкания — разные напряжения.

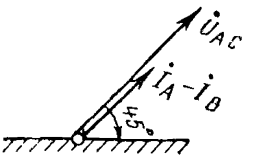
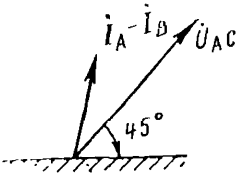
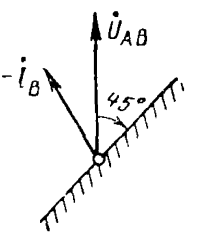
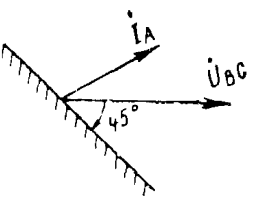
В табл. 3 дано сочетание токов и напряжений при различных видах междуфазных коротких замыканий для одной из возможных схем включения реле направления мощности типа РБМ-171 ($\varphi_{м.ч} = -45°$). К реле постоянно подведена разность токов фаз *А* и *В*.

д) СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НА ФИЛЬТРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Реле направления мощности, реагирующие на направление мощности обратной последовательности, включаются на выход фильтров тока и напряжения обратной последовательности. Действие реле направления мощности, включенного через фильтры тока и напряжения обратной последовательности, рассматривается на примере реле направления мощности обратной последовательности 2ИМ (ИМБ-171/Ф1) в защите типа ПЗ-164 (ПЗ-156).

Таблица 3

Сочетания токов и напряжений на обмотках реле направления мощности в схеме защиты с переключениями в цепях напряжения

Вид короткого замыкания	Ток в токовой обмотке реле	Напряжение, подводимое к реле	Векторная диаграмма при $\varphi_{к.з} = 60°$
Трехфазное $A—B—C$	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_a - \dot{U}_c$	
Двухфазное $A—B$	$\dot{I}_a - \dot{I}_b$	$\dot{U}_a - \dot{U}_c$	
Двухфазное $B — C$	$-\dot{I}_b$	$\dot{U}_a - \dot{U}_b$	
Двухфазное $C — A$	$\dot{I}_a$	$\dot{U}_b - \dot{U}_c$	

Реле ИМБ-171/Ф1 имеет угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч} = -25°$, т. е. максимальный момент на реле будет в случае, если ток в токовой обмотке реле опережает подводимое к реле напряжение на 25°.

Ток на выходе нагруженного активно-емкостного фильтра тока $\dot{I}_{ф.т}$ отстает от тока обратной последовательности фазы A на фазный угол $\varphi_{ф.т} = 175°$, а напряжение на выходе нагруженного фильтра напряжения обратной последовательности $\dot{U}_{ф.н}$ отстает от напряжения обратной последовательности фазы A на фазный угол $\varphi_{ф.н} = 95°$ (см. рис. 3,*б*). Как видно из диаграммы рис. 3,*б*, при указанных угловых соотношениях реле ИМБ-171/Ф1, включенное на фильтры тока и напряжения обратной последовательности, будет иметь угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч} = -105°$. Таким образом, в случае, когда ток обратной последовательности опережает напряжение обратной последовательности на 105°, вращающий момент на подвижной системе реле имеет максимальное положительное значение и действует в сторону замыкания контактов.

При металлическом двухфазном коротком замыкании на линии электропередачи 110—220 *кв* (например, на фазах B и C рис. 4) ток обратной последовательности $\dot{I}_{a2}$ фазы A опережает напряжение $\dot{U}_{a2}$ на угол 100—120° в зависимости от параметров линии. Следовательно, ток находится вблизи линии максимальной чувствительности угловой характеристики реле, и реле работает четко.

е) СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НА ФИЛЬТРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

К реле направления мощности в защитах от замыканий на землю подводятся ток и напряжение нулевой последовательности. Токовая обмотка этого реле включается обычно в нулевой провод трех трансформаторов тока, соединенных в звезду. Для питания обмотки напряжения реле используются в большинстве случаев специальные обмотки трансформаторов напряжения, соединяемые на сумму фазных напряжений. Такая схема соединения обмоток трансформатора напряжения называется разомкнутым треугольником.

В эксплуатации применяются различные схемы соединения разомкнутого треугольника. Наиболее распространенные схемы и соответствующие им векторные диаграммы приведены на рис. 11.

В тех случаях, когда трансформатор напряжения не имеет обмоток для соединения в разомкнутый треугольник, устанавливается специальный промежуточный трансформатор — фильтр напряжения нулевой последовательности.

Первичные обмотки промежуточного трансформатора соединяются в звезду и включаются на фазные напряжения вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду. Нулевая точка соединяется с нулевой точкой трансформатора напряжения, а на вторичные обмотки промежуточного трансформатора, соединенные в разомкнутый треугольник, включается обмотка напряжения реле направления мощности.

На рис. 12 показана схема включения реле направления мощности типа РБМ-178 и векторная диаграмма, характеризующие его

поведение при однофазном коротком замыкании на фазе A. При однофазном коротком замыкании на фазе A вблизи места установки защиты $U_A=0$, а первичное напряжение нулевой последовательности равно сумме напряжений неповрежденных фаз B и C:

$$3\dot{U}_0=\dot{U}_B+\dot{U}_C.$$

Первичный ток $3\dot{I}_0$ при этом равен току, проходящему в поврежденной фазе $\dot{I}_A$. Если подвести к реле вторичные ток и напря-

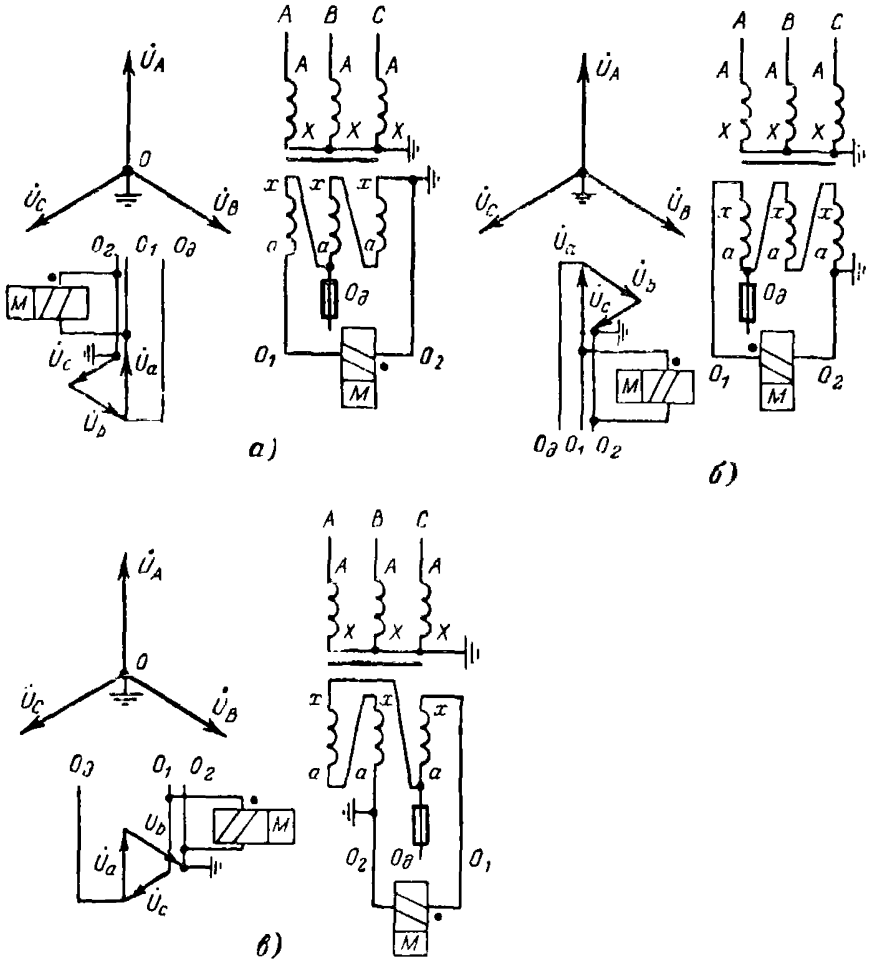
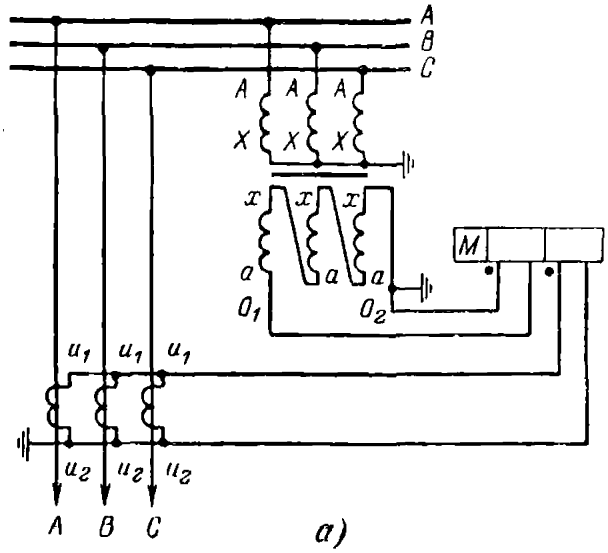


Рис. 11. Наиболее употребительные схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения по схеме фильтра напряжения нулевой последовательности и векторные диаграммы напряжений для этих схем.

а — схема по группе I; *б*, *в* — схемы по группе II. O_1, O_2 — основные выводы от концов разомкнутого треугольника; $O_д$ — дополнительный вывод от разомкнутого треугольника для испытания защиты рабочим напряжением; *M* — обмотка напряжения реле направления мощности.

жение нулевой последовательности, совпадающие с первичными векторами, угол между $3\dot{I}_0$ и $3\dot{U}_0$ будет равен примерно —120°.

В рассматриваемом случае реле должно действовать на отключение поврежденной линии. Однако момент на реле, равный $kI_pU_p\sin(\varphi_p+\alpha)$, оказывается отрицательным, так как $\sin(\varphi_p+\alpha)$ при $\varphi_p=-120°$ является отрицательной величиной. Поэтому для



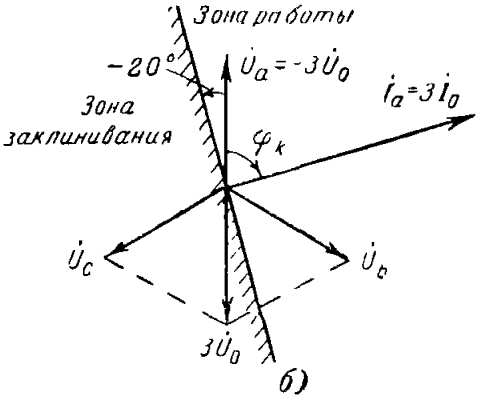


Рис. 12. Включение реле РБМ-178 в схеме защиты от замыканий на землю.

а — схема включения; *б* — диаграмма, поясняющая поведение реле при однофазном коротком замыкании; $3\dot{U}_0$ — напряжение нулевой последовательности; $3\dot{I}_0$ — ток нулевой последовательности.

обеспечения правильной работы реле направления мощности нулевой последовательности необходимо одну из составляющих (ток или напряжение нулевой последовательности) подавать на реле с обратным знаком. Следовательно, если вывод токовой обмотки реле, обозначенный точкой, соединяется с началом вторичных обмоток трансформаторов тока u_1, то вывод обмотки напряжения (также обозначенный точкой) должен быть присоединен к концу вторичной обмотки трансформатора напряжения (O_2), соединенной в разомкнутый треугольник (рис. 12,*а*).

В соответствии с этой схемой включения реле направления мощности нулевой последовательности зона работы реле на

рис. 12,*б* построена относительно напряжения $(-3\dot{U}_0)$, равного $\dot{U}_a$. При этом вторичный ток $3\dot{I}_0 = \dot{I}_a$ попадает в зону работы реле и оно будет правильно действовать на отключение поврежденной линии (рис. 12,*б*).

Как видно из рис 11,*а* и *б*, обмотка напряжения реле направления мощности должна подключаться по-разному, в зависимости от схемы соединения разомкнутого треугольника. При этом в обоих случаях предполагается, что токовые цепи подключены к реле, как показано на рис. 12,*а*.

ж) СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ТОКОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Схема включения реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией и векторные диаграммы, поясняющие его работу при коротких замыканиях на землю в зоне и вне зоны действия защиты, показаны на рис. 13.

Одна из обмоток реле (поляризующая) включается так, чтобы направление тока нулевой последовательности в ней при коротких замыканиях на землю в любом месте питающей сети не изменялось. Лучше всего для этой цели использовать трансформатор тока, установленный в цепи, соединяющей нейтраль трансформатора с землей (рис. 13,*а*, *в*).

При коротком замыкании в зоне действия защиты (например, в точке K_1) вторичные токи $\dot{I}_{p1}$ и $\dot{I}_{p2}$ входят в зажимы обмоток реле, обозначенные точками, вращающий момент на реле имеет положительный знак, и реле срабатывает (рис. 13,*б*). При коротком замыкании вне зоны действия защиты (точка K_2) ток $\dot{I}_{p2}$ меняет свое направление. В результате по обмоткам реле протекают токи $\dot{I}_{p1}$ и $-\dot{I}_{p2}$, вращающий момент реле имеет отрицательный знак, и реле не срабатывает (рис. 13,*г*).

Для трехобмоточных трансформаторов, у которых заземляются нейтрали двух обмоток, и для автотрансформаторов с заземленной нейтралью применяются более сложные схемы питания поляризующих обмоток [1].

з) СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИКИ

Реле мощности, применяемые в устройствах системной автоматики, обычно используются для определения величины и направления потока активной или реактивной мощности в аварийных режимах.

Так, например, на линиях напряжением 330—500 *кв* в схемах автоматики, действующей при повышении напряжения, используются реле направления мощности, которые должны срабатывать

[1] Руководящие указания по релейной защите, ч. 2, «Ступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю линий 110—220 *кв*», Госэнергоиздат, 1961.

