

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З КУРСУ

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА

*(для студентів 4 і 5 курсів заочної форми навчання
за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та
електротехнології" спеціальності „Електротехнічні системи
електроспоживання”, 4 курсу денної форми навчання за напрямом
підготовки 6.030601 „Менеджмент” та слухачів другої вищої
освіти за спеціальністю 7.05070103- „Електротехнічні системи
електроспоживання”)*

ХАРКІВ ХНУМГ 2013

Методичні вказівки до проведення практичних занять з курсу «Релейний захист та автоматика» (для студентів 4 і 5 курсів заочної форми навчання за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" спеціальності „Електротехнічні системи електроспоживання”, 4 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.030601 „Менеджмент” та слухачів другої вищої освіти за спеціальністю 7.05070103- „Електротехнічні системи електроспоживання”) / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Д. С. Шимук. – Х.: ХНУМГ, 2013 – 60 с.

Укладач Д. С. Шимук

Рецензент: доц., к. т. н. П. П. Рожков

*Рекомендовано кафедрою "Електропостачання міст",
протокол № 3 від 24.11.2011 р.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Співвідношення й векторні діаграми струмів і напруг при коротких замиканнях у лінії й за трансформаторами	4
Тема 2. Розрахунок уставок максимальних струмових захистів (МСЗ) у мережі з однобічним живленням.....	12
Тема 3. Розрахунок уставок і перевірка чутливості МСЗ у мережі з однобічним живленням. Вибір схем захистів.....	15
Тема 4. Розрахунок триступеневого струмового захисту від багатозаземлених КЗ у мережі з однобічним живленням	19
Тема 5. Максимальний струмовий захист з обмежено залежною характеристикою витримки часу й струмова відсічка	27
Тема 6. Розрахунок струмового захисту нульової послідовності для мережі з глухозаземленою нейтраллю.....	31
Тема 7. Розрахунок захисту паралельних ліній напругою 35 кВ.....	37
Тема 8. Диференційний струмовий захист двообмоткових трансформаторів із реле типу РНТ-560.....	44
Тема 9. Диференційний захист струмовий захист двообмоткових трансформаторів із реле типу ДЗТ-11	52
Рекомендовані джерела.....	58
Додаток.....	59

ВСТУП

Ці методичні вказівки призначені для використання викладачами при проведенні практичних занять з курсу “Релейний захист та автоматика” і можуть бути корисні студентам при виконанні розрахунків робочих уставок типових пристроїв релейного захисту основних елементів електричних мереж – ліній і трансформаторів.

Методичні вказівки містять необхідні теоретичні відомості з проектування, приклади розрахунку і визначення чутливості релейних захистів.

Тема 1

СПІВВІДНОШЕННЯ Й ВЕКТОРНІ ДІАГРАМИ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ У ЛІНІЇ Й ЗА ТРАНСФОРМАТОРАМИ

1. Завдання 1. Побудова векторних діаграм струмів і напруг при пошкодженнях у лінії.

Побудувати якісно векторні діаграми струмів і напруг при заданому виді віддаленого короткого замикання (КЗ) на лінії, як у місці пошкодження, так і в місці установлення захисту (на початку лінії). Схема мережі представлена на рис. 1.1.

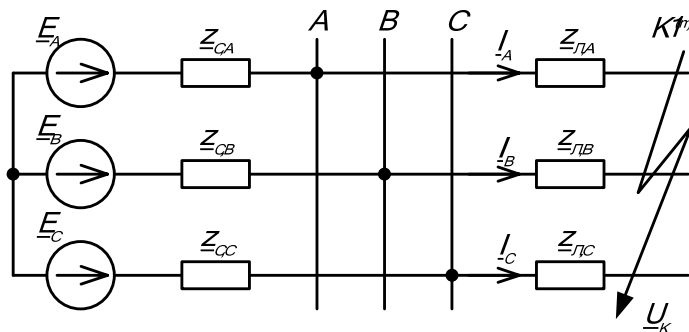


Рис. 1.1 – Схема мережі

Вихідні дані:

\underline{Z}_C – комплексний опір фази мережі; \underline{Z}_L – комплексний опір фази лінії, \underline{E}_Φ – комплексна фазна ЕРС; вид пошкодження; режим заземлень нейтралі – глухо-(ефективно) заземлена. Варіанти завдань наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Види пошкоджень у лінії для завдання 1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид пошкодження	$K^{(3)}$	$K_{AB}^{(2)}$	$K_{BC}^{(2)}$	$K_{CA}^{(2)}$	$K_A^{(1)}$	$K_B^{(1)}$	$K_C^{(1)}$	$K_{AB}^{(2)}$	$K_{BC}^{(2)}$
№ варіанта	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вид пошкодження	$K_{CA}^{(2)}$	$K^{(3)}$	$K_A^{(1)}$	$K_B^{(1)}$	$K_C^{(1)}$	$K_{AB}^{(2)}$	$K_{BC}^{(2)}$	$K_{CA}^{(2)}$	$K_A^{(1)}$

1.2 Методичні вказівки до завдання 1

1.2.1 Основні види пошкоджень ліній мереж

Основні види пошкоджень ліній мереж наведені в табл. 1.2.

При побудові діаграм урахуються режими заземлення нейтралі в мережах: для мереж 110 кВ і вище – це режим роботи із глухо-(ефективно) заземленими нейтраллями; для мереж 35 кВ і нижче – це режим з ізолюваними або заземленими через дугогасильні реактори нейтраллями. У цьому випадку однофазні замикання на землю не називаються КЗ, а називаються замиканнями.

Таблиця 1.2 – Основні види пошкоджень

Трифазні КЗ	КЗ між трьома фазами $K^{(3)}$	
	Трифазне КЗ на землю $K^{(1,1,1)}$	
Двофазні КЗ	КЗ між двома фазами $K^{(2)}$	
	Двофазне КЗ на землю $K^{(1,1)}$	
	Подвійне КЗ на землю $K_{дв}^{(1,1)}$	
Однофазне КЗ на землю	$K^{(1)}$	
Однофазне замикання на землю в мережах з ізолюваною нейтраллю	$K_3^{(1)}$	

При побудові векторних діаграм використовуються наступні допущення:

- не враховуються струми навантаження, тобто розглядаються тільки аварійні складові струмів ($I_K \gg I_{нагр}$);
- розглядаються тільки металеві КЗ (перехідний опір R_f у місці КЗ дорівнює нулю, тобто $R_f = 0$);
- усі вираження й векторні діаграми формуються на основі використання законів Ома й Кірхгофа;
- розглядаються пошкодження на лінії в мережі із глухо-заземленими нейтраллями з одним джерелом живлення.

1.2.2 Векторні діаграми струмів і напруг для різних видів пошкоджень у лініях

1.2.2.1 Трифазне коротке замикання $K^{(3)}$

При цьому пошкодженні варто прийняти:

– у всіх трьох фазах лінії при цьому КЗ проходять однакові (за модулем) струми, зрушені один до одного на кут 120° ;

– фазове зрушення φ_{K3} струмів КЗ щодо фазних ЕРС E_ϕ :

$$\varphi_{K3} = \arg(\underline{Z}_C + \underline{Z}_L) = \arg \underline{Z}_\Sigma; \quad (1.1)$$

– абсолютне значення фазних струмів КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{E_\phi}{Z_\Sigma} = \frac{E_{м.ф.}}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}, \quad (1.2)$$

де \dot{A}_ϕ й $\dot{A}_{1,\phi}$ – фазна й міжфазна ЕРС відповідно;

– напруги фаз у точці К (у місці короткого замикання):

$$\underline{U}_{AK} = \underline{U}_{BK} = \underline{U}_{CK} = 0 \quad (1.3)$$

– напруги на початку лінії (у місці установлення захисту):

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AH} &= \underline{Z}_{\dot{E}} \cdot \underline{I}_A; \\ \underline{U}_{BH} &= \underline{Z}_{\dot{E}} \cdot \underline{I}_B; \\ \underline{U}_{CH} &= \underline{Z}_{\dot{E}} \cdot \underline{I}_C. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Векторна діаграма представлена на рис. 1.2.

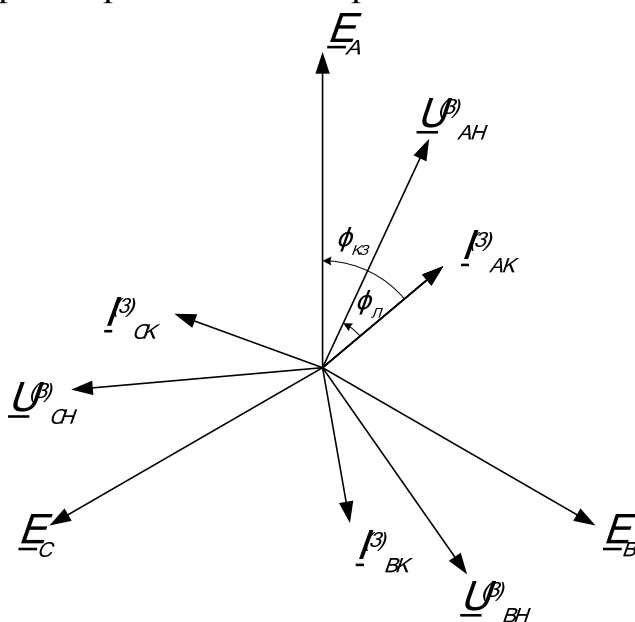


Рис. 1.2 – Векторна діаграма при $K^{(3)}$

1.2.2.2 Двофазне коротке замикання $K_{BC}^{(2)}$.

При цьому пошкодженні варто прийняти:

– струм у петлі КЗ створюється міжфазною ЕРС E_{BC} ;

– струм у неушкодженій фазі (у цьому випадку у фазі А) відсутній;

– струми в ушкоджених фазах В і С рівні за значенням й протилежні за фазою:

$$\underline{I}_{BK}^{(2)} = -\underline{I}_{CK}^{(2)} = \frac{E_{BC}}{2(\underline{Z}_L + \underline{Z}_C)}; \quad (1.5)$$

– абсолютні значення струмів:

$$I_{BK}^{(2)} = I_{CK}^{(2)} = \frac{E_{м.ф}}{2 \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{\sqrt{3} \cdot E_{\phi}}{2 \cdot Z_{\Sigma}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)}; \quad (1.6)$$

– у місці пошкодження міжфазна напруга $\underline{U}_{BCK}^{(2)} = 0$, із цього випливає, що $\underline{U}_{BK}^{(2)} = \underline{U}_{CK}^{(2)}$;

– з урахуванням (1.5) маємо:

$$\underline{U}_{BK}^{(2)} = \underline{U}_{CK}^{(2)} = -0,5 \cdot \underline{E}_A; \quad (1.7)$$

– у місці установлення захисту (на початку лінії) напруги ушкоджених фаз можна визначити з виразів

$$\begin{aligned} \underline{U}_{BH}^{(2)} &= \underline{U}_{BK}^{(2)} + I_{BK}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{Л}, \\ \underline{U}_{CH}^{(2)} &= \underline{U}_{CK}^{(2)} + I_{CK}^{(2)} \cdot \underline{Z}_{Л}; \end{aligned} \quad (1.8)$$

– вектор міжфазної напруги на початку лінії $\underline{U}_{BCH}^{(2)}$ зрушені щодо струму $I_B^{(2)}$ на кут $\varphi_{Л}$ у бік випередження. При цьому напруга випереджальної фази В більша за абсолютним значенням напруги відстаючої фази С.

Векторна діаграма представлена на рис. 1.3.

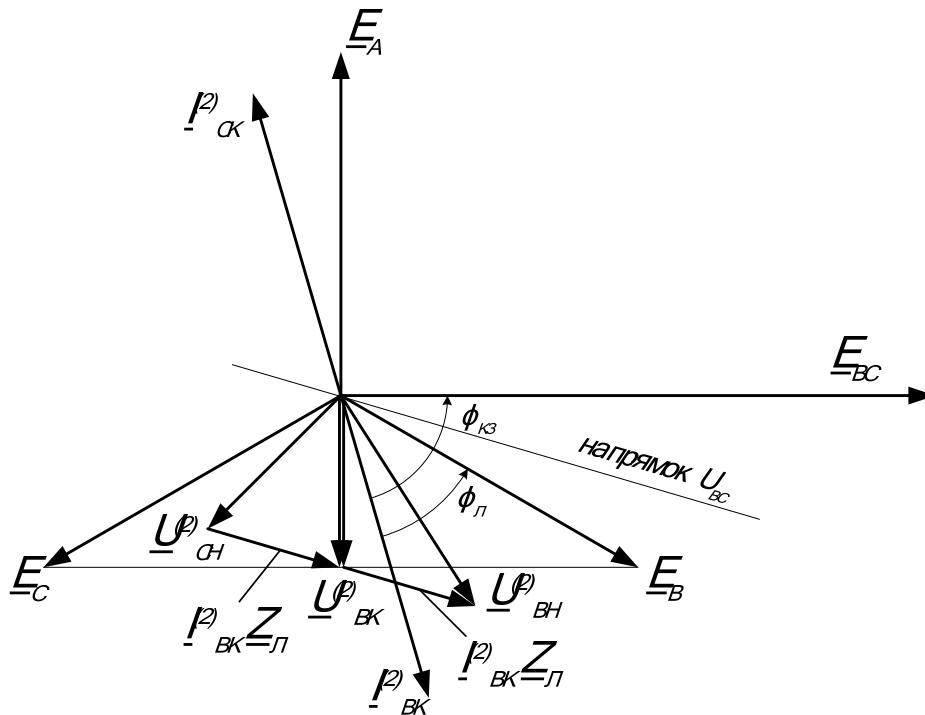


Рис. 1.3 – Векторна діаграма при $K^{(2)}$

1.2.2.3 Однофазне коротке замикання $K_C^{(1)}$

При цьому пошкодженні варто прийняти:

- струми в неушкоджених фазах $\underline{I}_A = \underline{I}_B = 0$ (з урахуванням прийнятих допущень);
- в ушкодженій фазі проходить струм, що дорівнює геометричній сумі струмів прямої, зворотної й нульової послідовностей, що визначається за виразом:

$$\underline{I}_C^{(1)} = \frac{\underline{E}_C}{\underline{Z}_{1\Sigma} + \underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}}, \quad (1.9)$$

де $\underline{Z}_{1\Sigma}$, $\underline{Z}_{2\Sigma}$, $\underline{Z}_{0\Sigma}$ – сумарні опори системи й лінії прямої, зворотної й нульової послідовностей відповідно;

– струм пошкодження зрушено за фазою відносно ЕРС \underline{E}_C на кут:

$$\varphi_{КЗ} = \arg(\underline{Z}_{1\Sigma} + \underline{Z}_{2\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma}); \quad (1.10)$$

– напруга ушкодженої фази в місці КЗ дорівнює нулю, а в місці установлення захисту:

$$\underline{U}_{CH}^{(1)} = \underline{I}_1 \underline{Z}_{1,Л} + \underline{I}_2 \underline{Z}_{2,Л} + \underline{I}_0 \underline{Z}_{0,Л}; \quad (1.11)$$

– напруги неушкоджених фаз А і В відрізняються від ЕРС відповідних фаз внаслідок взаємоіндуктивного зв'язку з ушкодженою фазою (у них індуктуються ЕРС взаємоіндукції \underline{E}_M).

