

Пример 6.1

На понижающей подстанции в РУ 6 кВ расчетный ток КЗ составляет $I_{\text{п0}} = 22 \text{ кА}$. Выбрать реактор для ограничения токов КЗ до значения, удовлетворяющего термической стойкости кабеля $q_{\text{ал}} = 150 \text{ мм}^2$. Наибольшая мощность утяжеленного режима обмотки низкого напряжения составляет 16 МВА. Время действия релейной защиты 1,2 с. Определить потерю напряжения на реакторе в нормальном режиме и остаточное напряжение на шинах при КЗ за реактором.

Решение

Фактическое сопротивление системы и максимальный рабочий ток, соответственно: $X_{\text{с.ф}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 22} = 0,276 \text{ Ом}$; $I_{\text{м.р}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1,46 \text{ кА}$.

Термический импульс КЗ:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п0к}}^2 (t_{\text{o}} + T_{\text{a}}) = q^2 C^2 = 150^2 \cdot 90^2 = 182,2 \cdot 10^6, \text{ А}^2 \cdot \text{с.}$$

Желаемый ток КЗ:

$$I_{\text{п0ж}} = \sqrt{\frac{B_{\text{к}}}{(t_{\text{o}} + T_{\text{a}})}} = \sqrt{\frac{182,2 \cdot 10^6}{(1,2 + 0,06 + 0,01)}} = 12,0 \text{ кА.}$$

Желаемое сопротивление системы: $X_{\text{с.ж}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 12} = 0,51 \text{ Ом.}$

Желаемое сопротивление реактора: $X_{\text{р.ж}} = 0,51 - 0,276 = 0,234 \text{ Ом.}$

Выбираем реактор РБА-10-1000-0,28; $i_{\text{дин}} = 45 \text{ кА}$; $I_{\text{т.с}} = 25,6 \text{ кА}$; $t_{\text{т.с}} = 8 \text{ с.}$

Ударный ток КЗ: $i_y = 1,42 \cdot 1,37 \cdot 10,9 = 21,2 \text{ кА.}$

Ток КЗ за реактором: $I_{\text{п0р}} = \frac{10,5}{1,73(0,25 + 0,276)} = 11,45 \text{ кА.}$

Термическая стойкость:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п0}}^2 (t_{\text{отк}} + T_{\text{a}}) = 11,45^2 (1,2 + 0,06 + 0,01) = 166,5 \text{ кАс};$$

$$166,5 \text{ кА} \cdot \text{с} < I_{\text{тс}}^2 t_{\text{тс}} = 19,3^2 \cdot 8 = 2979,0 \text{ кАс.}$$

Динамическая стойкость: $i_{\text{д.с}} \geq i_y$; $45,0 \geq 21,2 \text{ кА.}$

Потеря напряжения в рабочем утяжеленном режиме:

$$\begin{aligned} U_{\text{п}} &= 1,73 \cdot I_{\text{п0}} x_{\text{p}} \sin \phi \cdot 100 / U_{\text{ном}} (\%) = \\ &= 1,73 \cdot 1,46 \cdot 0,25 \cdot 0,6 \cdot 100 / 6,3 = 6,02 \%. \end{aligned}$$

Остаточное напряжение при КЗ за реактором:

$$U_{\text{ост}} = 1,73 \cdot I_{\text{п0}} \cdot x_{\text{p}} \cdot 100 / U_{\text{ном}} (\%) = 1,73 \cdot 10,9 \cdot 0,28 \cdot 100 / 10,0 = 52,8 \text{ \%}.$$

Пример 6.2

Выбрать сдвоенный реактор в цепи отходящих линий: $U_n = 10 \text{ кВ}$; $I_{m,p} = 4 \cdot 500 \text{ А}$; $\cos\varphi = 0,8$; $I_{n0} = 28 \text{ кА}$; $t_{откл} = 1,8 \text{ с}$. Допустимый ток отключения $I_{откл} = 20 \text{ кА}$. Определить потерю напряжения на реакторе в максимальном рабочем режиме, а также остаточное напряжение на шинах при КЗ за реактором.

Решение

Определяем фактическое и желаемое сопротивление системы соответственно: $X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 28,0} = 0,217 \text{ Ом}$;

$$X_{c,жел} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0,303 \text{ Ом.}$$

Желаемое сопротивление реактора: $X_{p,жел} = 0,303 - 0,217 = 0,086 \text{ Ом}$.

Предлагается к установке реактор РБАС-2x1000-10-0,14.