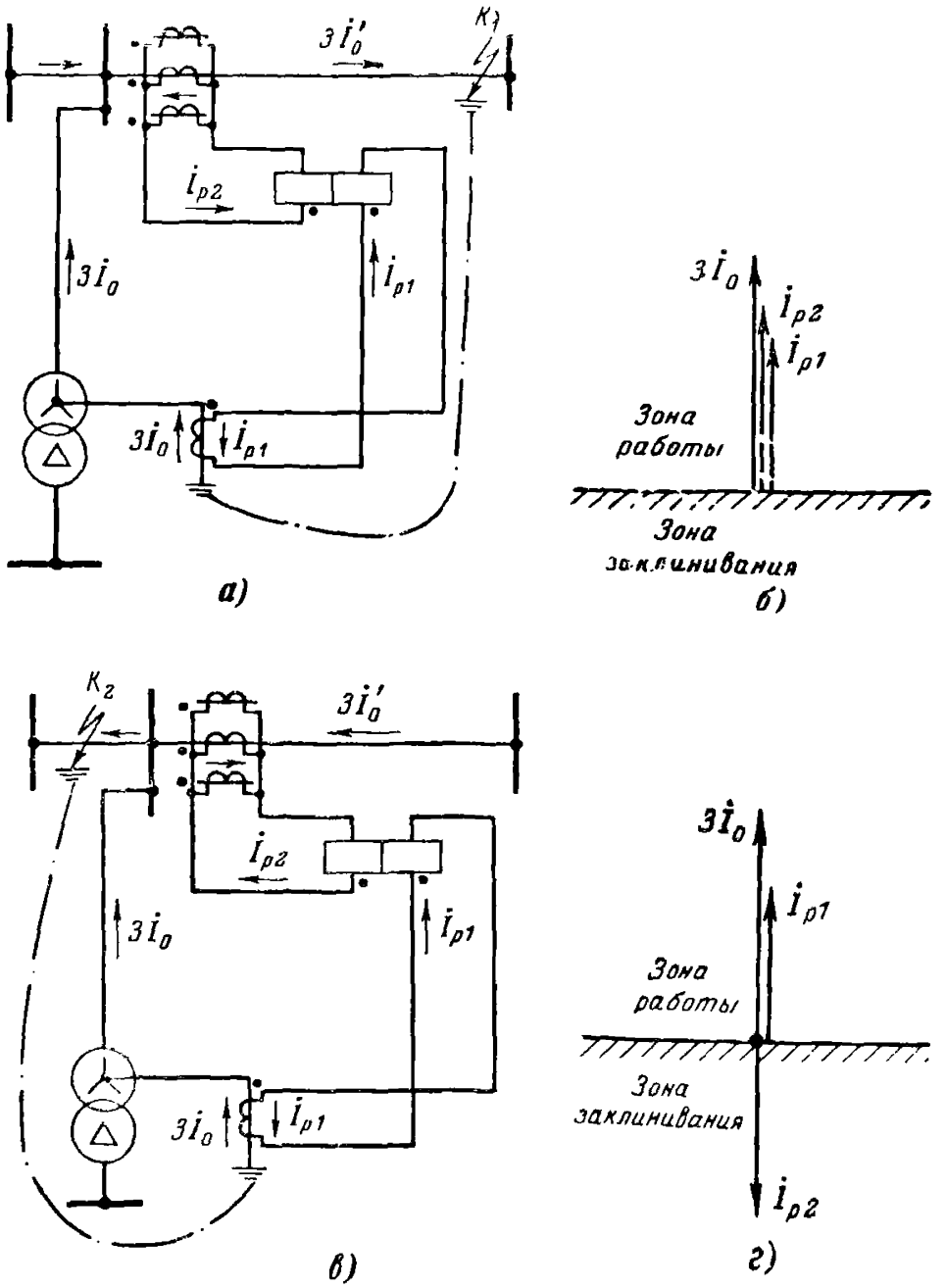


Рис. 13. Схема включения и векторные диаграммы реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией при коротких замыканиях.

а и *в* — распределение токов при к. з. соответственно в зоне и вне зоны защиты; *б* и *г* — диаграммы токов при к. з. соответственно в зоне и вне зоны защиты.

и замыкать свои контакты при направлении реактивной мощности в сторону шин защищаемой подстанции (рис. 14,*в*). Положительное направление тока на рисунке взято как обычно — от шин в линию.

В качестве такого реле обычно используется реле РБМ-178, включенное на фазное напряжение, и ток той же фазы, как показано на рис. 14,*а*. В цепь обмотки напряжения реле включаются дополнительное сопротивление $R_д$ (300—500 *ом*) и конденсатор $C_д$ (3—5 *мкф*) для того, чтобы увеличить мощность срабатывания

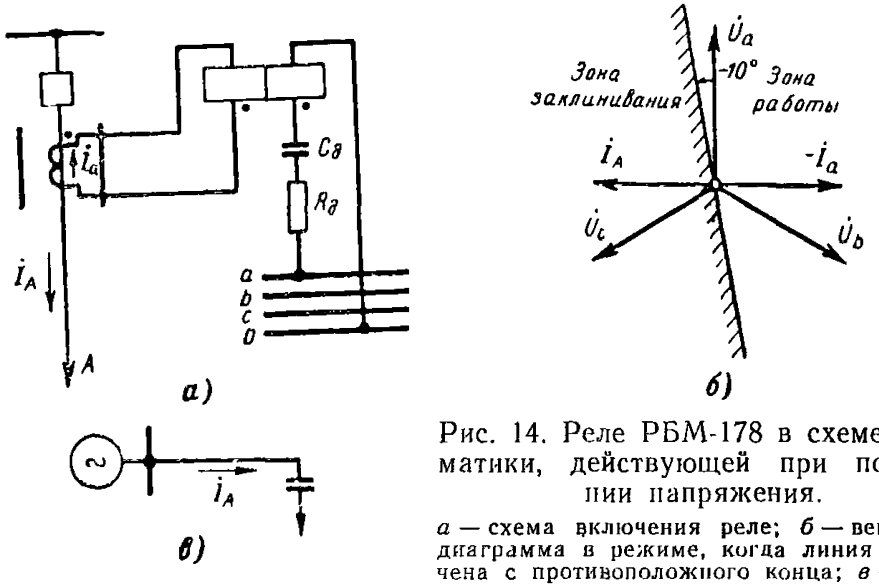


Рис. 14. Реле РБМ-178 в схеме автоматики, действующей при повышении напряжения.

а — схема включения реле; *б* — векторная диаграмма в режиме, когда линия отключена с противоположного конца; *в* — поясняющая схема.

реле и несколько изменить угловую характеристику реле, которая в результате будет иметь следующий вид:

$$M_{вр}=kU_рI_р\sin[\varphi\pm(8°\div10°)]. \qquad (16)$$

На рис. 14,*б* построены угловая характеристика реле и векторная диаграмма в режиме, когда линия отключена с противоположной стороны и на шины защищаемой подстанции поступает реактивная мощность, обусловленная емкостью линии. Реле мощности при этом срабатывает, разрешая действие автоматики.

В схемах автоматики используются также реле, реагирующие на величину активной мощности. Трехфазные реле активной мощности типа РАМ, которые изготовляются ЦЛЭМ Мосэнерго на базе реле серии ФДМ-3, имеют характеристику вращающего момента

$$M_{вр}=kU_рI_р\cos\varphi_р \qquad (17)$$

и включаются на фазные токи и напряжения трех фаз.

Раздел второй

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕРКИ

1. Проверка правильности включения реле направления мощности защит от междуфазных коротких замыканий производится в такой последовательности:

а) проверка исправности и правильности подключения цепей напряжения, подаваемых на защиту и используемых для снятия векторной диаграммы;

б) снятие векторной диаграммы токов, проверка исправности токовых цепей и правильности подключения их к зажимам панели;

в) имитация аварийных условий и наблюдение за работой реле направления мощности;

г) построение на векторной диаграмме линии изменения знака вращающего момента и определение на диаграмме «зоны работы» и «зоны заклинивания», которые должно иметь проверяемое реле, для того чтобы правильно действовать при коротком замыкании на защищаемом присоединении;

д) анализ правильности включения реле.

2. ПРОВЕРКА ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Проверка производится в такой последовательности:

2. На зажимах панели измеряются вольтметром напряжения между каждой фазой и нулевым проводом, между всеми фазами, а также напряжения всех фаз и нулевого провода относительно земли. При исправных цепях напряжения все три фазные напряжения должны быть равны между собой и быть в $\sqrt{3}$ раз меньше междуфазных напряжений, также равных друг другу. При измерении напряжения между заземленной фазой или заземленным нулевым проводом и землей показания вольтметра должны быть равны нулю.

3. Производится фазировка цепей напряжения на зажимах панели. Если на вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной в звезду, заземлена нулевая точка, то с помощью вольтметра производится фазировка цепей напряжения проверяемой защиты с цепями напряжения какого-либо другого присоединения, включенными заведомо правильно.

4. Если на трансформаторе напряжения заземлена вторичная обмотка одной из фаз, например фазы *B*, правильность подключения ее к зажимам панели определяется по измерениям, указанным в п. 2, а правильность подключения двух других фаз определяется проверкой их чередования фазоуказателем в соответствии с п. 5.

5. Фазоуказателем проверяется чередование фаз напряжений на зажимах панели.

6. Вольтметром проверяется фазировка цепей напряжения на реле, переключателях и рубильниках с зажимами панели. Проверяется фазировка цепей напряжения на блок-контактах.

3. СНЯТИЕ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ, ПРОВЕРКА ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ

7. Векторная диаграмма вторичных токов снимается для проверки правильности подключения токовых цепей, а также для уточнения положения векторов первичного тока нагрузки относительно векторов напряжений.

При снятии векторной диаграммы вторичных токов необходимо точно знать направление активной и реактивной мощности в первичной цепи защищаемого присоединения. Если это нельзя определить при существующей схеме коммутации, необходимо создать режим, при котором направление мощности будет строго определенным. Наиболее четко направление мощности фиксируется в режиме одностороннего питания.

При наличии на приемной подстанции источников реактивной мощности (синхронных компенсаторов, статических конденсаторов и т. п.) следует учитывать, что даже в режиме одностороннего питания реактивная мощность может быть направлена от шин приемной подстанции. Источником реактивной мощности, с которым также следует считаться при определении ее направления в первичной сети, является емкость воздушных и кабельных линий.

Снятие векторной диаграммы вторичных токов производится обычным путем с помощью фазометра, ваттметра, вольтамперфазоиндикатора ВАФ-85 или каким-либо другим способом. Одновременно со снятием векторной диаграммы измеряют токи во всех фазах. Построенная векторная диаграмма вторичных токов сопоставляется с известным направлением мощности в защищаемом присоединении, чем уточняется положение на векторной диаграмме векторов первичных токов, по которым производится дальнейший анализ правильности включения реле направления мощности.

Зная положение векторов вторичного и первичного токов нагрузки, можно определить, как соединены трансформаторы тока. Однако для этого необходимо точно знать полярность подключения обмоток трансформатора напряжения, которые должны быть всегда соединены по схеме Y/Y-12, как показано на рис. 7. Вторичные обмотки трансформаторов тока обычно соединяются так, что вектор вторичного тока совпадает на векторной диаграмме по направлению с вектором первичного тока, положение которого определяется по известным направлениям активной и реактивной мощностей в первичной цепи. Такое соединение цепей трансформаторов тока называется соединением с прямой полярностью (рис. 15).

При соединении трансформаторов тока по схеме с обратной полярностью векторы первичного и вторичного токов будут находиться в противофазе, как показано на рис. 16.

При снятии векторной диаграммы проверяется правильность маркировки токовых цепей на панели защиты и электрическое чередование векторов токов. Если в процессе проверки будет выяснено, что токовые цепи собраны неправильно, т. е. схема сборки

токовых цепей отличается от заданной, необходимо найти ошибку и устранить ее.

На рис. 17 в качестве примера рассмотрены две схемы включения трансформаторов тока, в которых допущены ошибки. Так,

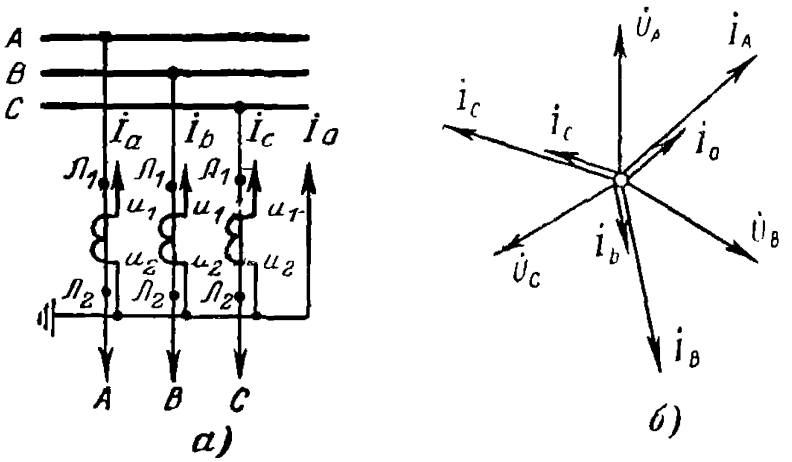


Рис. 15. Включение трансформаторов тока по схеме с прямой полярностью.

а — схема включения; *б* — векторная диаграмма первичных и вторичных токов при направлении активной и реактивной мощностей от шин; $Л_1$, $Л_2$ — начало и конец первичной обмотки трансформаторов тока; u_1, u_2 — начало и конец вторичной обмотки трансформаторов тока.