Векторна діаграма представлена на рис. 1.4.

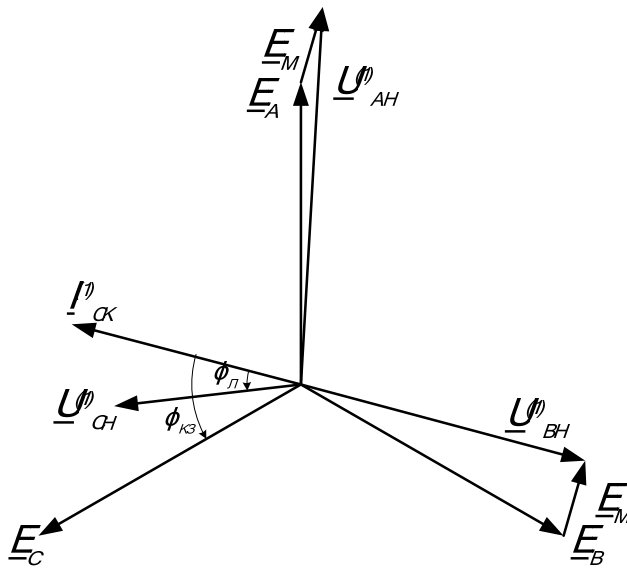


Рис. 1.4 – Векторна діаграма при $\text{КЗ}^{(1)}$

2. Завдання 2. Побудова векторних діаграм струмів і напруг при пошкодженнях за трансформаторами

Побудувати якісно діаграми струмів у місці пошкодження та з боку живлення при заданому виді КЗ.

Схема мережі, на якій подані позначення струмів з боку живлення й у місці пошкодження, представлена на рис. 1.5, 1.6.

Y/Δ - 11

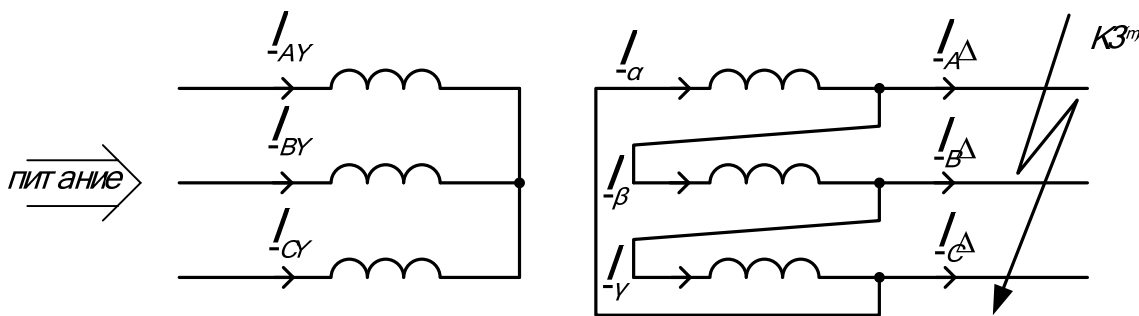


Рис. 1.5 – Мережа зі схемою з'єднання обмоток трансформатора Y/Δ-11

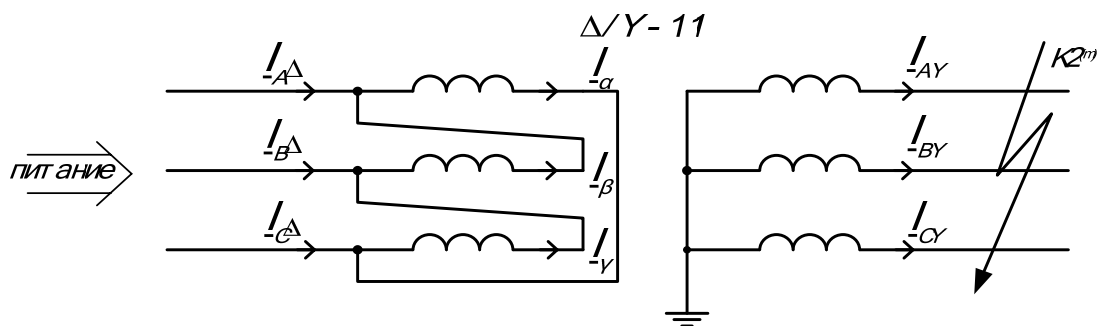


Рис. 1.6 – Мережа зі схемою з'єднання обмоток трансформатора Δ/ Y-11

Вихідні дані:

- варіанти завдань наведені в табл. 1.3;
- коефіцієнт трансформації N_T ;
- вид пошкодження (схема);
- схема з'єднання обмоток силового трансформатора;
- для трансформатора зі схемою з'єднання Δ/Y-11 коротке замикання позначається K2;
- для трансформатора зі схемою з'єднання Y/Δ -11 коротке замикання позначається K3.

Таблиця 1.3 – Види пошкоджень за трансформаторами для завдання 2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид пошкодження	K2 _{AB} ⁽²⁾	K2 _{BC} ⁽²⁾	K2 _{CA} ⁽²⁾	K3 _A ⁽¹⁾	K3 _B ⁽¹⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾	K3 _{CA} ⁽²⁾	K3 _{BC} ⁽²⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾
№ варіанта	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вид пошкодження	K2 _C ⁽¹⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾	K2 _B ⁽¹⁾	K2 _{CA} ⁽²⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾	K2 _{AB} ⁽²⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾	K3 _{CA} ⁽²⁾	K3 _{AB} ⁽²⁾

2.1 Методичні вказівки до завдання 2

При побудові векторних діаграм слід використовувати наступні допущення й співвідношення:

- не враховуються струми навантаження, тобто розглядаються тільки аварійні складові струмів ($I_K \gg I_{нагр}$);
- розглядаються тільки металеві K3 (перехідний опір R_f у місці K3 дорівнює нулю, тобто $R_f = 0$);
- діаграми струмів з боку живлення як при K3 за трансформаторами Y/Δ -11, так і за трансформаторами Δ/Y -11, аналогічні;
- однак більш очевидними є діаграми струмів при K3 за трансформатором Δ/Y -11, тому їх розглядаємо більш докладно;
- для простоти приймаємо $N_T = 1$;
- співвідношення витків трансформатора:

$$\frac{w_\Delta}{w_Y} = \sqrt{3} \cdot N_T; \quad (1.11)$$

- струми в обмотках трансформатора, з'єднаних у трикутник, можуть бути виражені через струми фаз із боку зірки трансформатора (пошкодження в точці $\hat{E}2^{(0)}$):

$$\begin{aligned}
 I_{\alpha} &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot N_T} I_{AY}; \\
 I_{\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot N_T} I_{BY}; \\
 I_{\gamma} &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot N_T} I_{CY};
 \end{aligned}
 \tag{1.12}$$

– виходячи з першого закону Кірхгофа, можна одержати вирази для струмів фаз із боку живлення через струми фаз у місці КЗ:

$$\begin{aligned}
 I_{A\Delta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{AY} - I_{BY}); \\
 I_{B\Delta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{BY} - I_{CY}); \\
 I_{C\Delta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{CY} - I_{AY});
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

– при живленні трансформатора з боку Y (схема з'єднання обмоток Y/Δ -11, місце КЗ КЗ^{тт}) співвідношення між струмами з боку живлення (Y) і з боку пошкоджень (Δ) можуть бути отримані при відсутності струмів нульової послідовності, коли $I_{\alpha} + I_{\beta} + I_{\gamma} = 0$;

– співвідношення для струмів I_{AY} , I_{BY} і I_{CY} мають вигляд

$$\begin{aligned}
 I_{AY} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{A\Delta} - I_{C\Delta}); \\
 I_{BY} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{B\Delta} - I_{A\Delta}); \\
 I_{CY} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (I_{C\Delta} - I_{B\Delta});
 \end{aligned}
 \tag{1.14}$$

– при побудові векторних діаграм струмів у місці КЗ використовуються векторні діаграми при відповідному КЗ на лінії.

2.2 Векторні діаграми струмів і напруг для різних видів пошкоджень за трансформаторами з різними схемами з'єднання обмоток

2.2.1 Трифазне КЗ у точці Ê2⁽⁰⁾

Струми з боку живлення (Δ), повинні бути рівні за значенням струмам з боку пошкодження (Y), але зрушені щодо них на 30° убік випередження.

Векторна діаграма представлена на рис. 1.7.

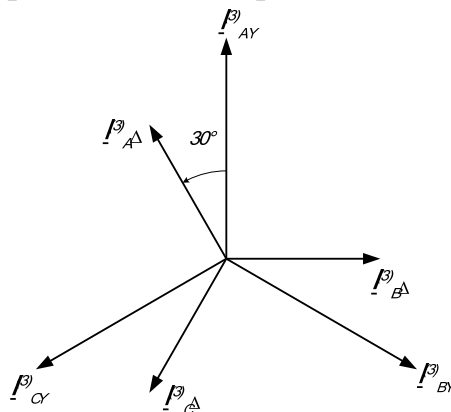


Рис. 1.7 – Векторна діаграма струмів при КЗ⁽³⁾ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток трансформатора Δ/Y-11

2.2.2 Двофазне КЗ у точці К2^{тг}

Струми протікають тільки в ушкоджених фазах, причому $-\underline{I}_{BY} = \underline{I}_{CY}$, струм в неушкодженій фазі відсутній.

З боку живлення струми КЗ присутні у всіх трьох фазах, причому в одній фазі $\underline{I}_{BA}^{(2)} = \underline{I}_{CA}^{(2)}$, а у двох інших фазах:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{AA}^{(2)} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{I}_{BY}^{(2)}; \\ \underline{I}_{CA}^{(2)} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{I}_{CY}^{(2)}; \end{aligned} \tag{1.15}$$

тобто протилежні за знаком до фази В і дорівнюють його половині.

Векторна діаграма струмів представлена на рис. 1.8.

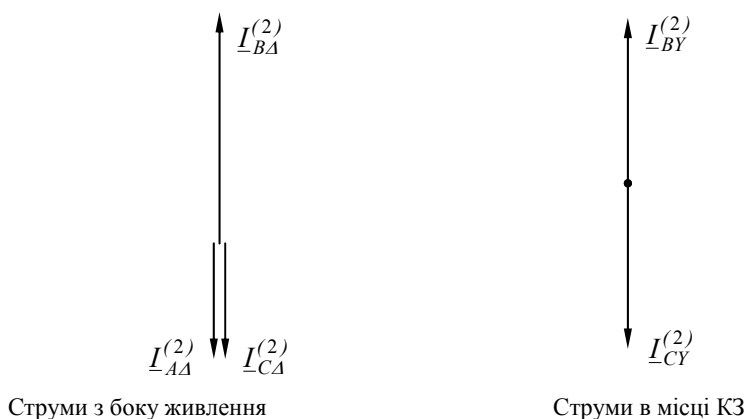


Рис. 1.8 – Векторна діаграма струмів при К_{BC}⁽²⁾ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток трансформатора Δ/ Y-11

2.2.3 Однофазне КЗ К2_C⁽¹⁾

У місці пошкодження протікає струм тільки у фазі С: $\underline{I}_{CY}^{(1)}$, а з боку живлення згідно з (1.13) будуть протікати струми у двох фазах

$$\begin{aligned} \underline{I}_{BA} &= -\frac{1}{\sqrt{3}} \underline{I}_{CY}; \\ \underline{I}_{CA} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{I}_{CY}. \end{aligned} \tag{1.16}$$

Векторна діаграма представлена на рис. 1.9.

