

№ 446

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних робіт з курсу
«ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ»

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ПАРАМЕТРІВ СПРАЦЮВАННЯ
РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

Розглянуто на
засіданні кафедри
Електричні станції
протокол № 1 від 25.08.2011

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
Протокол № 5 від 01.09.2011

ДОНЕЦЬК ДонНТУ 2011

УДК 621.316.925

Методичні вказівки до практичних робіт з курсу "Основи релейного захисту та автоматики". Приклади розрахунків параметрів спрацювання релейного захисту (для студентів спеціальностей 7.05070101 – «Електричні станції», 7.05070102 – «Електричні системи і мережі», 7.05070103 – «Електротехнічні системи електроспоживання») / Склали: М.В.Гребченко, І.В.Бельчев. - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- 14 с.

Наведені приклади розрахунків параметрів спрацювання релейного захисту, розроблені на кафедрі з урахуванням основних видів високовольтного електричного обладнання електричних станцій та захистів у мережі власних потреб ТЕС.

Склали: М.В. Гребченко, д.т.н., проф.
І.В. Бельчев, ас.

Розглянуто на
засіданні кафедри
Електричні станції
протокол № 1 від 25.08.2011

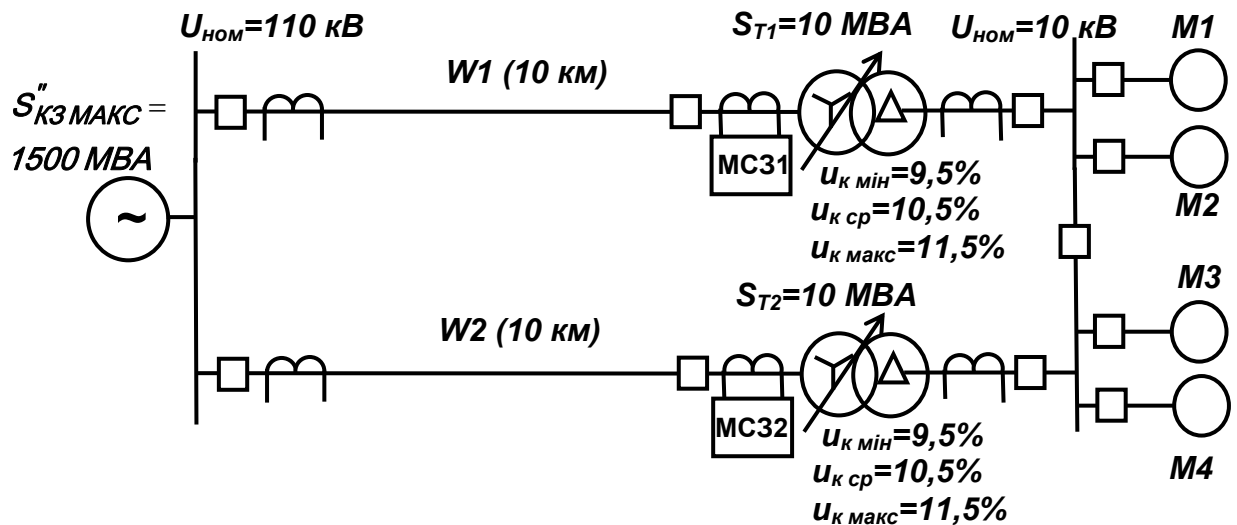
Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
Протокол № 5 від 01.09.2011

ЗМІСТ

	Стор.
Приклад 1. Визначення струму спрацювання і вибір типу реле струму МСЗ ВН трансформатора від міжфазних к.з.....	4
Приклад 2. Визначення коефіцієнту чутливості МСЗ лінії від міжфазних к.з.....	5
Приклад 3. Визначення струму спрацювання і вибір типу реле струму миттєвої струмової відсічки лінії від міжфазних к.з.....	6
Приклад 4. Виконання перевірки на 10-відсоткову похибку трансформатору струму МСЗ лінії від міжфазних к.з. (тип ТС: ТФНД-110 100/5).....	7
Приклад 5. Визначення опору спрацювання першого та другого ступенів дистанційного захисту повітряної лінії.....	8
Приклад 6. Визначення струму спрацювання струмової відсічки від міжфазних к.з. трансформатора і перевірка її чутливості.....	9
Приклад 7. Визначення струму спрацювання диф. захисту трансформатора, який виконано на реле типу РНТ-565.....	10
Приклад 8. Визначення струму спрацювання миттєвої струмової відсічки від міжфазних к.з. асинхронного електродвигуна і перевірка її чутливості. Визначення параметрів спрацювання захисту від перевантаження АД.....	11
Приклад 9. Визначення часу та напруги спрацювання пускового органу АВР.....	12
Приклад 10. Визначення струму спрацювання захисту від замикань на землю двигуна СТД-12500 та перевірка чутливості обраного захисту.....	13
Література.....	14

Приклад 1.