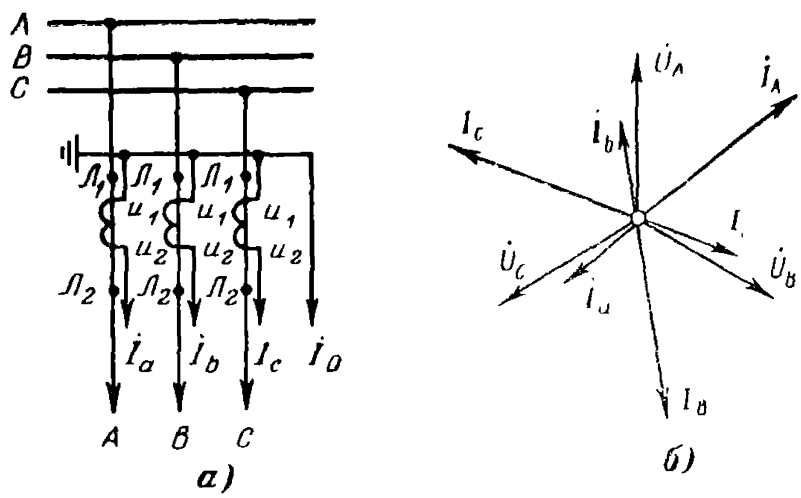


Рис. 16. Включение трансформаторов тока по схеме с обратной полярностью.

а — схема включения; *б* — векторная диаграмма первичных и вторичных токов при направлении активной и реактивной мощностей от шин.

в схеме рис. 17,*а* (векторная диаграмма рис. 17,*б*) перепутана маркировка вторичных цепей фаз *b* и *c*. Для восстановления правильной схемы необходимо поменять местами на зажимах провода фаз *b* и *c*, приходящие от трансформаторов тока. В схеме рис. 17,*в*

(векторная диаграмма рис. 17,*г*) неправильно включена вторичная обмотка трансформатора тока фазы *b*; необходимо изменить полярность ее включения.

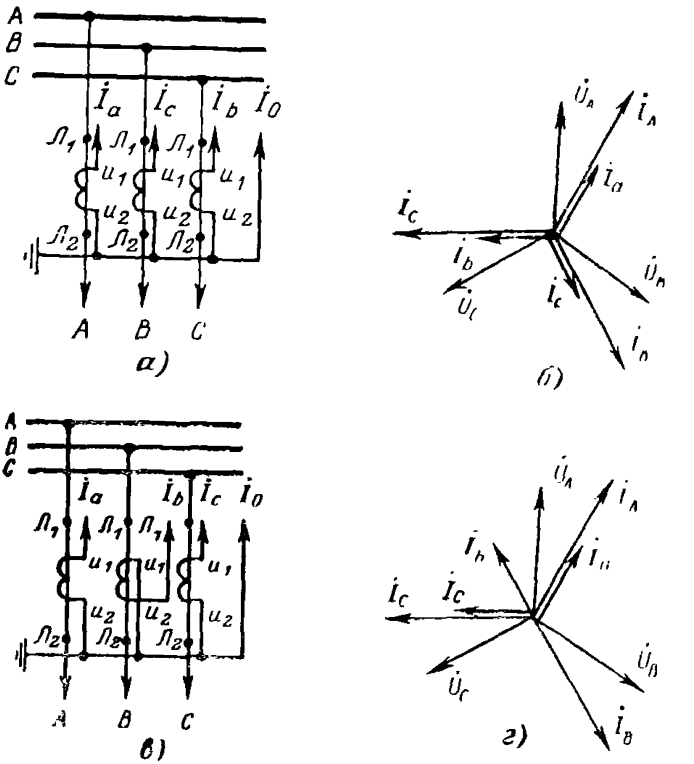


Рис. 17. Примеры неправильного включения трансформаторов тока.

При построении векторных диаграмм принималось, что активная и реактивная мощности направлены от шин.

8. После окончания замеров токов в фазах и снятия векторной диаграммы необходимо измерить ток в нулевом проводе токовых цепей.

4. ИМИТАЦИЯ АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЙ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕЙСТВИЕМ РЕЛЕ

9. Для анализа правильности включения реле необходимо имитировать в цепях тока и напряжения условия, соответствующие короткому замыканию на защищаемом присоединении.

Обычно для проверки правильности включения реле направления мощности защит от междуфазных коротких замыканий с постоянным подводом тока и напряжения имитируется симметричное

трехфазное короткое замыкание, так как имитировать трехфазное короткое замыкание проще, чем двухфазное. При симметричном трехфазном коротком замыкании во всех фазах протекают равные токи, отстающие от своих фазных напряжений на угол, определяемый соотношением величин активного и реактивного сопротивлений линии до места короткого замыкания. Напряжения всех фаз также равны между собой и сдвинуты друг относительно друга на угол 120°.

Векторная диаграмма токов и напряжений в первичной сети при симметричном трехфазном коротком замыкании на защищаемом присоединении, приведенная на рис. 18, принципиально не отличается от диаграммы нагрузочного режима, когда активная и реактивная мощности направлены от шин подстанции. Поэтому при имитации трехфазного короткого замыкания во время проверки реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения, никаких пересоединений в цепях тока и напряжения производить не нужно.

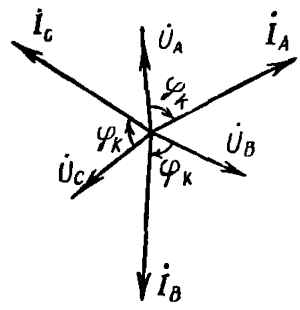


Рис. 18. Векторная диаграмма первичных токов и напряжений при трехфазном коротком замыкании на защищаемом присоединении.

Если обмотки реле направления мощности подключены к цепям тока и напряжения непосредственно, то при проверке достаточно наблюдать за поведением реле под действием тока нагрузки и рабочего напряжения. Если же напряжение на реле подается только во время короткого замыкания через контакты промежуточных реле, необходимо, воздействуя на эти реле, подать к обмотке реле направления мощности соответствующие напряжения.

При подаче к обмоткам реле тока нагрузки и рабочего напряжения на подвижную систему реле воздействует момент на срабатывание или на заклинивание, в зависимости от угла между током и напряжением. Действие реле (срабатывание или заклинивание) фиксируется в протоколе проверки.

Указанную проверку следует производить сразу после снятия векторной диаграммы или, еще лучше, одновременно с ее снятием. Это необходимо для того, чтобы при наблюдении за действием реле иметь уверенность в неизменности величины и, главное, направления вектора тока нагрузки, которые определяются по известному направлению активной и реактивной мощности в первичной сети и уточняются при снятии векторной диаграммы.

5. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАКА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РАБОТЫ И ЗОНЫ ЗАКЛИНИВАНИЯ

10. Для оценки правильности включения реле направления мощности нужно на том же бланке, на котором построена векторная диаграмма, пользуясь угловой характеристикой реле, снятой с зажимов панели при его проверке, нанести линию изменения знака

вращающего момента и определить зону работы, которую должно иметь реле для того, чтобы оно правильно действовало при коротких замыканиях.

Построить линию изменения знака момента и определить зону работы можно и предварительно, перед началом проверки. Построение выполняется так, как показано в качестве примера на рис. 19, где показана зона работы реле типа РБМ-171, имеющего угловую характеристику:

$$M_{вр}=kU_рI_р\cos(\varphi_р+45°)$$

и включенного по 90-градусной схеме на напряжение $\dot{U}_{bc}$ и ток $\dot{I}_a$.

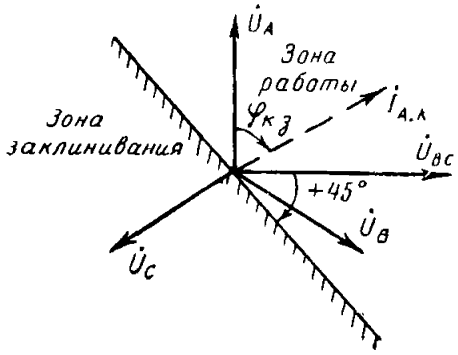


Рис. 19. Построение зоны работы реле РБМ-171, включенного по 90-градусной схеме.

Построение производится в такой последовательности:

а) строится вектор первичного напряжения $\dot{U}_{BC}$ (реле включено на напряжение $\dot{U}_{bc}$);

б) строится линия изменения знака вращающего момента, для чего по известной угловой характеристике данного реле наносятся углы изменения знака вращающего момента или по выражению $M_{вр}$ определяется угол, при котором момент на реле становится равным нулю, и под этим углом относительно вектора $\dot{U}_{BC}$ проводится прямая линия (на рис. 19 этот угол равен 45°);

в) определяется зона работы реле, для чего строится вектор первичного тока той фазы, которая подается на реле при трехфазном коротком замыкании на защищаемом присоединении (на рис. 19 показан пунктирной линией). Этот ток ($\dot{I}_{AK}$) отстает от напряжения своей фазы на угол $\varphi_{к.з}$, поскольку при коротком замыкании на защищаемой линии как активная, так и реактивная мощности направлены от шин к месту повреждения.

Так как при коротком замыкании на защищаемом присоединении реле должно сработать и подействовать на отключение, зона, в которую попадает вектор тока $\dot{I}_{AK}$, и должна быть зоной работы реле.

6. АНАЛИЗ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ

11. Зона работы, которую должно иметь проверяемое реле для того, чтобы оно правильно действовало при коротком замыкании на защищаемой линии, известна. По положению вектора первичного тока нагрузки можно определить, как должно действовать при проверке правильно включенное реле; сравнив результат с фактическим действием проверяемого реле, можно сделать заключение о том, правильно ли оно включено:

а) реле включено правильно, если вектор первичного тока нагрузки, подводимого к реле, расположен в зоне работы и момент вращения направлен в сторону срабатывания. Если вектор первичного тока нагрузки расположен в зоне заклинивания, то момент вращения должен быть направлен на заклинивание;

б) реле включено неправильно, если положение вектора первичного тока и вращающий момент на реле не соответствуют указанным выше соотношениям.

Анализ правильности включения реле направления мощности производится по векторам первичных токов и напряжений, т. е. при анализе предполагается, что реле включено непосредственно в первичную цепь, минуя трансформаторы тока и напряжения. Такое допущение позволяет оценить правильность включения реле направления мощности, не принимая во внимание полярность обмоток реле и измерительных трансформаторов тока и напряжения, а лишь путем сопоставления поведения реле при подведении к его обмоткам тока и напряжения нагрузочного режима с тем, как оно должно вести себя при коротком замыкании на защищаемой линии.

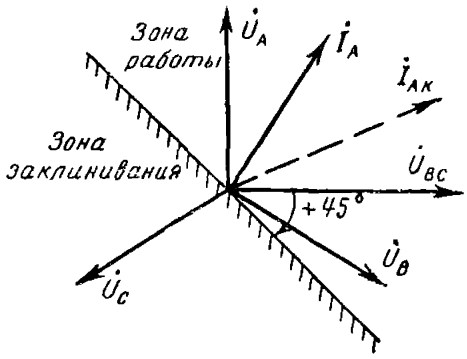


Рис. 20. Векторная диаграмма проверки под нагрузкой правильности включения реле направления мощности РБМ-171 фазы A, включенного по 90-градусной схеме (к реле подводятся напряжение $\dot{U}_{BC}$ и ток $\dot{I}_A$).

Реле включено правильно, если при направлении активной и реактивной мощности от шин оно замыкает контакты.

На рис. 20 в качестве примера приведена векторная диаграмма первичных токов и напряжений, при которой правильно включенное реле направления мощности должно сработать и замкнуть свои контакты.

12. При проверке реле, включенного на полные токи и напряжения, необходимо также иметь в виду следующее. Если вектор тока, протекающего в реле, располагается под углом к линии изменения знака вращающего момента, меньшим 20°, вращающий момент на подвижной системе реле может быть недостаточным для ее четкого отклонения. В этом случае для того, чтобы обеспечить четкую работу реле, необходимо, изменяя режим сети, т. е. изменяя нагрузку, добиться такого расположения вектора тока на защищаемом присоединении относительно линии изменения знака вращающего момента, при котором реле имеет достаточно большой момент. Если это выполнить трудно, следует подать на реле ток или напряжение другой фазы так, чтобы получить достаточно большой момент на подвижной системе реле.

На рис. 21 показаны два способа проверки реле РБМ-171, включенного на ток $\dot{I}_A$ и напряжение $\dot{U}_{BC}$, подачей тока $\dot{I}_B$ вместо тока $\dot{I}_A$ (рис. 21,*а* и *б*) и напряжения $\dot{U}_{AC}$ вместо напряжения $\dot{U}_{BC}$ (рис. 21,*в* и *г*). В обоих случаях правильно включенное реле замкнет свои контакты.

При включении реле на разность токов двух фаз указанное можно выполнить подачей в токовую цепь тока только одной из фаз, изменив тем самым положение вектора тока в реле.

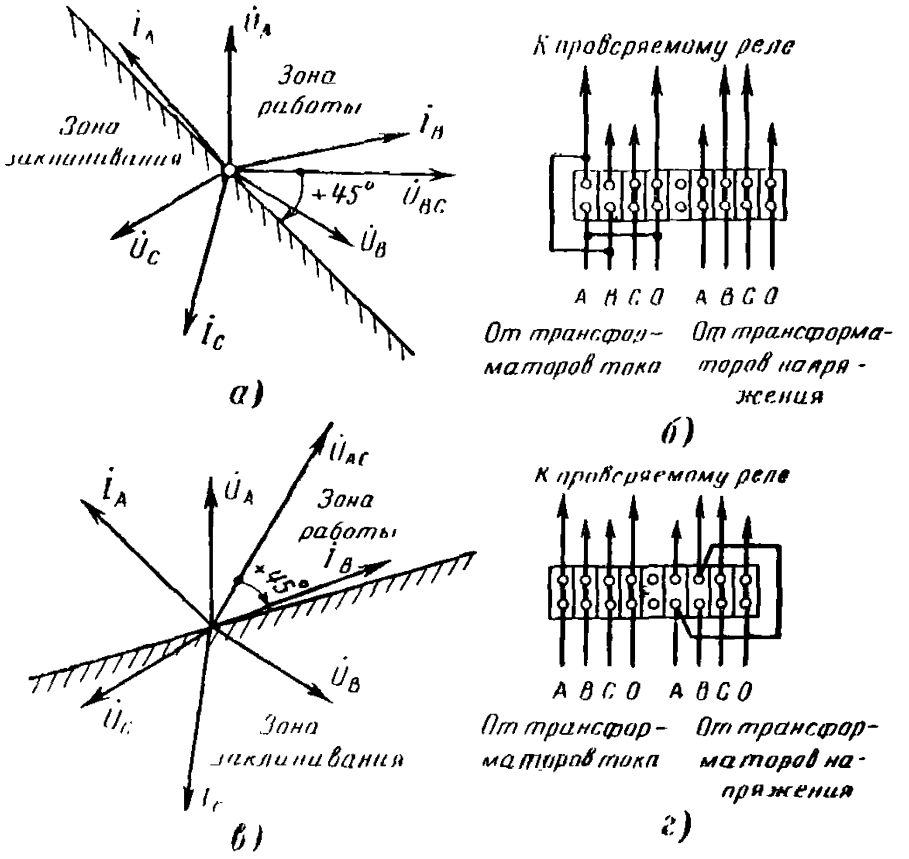


Рис. 21. Способы увеличения вращающего момента на реле направления мощности РБМ-171 [фазы *A*, включенного по 90-градусной схеме, при проверке правильности включения реле под нагрузкой.

