

## РЕЛЕ РАВНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К РАЗЛИЧНЫМ ВИДАМ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Н. В. ЛИСЕЦКИЙ, В. И. ХУДУГУЕВ, Ю. А. КУЛАГА

(Представлена научным семинаром кафедры электрических станций)

Анализируя все виды современных релейных защит от многофазных к. з., можно выделить их одну общую отрицательную сторону, которая выражается в неодинаковой чувствительности многих защит к различным видам к. з. Как известно, это обстоятельство делает необходимой проверку чувствительности защит при двухфазном к. з. и при недостаточной чувствительности ограничивает область применения более простых защит.

Применение функционального преобразователя [1] дает возможность получить реле равной чувствительности к токам при различных к. з. на одинаковой удаленности от места установки защиты. Функциональные преобразователи (Ф. П.) могут быть использованы для простых и сложных защит, обеспечивая равную чувствительность.

Для сетей с малыми токами замыкания на землю при установке трансформаторов тока в двух фазах схема включения преобразователя показана на рис. 1.

Согласно [1] напряжение выхода преобразователя имеет неодинаковый гармонический состав при различных видах коротких замыканий, и его действующее значение определяется из выражений:

а) при трехфазном коротком замыкании

$$U^{(3)} = \sqrt{U_3^2 + U_9^2 + \dots} \quad (1)$$

$U_3$ ;  $U_9$  — действующие значения напряжений 3, 9 гармоник выхода Ф.П. при трехфазном к.з., определяемые по формуле

$$U_k = 3 \frac{\lg \sqrt{3} H_{\text{эф}} - a_k}{b_k},$$

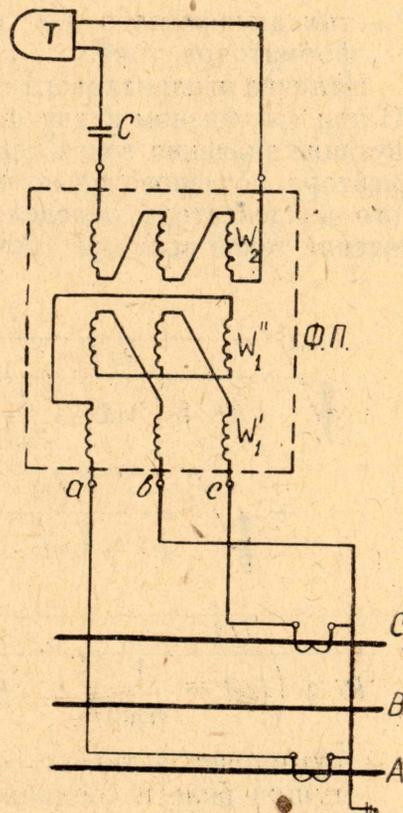


Рис. 1

$k = 3, 9, \dots$

$a_k; b_k$  — коэффициенты, постоянные для данного сорта железа;  
 $H_{эф}$  — эффективное значение напряженности магнитного поля;

$$H_{эф} = \frac{I^{(3)} \cdot \omega_1}{l_{ср}};$$

$I^{(3)}$  — ток трехфазного к.з., приведенный ко вторичной стороне трансформаторов тока;

$\omega_1$  — число витков первичной обмотки ФП;

$l_{ср}$  — длина средней силовой линии;

б) при двухфазном коротком замыкании

$$U^{(2)} = \sqrt{\sum_{\kappa=1} U_{\kappa}^2}; \quad \kappa = 1, 3, 5, 7, 9, \quad (2)$$

$U_{\kappa}$  — действующее значение напряжения  $\kappa$ -ой гармоники выхода Ф.П. при двухфазном к.з., определяемое из выражения [1]:

$$U_{\kappa} = \frac{a_{\kappa} - \lg \frac{H_{эф}}{2}}{b_{\kappa}};$$

$$H_{эф} = \frac{I^{(2)} \cdot \omega_1}{l_{ср}};$$

$I^{(2)}$  — ток двухфазного к.з., приведенный ко вторичной стороне трансформаторов тока.