Визначення струму спрацювання і вибір типу реле струму МСЗ ВН трансформатора від міжфазних к.з.



Розв'язання

З метою забезпечення неспрацьовування максимального струмового захисту у разі проходження скрізь нього струмів самозапуску електродвигунів струм спрацювання захисту визначається:

$$I_{CЗ} = \frac{K_H K_3}{K_B} I_{H.МАКС} \quad (1)$$

де $I_{H.МАКС}$ – максимальний струм навантаження визначається у разі живлення навантаження двох секцій 10 кВ від одного трансформатора;

K_H – коефіцієнт надійності відстроювання, для РТ-40 $K_H=1,2$;

K_3 – коефіцієнт самозапуску, приймаємо $K_3=3$;

K_B – коефіцієнт повернення, для РТ-40 $K_B=0,8$.

$$I_{H.МАКС} = 1,4 I_{НОМ} = \frac{1,4 \cdot S_T}{\sqrt{3} U_{НОМ}} = \frac{1,4 \cdot 10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 1,4 \cdot 54,7 = 73,6 \text{ А} \quad (2)$$

$$I_{CЗ} = \frac{1,2 \cdot 3}{0,8} 73,6 = 331,2 \text{ А}$$

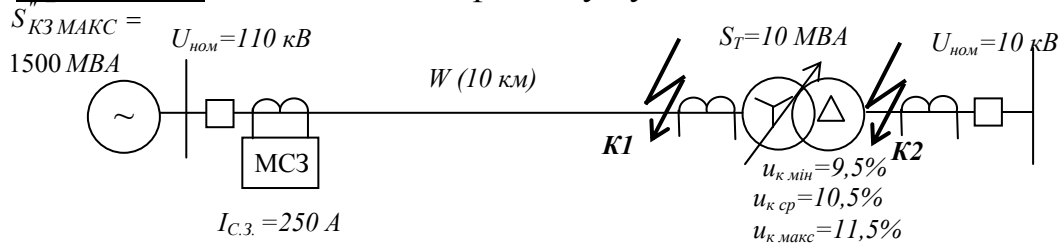
$$I_{CР} = \frac{K_{CX}}{K_{ТА}} I_{CЗ} = \frac{\sqrt{3}}{100/5} 331,2 = 28,6 \text{ А}$$

де $K_{CX} = \sqrt{3}$ для схеми з'єднання вторинних обмоток трансформаторів струму у трикутник;

$K_{ТА}$ – коефіцієнт трансформації ТА, вибрано $K_{ТА}=100/5$ відповідно до номінального струму трансформатору Т1.

За величиною отриманого струму спрацювання 28,6 А вибираємо реле максимального струму типу РТ 40/50 з паралельним з'єднанням напівобмоток (діапазон струмів спрацювання 25-50 А).

Приклад 2. Визначення коефіцієнту чутливості МСЗ лінії від міжфазних к.з.



Розв'язання

1. Коефіцієнт чутливості МСЗ лінії визначається в основній зоні при к.з. у кінці лінії (K1) і в зоні резервування - при к.з. за трансформатором (K2).

$$K_{ч осн} = \frac{I_{к1.мін}^{(2)}}{I_{с.з.}}$$

Опір системи в мінімальному режимі

$$x_{с.мін} = \frac{U_{\delta}^2}{S_{кз.мін}''} = \frac{U_{\delta}^2}{0,85 \cdot S_{кз.макс}''} = \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{0,85 \cdot 1500 \cdot 10^6} = 10,37 \text{ Ом},$$

Опір лінії

$$x_l = x_{уд} \cdot l = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ Ом}$$

Опір трансформатору

$$x_{Tr.мін} = \frac{u_{к.мін} \% U_{мін.ВН}^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{u_{к.мін} \% [U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{9,5 [115 \cdot 10^3 (1 - 0,16)]^2}{100 \cdot 10 \cdot 10^6} = 88,65 \text{ Ом},$$

$$x_{Tr.макс} = \frac{u_{к.макс} \% U_{макс.ВН}^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{u_{к.макс} \% [U_{ср.ВН} (1 + \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{11,5 [115 \cdot 10^3 (1 + 0,16)]^2}{100 \cdot 10 \cdot 10^6} = 204,65 \text{ Ом}.$$

Струм трифазного к.з. в точці K1 в мінімальному режимі

$$I_{кз.мін}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с.мін} + x_l)} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (10,37 + 4)} = 4625 \text{ А}$$

Струм двофазного к.з.

$$I_{кз.мін}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 4625 = 4001 \text{ А}$$