а—диаграмма для случая подачи в реле тока $\dot{I}_B$ вместо тока $\dot{I}_A$; *б*—схема присоединения токовых цепей на зажимах панели для подачи в реле тока $\dot{I}_B$ вместо тока $\dot{I}_A$; *в*—диаграмма для случая подведения к реле напряжения $\dot{U}_{AC}$ вместо напряжения $\dot{U}_{BC}$; *г*—схема пересоединения цепей напряжения на зажимах панели для подачи на реле напряжения $\dot{U}_{AC}$ вместо напряжения $\dot{U}_{BC}$; диаграммы *а* и *в* даны для случая, когда активная мощность направлена от шин, а реактивная—к шинам.

7. УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК, ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ ПРОВЕРКЕ

13. Если при проверке реле направления мощности будет установлено, что оно включено неправильно, то для правильного его включения достаточно в любом месте изменить полярность тока или

напряжения, подводимого к реле, например поменять местами два конца, подходящих к обмотке тока или к обмотке напряжения реле. Однако для того чтобы включение реле полностью соответствовало монтажной схеме, правильнее найти место, где допущена ошибка (полярность включения трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, обмоток реле и т. д.), и устранить ее. После изменений, произведенных в схеме, необходимо вторично проверить правильность включения реле.

8. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ ТРЕХФАЗНОГО РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ

14. При проверке трехфазного реле направления мощности необходимо обязательно проверять поведение его отдельно для каждой фазы, что можно выполнить двумя способами: 1) подачей на реле всех трех токов и подачей напряжения на каждый элемент поочередно; 2) подачей на реле всех трех напряжений и подачей тока на каждый элемент поочередно.

Если во всех трех случаях реле ведет себя одинаково, анализ правильности его включения по диаграмме можно производить только для одной из фаз. Если при этом окажется, что реле включено правильно, значит, правильно включены элементы всех трех фаз.

9. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ РЕЛЕ В СХЕМАХ АВТОМАТИКИ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПРИ ПОВЫШЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ

15. Реле направления реактивной мощности, устанавливаемое в схемах автоматики повышения напряжения, проверяется под нагрузкой так же, как и реле направления мощности в схемах защиты от междуфазных коротких замыканий. Отличие состоит лишь в определении зоны работы и зоны заклинивания.

Рассмотрим построение зоны работы для реле РБМ-178 с дополнительным контуром $R_д C_д$, имеющего угловую характеристику

$$M_{вр} = kU_р I_р \sin(\varphi_р + 10°)$$

и включенного на ток и напряжение фазы A (см. рис. 14,*а*):

а) строится вектор первичного напряжения $\dot{U}_A$ (реле включено на напряжение фазы A) (рис. 22);

б) строится линия изменения знака вращающего момента, для чего по снятой угловой характеристике реле или по выражению $M_{вр}$ определяется угол, при котором вращающий момент на реле становится равным нулю, и под этим углом относительно вектора $\dot{U}_A$ про-

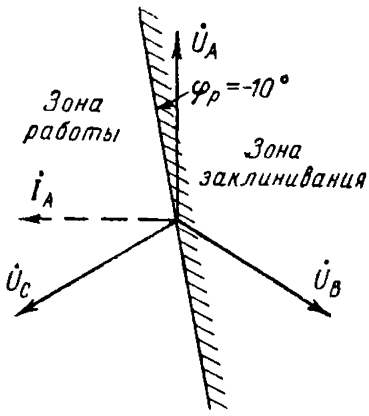


Рис. 22. Построение зоны работы реле мощности в схеме автоматики, действующей при повышении напряжения.

водится прямая линия (на рис. 22 этот угол равен —10°);

в) определяется зона работы реле (включено на ток фазы A), для чего строится вектор первичного тока $\dot{I}_A$ фазы A, который будет проходить, когда линия, на которой установлено рассматриваемое реле, отключится с противоположного конца (на рис. 22 показан пунктирной линией). Этот ток опережает напряжение своей фазы на угол 90°, поскольку в рассматриваемом случае с линии на шины будет поступать реактивная мощность.

Так как в данном режиме реле должно сработать и разрешить действовать автоматике повышения напряжения, зона, в которую попадает вектор тока $\dot{I}_A$, и должна быть зоной работы реле.

Дальнейший анализ правильности включения реле производится так же, как и для рассмотренного выше реле направления мощности защиты от междуфазных коротких замыканий.

Проверка реле мощности, установленных в других схемах автоматики, производится аналогичным способом.

Раздел третий

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОВЕРКИ

16. Проверка реле направления мощности нулевой последовательности состоит из тех же этапов, что и проверка реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения, и производится в той же последовательности (см. п. 1).

2. ПРОВЕРКА ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ, СНЯТИЕ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ ТОКОВ И ПРОВЕРКА ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ

17. Производится проверка цепей напряжения вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду, которые используются для снятия векторной диаграммы. Проверка цепей напряжения выполняется точно так же, как и для реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения (см. п. 2).

18. Проверяется исправность цепей обмоток трансформатора напряжения, соединенных в разомкнутый треугольник, и правильность подключения их к зажимам панели, для чего измеряется напряжение небаланса разомкнутого треугольника на входных зажимах панели. Напряжение небаланса должно быть не больше 2—3 *в*. Измеряются напряжения между концами разомкнутого треугольника и дополнительным выводом там, где он имеется. Они должны

быть равны фазному напряжению вторичных обмоток разомкнутого треугольника.

19. Снятие векторной диаграммы и проверка токовых цепей выполняются точно так же, как для реле, включенных на полные токи и напряжения (см. пп. 2—8).

3. ИМИТАЦИЯ АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЙ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕЙСТВИЕМ РЕЛЕ

а) ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

20. Проверка правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности током нагрузки и рабочим напряжением состоит в том, что для проверяемого реле, используя напряжения и токи нормального режима, искусственно создаются во вторичных цепях условия, аналогичные тем, которые имеют место при однофазном коротком замыкании на защищаемой линии. Наблюдая за реле и сравнивая его поведение с тем, которое должно быть у правильно включенного реле при данном сочетании токов и напряжений, определяют правильность его включения.

Обычно при проверке правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности имитируется однофазное короткое замыкание без переходного сопротивления непосредственно у шин подстанции, где установлено проверяемое реле. При однофазном коротком замыкании на землю у шин подстанции напряжение поврежденной фазы уменьшается до нуля, а напряжения неповрежденных фаз изменяются мало. Ток будет протекать к месту короткого замыкания только по поврежденной фазе.

На рис. 23,*а* показана векторная диаграмма полных первичных токов и напряжений, а на рис. 23,*б* — диаграммы их симметричных составляющих.

Полный ток короткого замыкания равен утроенному току нулевой последовательности $\dot{I}_A = 3\dot{I}_0$. Геометрическая сумма фазных напряжений при однофазном коротком замыкании вблизи шин подстанции, равная утроенному значению напряжения нулевой последовательности, определяется выражением

$$3\dot{U}_0 = \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = \dot{U}_B + \dot{U}_C,$$

так как $\dot{U}_A = 0$.

Как видно из рис. 23,*а*, вектор напряжения $3\dot{U}_0$ направлен противоположно вектору $\dot{U}_A$. Ток $\dot{I}_A$, проходящий в поврежденной фазе, отстает от напряжения $\dot{U}_A$ на угол $\varphi_{к.з}$, величина которого определяется соотношением суммарных активных и реактивных сопротивлений всех последовательностей в цепи короткого замыкания.

Для имитации однофазного короткого замыкания на зажимы проверяемой защиты должны быть поданы ток поврежденной фазы и напряжение нулевой последовательности, равное сумме напряжений неповрежденных фаз.

21. При проверках защиты от замыканий на землю с зажимов панели подаются поочередно токи всех трех фаз согласно схемам,

приведенным на рис. 23,*в*. Таким образом, в реле поочередно подаются три тока, смещенные относительно друг друга на угол 120°. Это позволяет получить четкие показания для проверки реле, так как если вектор одного из токов окажется вблизи линии изменения знака вращающего момента, то векторы двух других токов обязательно будут расположены так, что при подаче этих токов на реле

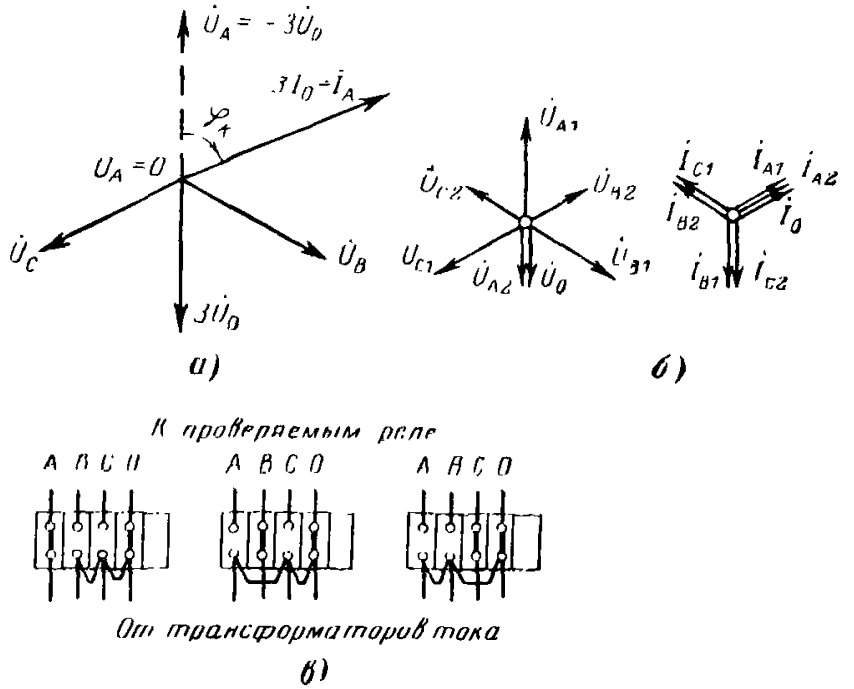


Рис. 23. Векторные диаграммы для однофазного короткого замыкания на фазе *А* у шин подстанции и схемы имитации однофазного короткого замыкания.

а — векторная диаграмма полных первичных токов и напряжений; *б* — векторные диаграммы симметричных составляющих токов и напряжений; *в* — схемы присоединения токовых цепей на зажимах панели для имитации однофазного короткого замыкания.

оно будет иметь достаточно большой момент на срабатывание или на заклинивание, что обеспечивает безошибочное определение знака момента при наблюдении за поведением реле.

б) ПОДАЧА НАПРЯЖЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА РЕЛЕ

22. Для того чтобы получить на реле напряжение нулевой последовательности, соответствующее условиям однофазного короткого замыкания, из разомкнутого треугольника цепей напряжения должно быть исключено напряжение той фазы, на которой имитируется короткое замыкание. Имитация однофазного короткого замыкания в цепях напряжения обычно осуществляется одним из описанных ниже способов.

23. Реле включено на трансформаторный фильтр напряжения нулевой последовательности. Для подачи напряжения нулевой последовательности, соответствующего однофазному короткому замыканию на землю фазы *A*, обмотка этой фазы на первичной стороне фильтра отсоединяется от трансформатора напряжения и закорачивается (рис. 24); тем самым имитируются действительные условия, имеющие место при однофазном коротком замыкании на фазе *A*. Закорачивание первичной обмотки фазы *A* фильтра необходимо для того, чтобы исключить из цепи реле большое сопротивление холостого хода обмотки фильтра. На реле при этом подается сумма напряжений фаз *B* и *C*, что соответствует напряжению при однофазном коротком замыкании на фазе *A* защищаемого присоединения.

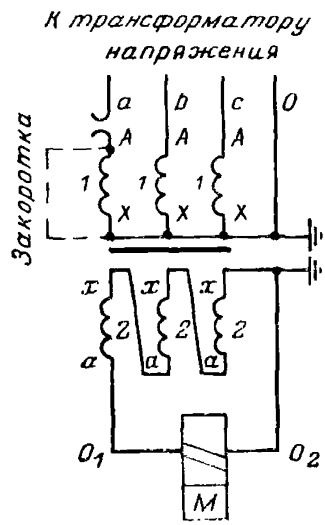


Рис. 24. Схема имитации однофазного короткого замыкания на фазе *A* на трансформаторном фильтре напряжения нулевой последовательности.

1 и 2 — соответственно первичные и вторичные обмотки фильтра напряжения нулевой последовательности; *M* — реле направления мощности.

