

Изобретение относится к области электроэнергетики и может применяться в сетях 6 - 35кВ с изолированной нейтралью, а также в аналогичных сетях низкого напряжения.

Широко известны и применяются в промышленности электромеханические токовые реле типов ЭТ521/0,2, РТ40/0,2, ЭТД551/60 и др. Обмотка такого реле подключается к вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП). При возникновении в сети с изолированной нейтралью однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) на одном из присоединений во вторичных обмотках ТТНП всех присоединений сети протекает ток нулевой последовательности I_0 . Этот же ток протекает и через обмотки электромеханических реле присоединений, отходящих от данной сети. Ток наибольшего значения протекает через обмотку реле поврежденного присоединения, т.е. присоединения, на котором произошло ОЗЗ. Реле этого присоединения срабатывает (включается) и далее либо дает команду на отключение этого поврежденного присоединения, либо подает сигнал (лампа, указательное реле, светодиод и т.п.) о появлении ОЗЗ на данном присоединении. Уставки тока срабатывания реле защиты от ОЗЗ рассчитываются специально и затем устанавливаются на всех реле присоединений, отходящих от данной сети. Уставки срабатывания реле индивидуальны для каждого присоединения.

Широко известны и применяются в промышленности электронные токовые реле типов РТЗ-50, РТЗ-51. Принцип их действия тот же, что и у электромеханических реле (т.е. они срабатывают при превышении током I_0 токовой уставки данного реле), но выполнены они с применением электронных элементов (транзисторы, диоды, операционные усилители и т.п.).

Общим недостатком токовых реле защиты от ОЗЗ является то, что уставка по току срабатывания не зависит от полноты однофазного замыкания на землю. Коэффициент полноты ОЗЗ:

$$\beta = \frac{U_0}{U_\phi},$$

где U_0 - напряжение смещения нейтрали сети в режиме ОЗЗ,

U_ϕ - фазное напряжение сети в нормальном режиме, когда ОЗЗ отсутствует.

Ток в месте замыкания на землю I_3 , напряжение U_0 и коэффициент β зависят от значения сопротивления замыкания на землю R_3 . Если ОЗЗ произошло через сопротивление $R_3 \approx 0$ (так называемое металлическое ОЗЗ), то $U_0 = U_\phi$ и $\beta = 1$, а ток $I_3 = I_{3 \max}$. Если же $R_3 = \infty$, то $U_0 = 0$, $\beta = 0$ и $I_3 = 0$. Таким образом, при изменении сопротивления ОЗЗ R_3 в диапазоне $0 \dots \infty$ напряжение U_0 изменяется в пределах $U_\phi \dots 0$, а коэффициент $\beta = 1 \dots 0$. Ток в месте замыкания на землю I_3 при этом изменяется в диапазоне $I_{3 \max} \dots 0$.

Уставки по току срабатывания на реле защиты от ОЗЗ отходящих присоединений устанавливаются исходя из величины $(0,7 \dots 0,9)I_{3 \max}$. Следовательно, если ОЗЗ происходит через значительное сопротивление R_3 , то ток I_3 в месте замыкания - т.е. ток нулевой последовательности в поврежденном присоединении - не достигает тока срабатывания реле поврежденного присоединения, реле не сработает и не будет информации о том, какое же присоединение

повреждено, т.е. на каком присоединении произошло ОЗЗ. При малых же уставках тока срабатывания происходят ложные срабатывания реле защиты от ОЗЗ, т.е. после возникновения ОЗЗ могут сработать два или несколько реле разных присоединений, тогда как ОЗЗ произошло только на одном присоединении.

Известно электронное реле РТЗ-51 [1], которое представляет собой реле тока. На вход реле подается от вторичной обмотки ТТНП защищаемого присоединения ток нулевой последовательности I_0 . Входной блок реле содержит элемент защиты от чрезмерно больших входов токов I_0 . Здесь же имеются элементы, с помощью которых устанавливается ток срабатывания реле.

Измерительный блок содержит пороговый элемент, в котором производится сравнение тока уставки (порога) и входного сигнала в виде тока I_0 . Если входной ток нулевой последовательности I_0 превышает ток установки реле, на выходе измерительного блока появляется сигнал, который поступает в исполнительный блок. Здесь он усиливается и приводит к включению выходного реле, которое включением (отключением) своих контактов включает сигнал (лампа, светодиод, указательное реле), свидетельствующий о повреждении данного присоединения. Иногда выходное реле действует на отключение выключателя поврежденного присоединения.