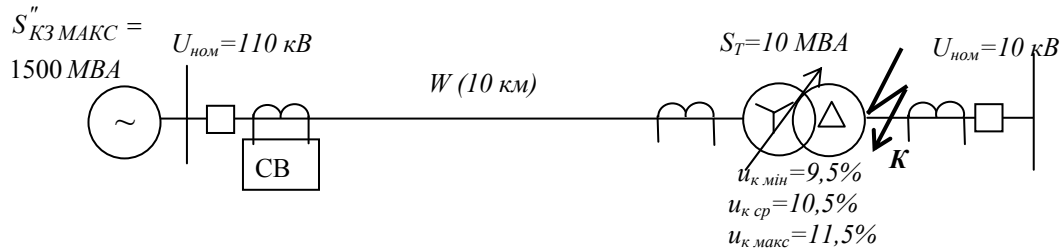
$$K_{ч осн} = \frac{4001}{250} = 16 > 1,5$$

Струм, що проходить скрізь МСЗ при трифазному к.з. в точці K2 в мінімальному режимі

$$I_{кз.мін}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с.мін} + x_l + x_{Tr.макс})} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (10,37 + 4 + 204,65)} = 303,5 \text{ А}$$

$$K_{ч рез} = \frac{I_{к2.мін}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 303,5}{2 \cdot 250} = 1,04 < 1,2$$

Приклад 3. Визначення струму спрацювання і вибір типу реле струму миттєвої струмової відсічки лінії від міжфазних к.з.



Розв'язання

Оскільки струмова відсічка встановлюється для захисту лінії, що входить до складу блоку лінія-трансформатор, її струм спрацювання відстроюється від максимального струму, який проходить через захист при трифазному к.з. за трансформатором в максимальному режимі роботи системи.

$$I_{C.з.} = \kappa_n \cdot I_{к макс}$$

$$x_{с макс} = \frac{U_{\phi}^2}{S''_{кз макс}} = \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{1500 \cdot 10^6} = 8,81 \text{ Ом}$$

Опір лінії

$$x_{л} = x_{нит} \cdot l = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ Ом}$$

де $x_{нит}$ – питомий опір; $x_{нит} = 0,4$ Ом/км для лінії 6-220 кВ.

$$x_{Tr мин} = \frac{u_{к мин} \% U_{мин.ВН}^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{u_{к мин} \% [U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{9,5 [115 \cdot 10^3 (1 - 0,16)]^2}{100 \cdot 10 \cdot 10^6} = 88,65 \text{ Ом}$$

Оскільки в даному випадку ТО призначена для захисту лінії від міжфазних к.з., то максимальне значення струму протікатиме через захист при трифазному к.з.

Тому $I_{к макс} = I_{к}^{(3)}$.

Знайдемо максимальне значення струму в захисті при трифазному к.з. за трансформатором

$$I_{к}^{(3)} = \frac{U_{ном ВН}}{\sqrt{3}(x_{с макс} + x_{л} + x_{Tr мин})} = \frac{110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(8,81 + 4 + 88,65)} = 626,7 \text{ А}$$

Струм спрацювання миттєвої відсічки

$$I_{C.з.} = \kappa_n \cdot I_{к макс} = 1,2 \cdot 626,7 = 752,04 \text{ А},$$

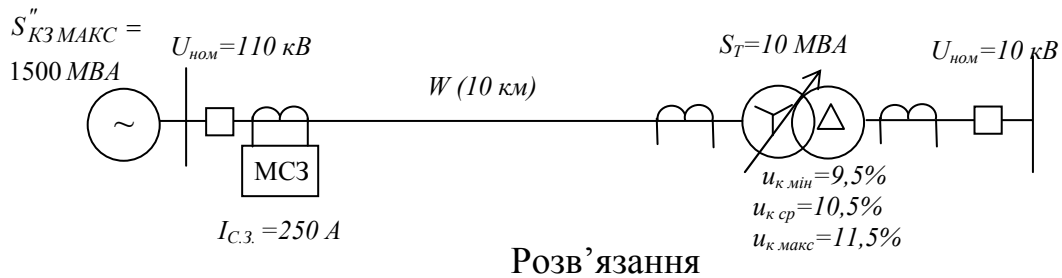
де $\kappa_n = 1,2$, оскільки захист виконується на реле типу РТ-40, що діє через проміжне реле.

Струм спрацювання реле

$$I_{ср} = \frac{\kappa_{сх}}{\kappa_{ТА}} I_{сз} = \frac{1}{100/5} 752,04 = 37,6 \text{ А},$$

де прийнято, що пусковий орган СВ виконується за схемою неповної зірки ($\kappa_{сх} = 1$), а коефіцієнт трансформації ТА (100/5) вибраний по номінальному струму трансформатора 54,7 А (розрахунок номінального струму в прикладі №1). Вибираємо реле струму типу РТ-40/50 з паралельним з'єднанням обмоток (діапазон уставок 25÷50 А) або статичне реле струму типу РСТ 11-29 (діапазон уставок 15-60 А).

Приклад 4. Виконання перевірки на 10-відсоткову похибку трансформатору струму МСЗ лінії від міжфазних к.з. (тип ТС: ТФНД-110 100/5).