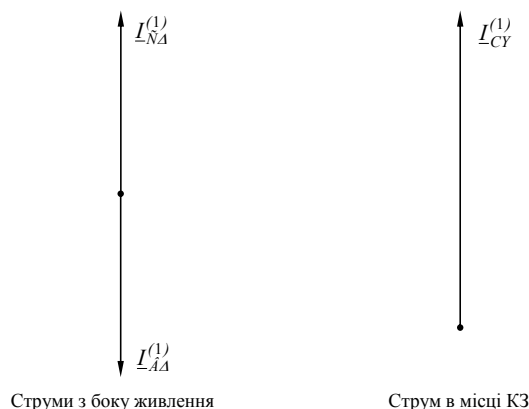


Рис. 1.9 – Векторна діаграма струмів при К_C⁽¹⁾ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток трансформатора Δ/ Y-11

Векторні діаграми при $KЗ^{(3)}$ і $KЗ^{(2)}$ для схеми, показаної на рис. 1.6, можуть бути отримані відповідно до виразу (1.14) і представлені на рис. 1.10, 1.11 відповідно.

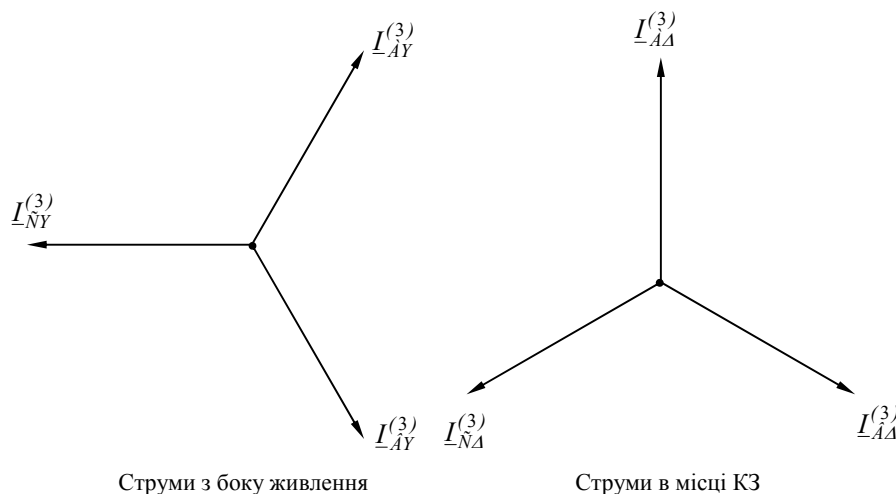


Рис. 1.10 – Векторна діаграма струмів при трифазному КЗ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток трансформатора $Y/\Delta -11$

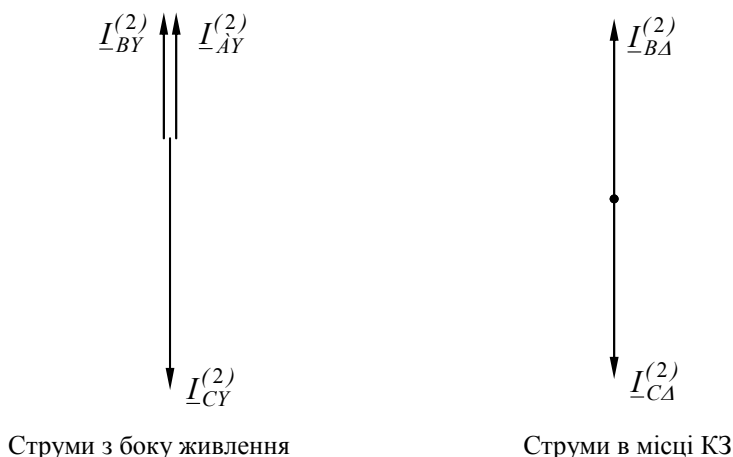


Рис. 1.11 – Векторна діаграма струмів при $K_{BC}^{(2)}$ за трансформатором зі схемою з'єднання обмоток трансформатора $Y/\Delta -11$

Тема 2 РОЗРАХУНОК УСТАВОК МАКСИМАЛЬНИХ СТРУМОВИХ ЗАХИСТІВ (МСЗ) У МЕРЕЖІ З ОДНОБІЧНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Завдання

Для МСЗ у мережі на рис. 2.1 визначити струми спрацьовування $I_{сз}$ й терміни спрацьовування $t_{сз}$ (МСЗ із незалежною характеристикою витримки часу) від міжфазних КЗ. Прийняти коефіцієнт надійності $K_H = 1,2$; коефіцієнт повернення $K_B = 0,9$; коефіцієнт самозапуску двигунного навантаження $K_{с.зап.} = 1,5$ і ступінь селективності $\Delta t = 0,5$ с.

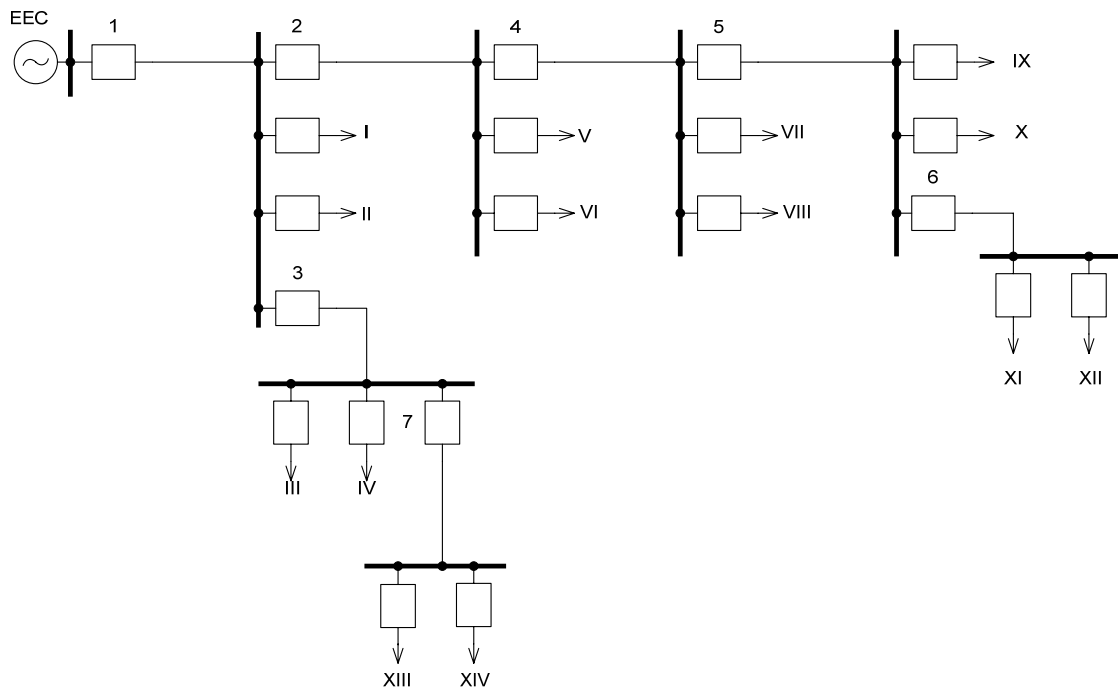


Рис. 2.1 – Схема мережі

Максимальні робочі струми навантажень I – XIV наведені в таблиці 2.1, а витримки часу максимальних струмових захистів споживачів I – XIV – у таблиці 2.2.

Методичні вказівки

Максимальний струмовий захист є останнім, третім щаблем струмових захистів ліній. У низці випадків МСЗ використовується самостійно й виконує функції основного й резервного захисту ліній, оскільки має так звану відносну селективність.

Таблиця 2.1 – Максимальні робочі струми навантажень, А

Параметр Варіант	I_I	I_{II}	I_{III}	I_{IV}	I_V	I_{VI}	I_{VII}	I_{VIII}	I_{IX}	I_X	I_{XI}	I_{XII}	I_{XIII}	I_{XIV}
а)	15	12	13	18	19	11	10	17	19	11	19	10	20	15
б)	24	10	12	10	14	18	15	13	16	12	15	11	17	18
в)	11	15	16	15	11	16	13	14	12	16	14	12	15	11
г)	17	11	14	12	10	15	11	16	10	17	16	13	10	13

Таблиця 2.2 – Витримки часу (с) спрацювання струмових захистів навантажень (споживачів)

Параметр Варіант	t_I	t_{II}	t_{III}	t_{IV}	t_V	t_{VI}	t_{VII}	t_{VIII}	t_{IX}	t_X	t_{XI}	t_{XII}	t_{XIII}	t_{XIV}
а)	1,5	2,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,5	2,0
б)	2,0	1,0	1,5	2,5	1,0	1,5	0,5	1,5	1,0	0,5	1,0	0,5	2,5	3,0
в)	2,5	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,5	2,0	0,5	0,0	1,5	0,5	3,0	2,5
г)	1,0	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	0,5	0,5	1,0	2,0	1,5

Витримки часу МСЗ вибираються за ступеневим принципом, відповідно до якого час спрацювання МСЗ ділянки мережі t_{c3} має бути більшим за максимальну витримку часу захистів попередніх (суміжних) ділянок $t_{c3\text{ см макс}}$ на ступінь селективності Δt :

$$t_{c3} = t_{c3\text{ см макс}} + \Delta t. \quad (2.1)$$

Вибір витримок часу МСЗ завжди починається із захистів найбільш віддалених від джерела живлення ділянок мережі (на рис. 2.1 – з ділянок 6, 7).

Струм спрацьовування МСЗ $I_{сз}$ у загальному випадку обирається за найбільшим значенням, яке обумовлюється трьома наступними умовами.

1. Струм спрацьовування МСЗ $I_{сз}$ повинен бути більшим максимального робочого струму $I_{раб макс}$ в лінії, що захищається:

$$I_{сз} = K_H \cdot I_{раб макс} \quad (2.2)$$

Струм $I_{раб макс}$ визначається як сума максимальних робочих струмів всіх приєднань на суміжній ділянці, тобто

$$I_{раб макс} = \sum_i I_{раб макс см_i} \quad (2.3)$$

Наприклад, згідно з рис. 2.1

$$I_{раб макс 6} = I_{раб макс XI} + I_{раб макс XII}; \quad I_{раб макс 7} = I_{раб макс XIII} + I_{раб макс XIV};$$

$$I_{раб макс 5} = I_{раб макс 6} + I_{раб макс IX} + I_{раб макс X} \text{ і т.д.}$$

2. Струм спрацьовування МСЗ $I_{сз}$ обирається за умови повернення захисту після відключення зовнішнього КЗ (на суміжній ділянці) при самозапуску електродвигунів, що залишилися в роботі:

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot K_{с.зап.}}{K_B} \cdot I_{раб макс} \quad (2.4)$$

3. Струм спрацьовування МСЗ повинен бути обраний таким чином, щоб кожний наступний захист був не більш чутливий, ніж попередній на суміжній ділянці, тобто:

$$I_{сз} \geq I_{сз см макс} \quad \text{або} \quad I_{сз} \geq K'_H I_{сз см макс} \quad (2.5)$$

де $K'_H = 1,1$.

Невиконання 3-ї умови (2.5) може призвести до неселективної дії захисту даної ділянки. Наприклад, при КЗ на суміжній ділянці через перехідний опір при струмі КЗ, рівному $I_{сз см} = I_K$, захист суміжної ділянки перебуває на грані спрацьовування й може відмовити (не спрацювати), у той час як захист розглянутої ділянки дарма спрацює.

Приклад розрахунку за варіантом а) з таблиці 2.1.

$$I_{раб макс 7} = I_{раб макс XIII} + I_{раб макс XIV} = 20 + 15 = 35 \text{ А};$$

$$I_{сз7} = 1,2 \cdot 35 = 42 \text{ А};$$

$$I_{сз7} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 0,9^{-1} \cdot 35 = 70 \text{ А}.$$

Третя умова не розглядається, тому що невідомі значення струмів спрацювання захистів XIII, XIV.

Вибираємо $I_{сз7} = 70 \text{ А}$.

Аналогічно визначаємо:

$$I_{сз6} = 58 \text{ А}; \quad I_{сз5} = 88,5 \text{ А}; \quad I_{сз4} = 172 \text{ А};$$

$$I_{сз3} = 132 \text{ А}; \quad I_{сз2} = 232 \text{ А}; \quad I_{сз1} = 418 \text{ А}.$$

Тема 3

РОЗРАХУНОК УСТАВОК І ПЕРЕВІРКА ЧУТЛИВОСТІ МСЗ У МЕРЕЖІ З ОДНОБІЧНИМ ЖИВЛЕННЯМ. ВИБІР СХЕМ ЗАХИСТІВ

Завдання

Для МСЗ 1 і 2 у мережі, зображеної на рис. 3.1:

1) визначити струми спрацьовування $I_{сз1}$, $I_{сз2}$, терміни спрацьовування $t_{сз1}$, $t_{сз2}$, а також струми спрацьовування реле $I_{ср1}$, $I_{ср2}$ цих захистів;

2) вибрати схему включення реле струму МСЗ 1 і 2 й оцінити чутливість МСЗ 1 і 2.

