Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 1, 1972 г.

ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВ ЗЕМЛЯНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 3—10 *кв*

С. А. Алаторцев, В. П. Ганский, К. Б. Мусс

Из множества вариантов устройств земляной защиты оптимальным для распределительных сетей является реле направления мощности нулевой последовательности с электронной бесконтактной схемой (рис. 1).

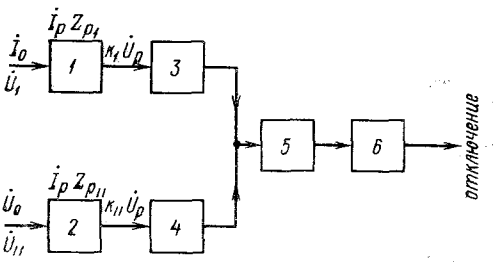


Рис. 1. Структурная схема защиты:

1, 2 — согласующие трансформаторы соответственно по цепям тока и напряжения нулевой последовательности; *3, 4* — входные ступени устройства (усилители-ограничители); *5* — логическая схема «И»; *6* — выходная бесконтактная ступень

Этот принцип осуществляется включением устройства на напряжение $\dot{U}=\dot{U}_0$ и ток $\dot{I}_p=\dot{I}_0$. Устройство действует, если угол между этими двумя сравниваемыми величинами находится в заданном диапазоне. Следовательно, характеристикой такого устройства является величина угла φ_0 между $\dot{I}_0$ и $\dot{U}_0$, на которую реагирует исполнительный орган защиты. Так как распределительные сети напряжением 3—10 *кв* в основном имеют изолированную нейтраль, мощность нулевой последовательности

$$\dot{P}_0 = \dot{U}_0 \dot{I}_0 \cos(\varphi_0 - \alpha),$$

где α — внутренний угол сдвига; в сетях с изолированной нейтралью $\alpha=90°$ и

$$\dot{P}_0 = \dot{U}_0 \dot{I}_0 \sin \varphi_0.$$

Максимальная чувствительность такой защиты имеет место при $\varphi_0=90°$. Следовательно, диапазон углов φ_0 между $\dot{I}_0$ и $\dot{U}_0$, при которых будет срабатывать реле с внутренним углом сдвига $\alpha=90°$,

$$90° \leqslant \varphi_0 - \alpha \leqslant -90°,$$

откуда

$$(90° + \alpha) \leqslant \varphi_0 \leqslant -(90° - \alpha). \qquad (1)$$

Характеристику реле по этому уравнению можно дать на комплексной плоскости сопротивлений.* Сигналы I_0 и U_0 со вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения нулевой последовательности подаются на согласующие трансформаторы, напряжение на выходе которых равно

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_{\text{I}} &= k_{\text{I}}\,\dot{U}_p + z_{p_{\text{I}}}\,\dot{I}_p \\ \dot{U}_{\text{II}} &= k_{\text{II}}\,\dot{U}_p + z_{p_{\text{II}}}\,\dot{I}_p\end{aligned}\right\}, \tag{2}$$

где κ_{I} и κ_{II} — коэффициенты трансформации согласующих трансформаторов; $z_{p\text{I}}$ и $z_{p\text{II}}$ — результирующие сопротивления трансформаторов.

Представляя $\dot{U}_{\text{I}}$ и $\dot{U}_{\text{II}}$ в виде

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_{\text{I}} &= a + jb = \dot{U}_{\text{I}} e^{\pm j\varphi_{\text{I}}} \\ \dot{U}_{\text{II}} &= c + jd = \dot{U}_{\text{II}} e^{\pm j\varphi_{\text{II}}}\end{aligned}\right\}, \tag{3}$$

получим

$$\frac{\dot{U}_{\text{I}}}{\dot{U}_{\text{II}}} = \frac{ac + bd \pm j(bc - ad)}{c^2 + d^2} = \frac{\dot{U}_{\text{I}}}{\dot{U}_{\text{II}}} e^{\pm j\varphi}, \tag{4}$$

где $\varphi = \varphi_{\text{I}} \pm \varphi_{\text{II}}$ — угол между $U_{\text{т}}$ и U_{II},

$$\sin\varphi = \frac{bc - ad}{\sqrt{(ac + bc)^2 + (bc - ad)^2}}. \tag{5}$$

Условие действия защиты на основании выражения (1) можно представить в виде $\sin\varphi \lessgtr 0$, но так как входные ступени устройства работают в режиме класса Б, положительный сигнал, поданный на базу триодов входных ступеней, не проходит, и триоды открываются только от отрицательного сигнала. Устойчивое действие защиты возможно в пределах $\sin\varphi < 0$ или, что то же,

$$bc - ad < 0.$$

Так как внутренний угол $\alpha = 90°$, полагаем

$$\left.\begin{aligned}\dot{U} &= U_0, \qquad Z_{p_{\text{I}}} = z_{p_{\text{I}}} e^{-j\psi_{\text{I}}} \\ \dot{I} &= I_0, \qquad Z_{p_{\text{II}}} = z_{p_{\text{II}}} e^{j\psi_{\text{II}}}.\end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Подставляя выражение (6) в формулу (2), получим

$$\dot{U}_{\text{I}} = k_{\text{I}}\,U_p + z_{p\text{I}}\,I_p e^{j\psi_{\text{I}}} = a + jb = k_{\text{I}}\,U_p + \\ + z_{p_{\text{I}}}\,I_p \cos\psi_{\text{I}} + j\,z_{p_{\text{I}}}\,I_p \sin\psi_{\text{I}}\,.$$