Гранична кратність κ_{10} струму, що розраховується $I_{розр}$ відносно до первинного номінального струму $I_{ном}$ трансформатора струму $\kappa_{10} = I_{розр} / I_{ном}$ для максимального струмового захисту з незалежною характеристикою [2]

$I_{розр} = 1,1 \cdot I_{с.з.}$, оскільки для ТС МСЗ необхідна точна робота при струмі спрацьовування $I_{с.з.}$. Коефіцієнт 1,1 враховує збільшення кратності первинного струму в порівнянні з кратністю вторинного струму із-за 10%-вої похибки ТС.

$$I_{розр} = 1,1 \cdot I_{с.з.} = 1,1 \cdot 250 = 275 \text{ А.}$$

$$\kappa_{10} = 275 / 100 = 2,75$$

За характеристикою визначається допустиме вторинне навантаження $z_{н.доп}$ при якому повна похибка (ϵ) ТС не перевищує 10%. $z_{н.доп} = 5,6 \text{ Ом}$.

Фактичне вторинне навантаження $z_{н.розр}$ ТС залежить від опору реле і сполучних проводів, від схеми з'єднання ТС і від виду к.з.

$$r_{пр} = \frac{l}{\gamma S} = \frac{80}{57 \cdot 4} = 0,35 \text{ Ом} \quad (\text{для мідного}$$

проводу питома провідність
 $\gamma = 57 \text{ м} / (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$,

l – відстань від реле до ТС;

$$I_{с.р.} = I_{с.з.} \cdot \frac{\kappa_{сх}}{\kappa_{ТА}} = 250 \cdot \frac{1}{100/5} = 12,5 \text{ А}$$

Повний опір реле типу РТ-40/20:

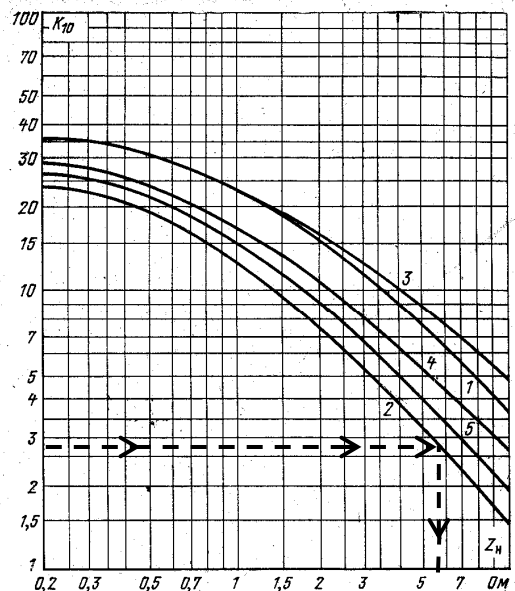
$$z_p = \frac{S}{I^2} = \frac{0,5}{10^2} = 0,005 \text{ Ом},$$

де S – потужність спрацьовування реле.

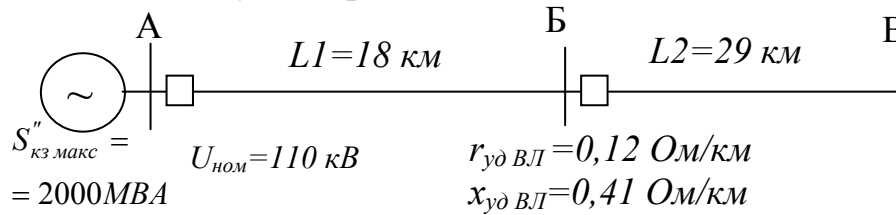
Вторинне розрахункове навантаження ТС при трифазному та двофазному к.з.

$$z_{н.розр} = r_{пр} + z_p + r_{пер} = 0,35 + 0,005 + 0,1 = 0,455 \text{ Ом}$$

Оскільки $z_{н.розр} = 0,455 \text{ Ом} < z_{н.доп} = 5,6 \text{ Ом}$, то трансформатори струму працюють з похибкою $\epsilon \leq 10\%$.



Приклад 5. Визначання опору спрацювання першого та другого ступенів дистанційного захисту повітряної лінії АБ.



Перша ступінь захисту

Виконується без витримки часу і має власний час спрацювання $t_I \leq 0,1c$.