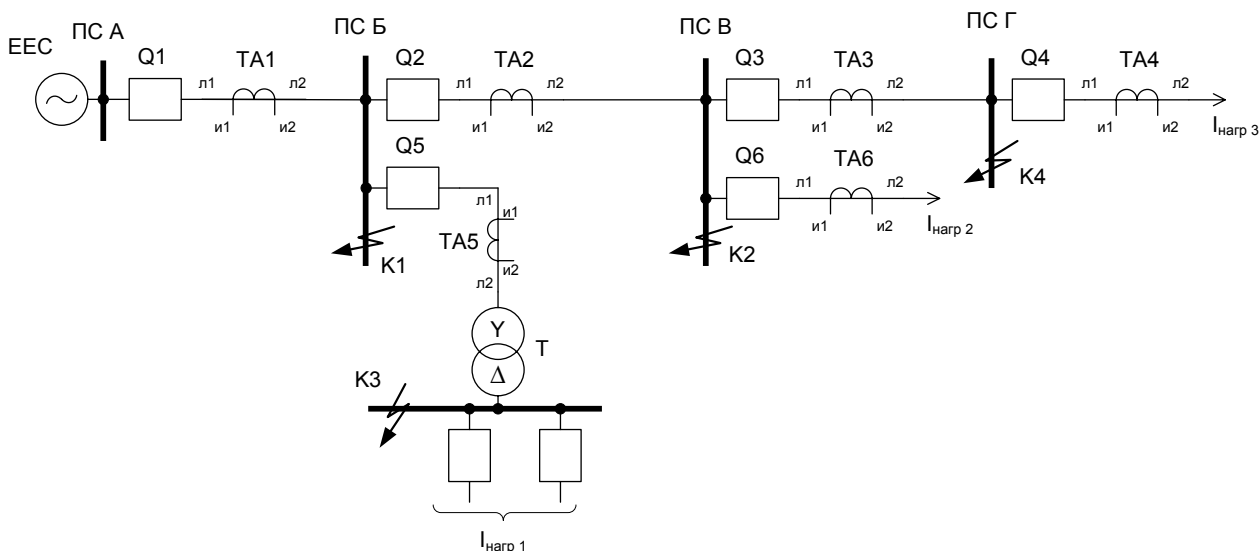


Рис. 3.1 – Схема мережі

У розрахунках прийняти коефіцієнт надійності $K_H = 1,2$; коефіцієнт повернення $K_B = 0,9$; коефіцієнт самозапуску двигунного навантаження $K_{с.зап.} = 1,5$ і ступінь селективності $\Delta t = 0,5$ с.

Максимальні робочі струми навантажень, струми трифазних КЗ і часові витримки спрацьовування МСЗ 3-6 наведені в табл. 3.1.

Трансформатори струму (ТА) обираються відповідно до шкали первинних номінальних струмів $I_{ном}$ і коефіцієнтів трансформації n_T (табл. 3.2)

Методичні вказівки

До п.1). Струми і часи спрацьовування МСЗ 1 і 2 вибираються відповідно до виразів (2.1) – (2.5), наведених в методичних вказівках до завдання теми 2.

Після визначення струму спрацьовування захисту розраховується струм спрацьовування реле $I_{ср}$, значення якого залежить від схеми з'єднання вторинних обмоток трансформатора струму і його коефіцієнта трансформації:

$$I_{ср} = I_{сз} \frac{k_{сх}^{(3)}}{n_T} \quad (3.1)$$

де $k_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми в симетричному режимі (визначається як відношення струму в обмотці реле до вторинного струму трансформатора струму); n_T – коефіцієнт перетворення трансформатора струму (визначається як відношення

первинного номінального струму $I_{ном}$ до вторинного номінального струму, значення якого зазвичай дорівнює 5 А).

Таблиця 3.1 - Максимальні робочі струми навантажень, струми КЗ і витримки часу спрацьовування захистів 4 - 6

Параметр варіант	$I_{нагр.1}^1$, А	$I_{нагр.2}$, А	$I_{нагр.3}$, А	$t_{сзз.}$, З	$t_{сзз.}$, З	$t_{сзз.}$, З	$I_{К1}^{(3)}$, А	$I_{К2}^{(3)}$, А	$I_{К3}^{(3)}$, А	$I_{К4}^{(3)}$, А
а)	50	30	20	0,5	2,5	1,0	600	400	250	300
б)	60	45	55	1,0	2,0	1,5	900	450	600	350
в)	140	45	100	1,5	1,5	2,0	2000	800	1200	700
г)	45	25	75	1,0	1,0	2,5	1000	400	600	400

Таблиця 3.2 Первинні номінальні струми й коефіцієнти трансформації трансформаторів струму

$I_{ном}$, А	100	200	300	400	600	800	1000
n_T	100/5	200/5	300/5	400/5	600/5	800/5	1000/5

Трансформатори струму варто вибирати з первинними номінальними струмами, більшими за відповідні максимальні робочі струми ($I_{раб.макс.1}$ і $I_{раб.макс.2}$), тобто

$$I_{ном.1} > I_{раб.макс.1} \quad \text{и} \quad I_{ном.2} > I_{раб.макс.2} \quad (3.2)$$

Значення $k_{сх}^{(3)}$ залежать від схеми з'єднання ТА й кіл струму захистів, варіанти яких наведені на рис 3.2.

До п. 2). У мережах з $U_{ном} \leq 35$ кВ, у яких не буває однофазних КЗ, захисти ліній доцільно виконувати із двома ТА (двофазні схеми), включаються, звичайно у всій мережі в однойменні фази (А і С). У мережах з $U_{ном} \geq 110$ кВ, які працюють із глухо-заземленими нейтралями трансформаторів (автотрансформаторів), для захисту слід встановлювати ТА у всі три фази (трифазні схеми) для забезпечення їхньої роботи й при однофазних КЗ. На практиці застосовуються наступні схеми струмових захистів, наведені на рис. 3.2: а – неповна зірка (двофазна із двома реле струму КА1 і КА2); б – неповна зірка (двофазна із трьома реле струму, в якій третє реле КА3 включене на суму струмів двох фаз); в – повна зірка (трифазна із трьома реле струму); г – повний трикутник (трифазна із трьома реле струму); д – неповний трикутник ("вісімка" або двофазна з одним реле струму).

Для реалізації захистів від міжфазних КЗ використовують двофазні схеми. На ділянці 2 варто розглянути можливість використання схеми "вісімки" (рис. 3.2, д) як найпростішої. У випадку недостатньої її чутливості варто перейти до схеми неповної зірки (рис. 3.2, а).

Чутливість захисту 2 оцінюється її коефіцієнтом

$$K_q = \frac{I_{р.мин}}{I_{ср}}, \quad (3.3)$$

де $I_{р.мин}$ – мінімальний струм, що протікає в реле при КЗ наприкінці ділянки, що захищається (точка К2 на рис. 3.1) і наприкінці ділянки, що резервується (точка К4 на рис. 3.1).

¹Струми навантажень і трьохфазних КЗ наведені в стороні ВН

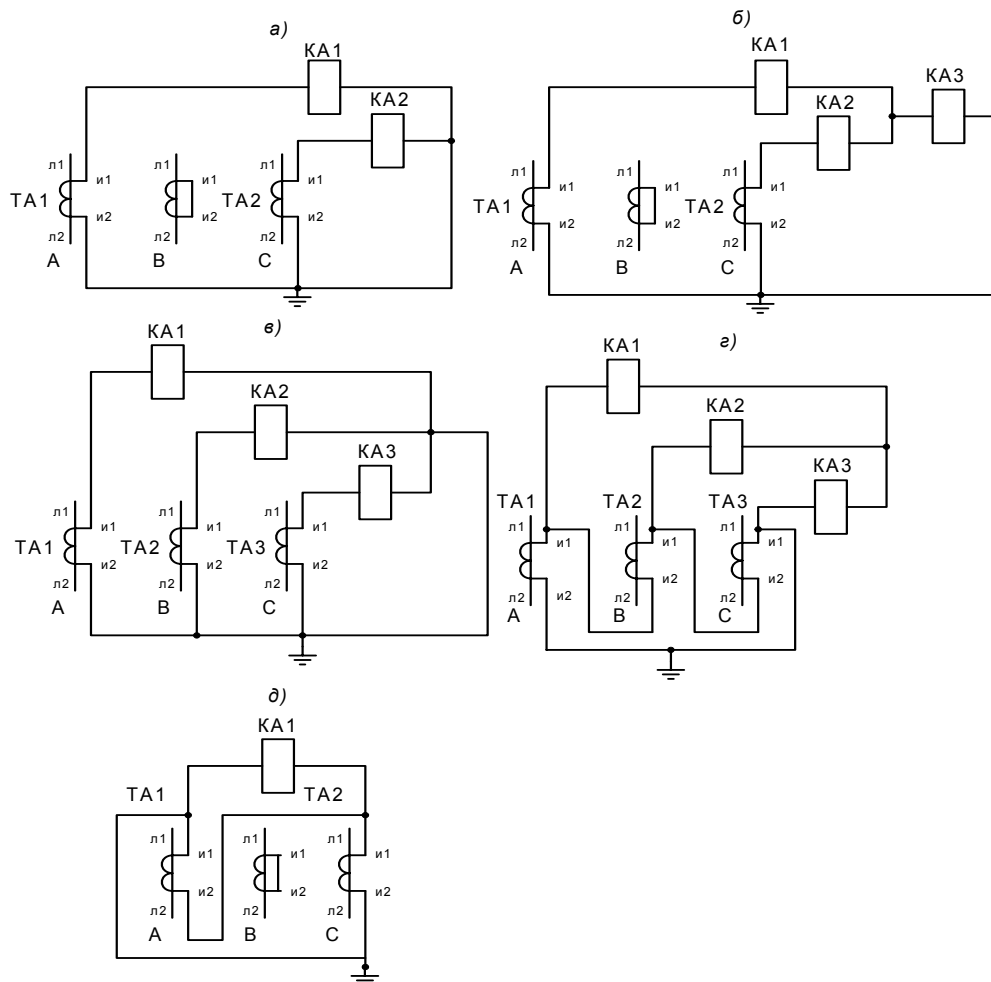


Рис. 3.2 – Схеми з'єднання вторинних кіл трансформаторів струму й реле

Мінімальне значення струму $I_{p\text{ мин}}$ має місце при двофазному КЗ, оскільки в місці КЗ наявне наступне співвідношення:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)}. \quad (3.4)$$

При КЗ у точці К2 перевіряється чутливість захисту 2 як основного:

$$K_{ч\text{ осн}} = \frac{I_{K2}^{(2)}}{K_I \cdot I_{cp2}}, \quad (3.5)$$

а в точці К4 – як резервного:

$$K_{ч\text{ рез}} = \frac{I_{K4}^{(2)}}{K_I \cdot I_{cp2}}. \quad (3.6)$$

Згідно ПУЕ необхідно мати $K_{ч\text{ осн}} \geq 1,5$, $K_{ч\text{ рез}} \geq 1,2$.

Якщо схема "вісімки" для захисту 2 не задовольняє вимоги ПУЕ, то варто перейти до схеми неповної зірки (рис. 3.2, а), коефіцієнти чутливості якої при КЗ у тих самих точках будуть більше в $\sqrt{3}$ разів. Це пов'язане з тим, що для цієї схеми $k_{cx}^{(3)} = 1$, а значить, відповідно до виразу (3.1) її струм I_{cp2} буде в $\sqrt{3}$ менший в порівнянні зі схемою неповного трикутника.

Для захисту 1 головної ділянки варто розглянути схему неповної зірки із двома реле (рис. 3.2, а), якщо її чутливість виявиться достатньою при КЗ за понижувальним трансформатором Т (точка К3 на рис. 3.1), або із трьома реле

(рис. 3.2, б) у протилежному випадку. Схема із трьома реле струму при двофазному КЗ за трансформатором із з'єднанням обмоток Δ/Δ -11 в 2 рази більш чутлива, ніж схема із двома реле.

Векторні діаграми на рис. 1.8, 1.11 пояснюють неможливість використання схеми неповного трикутника для захисту 1.

У результаті розрахунку коефіцієнтів чутливості захисту 1 при КЗ у точці К1 (як основного) і в точках К2 і К3 (як резервного) обирається найбільш прийнятна схема.

Приклад розрахунку МСЗ за варіантом а) таблиці 3.1.

Визначаємо $I_{\text{раб макс 2}}$ й $I_{\text{раб макс 1}}$:

$$I_{\text{раб макс 2}} = I_{\text{нагр 2}} + I_{\text{нагр 3}} = 30 + 20 = 50 \text{ А};$$

$$I_{\text{раб макс 1}} = I_{\text{раб макс 2}} + I_{\text{нагр 1}} = 50 + 50 = 100 \text{ А}.$$

Визначаємо струми спрацьовування МСЗ:

$$I_{\text{сз 2}} = \frac{K_H \cdot K_{\text{с.зан.}}}{K_B} \cdot I_{\text{раб макс 2}} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 0,9^{-1} \cdot 50 = 100 \text{ А};$$

$$I_{\text{сз 1}} = \frac{K_H \cdot K_{\text{с.зан.}}}{K_B} \cdot I_{\text{раб макс 1}} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 0,9^{-1} \cdot 100 = 200 \text{ А}.$$

Визначаємо часи спрацьовування захистів:

$$t_{\text{сз 2}} = \max(t_{\text{сз 3}}, t_{\text{сз 6}}) + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с};$$

$$t_{\text{сз 1}} = \max(t_{\text{сз 2}}, t_{\text{сз 5}}) + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ с}.$$

Вибираємо за табл. 3.2 для захистів 1 і 2 значення $K_{I1} = 100/5 = 20$; $K_{I2} = 100/5 = 20$.

Приймаємо для захисту 2 схему неповного трикутника ($k_{\text{ex}}^{(3)} = \sqrt{3}$) і визначаємо струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{сп 2}} = \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_{I2}} I_{\text{сз 2}} = \sqrt{3} \cdot 20^{-1} \cdot 100 = 8,66 \text{ А}.$$

Перевіряємо чутливість МСЗ 2 до КЗ точках К2 і К4:

$$K_{\text{ч К2}} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{К2}}^{(3)}}{K_{I2} \cdot I_{\text{сп 2}}} = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 20^{-1} \cdot 8,66^{-1} = 2,00 > 1,5;$$

$$K_{\text{ч К3}} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{К3}}^{(3)}}{K_{I2} \cdot I_{\text{сп 2}}} = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 300 \cdot 20^{-1} \cdot 8,66^{-1} = 1,50 > 1,2,$$

тобто МСЗ 2 виконується за схемою неповного трикутника.