24. Реле включено на разомкнутый треугольник трансформатора напряжения, и имеется дополнительный вывод для испытания защиты. Реле направления мощности, включенное на вторичную обмотку трансформатора напряжения, соединенную в разомкнутый треугольник, может быть проверено точно таким же способом, как и реле, включенное на промежуточный трансформаторный фильтр напряжения нулевой последовательности. Для этого необходимо отключить со стороны высшего напряжения фазу трансформатора напряжения, на которой имитируется короткое замыкание, и закоротить отключенную обмотку так, как это показано на рис. 24.

Такой способ имитации однофазного короткого замыкания является наиболее полноценным, так как позволяет точно повторить условия, которые будут существовать в первичной цепи при однофазном коротком замыкании вблизи места установки защиты. Однако он имеет следующие существенные недостатки:

1) необходимость производства переключений в первичной цепи, что может быть нежелательным, а в некоторых случаях и недопустимым;

2) напряжение нулевой последовательности подается одновременно на защиты всех присоединений подстанции, цепи напряжения которых подключены к данному трансформатору напряжения. Вследствие этого при проверке одной из защит придется вывести из действия защиты других присоединений или переводить их на питание от другого трансформатора напряжения, или же шунтировать на них контакты реле направления мощности нулевой последовательности, что может нарушить селективность этих защит.

Ввиду сказанного метод имитации однофазного короткого замыкания путем отключения одной из фаз трансформатора напряжения на стороне высшего напряжения следует применять только в крайних случаях, когда другие, более простые способы не могут быть использованы, например при пуске включении подстанции.

Однофазное короткое замыкание по цепям напряжения можно имитировать, производя соответствующие переключения только во

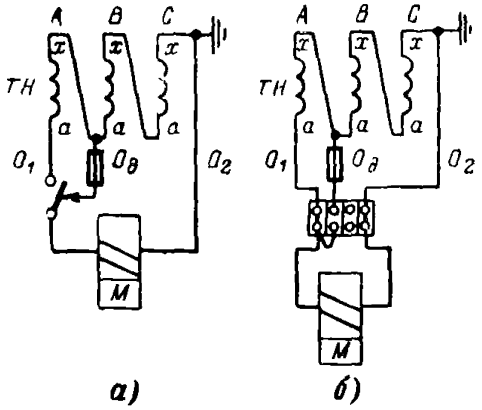


Рис. 25. Схемы имитации однофазного короткого замыкания, осуществляемой в цепях напряжения с помощью дополнительного вывода от вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в разомкнутый треугольник.

а — напряжение от дополнительного вывода подается на отключенный нож рубильника; *б* — напряжение от дополнительного вывода подается пересоединением на зажимах панели; *ТН* — вторичные обмотки трансформатора напряжения, соединенные в разомкнутый треугольник; *М* — реле направления мощности.

вторичных цепях трансформатора напряжения. Для этого необходимо из напряжения, подаваемого на реле от разомкнутого треугольника, исключить напряжение фазы, на которой имитируется короткое замыкание. Так, например, для имитации повреждения фазы *А* (см. рис. 11,*а* или 25) необходимо вместо вывода O_1 подключить к реле вывод $O_д$.

Для того чтобы можно было проверять только одну защиту, не затрагивая другие, вывод $O_д$ нужно подвести кабельной жилой на щит к месту установки релейной защиты. Подключением к соответствующему зажиму панели вывода $O_д$ вместо вывода O_1 на проверяемое реле подается необходимое напряжение нулевой последовательности. При этом следует иметь в виду, что вывод $O_д$ нужно всегда подавать к тому зажиму панели, к которому нормально подсоединен вывод O_1. Если это требование будет нарушено и

вывод $O_д$ будет подсоединен к зажиму, к которому нормально подключен вывод O_2, то на реле будет подано напряжение, обратное по фазе напряжению, появляющемуся на реле при повреждении на фазе A. В этом случае реле будет ошибочно проверяться в условиях, обратных тем, которые имеют место при однофазном коротком замыкании, и, следовательно, будет включено неправильно.

Во избежание указанной ошибки при новом включении защиты необходимо тщательной прозвонкой с зажимов трансформатора на-

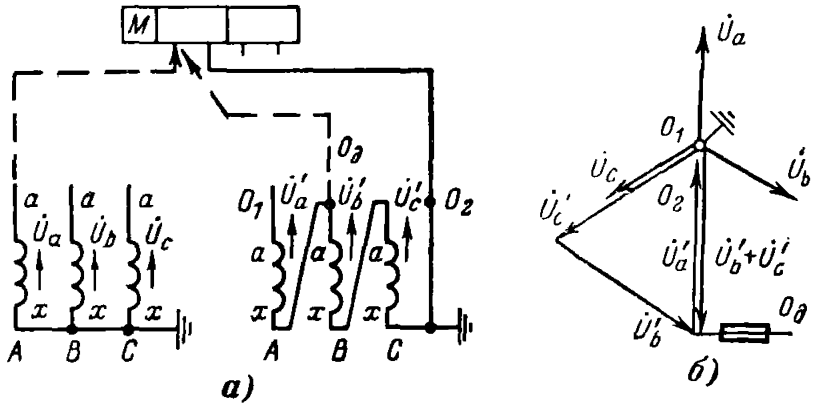


Рис. 26. Имитация однофазного короткого замыкания, осуществляемая в цепях напряжения путем использования фазного напряжения от обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду.

а — схема подачи фазного напряжения на проверяемое реле; *б*—векторная диаграмма напряжений; *М* — реле направления мощности.

пряжения установить, к какому зажиму панели подключен заземленный вывод O_2, и замаркировать его. При последующих проверках вывод O_2 с этого зажима никогда не должен отсоединяться. В случае, если цепи напряжения защиты переключаются с одного трансформатора напряжения на другой рубильником, блок-контактами шинных разъединителей или контактами промежуточных реле-повторителей, вывод O_2 должен быть подведен к реле жестко, минуя рубильник, блок-контакты или контакты реле-повторителей.

Во избежание ошибки при подаче на реле напряжения от дополнительного вывода целесообразно подключение производить всегда на отключенный нож рубильника, как показано на рис. 25,*а*, или использовать схему подключения цепей напряжения, приведенную на рис. 25,*б*. В этом случае при проверке снимается мостик, соединяющий нормально обмотку реле с зажимом O_1, и устанавливается на зажим $O_д$. Аналогично можно выполнить подключение вывода $O_д$ с помощью испытательного блока. После окончания проверки восстанавливается нормальная схема.

25. Реле включено на разомкнутый треугольник трансформатора напряжения, но дополнительного вывода нет. Если дополнительный вывод от вторичной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник, к месту установки защиты еще не выведен и нет другого трансформатора напряжения, имеющего дополнительный вывод, на который может быть переключена

проверяемая защита, то как исключение допускается проверка правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности путем подачи напряжения от вторичных обмоток этого трансформатора напряжения, соединенных в звезду.

Рассмотрим пример с использованием напряжения фазы *А*.

Предварительно напряжение фазы *А* обмотки, соединенной в звезду, должно быть сфазировано с напряжением, подаваемым от разомкнутого треугольника, когда из него исключена обмотка той же фазы А. Фазировка выполняется с помощью вольтметра, как описано ниже.

Если вторичные обмотки трансформатора напряжения соединены по схеме рис. 26,*а*, то подвижная система реле при подаче на него фазного напряжения $\dot{U}_a$ обмотки, соединенной в звезду, будет отклоняться в сторону, противоположную отклонению при подаче на реле напряжения от вывода $O_д$ обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник. Это обусловлено тем что вектор напряжения $\dot{U}_a$ вторичной обмотки, соединенной в звезду, направлен в сторону, противоположную сумме векторов $(\dot{U}_b + \dot{U}_c)$ обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник.

4. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВЫВОДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТЫ

26. Для того чтобы правильно проверить реле, необходимо точно знать, какая фаза напряжения исключается из разомкнутого треугольника при имитации однофазного короткого замыкания. Определение исключенной фазы производится при новом включении, а также после работ, связанных с пересоединениями первичных или вторичных цепей трансформатора напряжения.

Проверка испытательного вывода — весьма ответственная операция. Ошибка, допущенная при этой проверке, не может быть выявлена в дальнейшем и повлечет за собой неправильное включение реле.

В связи с указанным выше порядком проверки, при котором заземленный конец цепей напряжения никогда не отключается от реле, а испытательный вывод подается к реле вместо незаземленного конца, важно точно определить, какая фаза разомкнутого треугольника заземлена на подстанции. После этого определяется фаза, исключаемая при проверке.

Для того чтобы ограничить возможность ошибки при проверке, можно руководствоваться следующим правилом: дополнительный вывод $O_д$ можно использовать для проверки только в том случае, если заземленная и исключаемая фазы разные.

Так, например, проверку можно производить, если заземлена фаза *С*, а исключается фаза *А* (см. рис. 11,*а*, *б*), или если заземлена фаза *В*, а исключается фаза *С* (см. рис. 11,*в*). Проверку производить нельзя, если исключается фаза, которая заземлена. В этом случае необходимо заземлить другую фазу или сделать дополнительный вывод из другой вершины вторичной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник.

Для определения исключенной фазы можно воспользоваться одним из указанных ниже способов.

27. По схеме, приведенной на рис. 27,*а*, снимается векторная диаграмма напряжения нулевой последовательности на фазные токи. При этом на фазометр или ваттметр подаются напряжение нулевой последовательности между заземленным выводом O_2 и дополни-

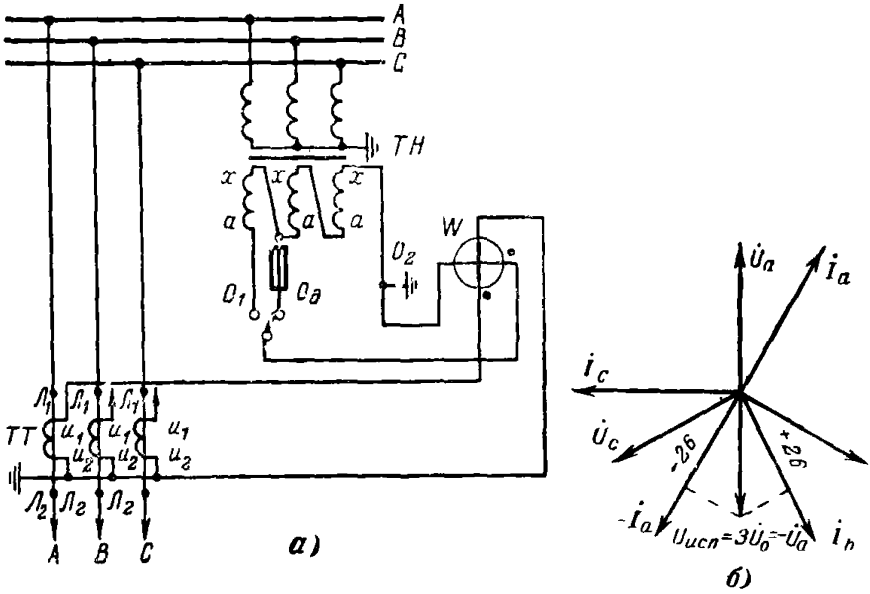


Рис. 27. Построение с помощью ваттметра вектора испытательного напряжения, имитирующего напряжение нулевой последовательности при использовании дополнительного вывода $O_д$ от вторичной обмотки трансформатора, соединенной в разомкнутый треугольник.

а — схема измерений; *б* — построение вектора испытательного напряжения; *ТТ* — трансформаторы тока; *ТН* — трансформатор напряжения.

тельным выводом $O_д$ и поочередно три фазных тока. Эти измерения целесообразно выполнять одновременно со снятием векторной диаграммы фазных токов, подавая на фазометр или ваттметр, кроме фазных или междуфазных напряжений, используемых для снятия векторной диаграммы токов, также напряжение нулевой последовательности, как показано на рис. 27,*а*.

При построении векторной диаграммы сначала определяют положение фазных токов относительно фазных или междуфазных напряжений, а затем относительно фазных токов строят вектор испытательного напряжения $\dot{U}_{исп}$ между выводами $O_д$ и O_2, используемый для проверки правильности включения реле направления мощности. При указанной на рис. 27,*а* схеме соединения обмоток трансформатора напряжения вектор испытательного напряжения $\dot{U}_{исп}$ должен быть расположен в противофазе с вектором напряжения, исключенного из разомкнутого треугольника.

Так, если дополнительный вывод сделан из точки, объединяющей конец фазы *A* и начало фазы *B*, как показано на рис. 25,*а* и

11,*а*, и, следовательно, при проверке фаза *а* исключается, напряжение нулевой последовательности на векторной диаграмме изобразится вектором $3\dot{U}_0$, направленным противоположно вектору фазного напряжения $\dot{U}_a$, как показано на рис. 27,*б*.

Допустим, что при токах нагрузки, изображенных на рис. 27,*б*, показания ваттметра, определяющие положение вектора $\dot{U}_{\text{псп}}$, оказались следующими:

Поданы токи	I_a	I_b	I_c
Показания ваттметра в делениях шкалы	—26	+26	0

Отложив полученные показания ваттметра на направлениях соответствующих токов (рис. 27,*б*), получим вектор $\dot{U}_{\text{исп}} = 3\dot{U}_0$, находящийся в противофазе с вектором $\dot{U}_a$.

28. Величина и направление вектора испытательного напряжения, используемого для проверки правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности, могут быть также определены при помощи измерений вольтметром напряжений между вторичными обмотками трансформатора напряжения, соединенными в звезду и в разомкнутый треугольник (рис. 28,*а*). Этим методом можно воспользоваться, если обе вторичные обмотки трансформатора напряжения электрически связаны между собой в одной точке. Обычно такая точка имеется, так как обе обмотки заземлены. Один зажим вольтметра жестко подключается к дополнительному выводу разомкнутого треугольника $O_д$, а второй зажим поочередно подключается к фазным напряжениям и нулевой точке вторичных обмоток трансформаторов напряжения, соединенных в звезду. В масштабе строится векторная диаграмма фазных напряжений звезды трансформатора напряжения. Заземленные точки звезды и разомкнутого треугольника на чертеже совмещаются.