Известное реле характеризуется уже отмеченными недостатками:

1. Ток срабатывания реле (уставка срабатывания) не зависит от полноты замыкания на землю, в связи с чем при токах замыкания I_3 и напряжении смещения нейтрали U_0 меньших 50 - 60% максимальных, реле многих присоединений могут не сработать и тогда поврежденное присоединение окажется не выявленным, что приведет к значительному технико-экономическому ущербу.

2. При заниженных уставках срабатывания по току (с целью избежать вышеуказанного недостатка, п.1) происходят ложные срабатывания реле, т.е. реле срабатывает при отсутствии ОЗЗ на защищаемом присоединении в режиме наличия ОЗЗ на другом присоединении.

Задачей настоящего изобретения является устранение указанных недостатков и повышение надежности срабатывания реле в широком диапазоне изменения сопротивления R_3 и тока I_3 замыкания на землю. Это достигается тем, что реле снабжено блоком автоматического регулирования тока срабатывания (уставки срабатывания по току) в функции напряжения смещения нейтрали сети.

Сущность предлагаемого реле поясняется чертежом, где на фиг.1 изображена функциональная схема заявляемого реле, а на фиг.2, фиг.3 - зависимости $I_{ср} = f(U_0)$.

Устройство содержит входной блок 1, измерительный блок 2, блок автоматического регулирования тока срабатывания (уставки срабатывания реле) 3 и исполнительный блок 4. Вход блока 1 соединен со вторичной обмоткой ТТНП отходящего присоединения, поэтому на вход блока 1 в режиме ОЗЗ подается в качестве сигнала ток нулевой последовательности I_0 . Вход блока 3 соединен с выходом обмотки "разомкнутый треугольник" трансформатора напряжения, благодаря чему в режиме ОЗЗ на вход блока 3 поступает напряжение смещения нейтрали U_0 . Уставка тока срабатывания реле

устанавливается в блоке 1, а порог срабатывания по току устанавливается в блоке 2. Закон изменения порога срабатывания реле по току вырабатывается блоком 3. Выходы блоков 1 и 3 присоединены к отдельным входам блока 2, выход последнего соединен со входом блока 4. Выход блока 4 в виде контактов выходного реле или электронных ключей (на схеме не показаны) включены в цепь элемента сигнализации (лампа, светодиод, указательное реле и т.п.), а при необходимости - и в цепь электромагнита отключения выключателя защищаемого присоединения.

Закон изменения тока срабатывания реле $I_{ср}$ в функции напряжения смещения нейтрали U_0 может быть разным. Общий его принцип состоит в том, что ток уставки $I_{ср}$ уменьшается с уменьшением U_0 . Можно выразиться иначе: ток $I_{ср}$ увеличивается с увеличением U_0 . Существует некоторый порог напряжения U_0 , при котором защита от ОЗЗ на практике не работает, этот порог колеблется в диапазоне $U_{0\text{нач}} = (0 \dots 0,15)U_{0\text{max}}$, где $U_{0\text{max}} = U_{\phi}$. Здесь U_{ϕ} - фазное напряжение сети при отсутствии ОЗЗ. Обычно U_{ϕ} близко к номинальному фазному напряжению $U_{\phi\text{н}}$. Оптимальным является следующая зависимость $I_{ср}$ от U_0 :

$$\left. \begin{aligned} I_{ср} &= I_{ср\text{min}} + KU_0 \text{ при } U_{0\text{нач}} < U_0 \leq U_{\phi} \\ I_{ср} &= I_{ср\text{min}} \text{ при } U_0 \leq U_{0\text{нач}} \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\text{где } K = \frac{I_{з\text{max}} - I_{ср\text{min}}}{U_{\phi\text{н}} - U_{0\text{нач}}} \quad (2)$$

Эта зависимость показана на фиг.2. В диапазоне $U_0 = 0 \dots U_{0\text{нач}}$ ток срабатывания реле $I_{ср}$ имеет неизменное значение (заранее выбранное). С ростом напряжения смещения нейтрали U_0 сверх значения $U_{0\text{нач}}$ ток $I_{ср}$ линейно возрастает.

Реле работает следующим образом. При отсутствии ОЗЗ напряжение $U_0 \approx 0$, напряжение на входе блока 3 $U_0 = 0$, ток нулевой последовательности I_0 на входе блока 1 также близок к нулю, реле не работает, его уставка по току срабатывания согласно фиг.2 составляет $I_{ср\text{min}}$. Эта же уставка сохраняется и при ОЗЗ в данной сети через большое сопротивление замыкания R_3 , когда напряжение смещения нейтрали $U_0 > U_{0\text{нач}}$.