Приймаємо для захисту 1 дворелейну схему неповної зірки ($k_{\text{ex}}^{(3)} = 1$) і визначаємо струм спрацьовування реле:

$$I_{\text{сп 1}} = \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_{I1}} I_{\text{сз 1}} = 1 \cdot 200 \cdot 20^{-1} = 10,00 \text{ А}.$$

Перевіряємо чутливість МСЗ 1 у точках К1, К2 і К3:

$$K_{\text{ч К1}} = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{К1}}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{\text{сп 1}}} = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 600 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 2,60 > 1,5;$$

$$K_{ч К2} = \frac{0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{К2}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{сп1}} = 0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 1,73 > 1,2;$$

$$K_{ч К3} = \frac{0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{К3}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{сп1}} = 0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot 250 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 0,63 < 1,2.$$

Оскільки дворелейна схема неповної зірки не забезпечує необхідну чутливість, приймається рішення про застосування трирелейної схеми неповної зірки, у якої

$$K_{ч К3} = \frac{1 \cdot I_{К3}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{сп1}} = 1 \cdot 250 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 1,25 > 1,2.$$

Тема 4

РОЗРАХУНОК ТРИСТУПЕНЕВОГО СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ ВІД БАГАТОФАЗНИХ КЗ У МЕРЕЖІ З ОДНОБІЧНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Завдання

Для мережі на рис. 4.1, а:

1) визначити параметри спрацьовування й оцінити чутливість ступенів триступеневого струмового захисту 1 від міжфазних КЗ;

2) розробити рознесені схеми захисту 1 на постійному оперативному струмі.

У розрахунках прийняти коефіцієнт надійності $K_H = 1,2$; коефіцієнт повернення $K_B = 0,9$; коефіцієнт самозапуску двигунного навантаження $K_{с.зап.} = 1,5$ і ступінь селективності $\Delta t = 0,5$ с. Інші необхідні дані наведені в табл. 4.1.

Варіанти завдань для самостійної роботи наведені в табл. 4.2.

Методичні вказівки

До п. 1). Струмові захисти від багатофазних КЗ зі ступеневими характеристиками реалізуються, як правило, за схемою неповної зірки.

На ділянці 1 передбачити установку триступеневого, а на ділянці 2 – двоступеневого захисту.

Розрахунок параметрів ступеневого захисту зводиться до визначення струму спрацьовування, витримки часу й оцінки захистоздатності кожного ступеня. При цьому необхідно здійснити розрахунок захистів 1 і 2, тому що параметри захисту 2 необхідні для розрахунку параметрів захисту 1.

Перший ступінь – струмова відсічка без витримки часу – реалізується за допомогою двох реле струму.

Струм спрацьовування реле першого ступеня $I_{сп}^I$ вибирається, виходячи з умови забезпечення неспрацьовування при зовнішніх КЗ, і тому повинен бути більшим максимально можливого струму в захисті при зазначених умовах.

$$I_{сп}^I = \frac{k_{сз}^{(3)}}{K_I} I_{сз}^I = \frac{k_{сз}^{(3)}}{K_I} K_H^{(I)} \cdot I_{К.вн. макс}^{(3)} \quad (4.1)$$

де $I_{сз}^I = K_H^{(I)} \cdot I_{К.вн. макс}^{(3)}$ – первинний струм спрацьовування першого ступеня захисту; $K_H^{(I)} = 1,2 - 1,3$ – коефіцієнт надійності відстроювання, що враховує неточність розрахунку струму КЗ, похибки ТА й реле струму, а також вплив аперіодичної складової в струмі $I_K^{(3)}$;

$k_{cx}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми неповної зірки;

K_I – коефіцієнт трансформації ТА;

$I_{K.вн.макс}^{(3)}$ – максимальний струм у захисті при трифазних КЗ на початку суміжних ділянок.

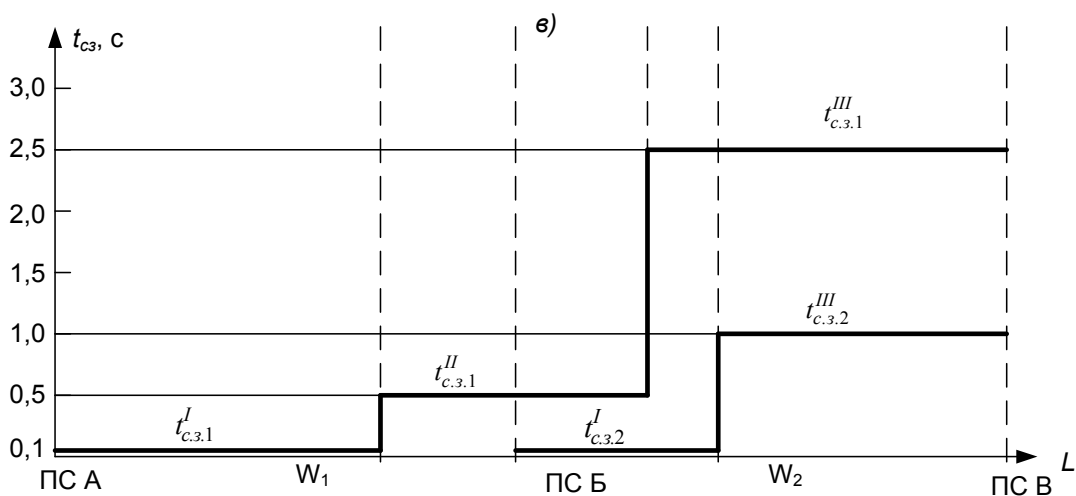
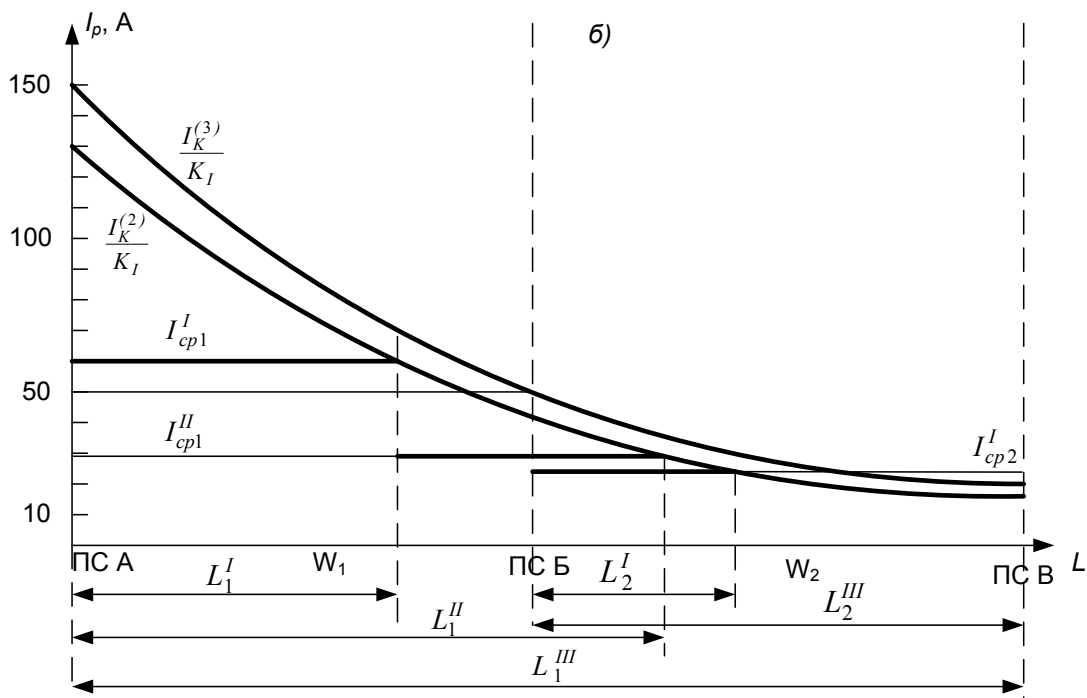
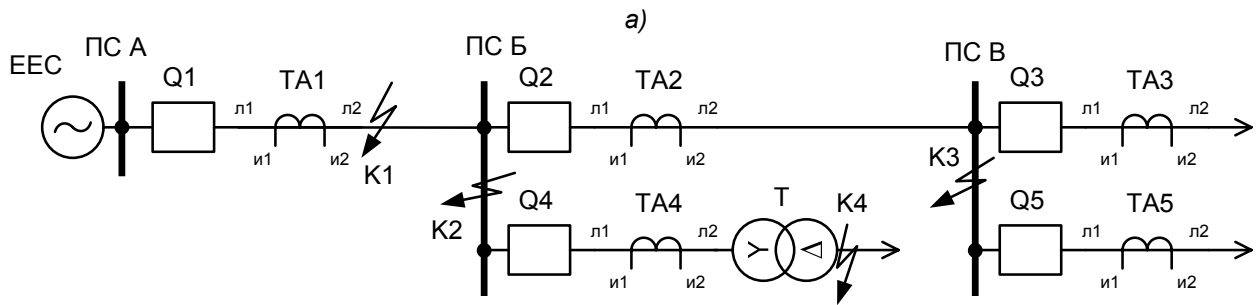


Рис. 4.1 – Вибір параметрів спрацювання першого, другого і третього ступенів струмового захисту мережі: а) схема мережі; б) залежність $I_p = f_1(l)$; в) залежність $t_{c.з.} = f_2(l)$

Таблиця 4.1 – Максимальні робочі струми навантажень, струми КЗ і часи спрацьовування захистів 3 – 5

Параметр Варіант	$I_{нагр1}, А$	$I_{нагр2}, А$	$I_{нагр3}, А$	$t_{с.33}, з$	$t_{с.34}, з$	$t_{с.35}, з$	$I_{К1}^{(3)}, кА$	$I_{К2}^{(3)}, кА$	$I_{Е3}^{(3)}, кА$	$I_{К4}^{(3)}, кА$
а)	50	30	20	0,5	2,0	1,0	3,0	1,0	0,4	0,3
б)	40	40	40	1,5	1,0	0,5	15	6	2	2,7
в)	35	60	35	1,0	2,5	1,5	12	5	1,5	1,5
г)	60	45	50	1,2	2,0	2,0	16	7	3	2

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань для самостійної роботи

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I_{нагр1}$	а	б	в	г	а	а	б	в	г	а	а	г	в	б	б	в	в	б	в	г
$I_{нагр2}$	б	б	в	г	в	а	б	в	г	б	в	в	в	в	б	в	г	а	б	а
$I_{нагр3}$	в	б	в	г	г	б	а	а	а	в	б	б	в	б	г	б	г	г	а	г
$t_{с33}$	а	б	в	г	а	б	б	в	а	г	г	а	г	а	а	в	б	г	б	а
$t_{с34}$	б	б	в	г	в	г	б	в	г	а	г	г	г	а	б	г	в	б	б	а
$t_{с35}$	в	б	в	г	г	г	а	а	г	б	в	в	г	а	в	б	а	б	в	а
$I_{К1}^{(3)}$	а	б	в	г	а	а	б	в	а	в	б	б	а	в	г	в	г	г	а	в
$I_{К2}^{(3)}$	б	б	в	г	в	а	б	в	а	г	а	а	б	в	а	г	б	г	а	в
$I_{К3}^{(3)}$	в	б	в	г	г	б	в	б	г	а	б	г	а	а	б	б	в	б	г	в
$I_{К4}^{(3)}$	г	б	в	г	б	б	г	а	г	б	в	в	г	в	а	б	а	б	г	в

Коефіцієнти перетворення трансформаторів струму ТА1 і ТА2 на рис. 4.1 вибираються, виходячи з відповідних максимальних робочих струмів $I_{\text{раб. макс.1}}$ і шкали номінальних струмів трансформаторів струму, наведених у табл. 3.2. Номінальний вторинний струм трансформаторів струму ТА1 і ТА2 дорівнює 5 А. Для визначення зони l^I першого ступеня захисту необхідно побудувати на підставі даних табл. 4.1 графік залежності струмів у реле при трифазних і двофазних КЗ у функції відстані l , тобто

$$I_p = \frac{k_{\text{cx}}^{(3)}}{K_I} I_{\text{К.}}^{(3)} = f(l); \quad I_p = \frac{k_{\text{cx}}^{(3)}}{K_I} I_{\text{К.}}^{(2)} = f(l),$$

з урахуванням того, що в місці КЗ $I_{\text{К.}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{К.}}^{(3)}$.

Зона l^I визначається в частках довжини лінії, що захищається. Розрахований ступінь доцільно використовувати, якщо його зона дії $l^I > 0$, хоча б при трифазних КЗ.

Ефективність дії I ступеня оцінюється також коефіцієнтом чутливості K'_q при пошкодженнях на початку ділянки, що захищається.

Час спрацьовування першого ступеня $t_{\text{сз}}^I \leq 0,1$ с. Це необхідно для відстроювання від штучних короткочасних КЗ, створюваних трубчастими розрядниками, які встановлюються в мережах із $U_{\text{ном}} \leq 35-110$ кВ.

Другий ступінь – відсічка з витримкою часу – реалізується за допомогою двох реле струму й реле часу й призначена для захисту тієї частини ділянки, де не працює перший ступінь, і для захисту шин прийомної підстанції. Виключення зайвих спрацьовувань цього ступеня при КЗ на суміжних ділянках забезпечується вибором часу спрацьовування $t_{\text{сз}}^{II}$ та струму спрацьовування $I_{\text{сз}}^{II}$.