Из концов векторов фазных напряжений с помощью циркуля делаются засечки, как показано на рис. 28,*б*. Радиус каждой засечки определяется величиной соответствующего измерения вольтметром. Точка пересечения трех засечек определяет один конец вектора, второй конец которого находится в точке векторной диаграммы, соответствующей заземленной точке обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду. Если первичные и вторичные обмотки трансформаторов напряжения соединены в соответствии с рис. 25,*а* и 11,*а*, то вектор, определенный этим построением, будет равен обратной величине напряжения исключенной фазы.

Если у трансформатора напряжения заземлена нулевая точка вторичной обмотки, соединенной в звезду, диаграмма будет иметь вид, показанный на рис. 28,*б*. Если у вторичной обмотки трансформатора напряжения, соединенной в звезду, заземлена фаза *В*, диаграмма будет иметь вид, приведенный на рис. 28,*в*.

29. С помощью вольтметра может быть также выполнена фазировка вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду и в разомкнутый треугольник.

На схеме рис. 28,*б* показано, что если обмотки трансформаторов напряжения соединены в соответствии с рис. 25,*а* и 11,*а*, то векторы фазного напряжения $\dot{U}_a$ обмотки, соединенной в звезду, и испытательного напряжения $3\dot{U}_0$ обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник, находятся в противофазе. Следовательно, поведение реле

направления мощности при подаче испытательного напряжения от обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник, будет противоположным поведению реле, когда к нему подведено фазное напряжение $\dot{U}_a$ от обмотки, соединенной в звезду. Это следует иметь в виду,

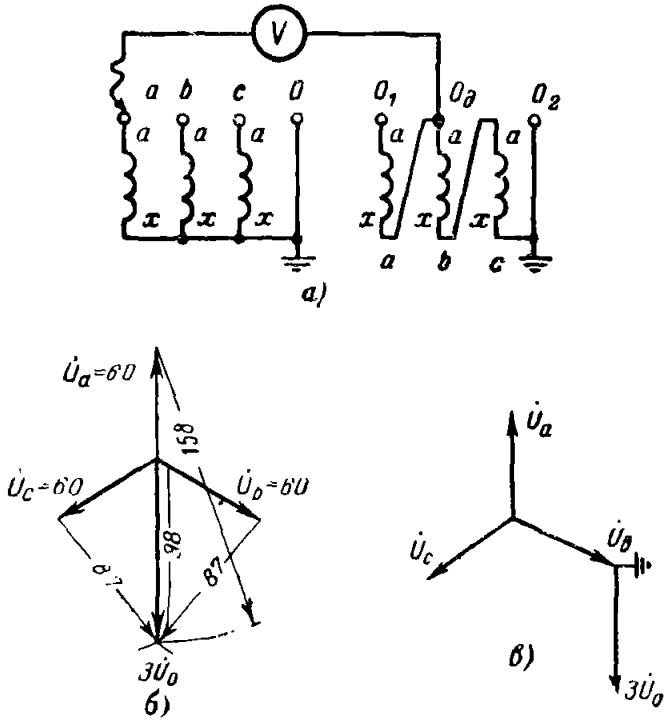


Рис. 28. Построение с помощью вольтметра вектора испытательного напряжения, имитирующего напряжение нулевой последовательности при использовании дополнительного вывода $0_д$ от вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в разомкнутый треугольник.

а — схема измерений; *б* — построение вектора испытательного напряжения, имитирующего напряжение нулевой последовательности, при установке заземления в нулевой точке вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду; *в* — векторная диаграмма при установке заземления на фазе *В* вторичных обмоток трансформатора напряжения, соединенных в звезду.

если для проверки реле направления мощности нулевой последовательности используется одно из фазных напряжений трансформаторов напряжения, соединенных в звезду (см. п. 25).

30. Для определения фазы, исключаемой из разомкнутого треугольника при подаче на реле напряжения от испытательной жил-

ки, можно воспользоваться уже рассмотренным выше методом отключения с первичной стороны одной фазы трансформатора напряжения. Эта проверка выполняется в такой последовательности:

К обмотке напряжения ваттметра подключается испытательное напряжение, как показано на рис. 27,*а*, снимается диаграмма этого напряжения на токи и определяется фаза напряжения, исключаемого из разомкнутого треугольника при подключении к прибору испытательной жилки. Затем от ваттметра отключается испытательная жилка и вместо нее подключается вывод O_1 разомкнутого треугольника. На первичной стороне отключается, закорачивается и заземляется фаза трансформатора напряжения, которая согласно предыдущим измерениям исключалась из разомкнутого треугольника. После этого вновь снимается диаграмма напряжения $3\dot{U}_0$. Если оба вектора $3U_0$ на диаграмме совпадут, значит, фаза, исключаемая из разомкнутого треугольника при подаче на реле испытательной жилки, определена правильно. Эти измерения можно также провести с помощью фазометра.

31. После того как определена фаза цепей напряжения, которая исключается из схемы и на которой, следовательно, имитируется однофазное короткое замыкание, испытательное напряжение подается на реле. Затем на реле поочередно подаются токи всех фаз. При подаче на реле тока и напряжения нулевой последовательности производится наблюдение за его поведением. В протоколе записывается поведение реле при подаче поочередно токов всех трех фаз.

5. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАКА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РАБОТЫ И ЗОНЫ ЗАКЛИНИВАНИЯ

32. Построение линии изменения знака вращающего момента и определение зоны работы, которую должно иметь проверяемое реле, производится так же, как и для реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения.

На рис. 29 в качестве примера построена зона работы реле на-

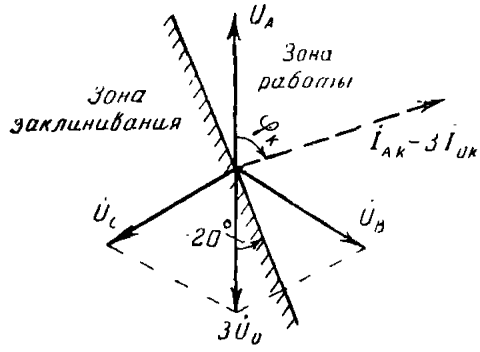


Рис. 29. Диаграмма, поясняющая построение зоны работы реле типа РБМ-178 защиты от замыканий на землю.

правления мощности нулевой последовательности типа РБМ-178, имеющего характеристику

$$M_{вр}=kU_рI_р\sin(\varphi_р+20°)$$

и включенного на ток и напряжение нулевой последовательности. Рассматривается случай, когда при проверке реле имитируется однофазное короткое замыкание на фазе A:

а) строится вектор первичного напряжения $3\dot{U}_0=\dot{U}_B+\dot{U}_C$ (на реле подается напряжение $\dot{U}_b+\dot{U}_c$);

б) под углом $\varphi_р=-20°$ относительно напряжения $3\dot{U}_0$ строится линия изменения знака вращающего момента;

в) определяется положение первичного вектора $3\dot{I}_{OK}$ при однофазном коротком замыкании на фазе A защищаемого присоединения (ток $3\dot{I}_{OK}=\dot{I}_{AK}$ показан на рис. 29 пунктирной линией). Зона, в которую попал вектор тока $3\dot{I}_{OK}$, должна быть зоной работы реле что обозначено на чертеже.

6. АНАЛИЗ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ

33. Анализ правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности производится по векторам первичных токов и напряжений точно так же, как это делается для реле

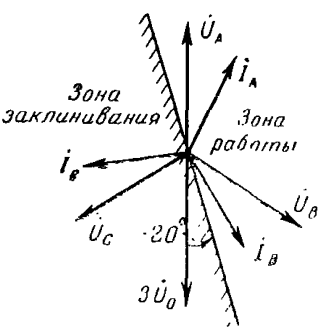


Рис. 30. Диаграмма проверки под нагрузкой правильности включения реле направления мощности типа РБМ-178 защиты от замыканий на землю.

направления мощности, включенных на полные токи и напряжения.

На рис. 30 дан пример построения векторной диаграммы первичных токов и напряжений для заданного направления нагрузки. При

проверке реле имитируется однофазное короткое замыкание на фазе A.

Если при направлении активной и реактивной мощности от шин подстанции в линию реле, включенное на напряжение $3\dot{U}_0$, при токе $\dot{I}_A$ четко замыкает контакт, при токе $\dot{I}_B$ имеет слабый момент на замыкание контактов, а при токе $\dot{I}_C$ четко заклинивает, значит, оно включено правильно.

7. УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК, ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ ПРОВЕРКЕ

34. Устранение ошибок, выявленных при проверке реле направления мощности нулевой последовательности, производится аналогично тому, как это выполняется при проверке реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения.

8. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СХЕМАХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

35. В схемах резервных защит трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов от замыканий на землю также часто используются реле направления мощности нулевой последовательности. Обычно эти защиты предназначены для резервирования защит от замыканий на землю отходящих линий, и реле направления мощности поэтому должно включаться так, чтобы срабатывать и замыкать свои контакты при направлении мощности короткого замыкания от трансформатора к шинам (рис. 31). Это является особенностью рассматриваемой защиты трансформаторов (автотрансформаторов), поскольку ранее рассмотренные защиты от коротких замыканий, установленные на линии, должны были срабатывать при направлении мощности от шин в линию.

36. При определении зоны работы реле направления мощности нулевой последовательности типа РБМ-178 направление потока мощности от шин к трансформатору условно принимается положительным так же, как и в случаях, разобранных ранее.

Для случая однофазного короткого замыкания на фазе A угловая характеристика реле строится относительно напряжения $3\dot{U}_0 = \dot{U}_B + \dot{U}_C$.

При коротком замыкании на шинах или на одной из отходящих линий (рис. 31) мощность короткого замыкания, проходящая по трансформатору, будет направлена к шинам подстанции, а вектор первичного тока поврежденной фазы A расположится в третьем квадранте (рис. 32). Поскольку при таком повреждении защита должна срабатывать, зона, в которую попадает вектор тока корот-

кого замыкания и будет зоной работы. Понятно, что полученная зона работы защиты по сравнению с рассмотренной ранее защитой линии будет повернута на 180°. В остальном проверка защиты трансформатора не отличается от проверки защиты линии и производится так, как это было указано выше.

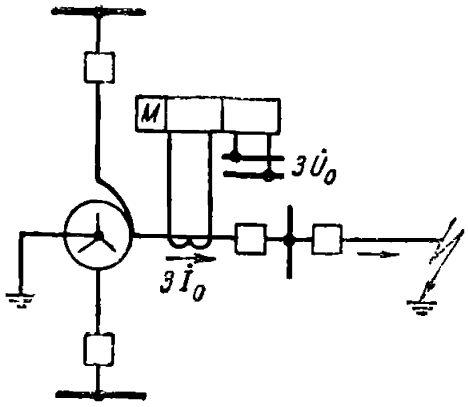


Рис. 31. Схема включения реле направления мощности в схеме защиты автотрансформатора от замыканий на землю.

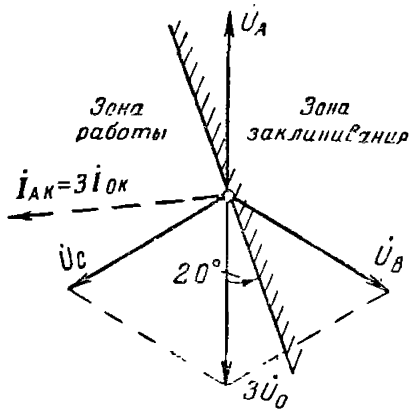


Рис. 32. Определение зоны работы реле направления мощности нулевой последовательности защиты автотрансформатора от замыканий на землю.

9. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ С ТОКОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

37. Для проверки правильности включения реле направления мощности, поляризующая обмотка которого подключена к трансформатору тока, установленному в заземленной нейтрали силового трансформатора, необходимо, чтобы при испытаниях первичный ток замыкался через нейтраль. Проверку можно осуществить, подавая ток от постороннего источника по схеме, приведенной на рис. 33. Первичную обмотку фазы силового трансформатора, на которую подается ток от постороннего источника питания, необходимо зашунтировать для того, чтобы исключить из испытательной схемы сопротивление трансформатора.

Величина первичного тока $I_{исп}$, необходимая для срабатывания проверяемого реле, определяется по выражению

$$I_{исп} = \sqrt{k_н S_{ср} n_{ТТ1} n_{ТТ2}}, \qquad (18)$$

где $S_{ср}$ — мощность срабатывания, равная для реле типа РБМ-272 0,4 $а^2$;

$n_{ТТ1}$ и $n_{ТТ2}$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока, к которым подключаются обмотки реле;

$k_н = 2$ — коэффициент надежности.

Реле направления мощности, включенное правильно, при испытаниях по приведенной схеме должно срабатывать и переключать контакты.

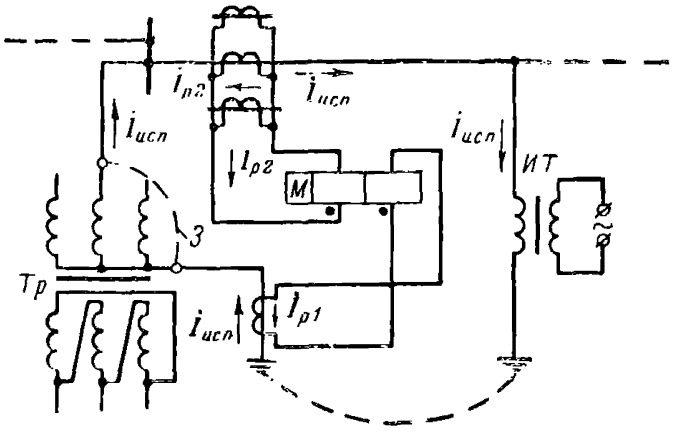


Рис. 33. Проверка правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией подачей первичного тока от постороннего источника питания.

Тр — силовой трансформатор, в нейтраль которого включен трансформатор тока, используемый для питания поляризующей обмотки реле; *ИТ* — испытательный трансформатор; *З* — временная закоротка.