Сопротивление системы с реактором: $X_{c-p} = 0,217 + 0,14 = 0,357 \text{ Ом}$.

Ток КЗ за реактором: $I_{n0p} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 0,357} = 17,0 \text{ кА}$.

Проверка на термическую стойкость:

Короткое замыкание за реактором можно считать удаленным, поэтому

$$B_k = I_{nok2}^2 (t_{откл} + T_a),$$

при этом в значение $t_{откл}$ входит время действия релейной защиты от линий 1–2 с.

$$B_k = 17^2 (1,8 + 0,06 + 0,01) = 523,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}; \quad t_{T.c} = 8 \text{ с}; \quad I_{T.c} = 24,8 \text{ кА}.$$

$$B_k \geq I_{T.c}^2 t_{T.c}.$$

Проверка на динамическую стойкость:

$$i_y = 17,0 \cdot 1,42 \cdot 1,37 = 33,1 \text{ кА}; \quad i_{d.c} = 63 \text{ кА};$$

$$i_{d.c} \geq i_y; \quad 63 \geq 33,1 \text{ кА}.$$

Необходимо также определить потерю напряжения на реакторе в нормальном режиме и остаточное напряжение на шинах установки при КЗ за реактором(в процентах):

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{\text{раб}} x_p \sin \varphi \cdot 100 / U_{\text{ном}}, \% \leq \Delta U_{\text{доп}};$$

$$U_{\text{ост}} = \sqrt{3} I_{\text{п0}} x_p \cdot 100 / U_{\text{ном}}, \%,$$

а также сравнить полученные значения с допустимыми.

Потеря напряжения на реакторе:

$$U_{\text{пот.р}} = 1,73 \cdot 1,0 \cdot 0,14 (1 - 0,5) 0,6 \cdot 100 / 10,5 \% = 0,692 \%.$$

Остающееся напряжение за реактором:

$$U_{\text{ост}} = 1,73 \cdot 17 \cdot 0,14 \cdot 100 / 10,5 = 39,2 \%.$$

При выборе высоковольтных выключателей в учебном проектировании обычно бывает достаточным выполнить проверку по условиям в табл. 6.1, выделенным жирным шрифтом.

Таблица 6.1

Выбор выключателей

Расчетные параметры цепи	Каталожные данные выключателя	Условие выбора
$U_{\text{уст}}$	$U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$
$I_{\text{раб.утяж}}$	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{раб.утяж}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\pi\tau}$	$I_{\text{откл}}$	$I_{\pi\tau} \leq I_{\text{откл}}$
$\beta = \frac{i_{\text{ат}}}{\sqrt{2}I_{\pi\tau}} \cdot 100$	$\beta_{\text{ном}}$	$\beta \leq \beta_{\text{ном}}$
$\sqrt{2}I_{\pi\tau} + i_{\text{ат}}$	—	$\sqrt{2}I_{\pi\tau} + i_{\text{ат}} \leq \sqrt{2}I_{\text{откл}} (1 + \beta_{\text{ном}} / 100)$
$I_{\pi0}$	$I_{\text{вкл}}$	$I_{\pi0} \leq I_{\text{вкл}}$
i_y	$I_{\text{м.вкл}}$	$i_y \leq I_{\text{м.вкл}}$
$I_{\pi0}$	$I_{\text{дин}}$	$I_{\pi0} \leq I_{\text{дин}}$
i_y	$I_{\text{м.дин}}$	$i_y \leq I_{\text{м.дин}}$
B_k	I_t, t_t	$B_k \leq I_t^2 t_t$

Пример 6.3

В связи с реконструкцией подстанции 110 кВ с трансформаторами 2×40 МВА выбрать выключатели взамен отделителей и короткозамыкателей: $I_{\text{раб.утяж}} = 1,4I_{\text{ном.т}}$; $I_{\text{п0}} = 3,4$ кА; $t_{\text{р.з}} = 1,2$ с. Обосновать тип выбранного выключателя.

