

## Задача 2

Дистанционные защиты линий.

Для дистанционной защиты полного сопротивления от междуфазных к. з. со ступенчатым временем срабатывания, установленной на линии 110 кВ ЛБ (рис. 2.1), определить первичные сопротивления срабатывания первой ( $z'_{c.з.1}$ ), второй ( $z''_{c.з.1}$ ) и третьей ( $z'''_{c.з.1}$ ) зон, времена срабатывания этих зон и графически представить характеристики согласования защит I, II и III поданным:

а)  $E''_I = E''_{II} = 66500$  в ;  $x''_I = 10$  ом ;  $x''_{II} = 30$  ом ; удельные полные сопротивления прямой последовательности всех линий одинаковы и равны  $z_l = 0,45$  ом/км, угол полного сопротивления равен  $\varphi_l = 65^\circ$

б) на подстанции Б установлены два трансформатора, работающие в параллель, мощностью по 15 тыс. кВа, 110/6,6 кВ,  $u_K = 10,5\%$  ;

в) схема защиты обладает одинаковой чувствительностью при различных видах к. з.;

г) пусковыми органами защиты (третья зона) являются направленные реле полного сопротивления, характеристики которых в комплексной плоскости описываются окружностью, проходящей через начало координат.

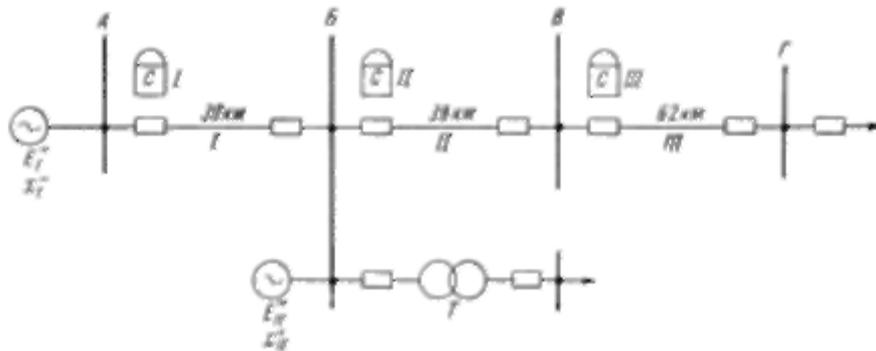


Рисунок 2.1 – Дистанционные защиты на радиальных линиях.

Сопротивление срабатывания этих реле выражается следующим уравнением:

$$z_{c.p} = z_y \cos(\varphi_p + \alpha) \quad (1)$$

где  $z_y = z_{c.p.макс}$  – максимальное сопротивление срабатывания реле (наибольшая чувствительность реле), характеризуемое диаметром окружности;

$\varphi_p$  – угол сдвига фаз между напряжением  $\dot{U}_p$  и током  $I_p$ , положительное значение которого принято при отставании по фазе  $I_p$  от  $\dot{U}_p$ ;

$\alpha = -65^\circ$  – угол максимальной чувствительности реле;

д) максимальные токи нагрузок на линиях  $AB$  и  $BB$  равны  $I_{раб.макс} = 400$  а, коэффициент мощности нагрузки (отстающий) равен 0,9 ( $\varphi_n = 26^\circ$ );

а) время срабатывания третьей зоны защиты  $II$  равно  $t_{3II} = 2,0$  сек.

*Решение.* Для удобства записей обозначим участки  $AB$ ,  $BB$ ,  $BG$  соответственно  $I$ ,  $II$ ,  $III$ .

Для согласования по чувствительности и времени защиты  $I$  с защитами  $II$  и  $III$  необходимо также вычислить уставки последних защит.

Приведем расчетные выражения для защиты  $I$ , которые могут быть применены и для защит  $II$  и  $III$ .

Учитывая коэффициент запаса, а также ошибки реле и измерительных трансформаторов в сторону уменьшения и увеличения защищаемых зон, первичные сопротивления срабатывания всех зон определяются следующим образом (Л. 1, 4, 30).

Первичное сопротивление срабатывания первой зоны защит  $I$ ,  $II$  и  $III$  должно быть отстроено от металлических к. з. в начале последующего участка (шины противоположного конца линии) и определяется по выражению

$$z'_{c.z} = k' z_l l, \quad (2)$$

где  $k' = 0,85 = 0,85$  – коэффициент надежности;  $l$  – длина линии, км.