Первинний опір спрацювання Z^I визначається з умови відстроювання від К.З. на шинах протилежної підстанції:

$$Z^I = K_H Z_{W1},$$

де Z_{W1} - опір лінії, що захищається (для I ступені захисту А це опір W1)

K_H - коефіцієнт надійності відстроювання, що враховує похибки

ТА, TV, реле опору, приймається рівним 0,8 – 0,85.

$$R_{W1} = r_{yd} \cdot L1 = 0,12 \cdot 18 = 2,16\ \Omega;$$

$$X_{W1} = x_{yd} \cdot L1 = 0,41 \cdot 18 = 7,38\ \Omega;$$

$$Z_{W1} = \sqrt{R_{W1}^2 + X_{W1}^2} = \sqrt{2,16^2 + 7,38^2} = 7,69\ \Omega$$

Опір спрацювання першої ступені захисту лінії АБ:

$$\underline{Z}_{W1}^I = K_H \underline{Z}_{W1} = 0,85(2,16 + j7,38), Z_{W1}^I = 6,54\ \Omega$$

$$R_{W2} = r_{yd} \cdot L2 = 0,12 \cdot 29 = 3,48\ \Omega$$

$$X_{W2} = x_{yd} \cdot L2 = 0,41 \cdot 29 = 11,89\ \Omega$$

$$Z_{W2} = \sqrt{R_{W2}^2 + X_{W2}^2} = \sqrt{3,48^2 + 11,89^2} = 12,39\ \Omega$$

$$\underline{Z}_{W2}^I = K_H \underline{Z}_{W2} = 0,85(3,48 + j11,89), Z_{W2}^I = 10,53\ \Omega$$

Друга ступінь захисту

Час спрацювання 0,5 с.

Опір спрацювання другої ступені захисту лінії АБ:

$$\underline{Z}_{W1}^{II} = K_H (\underline{Z}_{W1} + K'_H K_P \underline{Z}_{W2}^I)$$

$$Z_{W1}^{II} = 0,85(7,69 + 0,8 \cdot 1 \cdot 10,53) = 13,7\ \Omega,$$

де $K_P=1$ – коефіцієнт струморозподілу.

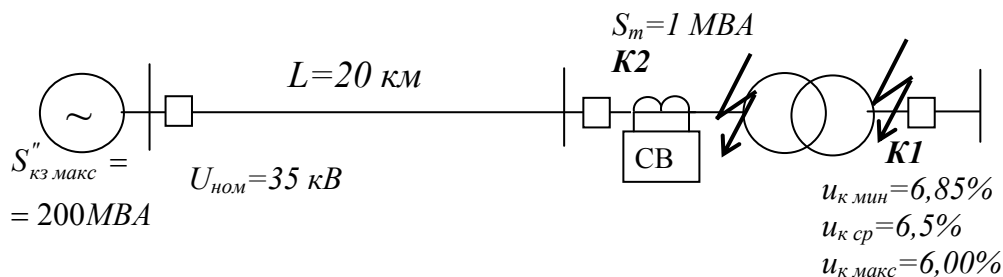
Коефіцієнт чутливості:

$$K_{\text{ч}} = \frac{Z_{W1}^{II}}{Z_{W1}} = \frac{13,7}{7,69} = 1,78 > 1,25$$

Опір спрацювання реле

$$Z_{C.P.} = Z_{C.З.} \frac{K_I}{K_U} = 6,64 \frac{500/5}{110000/100} = 0,6\ \Omega$$

Приклад 6. Визначення струму спрацьовування струмової відсічки від міжфазних к.з. трансформатора і перевірка її чутливості.



Струм спрацьовування СВ обирається більшим, ніж максимальний струм у захисті при к.з. за трансформатором:

$$I_{C.з.} = \kappa_n \cdot I_{к макс}$$

Опір системи в максимальному режимі:

$$x_{с макс} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз макс}} = \frac{(37 \cdot 10^3)^2}{200 \cdot 10^6} = 6,845 \text{ Ом}$$

Опір повітряної лінії:

$$x_l = x_{уд} \cdot l = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом}$$

Мінімальний опір трансформатора:

$$x_{Tr мин} = \frac{u_{к мин} \% U_{мин.ВН}^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{u_{к мин} \% [U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{ном Tr}} = \frac{6 [35 \cdot 10^3 (1 - 0,09)]^2}{100 \cdot 1 \cdot 10^6} = 60,86 \text{ Ом}$$

$$I_{к1 макс}^{(3)} = \frac{U_{ном ВН}}{\sqrt{3} (x_{с макс} + x_l + x_{Tr мин})} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (6,845 + 8 + 60,86)} = 267 \text{ А}$$

$$I_{C.з.} = \kappa_n \cdot I_{к1 макс}^{(3)} = 1,15 \cdot 267 = 307 \text{ А}$$

Струм у захисті при трифазному к.з. в точці К2 в мінімальному режимі

$$I_{кз мин}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с мин} + x_l)} = \frac{37 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (8,05 + 8)} = 1332 \text{ А}$$

Опір системи в мінімальному режимі:

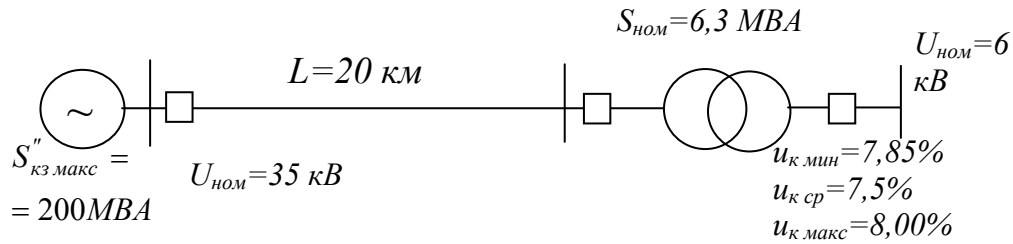
$$x_{с мин} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз мин}} = \frac{U_{\delta}^2}{0,85 \cdot S''_{кз макс}} = \frac{(37 \cdot 10^3)^2}{0,85 \cdot 200 \cdot 10^6} = 8,05 \text{ Ом}$$

$$I_{кз мин}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1332 = 1152 \text{ А}$$

Перевірка коефіцієнту чутливості:

$$\kappa_{ч} = \frac{1152}{307} = 3,75 > 2$$

Приклад 7. Визначення струму спрацювання диференційного захисту трансформатора, який виконано на реле типу РНТ-565.



Первинний струм спрацювання диференційного захисту, що виконано на реле типу РНТ-565, вибирається за двома умовами:

1. Відстроювання від розрахункового максимального первинного струму небалансу

$$I_{с.з.} = \kappa_{від} \cdot I_{нб\ розр} = 1,3 \cdot (81,8 + 131) = 276,6 \text{ A}$$

Розрахунковий струм небалансу:

- складова, обумовлена похибкою трансформаторів струму:

$$I'_{нб\ розр} = k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.макс} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 818 = 81,8 \text{ A}$$

де $k_{одн}$ – коефіцієнт однотипності прийнято 1 у зв'язку з тим, що використовуються різні ТС;

$\varepsilon = 0,1$ – максимально припустима повна похибка ТС.

$$x_{с.макс} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз.макс}} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз.макс}} = \frac{(35 \cdot 10^3)^2}{200 \cdot 10^6} = 6,125 \text{ Ом}$$

$$x_{л} = x_{уд} \cdot l = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом}$$

$$x_{Тр\ мин} = \frac{u_{к.мін} \% U_{мін.ВН}^2}{100 S_{номТр}} = \frac{u_{к.мін} \% [U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{номТр}} = \frac{7,85 [37 \cdot 10^3 (1 - 0,16)]^2}{100 \cdot 6,3 \cdot 10^6} = 12 \text{ Ом}$$

$$I_{кз.макс}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с.макс} + x_{л} + x_{Тр\ мин})} = \frac{37 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (6,125 + 8 + 12)} = 818 \text{ A}$$

- складова, обумовлена регулюванням напруги (РПН):

$$I''_{нб\ расч} = \Delta U_{*} \cdot I_{к.макс} = 0,16 \cdot 818 = 131 \text{ A}$$

- складова, обумовлена неточністю установки на НТТ реле розрахункових кількостей витків для неосновних сторін:

$$I'''_{нб\ расч} = \frac{w_{I\ расч} - w_I}{w_{I\ расч}} I_{к.макс}$$

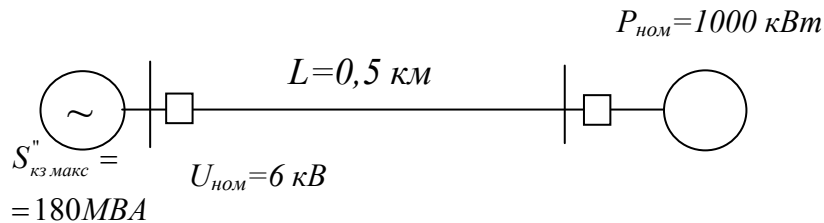
2. Відстроювання від кидка струму намагнічування

$$I_{с.з.} \geq \kappa_{н} \cdot I_{ном} = 1,3 \cdot 104 = 135 \text{ A}$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}} = \frac{6,3 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 104 \text{ A}$$

З двох умов приймається більший струм спрацювання диференційного захисту 276,6 А (без урахування третьої складової струму небалансу).

Приклад 8. Визначення струму спрацьовування миттєвої струмової відсічки від міжфазних к.з. асинхронного електродвигуна і перевірка її чутливості. Визначення параметрів спрацьовування захисту від перевантаження АД.



Захист від міжфазних к.з. – струмова відсічка (СВ). Оскільки потужність АД менш ніж 2000 кВт, приймаємо однорелейну відсічку, струмове реле якої вмикається на різницю струмів фаз А та С.

Струм спрацьовування СВ приймається більшим, ніж струм АД у режимі його пуску:

$$I_{С.з.} = k_H k_{СХ} I_{ПУСК} = k_H k_{СХ} k_i I_{НОМ} = 1,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 114 = 2130 \text{ А},$$

де прийнято, що кратність струму АД в режимі пуску $k_i = 6$.