Решение

Токи рабочих режимов:

$$I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{40}{1,73 \cdot 110} = 0,21 \text{ кА}; I_{\text{раб.утяж}} = 1,4I_{\text{ном}} = 294 \text{ А.}$$

Токи КЗ $I_{\text{п0}} = 3,4$ кА; $i_y = \sqrt{2}K_y I_{\text{п0}} = 1,42 \cdot 1,7 \cdot 3,4 = 8,21$ кА;
 $t_{\text{р.з}} = 1,2$ с. Термический импульс КЗ $B_k = I_{\text{п0}}^2(t_{\text{р.з}} + t_{\text{с.в}} + T_a) = 3,4^2(1,2 + 0,06 + 0,02) = 14,8 \text{ кA}^2 \cdot \text{с.}$

Предлагается к установке элегазовый выключатель ВГТ-110 кВ, так как он является взрыво- и пожаробезопасным. Потребляемая мощность на подогрев составляет $2 \times 0,8$ кВт. Мощность электродвигателя взвода пружин составляет 400 Вт, а номинальный ток электромагнитов управления при напряжении 220 В составляет 2,5 А.

Таблица 6.2

Расчетные параметры цепи	Каталожные данные выключателя ВГТ-110	Условие выбора
$U_{\text{уст}} = 110$ кВ	$U_{\text{ном}} = 110$ кВ	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$
$I_{\text{раб.утяж}} = 294$ А	$I_{\text{ном}} = 3150$ А	$I_{\text{раб.утяж}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{пт}} = 3,4$ кА	$I_{\text{откл}} = 40$ кА	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл}}$
$i_y = 8,21$ кА	$I_{\text{м.дин}} = 102$ кА	$i_y \leq I_{\text{м.дин}}$
$B_k = 14,8 \text{ кA}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{т}}, t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кA}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}}$

Пример 6.4

Выбрать выключатели вводных ячеек РУ 10 кВ в цепях трансформаторов ТРДН-40000-110. Исходные данные для расчета: $I_{\text{раб.утяж}} = 1,4I_{\text{ном.т}}$; $I_{\text{п0100}} = 3,4 \text{ кА}$; $t_{\text{п.з}} = 1,8 \text{ с}$; $U_{\text{к.т}} \% = 10,5$.

Решение

Номинальный ток для трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения: $I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{2\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{40}{1,73 \cdot 10 \cdot 2} = 1,156 \text{ кА}$;

$$I_{\text{раб.утяж}} = 1,4I_{\text{ном.т}} = 1,4 \cdot 1,156 = 1,618 \text{ кА.}$$

Определим токи КЗ для РУ 10 кВ. Сопротивление системы для РУ-110: $X_{\text{c/110}} = \frac{U_{\text{ср.б}}}{\sqrt{3}I_{\text{п0}}} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 3,4} = 1,785 \text{ Ом}$. Сопротивление транс-

форматора, приведенное к стороне 10 кВ: $X_{\text{tp/10}} = \frac{2U_{\text{к}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{ср.б}}^2}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{2 \cdot 10,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 40} = 0,579 \text{ Ом.}$

Суммарное сопротивление для РУ10 кВ:

$$\begin{aligned} X_{\text{сум/10}} &= \frac{X_{\text{cic/110}}}{K_{\text{т}}^2} + X_{\text{tp/10}} = \frac{1,785}{(115/10,5)^2} + 0,579 = \\ &= 0,0149 + 0,579 = 0,594 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Токи короткого трехфазного замыкания для РУ 10 кВ:

$$I_{\text{п0/10}} = \frac{U_{\text{ср.б}}}{\sqrt{3}X_{\text{сум/10}}} = \frac{10,5}{1,73 \cdot 0,594} = 10,22 \text{ кА.}$$

$$i_y = \sqrt{2}K_y I_{\text{п0}} = 1,42 \cdot 1,37 \cdot 10,22 = 19,88 \text{ кА; } t_{\text{п.з}} = 1,8 \text{ с.}$$

Термический импульс КЗ:

$$B_k = I_{\text{п0}}^2 (t_{\text{п.з}} + t_{\text{с.в}} + T_a) = 10,22^2 (1,8 + 0,06 + 0,01) = 195,3 \text{ кA}^2 \cdot \text{с.}$$

Предлагается к установке вакуумный выключатель ВВ-БЭМН-10.

Таблица 6.3

Расчетные параметры цепи	Каталожные данные выключателя ВВ-БЭМН-10	Условие выбора
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$
$I_{\text{раб.утяж}} = 1618 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$	$I_{\text{раб.утяж}} \leq I_{\text{ном}}$
$I_{\text{пт}} = 10,22 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 25 \text{ кА}$	$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл}}$
$i_y = 19,9 \text{ кА}$	$I_{\text{м.дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_y \leq I_{\text{м.дин}}$
$B_k = 195,3 \text{ кA}^2 \cdot \text{с}$	$I_t, t_t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кA}^2 \cdot \text{с}$	$B_k \leq I_t^2 t_t$