Наличие неодинакового гармонического состава напряжения выхода ФП при трехфазном и двухфазном к.з. дает возможность уравнивать действующие значения токов через реле. Это достигается включением конденсатора последовательно катушке реле (рис. 1). Величина емкости этого конденсатора определяется из условия равенства действующих значений токов реле при трехфазном и двухфазном к.з.

$$I_p^{(3)} = I_p^{(2)} \quad \text{или} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{\frac{U_3^2}{R^2 + \left(3\omega L - \frac{1}{3\omega C}\right)^2} + \frac{U_9^2}{R^2 + \left(9\omega L - \frac{1}{9\omega C}\right)^2} + \dots} = \\ & + \sqrt{\frac{U_1^2}{k^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} + \frac{U_3^2}{R^2 + \left(3\omega L - \frac{1}{3\omega C}\right)^2} +} \\ & + \frac{U_5^2}{R^2 + \left(5\omega L - \frac{1}{5\omega C}\right)^2} + \frac{U_7^2}{R^2 + \left(7\omega L - \frac{1}{7\omega C}\right)^2} + \frac{U_9^2}{R^2 + \left(9\omega L - \frac{1}{9\omega C}\right)^2} \end{aligned}$$

$R$  — суммарное активное сопротивление вторичной обмотки ФП, катушки реле и соединительных проводов;

$\omega L$  — индуктивное сопротивление цепи нагрузки ФП;

$C$  — емкость, включенная последовательно реле.

Аналитическое решение данного уравнения дает два положительных значения емкостей. Причем эти значения требуют опытного уточнения ввиду того, что:

1. Индуктивность реле изменяется в зависимости от тока.

2. Не учитывается падение напряжения во вторичной обмотке

ФП.

Для экспериментального определения емкостей, обеспечивающих равную чувствительность, строятся кривые зависимости тока реле от величины емкости, включенной последовательно с его обмоткой, при протекании по первичным цепям ФП симметричного трехфазного и однофазного токов (режимы трехфазного и двухфазного к.з.).

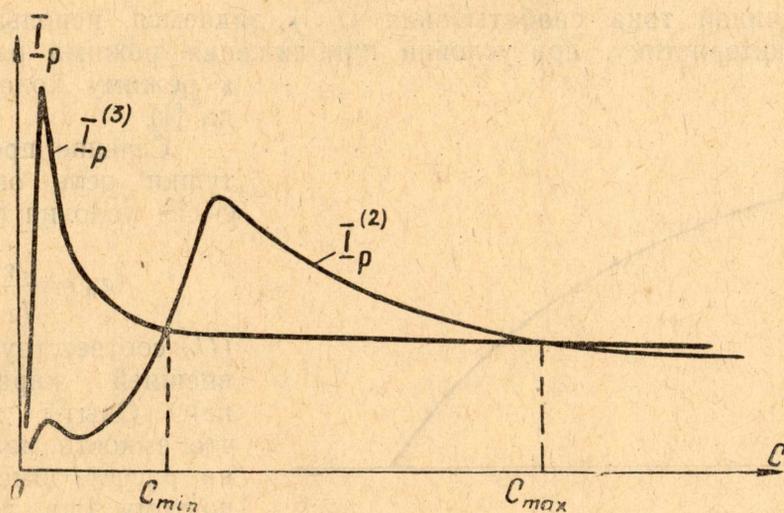


Рис. 2

Величина первичного тока постоянна и равна току срабатывания реле. Пересечение кривых (рис. 2) дает два значения емкости  $C_{\max}$  и  $C_{\min}$ . Большая величина  $C_{\max}$  лучшим образом обеспечивает равную чувствительность реле, так как при недостаточно точном ее определении равенство токов реле нарушается незначительно. Кроме того, при токах повреждения больше тока срабатывания указанное равенство лучше сохраняется, что видно из рис. 3.

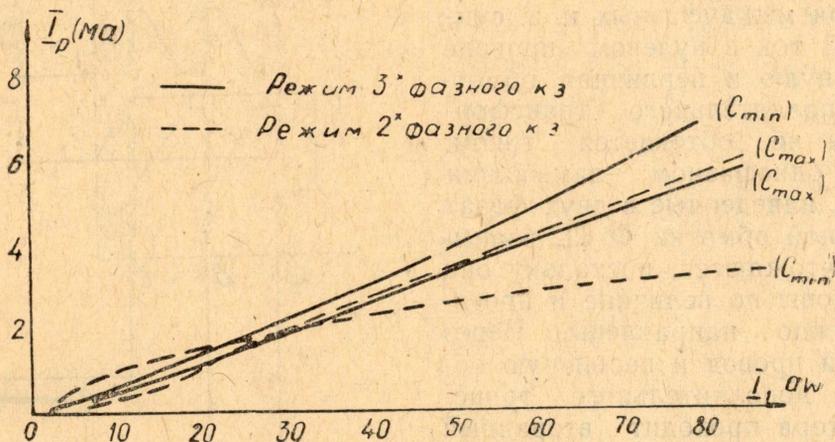


Рис. 3

В качестве реагирующего органа было использовано реле типа ЭТ. В зависимости от требуемого диапазона уставок изменялось число витков реле. Параметры обмотки реле определялись при помощи внешней характеристики ФП  $U_2^{(2)} = f(I_2)$  (рис. 4). Эта характеристика строилась при постоянном первичном токе, равном току срабатывания защиты. Поскольку для данной системы реле намагничивающая сила

срабатывания при средней установке ( $F_{\text{ср}}$ ) остается постоянной, то число витков реле определялось из выражения:

$$\omega_p = \frac{F_{\text{ср}}}{I_p} \quad I_p \text{ — ток срабатывания реле.}$$

Величиной тока срабатывания ( $I_p'$ ) задаемся, используя внешнюю характеристику, при условии приближения режима работы ФП к режиму холостого хода [1].