Час спрацьовування $t_{\text{сз}}^{II}$ вибирається у всіх захистів однаковим та приймається на ступінь селективності Δt більшим, ніж час спрацьовування $t_{\text{сз см}}^I$ швидкодіючих захистів (перших ступенів або диференціальних струмових), установлених на суміжних елементах:

$$t_{\text{сз}}^{II} = t_{\text{сз см}}^I + \Delta t \approx (0,5 - 0,6) \text{ с.}$$

Для схеми (див. рис. 4.1) $t_{\text{сз1}}^{II} = t_{\text{сз2}}^I + \Delta t$ і $t_{\text{сз1}}^{II} = t_{\text{сзт 2}}^I + \Delta t$ ($t_{\text{сзт 2}}^I$ – час спрацьовування диференціального захисту або струмової відсічки трансформатора). Обирається більше з отриманих значень. При такому виборі $t_{\text{сз}}^{II}$ струм спрацьовування повинен бути більший за струм в захисті при таких КЗ на суміжних елементах, які захистами таких елементів відключаються з витримками часу. Такими КЗ є пошкодження наприкінці зон, що захищаються першими ступенями захистів суміжних ділянок, або на шинах нижчої напруги за трансформаторами (К4), де вже не працює їхній швидкодіючий захист:

$$I_{\text{ср}}^{II} \geq \frac{k_{\text{cx}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(II)} \cdot I_{\text{сз см}}^I; \quad (4.3)$$

$$I_{\text{ср}}^{II} \geq \frac{k_{\text{cx}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(II)} \cdot I_{\text{К. транс макс}}^{(3)}; \quad (4.4)$$

де $K_n^{(II)}$ – коефіцієнт надійності відстроювання II ступеня;

$I_{сз.см}^I$ – струм спрацьовування I ступеня захисту суміжної ділянки;

$I_{K.транс.макс}^{(3)}$ – максимальний струм через розглянутий захист при КЗ за понижу-

вальним трансформатором Т;

$k_{сх}^{(3)} = 1$ – коефіцієнт схеми неповної зірки;

K_I – коефіцієнт трансформації ТА.

Розрахований за більшим зі значень (4.3), (4.4) $I_{ср}^{II}$ другий ступінь доцільно використовувати, якщо його коефіцієнт чутливості $K_{ч}^{II} \geq 1,2$ при пошкодженнях наприкінці ділянки, що захищається, оскільки II ступінь резервується більш чутливим третім ступенем. Коефіцієнт чутливості визначається як відношення мінімального струму в реле $I_{р.мин}$ до його струму спрацьовування $I_{с.р}$:

$$K_{ч}^{II} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.р}^{II}}. \quad (4.5)$$

Третій ступінь, призначений для резервування, виконується як максимальний струмовий захист (МСЗ) з незалежною характеристикою витримки часу. Він містить у собі два або три реле струму (для підвищення чутливості при КЗ за трансформатором) і реле часу. Його неспрацьовування при зовнішніх КЗ забезпечується вибором часу спрацьовування $t_{с.з}^{III}$ більшим, ніж час спрацьовування резервного захисту (або III ступеня) на суміжному елементі $t_{с.з.см}^{(рез)}$:

$$t_{с.з}^{III} = t_{с.з.см}^{(рез)} + \Delta t. \quad (4.6)$$

Струм спрацьовування III ступеня вибирається виходячи з умов неспрацьовування в режимах без КЗ, розглянутих у темі 2 – вирази (2.2), (2.4) і (2.5). Як правило, визначальною є умова забезпечення повернення реле струму ступеня після відключення зовнішніх КЗ:

$$I_{с.р}^{III} = \frac{k_{сх}^{(3)} \cdot K_{с.зап} \cdot K_n^{(III)}}{K_B \cdot K_I} \cdot I_{раб.макс}, \quad (4.7)$$

де $K_n^{(III)}$ – коефіцієнт надійності для III ступеня;

$I_{раб.макс}$ – максимальний робочий струм ділянки, що захищається.

Коефіцієнт чутливості III ступеня перевіряється відповідно до його призначення:

- як основний – при КЗ наприкінці своєї ділянки

$$K_{ч\ осн}^{II} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.р}^{III}} \geq 1,5; \quad (4.8)$$

- як резервний, при КЗ наприкінці суміжних ділянок:

$$K_{ч\ рез}^{III} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.р}^{III}} \geq 1,2. \quad (4.9)$$

Якщо до пошкоджень за трансформатором чутливість третього ступеня із двома реле струму виявиться недостатньою, то варто використовувати додаткове третє реле струму, включене на суму струмів фаз А і С (див. рис. 3.2, б), і перевірити $K_{ч\ рез}^{III}$ схеми із трьома реле.

Приклад розрахунку ступеневих захистів за варіантом а).

1. Визначається $I_{\text{раб.макс2}}$ й $I_{\text{раб.макс1}}$:

$$I_{\text{раб.макс2}} = I_{\text{нагр2}} + I_{\text{нагр3}} = 30 + 20 = 50 \text{ А};$$

$$I_{\text{раб.макс1}} = I_{\text{раб.макс2}} + I_{\text{нагр1}} = 50 + 50 = 100 \text{ А}.$$

2. Вибирається за табл. 3.2 ТА1 і ТА2 для захистів 1 і 2: $K_{I1} = K_{I2} = 100/5$.

3. Визначається струм спрацьовування I-го ступеня захисту 2 згідно з (4.1):

$$I_{\text{сп2}}^I = \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(I)} \cdot I_{K3}^{(3)} = 1 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 10^3 / (100/5) = 24 \text{ А}.$$

4. Визначається \hat{E}_x^2 при КЗ на початку ділянки 2:

$$K_{\text{ч2}}^I = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K2}^{(3)}}{I_{\text{с.р2}}^I \cdot K_I} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1 \cdot 103 / (24 \cdot 100/5) = 1,80 > 1,$$

тобто устанавлення I-го ступеня на ділянці 2 доцільна.

5. Визначається струм спрацьовування реле I-го ступеня захисту 1:

$$I_{\text{сп1}}^I = \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(I)} \cdot I_{K2}^{(3)} = 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 10^3 / (100/5) = 60 \text{ А}.$$

6. Визначається \hat{E}_{x1}^2 при КЗ на початку ділянки 1:

$$K_{\text{ч1}}^I = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K1}^{(3)}}{I_{\text{с.р.}}^I \cdot K_I} = \frac{\sqrt{3}}{2} 3 \cdot 103 / (60 \cdot 100/5) = 2,17 > 1,$$

тобто устанавлення I-го ступеня на ділянці 1 доцільна.

7. Приймається час спрацьовування I ступенів захистів 1 і 2 $t_{\text{с.з1(2)}}^I = 0,1$ з і будуються залежності струмів у реле захистів 1 і 2 при двофазних і трифазних КЗ у функції відстані $I_p = f(l)$, на які наносяться лінії, що відповідають струмам $I_{\text{сп1}}^I$ і $I_{\text{сп2}}^I$ (рис. 4.1, б). Оскільки довжини ділянок не задані, зони l_1^I й l_2^I визначаються якісно. З рис. 4.1, б видно, що $l_1^I > 0$ і $l_2^I > 0$, тобто устанавлення перших ступенів на ділянках 1 і 2 доцільна.

8. Визначається струм спрацьовування реле II ступеня захисту 1 (за двома умовами (4.3) і (4.4)):

$$I_{\text{сп1}}^{II} \geq \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(II)} \cdot I_{\text{сз2}}^{(3)} = 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,4 \cdot 10^3 / (100/5) = 1,2 \cdot 24 = 28,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{сп1}}^{II} \geq \frac{k_{\text{ex}}^{(3)}}{K_I} K_n^{(II)} \cdot I_{K4}^{(3)} = 1 \cdot 1,2 \cdot 0,3 \cdot 10^3 / (100/5) = 18 \text{ А}.$$

Вибирається максимальне значення: $I_{\text{сп1}}^{II} = 28,8 \text{ А}$.

9. Оцінюється чутливість II ступеня захисту 1:

$$K_{\text{ч1}}^{II} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K2}^{(3)}}{I_{\text{с.р1}}^I \cdot K_I} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1 \cdot 103 / (28,8 \cdot 100/5) = 1,50 > 1,2.$$

10. Зона l_1^{2I} , що захищається II шаблоном, визначається так само, як і зона l_1^I з використанням залежності $I_p = f(l)$.

11. Визначається час спрацьовування II-го ступеня захисту 1:

$$t_{\text{с.з1}}^{II} = t_{\text{с.з2}}^I + \Delta t = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с}.$$

12. Визначаються I_{cp2}^{II} й I_{cp1}^{III} за (4.7):

$$I_{c.p.2}^{II} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot K_{c.зап} \cdot K_n^{(III)}}{K_B \cdot K_{I2}} \cdot I_{раб..макс2} = 1 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 50 / (0,9 \cdot 100/5) = 5 \text{ А};$$

$$I_{c.p.1}^{III} = \frac{k_{cx}^{(3)} \cdot K_{c.зап} \cdot K_n^{(III)}}{K_B \cdot K_{I1}} \cdot I_{раб..макс1} = 1 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 100 / (0,9 \cdot 100/5) = 10 \text{ А}.$$

13. Визначаються K_{q2}^{II} й K_{q1}^{III} за (4.7):

$$K_{q2\text{ осн}}^{II} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)}}{I_{c.p.2}^{II} \cdot K_{I2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,4 \cdot 10^3 / (24 \cdot 100/5) = 3,46 > 1,5;$$

$\hat{E}_{\times 2}^{22} \delta \hat{a} \zeta$ не перевіряється через відсутність даних;

$$K_{q1\text{ осн}}^{III} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K2}^{(3)}}{I_{c.p.1}^{III} \cdot K_{I1}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1 \cdot 103 / (10 \cdot 100/5) = 4,33 > 1,5;$$

$$K_{q1\text{ рез}}^{III} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)}}{I_{c.p.1}^{III} \cdot K_{I1}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,4 \cdot 10^3 / (10 \cdot 100/5) = 1,73 > 1,2;$$

$$K_{q1\text{ рез}}^{III} = \frac{\frac{1}{2} I_{K4}^{(3)}}{I_{c.p.1}^{III} \cdot K_{I1}} = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 103 / (10 \cdot 100/5) = 0,75 < 1,2.$$

Останнє значення свідчить про нездатність максимального струмового захисту на вимикачі Q1 спрацьовувати при виникненні КЗ на шинах НН трансформатора Т. Застосуємо в схемі побудови захисту 1 трирелейну схему неповної зірки (рис. 3.2, б), що у порівнянні із дворелейною має вдвічі більшу чутливість при КЗ за трансформатором Т (точка К4 на рис. 4.1, а) зі схемою з'єднання обмоток Y/Δ-11.

Тоді

$$K_{q1\text{ рез}}^{III} = \frac{I_{K4}^{(3)}}{I_{c.p.1}^{III} \cdot K_{I1}} = 0,3 \cdot 10^3 / (10 \cdot 100/5) = 1,5 > 1,2.$$

14. Визначається час спрацьовування II-го ступеня захисту 2 $t_{c.32}^{II}$ і час спрацьовування III-го ступеня захисту 1 $t_{c.31}^{III}$:

$$t_{c.32}^{II} = t_{c.33}^{III} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с};$$

$$t_{c.31}^{III} = \max(t_{c.32}^{II}, t_{c.34}^{III}) + \Delta t = 2 + 0,5 = 2,5 \text{ с}.$$

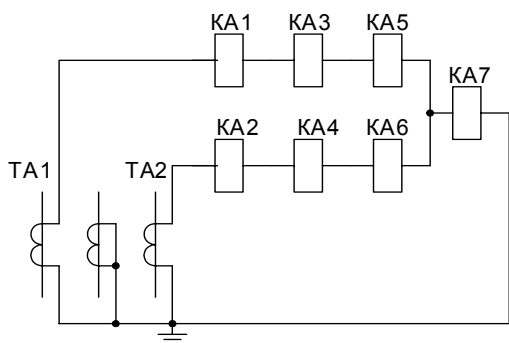


Рис. 4.2 – Кола змінного струму триступеневого струмового захисту ділянки 1

15. Залежність $t_{c.31} = f_2(I)$ наведена на рис. 4.1, в.

До п. 2). Схема кіл струму триступеневого захисту 1 (рис. 4.2) містить три щаблі: I ступінь (два реле струму КА1 і КА2), II ступінь (два реле струму КА3 і КА4) і III ступінь (три реле струму КА5, КА6 і КА7). Вторинні обмотки ТА підключені до захисного заземлення, що викликає появу високої напруги в колах за-

хисту при порушенні ізоляції між первинними та вторинними обмотками трансформатора струму.

В оперативних колах (рис. 4.3) реле струму КА1 і КА2 першого ступеня працюють на вихідне реле КЛ1 захисту від міжфазних КЗ. Реле КЛ1 має невелику затримку на спрацьовування (близько 0,1 с), що виключає роботу першого ступеня на відключення при дії розрядників. Розмикаючий контакт КЛ1.1 не допускає спрацьовування вказівного реле КН1 при дії розрядників і короткочасному замиканні контактів КА1, КА2. Ступені з витримками часу містять окремі реле часу КТ1 і КТ2, тому що витримки часу для ступенів різні (рис. 4.1, в). Вказівні реле сигналізують про спрацьовування відповідних ступенів захисту.

При замиканні контакту реле КЛ1.2 через замикаючий сигнальний контакт вимикача Q (він замкнений при включеному вимикачі) буде подане живлення на електромагніт відключення YAT. При його спрацьовуванні вимикач відключається й контакт Q розмикається трохи раніше головних контактів, що виключає розімкнення ланцюга YAT не розрахованими на цю операцію контактами реле захисту при поверненні.