---

* Якубсон Г. Г. Фазосравнивающие импульсные схемы реле сопротивления на плоскостных полупроводниковых триодах. В сб. «Полупроводники в технике релейной защиты» № 2. Изд. Научно-технич. об-ва электрич. пром., 1958.

$$\dot{U}_{II} = k_{II}U_p + z_{p_{II}}I_p e^{j\psi_{II}} = c + jd = k_{II}U_p +$$

$$+ z_{p_{II}}I_p \cos\psi_{II} + jz_{p_{II}}I_p \sin\psi_{II};$$

$$bc - ad = z_{p_I} I_p \sin\psi_I \ (k_{II}U_p + z_{p_{II}}I_p \cos\psi_{II}) -$$

$$- (k_I U_p - z_{p_I} I_p \cos\psi_I)\, z_{p_{II}}I_p \sin\psi_{II} =$$

$$= U_p I_p (z_{p_I} k_{II} \sin\psi_I - z_{p_{II}} k_I \sin\psi_{II} +$$

$$+ I_p^2 z_{p_I} z_{p_{II}} (\cos\psi_I \sin\psi_{II} + \sin\psi_I \cos\psi_{II}) < 0.$$

Отсюда уравнение действия защиты в общем виде

$$z(z_{p_I} k_{II} \sin\psi_I - z_{p_{II}} k_I \sin\psi_{II} + z_{p_I} z_{p_{II}} \sin(\psi_I + \psi_{II}) < 0.$$

В зависимости от принимаемых значений κ_I и κ_{II} и z_{pI} и z_{pII} можно получить устройства с различными типовыми характеристиками.

По предварительным экспериментам принято $\kappa_I = \kappa$, $\kappa_{II} = -2\kappa$, $z_{pI} = z_p$, $z_{p_{II}} = 2z_p$ и соответственно углы $\psi_I - \psi_{II} = \psi_0$, $\psi_I + \psi_{II} = 2\psi_0$.

Тогда уравнение действия защиты

$$z[z_p(-2k)\sin\psi_I - 2z_{pII}\, k \sin\psi_{II}] + 2z_p^2 \sin(\psi_I - \psi_{II}) < 0,$$

после преобразования

$$z_{ср} > 2\frac{z_p}{k}\cos\frac{\psi}{2}$$

и соответствует окружности с радиусом $\frac{z_p}{2k}$, проходящей через начало координат RjX (рис. 2). Диаметр этой окружности наклонен к оси абсцисс под углом максимальной чувствительности ψ, который может принимать значения от 0 до 360° в зависимости от места замыкания фазы на землю относительно рассматриваемой защиты:

$z_{ср}$	1,42A*	1,73A	1,8A	2A	A	0,52A	0	$-A$	$-1,42A$	$-1,73A-2A$	
$\psi_{град}$	90	60	30	0	120	150	180	240	270	300	360

* $A\frac{z_p}{k}$

По этим данным можно определить зону максимальной чувствительности реле. В силу конструктивных особенностей такого прибора за исходный угол максимальной чувствительности принимаем $\psi = 0$, радиусом-вектором $\frac{z_p}{2k}$ описываем окружность, диаметр которой совпадает с осью абсцисс и равен $z_{ср\,max}$. Откладывая от вектора $z_{ср\,max}$ под углом ψ влево соответствующие значения $z_{ср}$, получим семейство окружностей с диаметрами $\frac{z_{p_1}}{k}$ ..., $\frac{z_{p_i}}{k} = f(\psi_i)$ и одной общей точкой 0. Плавная кривая, соединяющая концы векторов $z_{ср}$, является годографом чувствительности реле. Годограф представляет собой кардиоиду с максимумом при $\cos\psi = 1$.

На основании принятого ранее условия действия защиты ($\sin\psi<0$) участок годографа, соответствующий пределам изменения ψ от 0 до $-20°$, можно считать зоной надежного действия реле. Такие пределы изменения угла ψ приняты на основании экспериментальных исследований однофазных замыканий. Угол $\psi=0°$ соответствует глухому замыканию фазы на землю, а угол $\psi=-20°$ — порогу чувствительности защиты, т. е. минимально возможной уставке, при которой еще осуществима надежная селек-

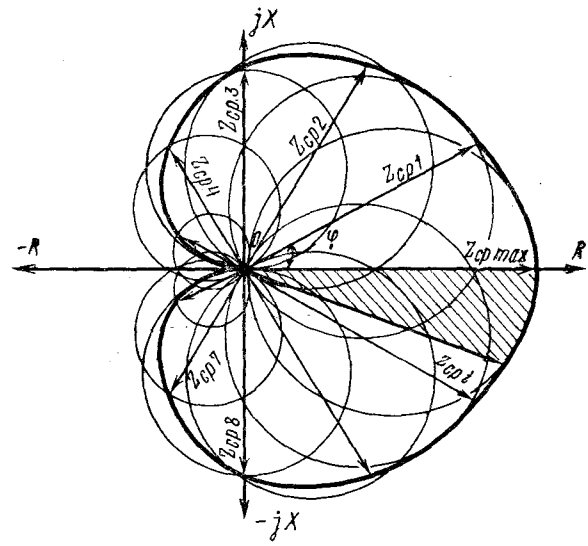


Рис. 2. Характеристика реле направления мощности нулевой последовательности на комплексной плоскости сопротивлений

тивность защиты. Ток утечки при этом не превышает 30 *ма*. При дальнейшем увеличении чувствительности возможны ложные действия защиты вследствие влияния переходных процессов при пуске высоковольтных двигателей, естественной несимметрии напряжений сети, токов небаланса трансформаторов, тока нулевой последовательности и т. п.