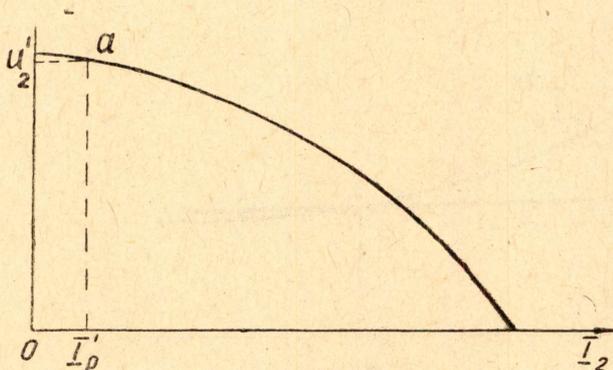


Рис. 4

Сечение провода катушки реле определяется из условия [2].

$$z_n = \frac{U_2'}{I_2}$$

( $U_2'$  соответствует  $I_p'$  на внешней характеристике). Опыты показали, что емкость мало влияет на расчет обмотки реле, поэтому она при расчетах не учитывается.

Для сетей с большими токами замыкания на землю можно добиться равной чувствительности защиты и при однофазных замыканиях. Для этого нужно в напряжение выхода ФП, ввести составляющую, пропорциональную току нулевой последовательности. Это обеспечивается добавлением в схему ФП дополнительного однофазного трансформатора (рис. 5).

При междуфазных к. з. суммарный ток в нулевом проводе равен нулю и первичная обмотка дополнительного трансформатора не обтекает током. При однофазном замыкании э. д. с., наведенные в двух фазах вторичной обмотки Ф П, взаимно уничтожаются, поскольку они одинаковы по величине и противоположно направлены. Через нулевой провод и первичную обмотку дополнительного трансформатора проходит вторичный ток однофазного замыкания. Поэтому к реле прикладывается напряжение пропорциональное току нулевой последовательности.

Число витков вторичной обмотки дополнительного трансформатора ( $W_2$ ) определяется из условия равенства токов через реле при трехфазном и однофазном к. з. в момент срабатывания реле.

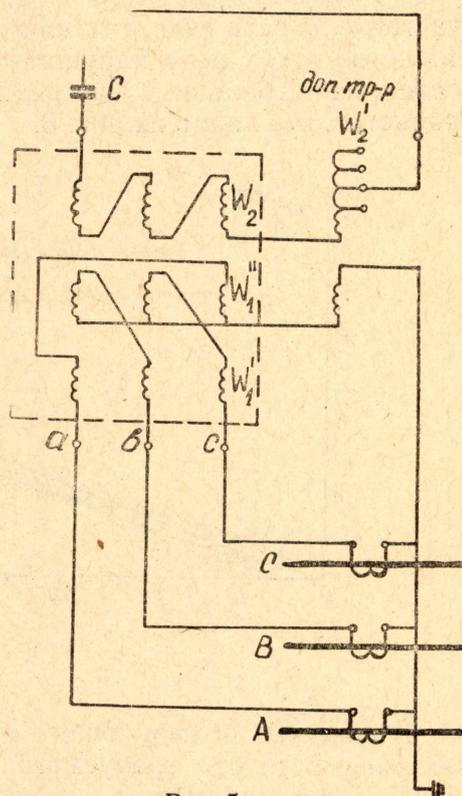


Рис. 5

Для применения реле равной чувствительности в различных сетях с большими токами замыкания на землю вторичная обмотка дополнительного трансформатора выполняется с отпайками.

### Выводы

1. Применение реле одинаковой чувствительности исключает необходимость проверки чувствительности защит при двухфазном к. з. Расширяется область применения простых защит.
2. Использование одного реагирующего органа при разных видах к. з.
3. В сетях с большими токами замыкания на землю можно отказаться от установки специальной земляной защиты.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Лисецкий, В. И. Худугуев, Ю. А. Кулага. Определение гармонического состава функционального преобразователя тока. Известия ТПИ, том 191.
2. В. Л. Фабрикант. Теория обмоток переменного тока. Госэнергоиздат, 1958.