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,96 \cdot 0,88} = 114 \text{ А}.$$

$$x_{с мин} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз мин}} = \frac{U_{\delta}^2}{0,85 \cdot S''_{кз макс}} = \frac{(6,3 \cdot 10^3)^2}{0,85 \cdot 180 \cdot 10^6} = 0,259 \text{ Ом}$$

$$x_l = x_{уд} \cdot l = 0,4 \cdot 0,5 = 0,2 \text{ Ом}$$

$$I_{кз мин}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с мин} + x_l)} = \frac{6,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (0,259 + 0,2)} = 7933 \text{ А}$$

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{к мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} 7933}{2130} = 3,2 > 2.$$

Для захисту від перевантаження приймається МСЗ, який відстроюється від номінального струму АД:

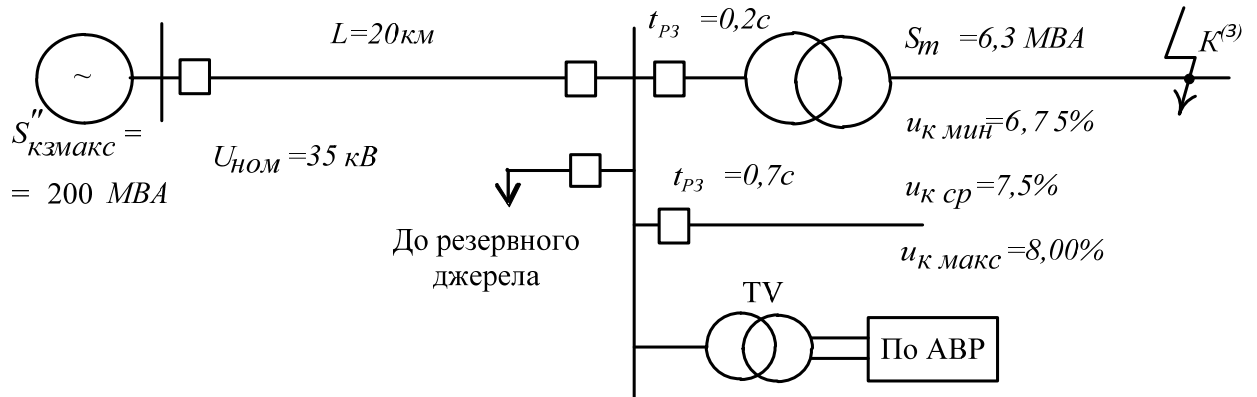
$$I_{С.з.} = \frac{k_H}{k_B} I_{НОМ} = \frac{1,2}{0,8} 114 = 171 \text{ А}.$$

Час спрацьовування МСЗ обирається більшим, ніж час пуску АД:

$$t_{С.з.} > k_{отс} t_{ПУСК}, \quad t_{С.з.} = 1,3 \cdot 7,5 = 9,75 \text{ с}$$

де прийнято, що час пуску двигуна $t_{пуску} = 7,5 \text{ с}$.

Приклад 9. Визначення часу та напруги спрацювання пускового органу АВР.



Напруга спрацювання мінімальних реле напруги пускового органу АВР виходячи з умови їх неспрацювання у разі трифазного к.з. за трансформатором

$$U_{с.з.} = \frac{U_{ост.мин}}{k_n} = \frac{16653}{1,2} = 13877 \text{ В}$$

Опір системи в мініальному режимі

$$x_{с.макс} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз.макс}} = \frac{U_{\delta}^2}{S''_{кз.макс}} = \frac{(37 \cdot 10^3)^2}{200 \cdot 10^6} = 6,845 \text{ Ом},$$

Опір лінії

$$x_l = x_{уд} \cdot l = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ Ом}$$

$$x_{Тр.мин} = \frac{u_{к.мін} \% U_{мін.ВН}^2}{100 S_{номТр}} = \frac{u_{к.мін} \% [U_{ср.ВН} (1 - \Delta U_{*РПН})]^2}{100 S_{номТр}} = \frac{6,75 [37 \cdot 10^3 (1 - 0,09)]^2}{100 \cdot 6,3 \cdot 10^6} = 12,15 \text{ Ом}$$

$$I_{кз.макс}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot (x_{с.макс} + x_l + x_{Тр.мин})} = \frac{37 \cdot 10^3}{\sqrt{3} (6,845 + 8 + 12,15)} = 792 \text{ А}$$

$$U_{ост.мин} = \sqrt{3} I_{кз.макс}^{(3)} \cdot x_{Тр.мин} = \sqrt{3} \cdot 792 \cdot 12,15 = 16647 \text{ В}$$

$$\text{або } U_{ост.мин} = \frac{U_{\delta} \cdot x_{Тр.мин}}{x_{с.макс} + x_l + x_{Тр.мин}} = \frac{37000 \cdot 12,15}{6,845 + 8 + 12,15} = 16653 \text{ В}$$