38. При проверке реле направления мощности, подключенного к трансформаторам тока, встроенным во вводы силового трансформатора, для исключения сопротивления трансформатора следует

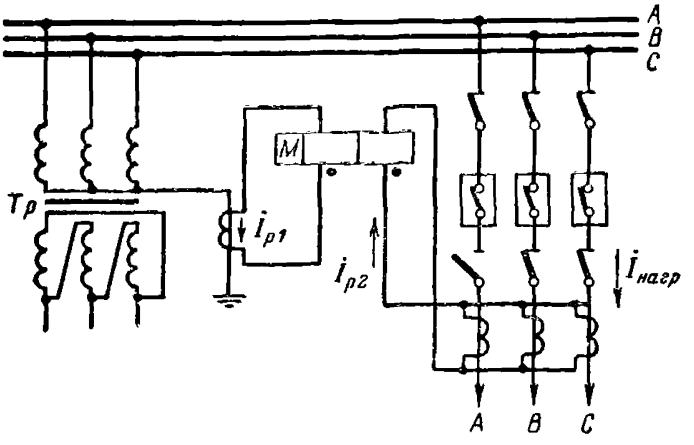


Рис. 34. Проверка правильности включения реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией созданием искусственного неполнофазного режима. Выключатели имеют пофазный привод.

шунтировать обмотку соответствующей фазы стороны низшего напряжения.

39. Проверку реле направления мощности с токовой поляризацией можно также производить созданием неполнофазного режима работы линии, на которой установлено испытываемое реле (рис. 34). При этом отключается выключатель или разъединитель одной фазы, и ток нулевой последовательности, возникающий вследствие несимметрии тока нагрузки $I_{нагр}$, будет растекаться по заземленным нейтралям трансформаторов, попадая в том числе и в тот, нейтраль которого используется для питания поляризующей обмотки реле.

Проверяемое реле направления мощности при достаточной величине тока нагрузки должно сработать и переключить свои контакты.

Раздел четвертый

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В СХЕМЕ НАПРАВЛЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

40. Проверка реле направления мощности в схеме направленной поперечной дифференциальной защиты линий производится аналогично проверке реле направления мощности в схемах защит от междуфазных и однофазных коротких замыканий. В зависимости от типа реле, примененного в схеме защиты (одностороннего или двустороннего действия, однофазного или трехфазного), а также от схемы защиты (от однофазных или от междуфазных коротких замыканий) проверка имеет некоторые особенности.

Ниже рассмотрена проверка реле направления мощности двустороннего действия типа РБМ-271.

2. ПРОВЕРКА ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ, СНЯТИЕ ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ ТОКОВ И ПРОВЕРКА ТОКОВЫХ ЦЕПЕЙ

41. Проверка цепей напряжения производится точно так же, как и для реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения.

42. Так как реле направления мощности включено на разность токов двух параллельных линий, то снимается векторная диаграмма токов в обеих параллельных линиях. На векторной диаграмме строятся векторы первичных и вторичных токов в трансформаторах

тока обеих параллельных линий. По взаимному расположению векторов определяется, на какой из линий трансформаторы тока соединены с «прямой» и на какой—с «обратной» полярностью. Миллиамперметром определяется величина тока небаланса в токовых обмотках реле.

Из векторной диаграммы токов для фазы A (рис. 35) видно, что на первой линии трансформаторы тока соединены по схеме с «прямой» полярностью, а на второй — с «обратной» полярностью, как, например, это указано на рис. 9.

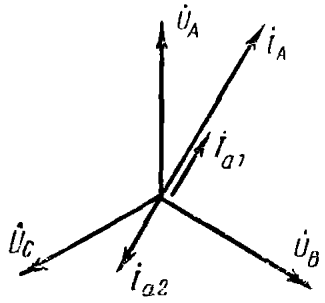


Рис. 35. Векторная диаграмма токов для фазы A направленной поперечной дифференциальной защиты при направлении активной и реактивной мощности от шин в линию.

3. ИМИТАЦИЯ АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЙ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕЙСТВИЕМ РЕЛЕ

43. Для проверки реле направления мощности поперечной дифференциальной защиты, включенного на разность токов одноименных фаз параллельных линий, в него поочередно подается ток каждой из линий. Действие реле направления мощности оценивается по срабатыванию выходных промежуточных реле линий или по сигнальным лампам.

44. При анализе правильности включения трехфазного реле двустороннего действия (ФДМ-3/б) его поведение проверяется пофазно при действии каждого элемента поочередно. Если все три элемента реле включены одинаково, то от всех трех токов одной линии его подвижная система должна отклоняться в одну и ту же сторону и замыкать цепь отключения одной и той же линии. При подаче в реле поочередно токов одноименных фаз первой и второй линий реле должно отклоняться в противоположные стороны. Таким образом, 6 раз производится наблюдение за поведением реле, и каждый раз в протоколе проверки фиксируется отклонение подвижной системы реле.

В случае выполнения указанных двух требований построение характеристик для анализа правильности включения реле достаточно провести для одной фазы.

4. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАКА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РАБОТЫ РЕЛЕ

45. Линия изменения знака вращающего момента для реле РМБ-271 строится точно так же, как и для реле направления мощности, рассмотренных выше. По диаграмме определяется зона работы реле на отключение первой и второй линии. При коротком замыкании на первой линии вектор первичного тока $\dot{I}_{AK}$ фазы A расположится в первом квадранте, как показано пунктирной линией

на рис. 36. Вектор вторичного тока фазы A, поступающего в реле при коротком замыкании на первой линии и равного $(\dot{I}_{a1k} - \dot{I}_{a2k})$, будет совпадать с вектором первичного тока короткого замыкания, так как при коротком замыкании на первой линии ток $I_{a1k} > I_{a2k}$, а ток $\dot{I}_{a1}$ при снятии векторной диаграммы тока нагрузки совпадал с первичным током (рис. 35). Следовательно, зона, в которую попадает вектор тока $\dot{I}_{a1k}$, будет зоной работы на отключение первой линии. Противоположная же зона, где при коротком замыкании на второй линии расположится вектор тока $\dot{I}_{a2k}$, находящийся в противофазе с $\dot{I}_{AK}$ $(I_{a2k} > I_{a1k})$, и будет зоной работы на отключение второй линии.

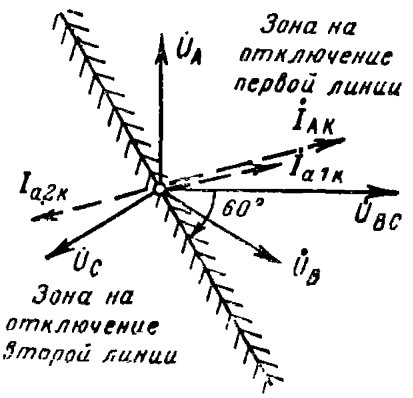


Рис. 36. Определение зон работы двустороннего реле направления мощности направленной поперечной дифференциальной защиты (реле типа РБМ-271 включено на ток $\dot{I}_A$ и напряжение $\dot{U}_{BC}$).

5. АНАЛИЗ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ

46. Анализ правильности включения реле производится так же, как и для реле направления мощности защит от междуфазных и однофазных коротких замыканий. Отличие заключается в том, что при анализе правильности включения реле направления мощности направленной поперечной дифференциальной защиты нужно строить векторы вторичных токов обеих линий.

На рис. 36 в качестве примера построена линия изменения знака вращающего момента и определены зоны работы для одного элемента реле двустороннего действия, включенного на линейное напряжение $\dot{U}_{BC}$ и ток $\dot{I}_A$ фазы A.

Поскольку у реле РБМ-271 вращающий момент выражается как

$$M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + 30°),$$

то линия изменения знака вращающего момента находится под углом 60° к подводимому напряжению U_{BC}.

При снятии векторной диаграммы токов строятся векторы вторичных токов и вектор первичного тока нагрузки. Вектор вторичного тока нагрузки одной из линий совпадает с вектором первичного тока, а вектор вторичного тока нагрузки другой линии находится в противофазе с вектором первичного тока. В зависимости от того, в какую зону попадает вторичный вектор тока нагрузки данной линии, реле направления мощности должно замыкать свои контакты на отключение той или другой линии.

Реле включено правильно, если вектор вторичного тока нагрузки первой линии, подаваемого в реле, находится:

а) в зоне работы на отключение первой линии и реле имеет момент вращения в сторону срабатывания на отключение первой линии;

б) в зоне работы на отключение второй линии и реле имеет момент вращения в сторону срабатывания на отключение второй линии.

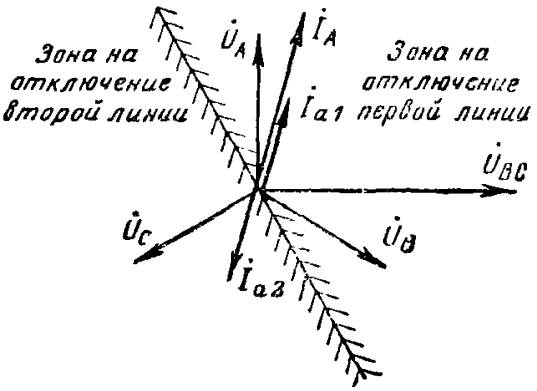


Рис. 37. Диаграмма проверки под нагрузкой правильности включения реле направления мощности двустороннего действия в схеме направленной поперечной дифференциальной защиты.

Реле включено неправильно, если положение вектора вторичного тока и вращающий момент на реле не соответствуют указанным выше соотношениям.

Аналогичные выводы могут быть сделаны также на основании рассмотрения вектора вторичного тока второй линии.

Если для диаграммы, приведенной на рис. 37, при направлении активной и реактивной мощностей от шин подстанции в линию реле, включенное на напряжение $\dot{U}_{BC}$ с током $\dot{I}_{a1}$, отключает первую линию, а с током $\dot{I}_{a2}$ — вторую линию, то оно включено правильно.

6. УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК, ВЫЯВЛЕННЫХ ПРИ ПРОВЕРКЕ РЕЛЕ

47. Устранение ошибок, выявленных при проверке реле направления мощности поперечной дифференциальной защиты, производится так же, как и при проверке реле направления мощности направленных защит от междуфазных и однофазных коротких замыканий.

Раздел пятый

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

48. Проверка реле направления мощности обратной последовательности производится в соответствии с теми же принципами, что и проверка реле, включенных на полные токи и напряжения.

Для проверки реле направления мощности обратной последовательности необходимо имитировать в цепях тока и напряжения несимметричное короткое замыкание (однофазное или двухфазное), при котором на реле будут поданы ток и напряжение обратной последовательности.

Применяются два метода проверки реле направления мощности обратной последовательности: а) с использованием угловой характеристики реле, построенной по полным токам и напряжениям, и б) с использованием угловой характеристики реле, построенной по составляющим обратной последовательности.

49. Проверка цепей напряжения и тока, а также снятие векторной диаграммы токов для реле направления мощности обратной последовательности производятся точно так же, как и для реле направления мощности, включенных на полные токи и напряжения.

50. Дополнительно измеряется напряжение небаланса на выходе фильтра напряжения обратной последовательности, а также ток или напряжение небаланса на выходе фильтра тока обратной последовательности.

2. ИМИТАЦИЯ АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЙ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕЙСТВИЕМ РЕЛЕ

51. Имитация однофазного короткого замыкания. Во втором разделе настоящей инструкции были рассмотрены векторные диаграммы и основные соотношения, характерные для токов и напряжений при однофазном коротком замыкании (см. рис. 23,*а*, *б*). Напряжение поврежденной фазы уменьшается до нуля, а напряжения неповрежденных фаз изменяются незначительно. Ток протекает к месту короткого замыкания только по поврежденной фазе.

В соответствии с этим для имитации однофазного короткого замыкания на зажимы панели защиты подаются от трансформатора напряжения две неповрежденные фазы, а вместо поврежденной фазы подключается нулевой провод от трансформатора напряжения. Так, на рис. 38,*а* показано подключение цепей напряжения для случая имитации однофазного короткого замыкания на фазе *А*.

Для имитации в токовых цепях однофазного короткого замыкания на фазе *А* на зажимах панели остаются подключенными только провод фазы *А* и нулевой (рис. 38,*б*). Положение составляющих

тока и напряжения обратной последовательности относительно полного тока и напряжения, подаваемых на панель, показано на рис. 23. Напряжение обратной последовательности поврежденной фазы *А* находится в противофазе с напряжением прямой последовательности фазы *А*, а следовательно, и с полным фазным напряжением фазы *А*. Ток обратной последовательности поврежденной фазы *А* совпадает с полным током этой фазы.

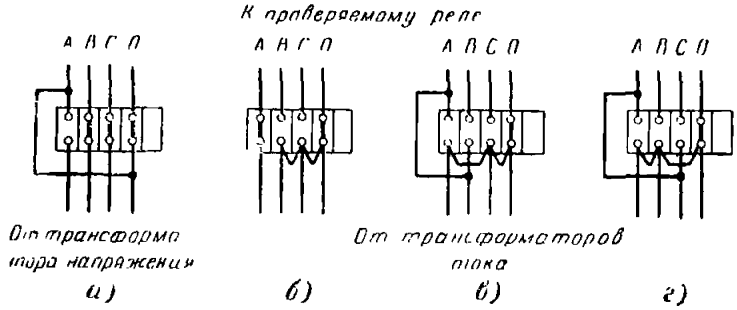


Рис. 38. Схема подключения цепей напряжения и цепей тока при проверке правильности включения реле направления мощности обратной последовательности методом имитации однофазного короткого замыкания.

Если при подаче тока фазы *А* и напряжения по схеме, приведенной на рис. 38,*а*, на подвижной системе реле не будет четкого момента на срабатывание или заклинивание, следует подать на панель ток другой фазы — *В* или *С*. При этом для имитации однофазного короткого замыкания на фазе *А* токи фаз *В* или *С* должны быть поданы на зажимы фазы *А*, как показано на рис. 38,*в* и *г*.

Так же как и при проверке других реле направления мощности, каждый раз при подаче на панель тока и напряжения в протоколе фиксируется поведение реле.