В нашем случае

$$z'_{c.зIII} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 62 = 23,7 \text{ ом/ фаза};$$

$$z'_{c.зII} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 38 = 14,55 \text{ ом/ фаза};$$

$$z'_{c.зI} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 30 = 11,5 \text{ ом/ фаза};$$

Время срабатывания первых зон определяется собственными временами действия реле и условием отстройки от работы трубчатых разрядников на линии и составляет  $t_I, = (0,1 \div 0,2) \text{ сек.}$

Первичное сопротивление срабатывания второй зоны определяется из двух условий:

а) согласования с концом первой зоны (началом второй зоны) предыдущей защиты II (при одинаковых временах-срабатывания вторых зон)

$$z'_{c.зI} \leq k' z_I l + k'' k_{разв} z'_{c.зII} \quad (3)$$

где  $k' = 0,85$ ,  $k'' = 0,8$  – коэффициенты надежности;

$l$  – длина линии участка I, км;

$k_{разв} = \frac{I_{кII}}{I_{кI}}$  – коэффициент разветвления, учитывающий различие в токах

$I_{кII}$  на предыдущем участке II и  $I_{кI}$  на участке I линии, где установлена защита, при к. з. в конце первой зоны защиты II предыдущего участка.

При  $k_{разв} > 1$  имеет место подпитка, а при  $k_{разв} < 1$  имеет место отток на участке II по отношению к участку I.

Необходимо в расчетах принимать наименьшее значение  $k_{разв}$  для данной точки к. з. в реально возможном режиме работы;

б) отстройки от к. з. за трансформаторами подстанции B (рис. 2.1)

$$z''_{c.зI} \leq k''_{II.T} (z_I l_1 + k_{разв.T} z_T) \quad (4)$$

где  $k''_{II.T} = 0,75$  – коэффициент надежности;

$z_T$  – минимальное сопротивление параллельно работающих трансформаторов подстанции B;

$$k_{развТ} = \frac{I_{к.Т}}{I_{к.Л}} - \text{отношение тока через трансформаторы при к. з. за ними}$$

( $I_{к.Т}$ ) к току на участке линии  $I_{к.Л}$ . Меньшее из значений, полученных по выражениям (3) и (4), принимается за расчетное.

В цепях упрощения,  $k_{разв}$  определяют при расчете начальных значений сверхпереходных токов при трехфазных к. з. в расчетной точке.

В результате расчета (вычисления ввиду простоты не приводятся) мы получили:

$$z_T = 42,3 \text{ ом}; k_{разв} = k_{развТ} = 1,73$$

По выражениям (3) и (4) определяем:

$$z''_{с.зI} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 30 + 0,8 \cdot 1,73 \cdot 14,55 = 31,6 \text{ ом/ фаза};$$

$$z''_{с.зI} = 0,75(0,45 \cdot 30 + 1,73 \cdot 42,3) = 65,0 \text{ ом/ фаза};$$

принимаем  $z''_{с.зI} = 31,6 \text{ ом/ фаза}$ .

Определяем коэффициент чувствительности второй зоны защиты по выражению

$$k''_q = \frac{z''_{с.зI}}{z_1 l_1} = \frac{31,6}{0,45 \cdot 30} = 2,34; \quad (5)$$

по ПУЭ, этот коэффициент чувствительности должен быть порядка 1,25.

Время срабатывания вторых зон принимается на ступень селективности  $\Delta t$  больше времен срабатывания быстродействующих защит элементов, присоединенных к шинам подстанции  $B$  противоположного конца линии (линий и трансформаторов).

В нашем случае

$$t_{2I} = t_{1II} + \Delta t \approx t_{1T} + \Delta t = 0,15 + 0,5 = 0,65 \text{ сек.}$$

Аналогично вычисляем:

$$z''_{с.зII} = 0,85 \cdot 0,45 \cdot 38 + 0,8 \cdot 23,7 = 33,5 \text{ ом/ фаза}$$

Первичное сопротивление срабатывания пусковых органов (третья зона) дистанционной защиты обычно должно быть отстроено от

минимального рабочего полного сопротивления линии и согласовано по чувствительности с аналогичными органами предыдущей защиты.

Времена срабатывания третьих зон выбираются по встречно-ступенчатому принципу.

Для отстройки от минимального рабочего полного сопротивления линии, с учетом самозапуска нагрузки  $k_3 \approx 2$ , первичное сопротивление срабатывания пусковых органов (третья зона) определяется по выражению

$$z_{с.зII}''' = \frac{z_{раб.мин}}{k_3 k_n k_g} = \frac{0,9U_{ф.ном}}{I_{раб.макс} k_3 k_n k_g}, \quad (6)$$

где  $k_n = 1,15$  – коэффициент надежности;

$k_g = 1,1$  – коэффициент возврата реле;

$U_{ф.ном}$  – фазное номинальное напряжение.