Пусть теперь ОЗЗ в сети произошло через сравнительно небольшое сопротивление R_3 , при котором напряжение $U_0 > U_{0\text{нач}}$. Будучи поданным на вход блока 3, это напряжение приведет к увеличению порога срабатывания блока 2 и ток срабатывания реле увеличится, его значение определится выражениями (1), (2), графически представленными на фиг.2. Чем больше в режиме ОЗЗ напряжение смещения нейтрали U_0 , тем больше уставка $I_{ср}$ по току срабатывания реле.

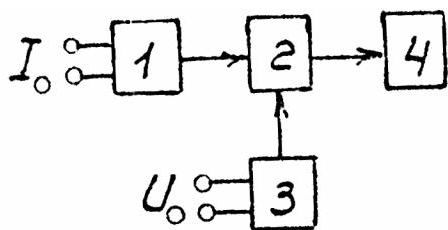
Если ОЗЗ произошло не на данном присоединении, то поступающий на вход блока 1 ток I_0 будет меньше уставки срабатывания реле и оно не сработает. Если же ОЗЗ произошло на данном присоединении, то через его ТТНП будет протекать весь ток замыкания I_3 всей сети; ток I_0 на входе блока 1 превысит ток уставки данного реле, измерительный блок 2 зафиксирует этот факт и выдаст сигнал в исполнительный блок 4. В результате сработает выходное реле (или электронный ключ) блока 4 и выдаст сигнал в систему сигнализации, на элемент индикации

поврежденного присоединения и, если необходимо, на отключение выключателя поврежденного присоединения.

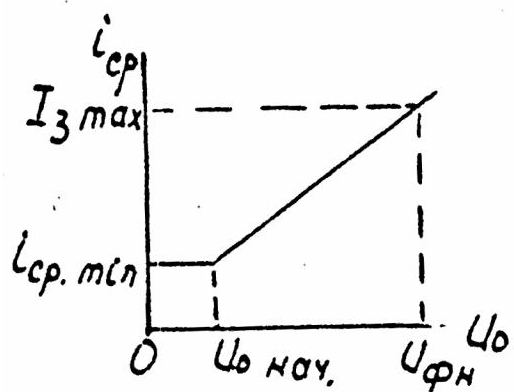
После ликвидации ОЗЗ или отключения поврежденного присоединения напряжения U_0 и ток I_0 падают до нуля, реле возвращается в исходное положение.

Блок автоматического регулирования 3 выполняет также и функцию запрета срабатывания реле, если напряжение смещения нейтрали меньше заранее выбранного значения. Это нужно для предотвращения ложных срабатываний реле от различных помех, в том числе и от токов небаланса ТТНП. Напряжение запрета $U_{зап}$ выбирается меньшим $U_{0\text{нач}}$, например, $U_{зап} = 0,75U_{0\text{нач}}$. Такая мера еще больше повышает вероятность правильной и четкой работы реле. Запрет срабатывания реле при $U_0 < U_{0\text{нач}}$ можно рассматривать так, как будто установка по току срабатывания реле равна бесконечности. Тогда характеристику $I_{ср} = f(U_0)$ можно представить ломаной линией на фиг.3. Здесь точка на оси абсцисс $U_0 = a \cdot U_{0\text{нач}}$, где $a < 1$, означает запрет срабатывания реле по его токовой уставке, поскольку при малом U_0 ОЗЗ фактически не имеет места, а наблюдается несимметрия сопротивлений фаз сети (емкостей и активных сопротивлений изоляции) относительно земли.

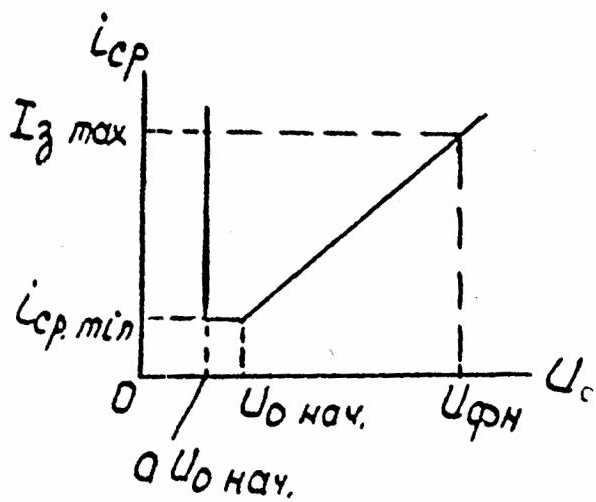
Данное реле опробовано на макете сети в лабораторных условиях. Результаты испытаний вполне согласуются с данными. Подтверждена надежная и четкая работа реле.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3