52. Имитация двухфазного короткого замыкания. При двухфазном коротком замыкании вблизи места установки защиты линейное напряжение между поврежденными фазами снижается до нуля, а напряжение неповрежденной фазы, незначительно изменяясь по величине, остается неизменным по направлению. Токи в поврежденных фазах равны по величине и противоположны по направлению, а в неповрежденной фазе ток отсутствует. Вектор разности токов поврежденных фаз отстает от вектора напряжения между этими фазами на шинах подстанции на угол $\varphi_{к.з}$, определяемый соотношением величин активного и реактивного сопротивлений.

Векторная диаграмма полных первичных токов и напряжений для случая двухфазного короткого замыкания между фазами *В* и *С* у шин подстанции представлена на рис. 39,*а*, а векторные диаграммы симметричных составляющих токов и напряжений для этого случая — на рис. 39,*б*.

Таким образом, при коротком замыкании между фазами *В* и *С* от трансформаторов тока к зажимам панели защиты подаются ток

I_B и равный ему, но противоположно направленный ток I_C, а от трансформаторов напряжения—напряжение $\dot{U}_{AB}$ и равное ему напряжение $\dot{U}_{AC}$.

При этом $\dot{I}_A = 0$ и $\dot{U}_{BC} = 0$.

На выходе фильтров тока и напряжения обратной последовательности создаются ток и напряжение, пропорциональные составляющим обратной последовательности, которые и подводятся к обмоткам реле направления мощности. Для имитации условий

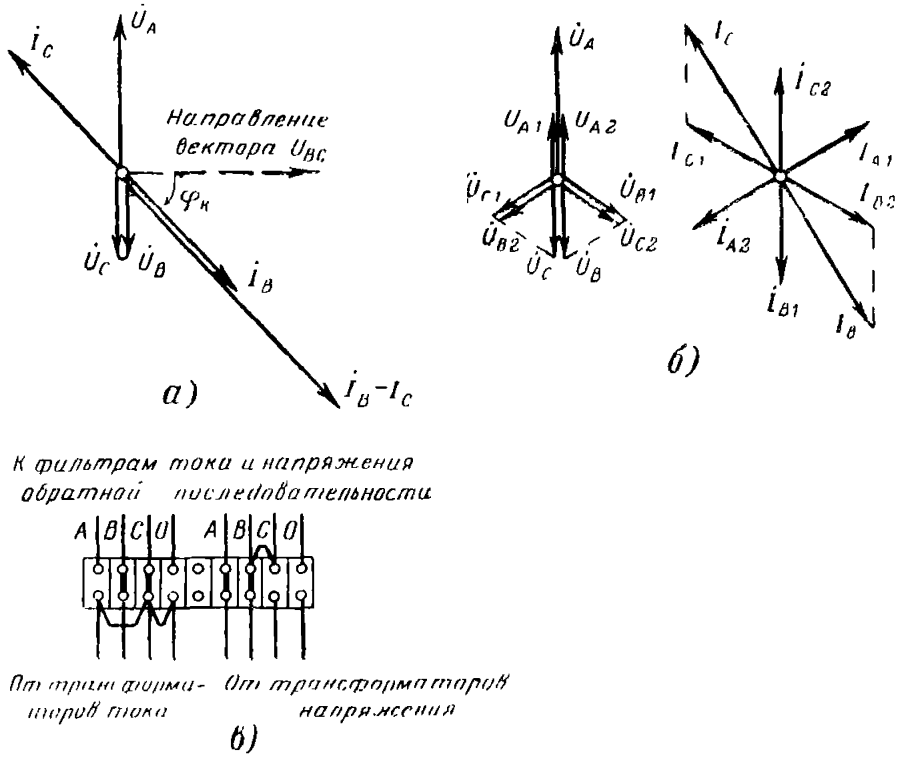


Рис. 39. Векторные диаграммы токов и напряжений двухфазного короткого замыкания между фазами *B* и *C* и схема имитации двухфазного короткого замыкания.

двухфазного короткого замыкания, как это следует из векторной диаграммы, на зажимы панели защиты должны быть поданы:

а) равные и одинаково направленные напряжения между каждой из фаз, на которых имитируется двухфазное короткое замыкание, и неповрежденной фазой (между поврежденными фазами напряжение должно быть равно нулю);

б) равные и противоположно направленные токи в те две фазы, на которых имитируется двухфазное короткое замыкание. В неповрежденной фазе ток должен быть равен нулю. Схема подключения цепей тока и напряжения при проверках реле направления мощности обратной последовательности приведена на рис. 39,*в*.

Цепи напряжения фаз, между которыми имитируется двухфазное короткое замыкание (например, фазы B и C на рис. 39,*в*), объединяются, и на панель подается напряжение между неповрежденной фазой и одной из поврежденных (например, U_{AB}). Ток от фазы B трансформатора тока пропускается через фазы B и C токовых цепей панели, на которых имитируется двухфазное короткое замыкание. Если при этом реле не будет иметь четкого момента на срабатывание или на заклинивание, на зажимы панели необходимо подать напряжение или ток другой фазы.

При проверке по методу имитации двухфазного короткого замыкания можно не рассматривать разложение на симметричные составляющие, так как анализ правильности включения реле производится по полным токам и напряжениям, что упрощает проверку. Следует также отметить, что при имитации двухфазного короткого замыкания мощность на реле получается больше, что особенно ценно при малых токах нагрузки.

3. ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАКА ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ РАБОТЫ И ЗОНЫ ЗАКЛИНИВАНИЯ

53. При имитации однофазного короткого замыкания анализ правильности включения реле направления мощности обратной последовательности производится по составляющим тока и напряжения обратной последовательности.

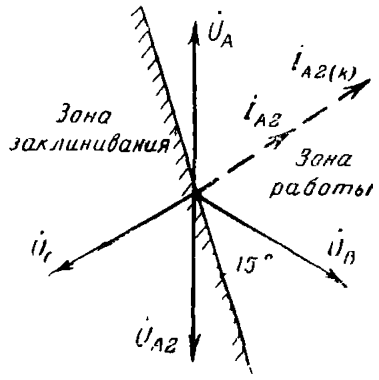


Рис. 40. Диаграмма, поясняющая построение зоны работы реле направления мощности обратной последовательности при имитации однофазного короткого замыкания.

На рис. 40 построена линия изменения знака вращающего момента и определена зона работы для реле направления мощности обратной последовательности ИМБ-171/Ф1 защиты типа ПЗ-164 (ПЗ-156). Рассмотрен случай, когда при проверке реле имитируется однофазное короткое замыкание на фазе A.

а) Строится вектор первичного напряжения обратной последовательности $\dot{U}_{A2}$, находящийся в противофазе с вектором напряжения $\dot{U}_A$.

б) Под углом $\varphi_р = -15°$ относительно напряжения $\dot{U}_{A2}$ строится линия изменения знака вращающего момента в соответствии с выражением $M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + 105°)$.

в) Определяется положение первичного вектора $\dot{I}_{A2(k)}$ при однофазном коротком замыкании на фазе A защищаемого присоединения. Ток $\dot{I}_{A2(k)}$ показан на рис. 40 пунктирной линией. Зона, в которую попадает вектор тока $I_{A2(k)}$, должна быть зоной работы реле, что и обозначено на чертеже.

54. При имитации двухфазного короткого замыкания анализ правильности включения реле направления мощности обратной последовательности производится по полным току и напряжению.

На рис. 41 построена линия изменения знака вращающего момента и определена зона работы для реле направления мощности обратной последовательности ИМБ-171/Ф1 защиты ПЗ-164(ПЗ-156).

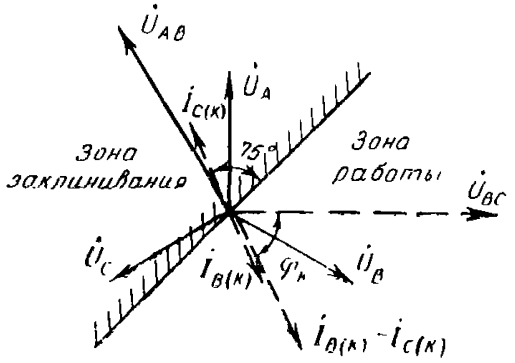


Рис. 41. Диаграмма, поясняющая построение зоны работы реле направления мощности обратной последовательности при имитации двухфазного короткого замыкания.

Рассмотрен случай, когда при проверке реле имитируется двухфазное короткое замыкание между фазами *B* и *C*.

Характеристика вращающего момента указанного реле, снятая по схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание на фазах *B* и *C*, имеет выражение

$$M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + 195°),$$

где $U_р$ и $I_р$ — напряжение и ток, подаваемые на панель по схеме, имитирующей двухфазное короткое замыкание между фазами *B* и *C*.

При проверке реле под нагрузкой на панель защиты подаются напряжение $\dot{U}_{AB}$ и ток фазы *B* по схеме, показанной на рис. 39,*в*:

а) строится вектор подаваемого на реле напряжения $\dot{U}_{AB}$;

б) под углом $\varphi = -75°$ относительно напряжения $\dot{U}_{AB}$ наносится линия изменения знака вращающего момента;

в) определяется положение вектора первичного тока $\dot{I}_{B(k)}$ при двухфазном коротком замыкании на фазах *B* и *C*. Зона, в которую попадает вектор тока $\dot{I}_{B(k)}$, должна быть зоной работы.

4. АНАЛИЗ ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ

55. Анализ правильности включения реле направления мощности обратной последовательности производится по векторам первичных токов и напряжений так же, как и для реле направления мощности других типов.

В качестве примера на рис. 42 построена векторная диаграмма первичных токов и напряжений для заданного направления нагрузки при имитации однофазного короткого замыкания на фазе A и указано поведение реле при правильном включении.

Если при направлении активной и реактивной мощностей от шин в линию реле с токами $\dot{I}_A$ и $\dot{I}_B$ замыкает контакты, а с током $\dot{I}_C$ заклинивает, значит, оно включено правильно.

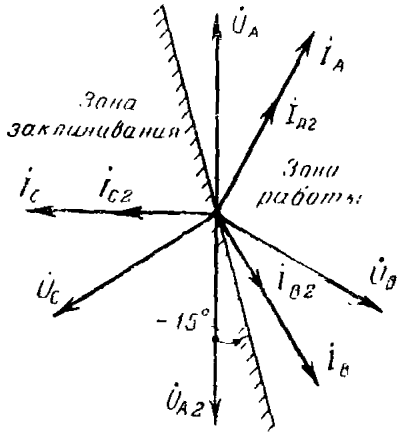


Рис. 42. Диаграмма проверки под нагрузкой правильности включения реле направления мощности обратной последовательности при имитации однофазного короткого замыкания на фазе A.

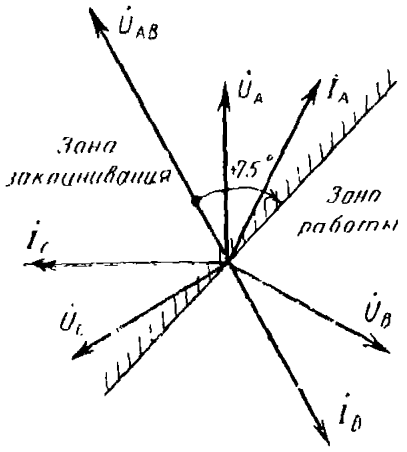


Рис. 43. Диаграмма проверки под нагрузкой правильности включения реле направления мощности обратной последовательности при имитации двухфазного короткого замыкания между фазами B и C.

Для того же самого реле на рис. 43 произведено построение при имитации двухфазного короткого замыкания между фазами B и C и указано поведение реле при правильном включении.

Если при направлении активной и реактивной мощностей от шин в линию реле с током $\dot{I}_B$ замыкает контакты, значит, оно включено правильно.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Раздел первый

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 4
1. Общие требования к проверке реле 4
2. Угловые характеристики реле направления мощности 5
3. Схемы включения реле направления мощности . . 16

Раздел второй

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ . 29
1. Последовательность проверки 29
2. Проверка цепей напряжения 29
3. Снятие векторной диаграммы, проверка токовых цепей 30
4. Имитация аварийных условий и наблюдение за действием реле 32
5. Построение линии изменения знака вращающего момента и определение зоны работы и зоны заклинивания 33
6. Анализ правильности включения реле 34
7. Устранение ошибок, выявленных при проверке . . 36
8. *Особенности проверки трехфазного реле направления* мощности 37
9. Особенности проверки реле в схемах автоматики, действующей при повышении напряжения 37

Раздел третий

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ 38
1. Последовательность проверки 38
2. Проверка цепей напряжения, снятие векторной диаграммы токов и проверка токовых цепей . . . 38
3. Имитация аварийных условий и наблюдение за действием реле 39
4. Проверка правильности подключения дополнительного вывода для испытания защиты 44
5. *Построение линии изменения знака вращающего* момента и определение зоны работы и зоны заклинивания 48

6. Анализ правильности включения реле 49
7. Устранение ошибок, выявленных при проверке . 50
8. Особенности проверки реле направления мощности нулевой последовательности в схемах защит трансформаторов и автотрансформаторов от замыканий на землю 50
9. Особенности проверки реле направления мощности нулевой последовательности с токовой поляризацией 51

Раздел четвертый

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ В СХЕМЕ НАПРАВЛЕННОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ 53
1. Общие положения 53
2. Проверка цепей напряжения, снятие векторной диаграммы токов и проверка токовых цепей 53
3. Имитация аварийных условий и наблюдение за действием реле 54
4. Построение линии изменения знака вращающего момента и определение зоны работы реле 54
5. Анализ правильности включения реле 55
6. Устранение ошибок, выявленных при проверке реле . 56

Раздел пятый

ПРОВЕРКА РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ 57
1. Общие положения 57
2. Имитация аварийных условий и наблюдение за действием реле 57
3. Построение линии изменения знака вращающего момента и определение зоны работы и зоны заклинивания 60
4. Анализ правильности включения реле 61

gost.e-ecolog.ru