Напруга спрацювання мінімальних реле напруги пускового органу АВР виходячи з умови їх неспрацювання у разі самозапуску електродвигунів

$$U_{с.з.} = \frac{U_{с.з.мин}}{k_n} = \frac{0,8 \cdot 35000}{1,2} = 23333 \text{ В}$$

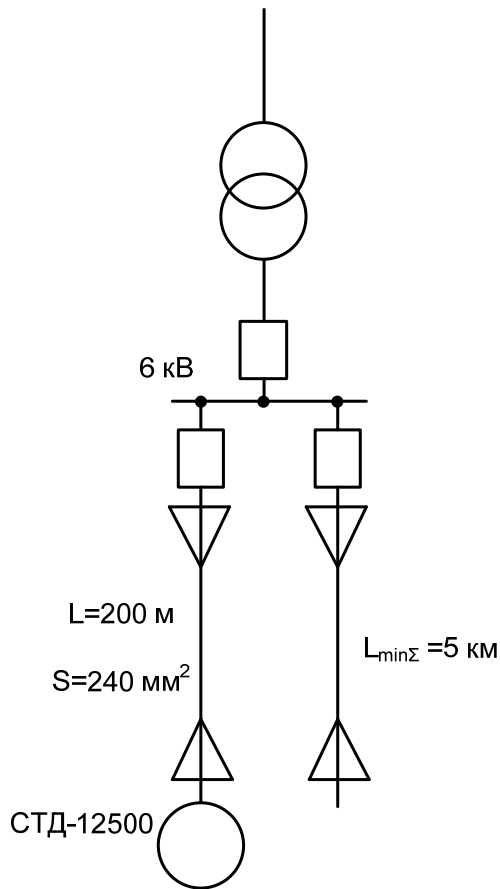
З двох значень приймаємо менше $U_{с.з.} = 13877 \text{ В}$.

Час спрацювання ПО АВР $t_{ПО АВР} = t_{рз.макс} + \Delta t = 0,7 + 0,5 = 1,2 \text{ с}$.

Приклад 10.

Визначення струму спрацювання захисту від замикань на землю двигуна СТД-12500 та перевірка чутливості обраного захисту.

Струм спрацювання вибирається з умови не спрацювання захисту при зовнішньому замиканні на землю (більш власного ємнісного струму):



$$I_{c.з.} \geq K_3 \cdot K_6 \cdot 3U_\phi \cdot \omega \cdot C_l$$

$$K_3 = 1,1 \div 1,2$$

$$K_6 = 4 \div 5 \quad (t=0) \text{ – коефіцієнт кидка;}$$

$$K_6 = 2 \div 3 \quad (t \neq 0)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу;

Далі розраховуються ємнісні струми.

$$I_C = I_{CD} + I_{CL}$$

Ємнісний струм кабельної лінії:

$$I_{CL} = I_{C0} \cdot l \cdot m = 0,33 \cdot 0,2 \cdot 2 = 0,132 \text{ A}$$

I_{C0} – питоме значення ємнісного струму.

$I_{C0} = 0,33 \text{ A/км}$ – для 6 кВ;

$S = 240 \text{ мм}^2$;

$l = 0,2 \text{ км}$ – довжина лінії;

m – кількість кабелів в лінії,

$m = 2$;

Ємнісний струм двигуна:

$$I_{CD} = \frac{6 \cdot \pi \cdot f \cdot C_D \cdot U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 0,719 \text{ A}$$

C_D – ємність фази електродвигуна, $C_D = 0,22 \text{ мкФ}$;

$$I_C = 0,132 + 0,719 = 0,851 \text{ A}$$

$$I_{c.з.} \geq K_3 \cdot K_6 \cdot I_C = 1,1 \cdot 5 \cdot 0,851 = 4,68 \text{ A}$$

$$I_{C\Sigma\min} = I_{C0} \cdot l \cdot m = 0,33 \cdot 5 \cdot 2 = 3,3 \text{ A}$$

$$I_{c.з.расч} \leq \frac{I_{C\Sigma\min} - I_C}{K_\chi} = \frac{3,3 - 0,85}{2} = 1,225 \text{ A}$$

Струм спрацювання вибирається найближчим меншим відносно до розрахованого (0,07; 0,5; 2 А) для захисту ЗЗПІ.

Чутливість захисту перевіряється для прийнятого $I_{c.з.}$ з урахуванням 30%-вого розкиду, який має місце у захисті:

$$K_\chi^I = \frac{I_{C\Sigma\min} - I_C}{1,3 \cdot I_{c.з.}} \geq 2$$

$$K_\chi^I = \frac{3,3 - 0,85}{1,3 \cdot 0,5} = 3,769 \geq 2$$

Література

1. Руководящие указания по релейной защите. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. Выпуск 11. М. Энергия.- 1979.- 152 с.
2. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Л.: Энергоатомиздат.- 1985.