С другой стороны, для направленного реле сопротивления из выражения (1), в первичных величинах, мы можем написать:

$$z_{с.з} = z_y \cos(\varphi_p + \alpha) \quad (7)$$

Подставляя в это выражение значение  $z_{с.з}'''$  из выражения (6) и значения  $\varphi_p = \varphi_n = 26^\circ$  и  $\alpha = -\varphi_l = -65^\circ$ , получаем выражение для уставки направленного реле сопротивления третьей зоны:

$$z_y''' = z_{с.з.макс}''' = \frac{0,9U_{ф.ном}}{I_{раб.макс} k_3 k_n k_g \cos(\varphi_n - \varphi_l)} \quad (8)$$

Принимаем, что по выражению (8) определена уставка третьей зоны защиты II.

Для координации по чувствительности уставка третьей зоны защиты I определяется по выражению

$$z_{yl}''' = 0,9z_{yl}''' = 0,9z_{с.з.макс}'''$$

Таким образом

$$z_{yl}''' = z_{с.зI макс}''' = \frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 110\,000}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 2 \cdot 1,15 \cdot 1,1 \cdot \cos(-39^\circ)} = 62,3 \text{ ом / фаза}$$

При к. з. на линии  $\varphi_p = \varphi_n = 65^\circ$ , поэтому из выражения (7)

имеем:

$$z_{c.зI}''' = z_{yI}''' = z_{c.зI.макс}'''$$

Чувствительность третьей зоны защиты I (пусковых органов), при ее работе в качестве основной, определяем по выражению

$$k_q''' = \frac{z_{yI}'''}{z_1 l_1} = \frac{62,3}{0,45 \cdot 30} = 4,6; \quad (9)$$

по ПУЭ,  $k_q'''$  должен быть порядка 1,5.

Определяем коэффициент чувствительности третьей зоны при ее действии в качестве резервной, т. е. при металлическом к. з. на шинах B, с учетом подпитки на линии BB, по выражению

$$k_q''' = \frac{z_{yI}'''}{z_1 l_1 + k_{раз} z_1 l_{II}} = \frac{62,3}{0,45 \cdot 30 + 1,73 \cdot 0,45 \cdot 38} = 1,44 \quad (10)$$

по ПУЭ,  $k_q'''$  должен быть не менее 1,2.

Выдержку времени третьей зоны защиты I определяем по выражению

$$t_{3I} = t_{3II} + \Delta t = 2 + 0,6 = 2,6 \text{ сек.}$$

Следует отметить, что иногда в целях уменьшения времен срабатывания третьих зон их первичные сопротивления срабатывания ограничивают, т. е. принимают меньшими, чем по выражению (6).

Вторичные сопротивления срабатывания отдельных зон определяются по выражению

$$z_{c.p} = k_{cx}^{(3)} z_{c.з} \frac{n_T}{n_H} \quad (11)$$

### Задание

Определить первичные сопротивления срабатывания первой ( $z'_{c.з.1}$ ), второй ( $z''_{c.з.1}$ ) и третьей ( $z'''_{c.з.1}$ ) зон, времена срабатывания этих зон. Использовать данные таблицы 2.1 в соответствии с вариантом.

## Варианты задания

№вар	$E_I'' = E_{II}'', \text{ в}$	$x_I'', \text{ ом}$	$x_{II}'', \text{ ом}$
1	66500	10	30
2	22000	15	45
3	66500	12	25
4	22000	16	40
5	66500	8	25
6	66500	10	30
7	22000	15	45
8	66500	12	25
9	22000	16	40
10	66500	8	25
11	66500	10	30
12	22000	15	45
13	66500	12	25
14	22000	16	40
15	66500	8	25
16	66500	10	30
17	22000	15	45
18	66500	12	25
19	22000	16	40
20	66500	8	25
21	66500	10	30
22	22000	15	45
23	66500	12	25
24	22000	16	40
25	66500	8	25
26	66500	10	30
27	22000	15	45
28	66500	12	25
29	22000	16	40
30	66500	8	25
31	66500	10	30
32	22000	15	45
33	66500	12	25
34	22000	16	40
35	66500	8	25
36	66500	10	30
37	22000	15	45
38	66500	12	25
39	22000	16	40
40	66500	8	25
41	66500	10	30
42	22000	15	45
43	66500	12	25
44	22000	16	40
45	66500	8	25
46	66500	10	30
47	22000	15	45
48	66500	12	25
49	22000	16	40
50	66500	8	25