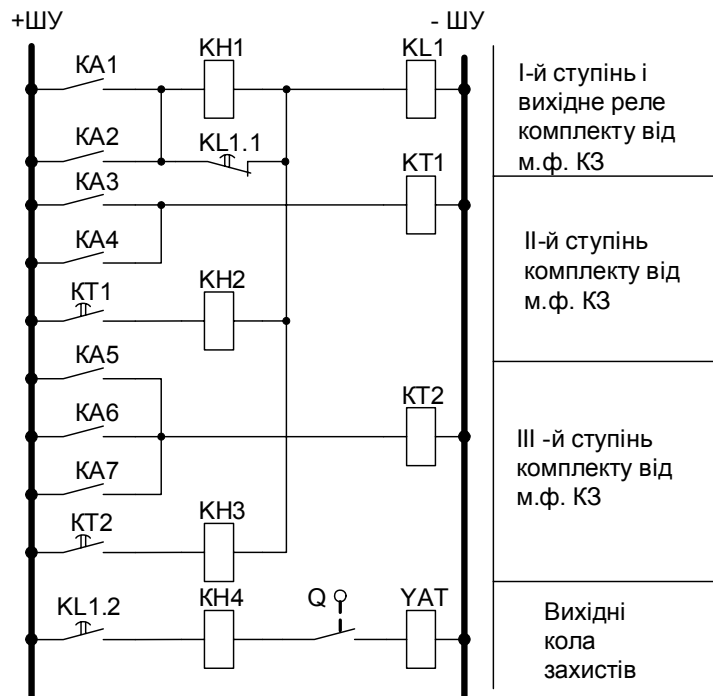


Рис. 4.3 – Оперативні кола постійного струму триступеневого струмового захисту дільниці I

Тема 5
МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ З ОБМЕЖЕНО
ЗАЛЕЖНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ВИТРИМКИ ЧАСУ Й СТРУМОВА
ВІДСІЧКА

Завдання

- 1) Провести вибір параметрів спрацьовування, перевірку чутливості й зіставлення різних варіантів виконання максимального струмового захисту ділянки АБ (рис. 5.1)
- 2) Розробити схему захисту на постійному оперативному струмі.

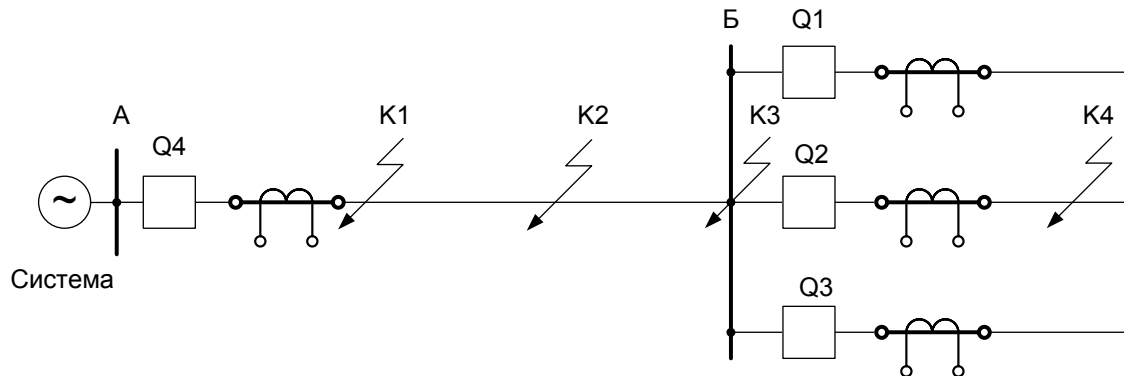


Рис. 5.1 – Схема мережі

Необхідні для виконання роботи вихідні дані наведені в таблиці 5.1.

Порядок представлення результатів розрахунку:

- 1 Привести схему мережі у відповідність із вихідними даними для свого варіанта завдання.
- 2 Розрахувати параметри максимального струмового захисту та струмової відсічки ділянки АБ і вибрати схему захисту.
- 3 Для обраного варіанта захисту скласти принципові рознесені схеми захисту (оперативний струм – постійний).
- 4 Побудувати характеристику витримок часу $t_{cs} = f(l)$ захисту мережі.

Методичні вказівки

До п. 1). Нанести на схему значення максимальних робочих струмів елементів мережі, значення витримок часу спрацьовування захистів елементів мережі відповідно до варіанта завдання з табл. 5.1.

До п. 2). Розрахунку підлягають струми спрацьовування реле максимального струмового захисту I_{cp} й струмової відсічки $I_{ср\ omc}$, встановлених на ділянці АБ, а також розрахункова витримка часу $t_{pacч}$. На підставі виконаних розрахунків визначаються уставки реле за струмом $I_{уст}$ й за часом $t_{уст}$.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Максимальний робочий струм $I_{\text{раб.макс}}$ і витримки часу спрацювання захистів при КЗ на початку ділянки, с	Варіанти												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$I_{\text{раб.макс}}$	А	75	40	80	110	160	60	90	100	55	125	160	70
$t_{\text{сз1}}$, с	с	1,1	1,0	1,2	1,5	1,0	1,5	2,2	2,0	1,3	2,5	1,0	1,7
$t_{\text{сз2}}$, с	с	1,0	0,6	0,5	1,2	0,7	1,5	1,0	0,8	1,3	0,5	0,8	1,1
$t_{\text{сз3}}$, с	с	1,5	1	1,3	0,7	1,3	2,1	1,6	1,2	1,8	0,8	0,6	1,3
Струми $I_K^{(3)}$, кА, у лінії АБ при КЗ у точках:	K1	0,99	0,75	1,85	2,05	2,3	2,0	3,2	2,5	2,0	5,00	4,0	3,0
	K2	0,67	0,4	1,2	1,3	1,4	0,8	1,0	0,9	1,3	1,6	1,75	1,10
	K3	0,42	0,27	0,72	0,735	0,9	0,35	0,52	0,585	0,55	0,795	0,9	0,61

Струм спрацювання реле максимального струмового захисту вибирається, як правило, за умовою забезпечення повернення реле струму захисту після відключення зовнішнього КЗ:

$$I_{\text{сп}} = \frac{K_H \cdot K_{\text{сап}} \cdot K_{\text{сх}}^{(3)}}{K_{\text{в}} \cdot n_{\text{ТА}}} I_{\text{раб.макс}}$$

де $K_H = 1,1 \div 1,2$ – коефіцієнт надійності відстроювання;

$K_{\text{сап}} = 1,5$ – коефіцієнт самозапуску, що враховує збільшення споживання струму загальмованими електродвигунами навантаження в результаті їхнього самозапуску при відновленні напруги після відключення КЗ;

$K_{\text{в}} = 0,8$ – коефіцієнт повернення струму реле;

$k_{\text{сх}}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми, дорівнює відношенню струму в обмотці реле до струму у вторинній обмотці трансформатора струму в симетричному режимі;

$I_{\text{раб.макс}}$ – максимальний робочий струм, що протікає через захист;

$n_{\text{ТА}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}$ – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму, в яких

$I_{1\text{ном}}$ – номінальний первинний струм, $I_{2\text{ном}} = 5 \text{ А}$ – номінальний вторинний струм.

Ряд номінальних значень первинних струмів трансформаторів струму наведений в табл. 5.2.

При виборі схеми захисту варто розглянути можливість застосування схеми неповного трикутника (вісімки), а при недостатній її чутливості використовувати схему неповної зірки із двома реле.

Таблиця 5.2 – Первинні номінальні струми трансформаторів струму

$I_{1\text{ном}}$, А	100	150	200	300	400	600	750	1000
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Використовувані в роботі реле типу РТ-81 мають східчасте регулювання струму уставки (див. табл. 5.3). Тому отримані розрахункові значення округляють до найближчого більшого значення.

Таблиця 5.3 – Уставки струму спрацьовування реле РТ-81

Положення штепселя регулювання	1	2	3	4	5	6	7
$I_{уст}, А$	4	5	6	7	8	9	10

Чутливість максимального струмового захисту оцінюється коефіцієнтом чутливості:

$$K_q = I_{р.мин} / I_{уст},$$

де $I_{р.мин}$ – мінімальний струм в обмотці реле при міжфазному КЗ наприкінці лінії, що захищається. Необхідно мати $K_q \geq 1,5$.

Часом уставки $t_{уст}$ є час спрацьовування реле в незалежній частині характеристики, практично при кратності $K = 10$, $K = I_p / I_{уст}$. Для його визначення необхідно вибрати характеристику витримки часу, що відповідає параметрам захисту ділянки АБ (рис. 5.2).

Розрахункова витримка часу визначається як:

$$t_{расч} = t_{сз.см.мах} + \Delta t,$$

де $t_{сз.см.мах}$ – максимальна з витримок часу захистів ліній, що підключені до шин підстанції Б;

$\Delta t = 0,5$ с – ступінь витримки часу.

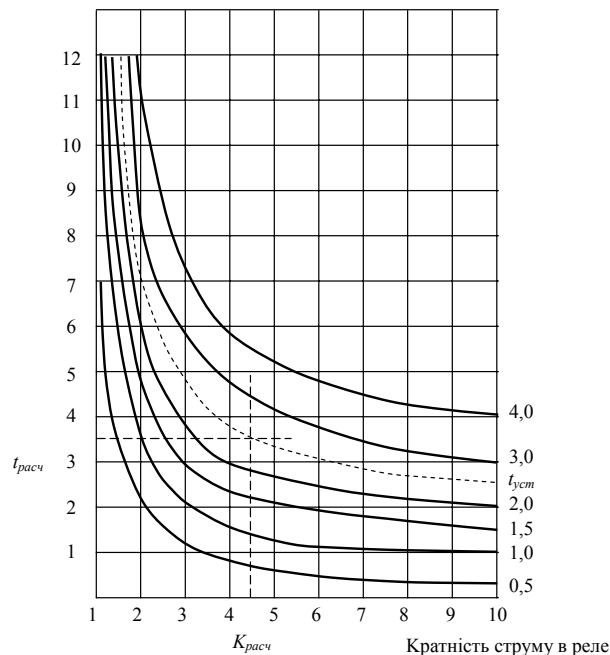


Рис. 5.2 – Характеристики витримок часу

Обирається характеристика витримки часу (рис. 5.2), на якій лежить точка з координатами розрахункового часу й кратності струму в реле:

$$K_{расч} = I_{р.мах.расч} / I_{уст},$$

де $I_{р.мах.расч}$ – максимальний струм у реле при КЗ у розрахунковій точці (точка К4, рис. 5.1).

Якщо точка, обумовлена координатами $t_{расч}$ й $K_{расч}$, не потрапила на жодну з характеристик рис. 5.2, то відповідна характеристика проводиться через задану точку приблизно. Значення уставки часу визначається в незалежній частині характеристики (при $K = 10$). Тому й характеристика витримки часу буде в межах кратності $1 \leq K \leq 10$.

Струм спрацьовування відсічки вибирається, виходячи з умови забезпечення неспрацьовування при зовнішніх КЗ, і тому повинен бути більшим максимального можливого струму в захисті в зазначених умовах:

$$K_{расч} = \frac{K_n \cdot K_{сх}^{(3)}}{n_{ТА}} \cdot I_{K\text{ внеш max}}$$

де $K_f = 1,5 \dots 2 \dots 2,0$ – коефіцієнт надійності, що враховує різні погрішності, а також наявність у струмі аперіодичної складової (тому що відсічка не має витримки часу);

$K_{сх}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми в симетричному режимі;

$I_{K\text{ внеш max}}$ – максимальний струм у захисті при трифазних КЗ на початку суміжних елементів.

Для визначення зони $l_{омс}$, що захищається струмовою відсічкою, варто побудувати на підставі даних табл. 5.1 графік залежності струмів у реле при трифазних і різних двофазних КЗ у функції відстані $I_p = f(l)$. Зона $l_{омс}$ визначається в частках від довжини лінії, що захищається. Відсічку доцільно використовувати, якщо її зона $l^I \geq (0,05 - 0,1) l_n$.

На підставі розрахунку коефіцієнта чутливості максимального струмового захисту й оцінки захистоздатності струмової відсічки робиться висновок про вибір схеми захисту ділянки АВ.

До п. 3). Для захисту ділянки АВ зображуються кола змінного струму, оперативного постійного струму, включаючи кола відключення вимикача. При цьому варто мати на увазі, що реле РТ-81/1 має вбудований показчик спрацьовування.

До п. 4). Характеристика витримки часу спрацьовування захисту ділянки АВ відбиває залежність $t_{сз} = f(l)$. Характеристика будується для трифазного КЗ і має вигляд, представлений на рис. 5.3.

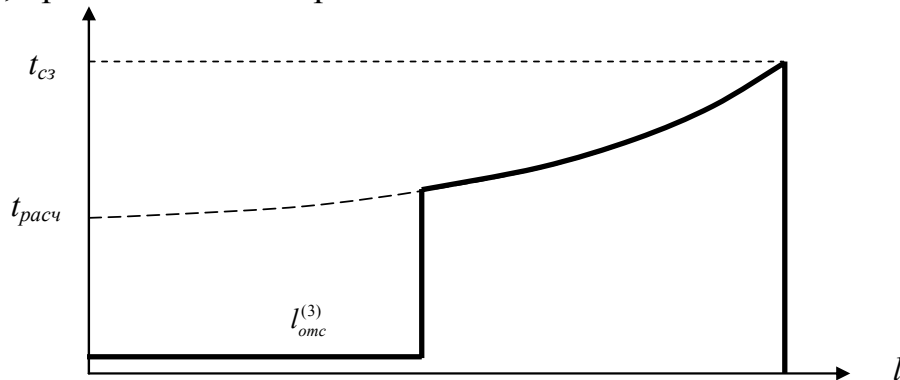


Рис. 5.3 – Характеристика часу спрацьовування захисту

При побудові характеристики використовується графік п. 2. і обрана раніше характеристика витримки часу (рис. 5.2)

Тема 6

РОЗРАХУНОК СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ДЛЯ МЕРЕЖІ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Завдання

Для мережі, зображеної на рис. 6.1 визначити:

- 1) струми й час спрацьовування МСЗ на ділянках 1-3 від міжфазних КЗ;
- 2) струми й час спрацьовування ступеневих струмових захистів нульової послідовності на тих самих ділянках.

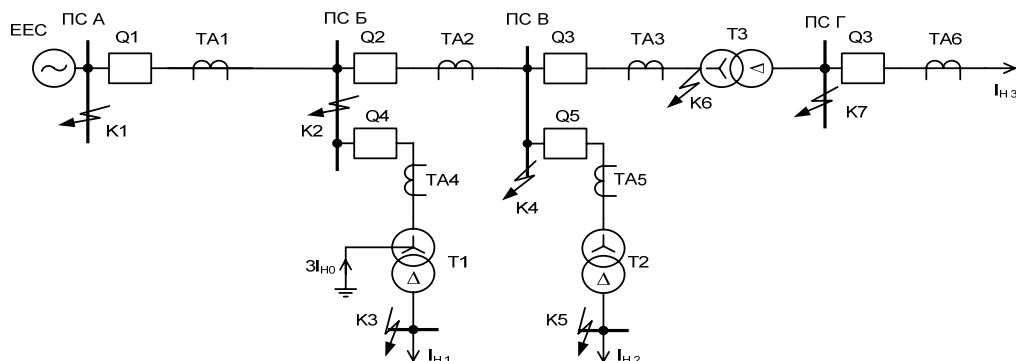


Рис. 6.1 – Схема мережі

Оцінити чутливість розрахованих ступенів МСЗ і східчастих захистів нульової послідовності при однофазних КЗ.

Варіанти вихідних даних наведені в таблиці 6.1, а варіанти завдань для самостійної роботи – в табл. 6.2.

Методичні вказівки

До п.1). Як відомо, МСЗ від міжфазних КЗ, що виконаний за трифазною схемою із трьома реле (див. рис. 3.2, в), може здійснювати захист мереж із глухозаземленою нейтраллю й від однофазних КЗ. Однак струми спрацьовування таких МСЗ, що розраховані за співвідношенням (2.4) виявляються значними ($I_{сз} = 2,5 - 3 I_{раб.макс}$), а час спрацьовування має бути відстроєний від часу спрацьовування МСЗ споживачів, що підключені до низької напруги понижувальних трансформаторів.

Іншими словами, при найбільш частих у мережах з напругою 110 кВ і вище однофазних КЗ МСЗ від міжфазних КЗ має невисокі коефіцієнти чутливості та значні витримки часу. Розрахунок параметрів МСЗ для заданої мережі ведеться відповідно до виразів (2.1) – (2.5), а чутливість перевіряється співвідношеннями (3.5) – (3.6), що були розглянуті у темах 2 і 3.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

	$I_{Н1}$	$I_{Н2}$	$I_{Н3}$	$t_{сз4}$	$t_{сз5}$	$t_{сз6}$	$I_{К2}^{(1)}$	$I_{К4}^{(1)}$	$I_{К6}^{(1)}$	$3I_{0(K1)}$	$3I_{0(K2)}$	$I_{К2}^{(3)}$	$I_{К5}^{(3)}$	$I_{К7}^{(0)}$
	А			Б			КА							
а)	60	40	30	2,5	2,0	2,0	2,5	1,5	1,0	0,3	0,4	1,1	0,8	0,5
б)	50	70	35	1,5	2,5	2,5	3	1,7	1,1	0,2	0,3	1,5	1,0	0,7
в)	40	55	45	2,0	1,0	1,5	3,5	2,0	1,2	0,25	0,35	1,0	0,7	0,6
K_H	K_B			$K_{сз}$			$\Delta t, з$			ε				
1,2	0,9			1,5			0,5			0,05				

Таблиця 6.2 – Варіанти даних для самостійної роботи

№ варіанта	I_{H1}	I_{H2}	I_{H3}	t_{c34}	t_{c35}	t_{c36}	$I_{K2}^{(1)}$	$I_{K4}^{(1)}$	$I_{K6}^{(1)}$	$3I_{0(K1)}$	$3I_{0(K2)}$	$I_{K2}^{(3)}$	$I_{K5}^{(3)}$	$I_{K7}^{(0)}$
1	50	70	35	1,5	2,5	2,5	3,0	1,7	1,1	0,20	0,30	1,5	1,0	0,7
2	40	55	45	2,0	1,0	1,5	3,5	2,0	1,2	0,25	0,35	1,0	0,7	0,6
3	60	70	45	2,5	2,5	2,5	2,5	1,7	1,2	0,30	0,30	1,0	0,8	0,7
4	50	55	30	1,5	1,0	2,0	3,0	2,0	1,0	0,20	0,35	1,1	1,0	0,6
5	40	40	35	2,0	2,0	2,5	3,5	4,5	1,1	0,25	0,40	1,5	0,7	0,5
6	60	55	35	2,5	1,0	2,5	2,5	2,0	1,1	0,30	0,35	1,5	0,8	0,6
7	50	40	45	1,5	2,5	2,0	3,5	1,7	1,0	0,25	0,30	1,1	0,7	0,7
8	60	40	30	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	1,0	0,20	0,30	1,5	0,8	0,5
9	50	40	30	1,5	2,0	2,0	3,0	4,5	1,0	0,20	0,40	1,1	1,0	0,5
10	50	70	35	2,0	1,0	2,5	2,5	4,5	1,0	0,20	0,30	1,5	0,7	0,6
11	60	70	35	2,5	2,5	2,5	2,5	1,7	1,1	0,30	0,30	1,5	0,8	0,7
12	40	40	30	2,0	2,0	2,0	3,5	4,5	1,0	0,25	0,40	1,1	0,7	0,5
13	40	70	30	2,0	2,5	2,0	3,5	1,7	1,0	0,25	0,30	1,1	0,7	0,7
14	40	55	45	1,5	2,5	2,5	2,5	4,5	1,0	0,20	0,30	1,5	0,8	0,5
15	50	40	35	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5	1,1	0,20	0,40	1,5	1,0	0,5
16	50	55	45	2,5	2,5	2,5	3,5	4,5	1,0	0,25	0,30	1,5	0,8	0,6
17	40	70	30	1,5	1,0	2,0	2,5	2,0	1,1	0,25	0,30	1,1	1,0	0,6
18	50	70	45	2,0	1,0	2,5	3,5	4,5	1,2	0,20	0,30	1,0	0,7	0,6
19	40	40	45	2,0	2,0	2,5	3,5	4,5	1,2	0,25	0,40	1,0	0,7	0,5
20	60	55	45	2,0	1,0	2,0	3,0	1,7	1,2	0,25	0,35	1,5	0,8	0,5
21	60	55	30	1,5	2	2,5	3,5	1,7	1	0,30	0,35	1,1	1,0	0,5
22	40	70	35	2	2,5	2,5	3,5	4,5	1,0	0,20	0,30	1,0	1,0	0,6
23	40	40	35	1,5	2	2,5	3,5	1,7	1,0	0,30	0,40	1,5	0,7	0,6
24	50	55	45	2	1	2,5	2,5	4,5	1,2	0,20	0,30	1,1	0,7	0,6
25	40	70	30	1,5	2,5	2,5	3,5	2,0	1,1	0,30	0,40	1,0	1,0	0,5

До п. 2). У заданій мережі для захисту від однофазних КЗ на кожній ділянці встановлюється захист, виконаний у вигляді окремого комплексу, який включено на струм нульової послідовності.

Залежно від схеми мережі такий захист може бути одно-, дво- або триступеневим. Розрахунок параметрів захисту зводиться до визначення струму спрацьовування, часу спрацьовування й оцінювання захистоздатності кожного зі ступенів.

Перший ступінь – відсічка без витримки часу. Струм спрацьовування реле струму обирається, виходячи з умов забезпечення неспрацьовування при зовнішніх коротких замиканнях, і тому повинен бути більшим максимально можливого потроєного струму нульової послідовності при однофазних або двофазних на землю коротких замиканнях. Ступінь призначений для відключення коротких замикань на початку ділянки, що захищається. Струм спрацьовування першого ступеня розраховується за виразами:

$$I_{c.з}^I \geq K_H^I \cdot 3I_0, \quad (6.1)$$

де $K_H^I = 1,2$ – коефіцієнт надійності відстроювання, що враховує випадкові похибки, а також наявність у струмі КЗ аперіодичної складової;

$3I_0$ – максимальний струм нульової послідовності, що протікає в захисті при КЗ на шинах підстанції, на якій цей захист встановлено;

$$I_{c.з}^I \geq K_H^I \cdot 3I_0, \quad (6.2)$$

де $3I_0$ – максимальний струм нульової послідовності, що протікає в захисті при КЗ наприкінці ділянки, що захищається. Умова (6.1) уводиться тільки при наявності заземленої нейтралі на підстанціях, що примикають, коли через захист протікає струм при КЗ на землю "за спиною" встановленого захисту.

З отриманих значень обирається більше. Якщо визначальною стала перша умова, то для підвищення чутливості першого ступеня його можна зробити спрямованим й урахувати тільки другу умову.

Другий ступінь – відсічка з витримкою часу. Призначений для захисту тієї ділянки елемента, що захищається, який не захищає перший ступінь. Параметри настроювання другого ступеня обираються з умови виключення зайвих спрацьовувань цього ступеня при КЗ на суміжних елементах. Для цього час спрацьовування приймається на ступінь селективності Δt більшим, ніж час спрацьовування швидкодіючих захистів (перших ступенів або диференційних), установлених на суміжних елементах $t_{c.з}^{II} = t_{c.з}^I + \Delta t = t_{c.з}^I + 0,5$ с. При обраному $t_{c.з}^{II}$ струм спрацьовування цього ступеня повинен бути більшим за струм у захисті при таких коротких замиканнях на суміжних елементах, які захистами цих елементів відключаються з витримками часу. Такими короткими замиканнями, як правило, є пошкодження наприкінці зон, що захищаються першими ступенями захистів суміжних ділянок. У зв'язку із цим вираз для струму спрацьовування другого ступеня має вигляд:

$$I_{c.з}^{II} \geq K_H^{II} \cdot K_{\text{ток}} \cdot I_{c.з(см)}^I, \quad (6.3)$$

де $K_H^{II} = 1,1$ – коефіцієнт відстроювання для другого ступеня;

$K_{\text{ток}} = I_{\text{защ}} / I_{\text{см}}$ – коефіцієнт, що враховує різницю струму в захистах суміжних елементів при КЗ наприкінці зони, що захищається першим ступенем захисту суміжного елемента;

$I_{c.з(см)}^I$ – струм спрацьовування першого ступеня захисту суміжного елемента.

Розрахований другий ступінь доцільно використовувати, якщо його коефіцієнт чутливості $K_{\text{ч}} \geq 1,3$ при КЗ на землю наприкінці ділянки, що захищається. Коефіцієнт чутливості визначається відношенням мінімального струму до його струму спрацьовування $K_{\text{ч}} = I_{\text{р.мін}} / I_{\text{с.р}}$. Як правило, досить забезпечити чутливість до однофазних замикань на землю, маючи на увазі, що при двофазних КЗ на землю може бути чутливий захист від міжфазних замикань. Додатково необхідно відбудувати другий ступінь від струму небалансу при КЗ на стороні нижчої напруги трансформаторів примикаючої підстанції:

$$I_{c.з}^{II} \geq K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{расч}}, \quad (6.4)$$

де $I_{\text{расч}}$ – максимальний струм через трансформатори струму захисту при міжфазних КЗ за трансформаторами, пов'язаними з підстанцією;

ε - коефіцієнт небалансу, що враховує розходження в похибках трансформаторів струму фільтра струму нульової послідовності.

Звичайно, визначальною є перша умова.

Третій ступінь призначений для резервування й виконується як чутливий струмовий захист нульової послідовності з незалежною витримкою часу. Його неспрацьовування при зовнішніх КЗ забезпечується вибором часу спрацьовування більшим, ніж час спрацьовування резервного захисту (або ступеня) на суміжному елементі:

$$t_{c.3}^{III} = t_{c.3(см)}^{III} + \Delta t . \quad (6.5)$$

Струм спрацьовування вибирається за наступними умовами:

– умовою відстроювання від струму небалансу при КЗ на стороні нижчої напруги трансформаторів підстанції, що примикає:

$$I_{c.3}^{II} \geq K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{расч} , \quad (6.6)$$

де $I_{расч}$ – максимальний струм через трансформатори струму захисту при між-фазних КЗ за трансформаторами, пов'язаними з підстанцією;

ε – коефіцієнт небалансу, що враховує розходження в похибках трансформаторів струму фільтра струмів нульової послідовності;

– за умовою узгодження за чутливістю із третім ступенем захистів від КЗ на землю суміжних ділянок:

$$I_{c.3}^{III} \geq K_H \cdot K_{ток} \cdot I_{c.3(см)}^{III} ; \quad (6.7)$$

– за умовою забезпечення повернення реле струму після відключення зовнішніх КЗ по вираженню

$$I_{c.3}^{III} \geq \frac{K_H}{K_B} \cdot (\varepsilon \cdot K_{c.3} \cdot I_{раб.макс} + 3I_{0н.р}) , \quad (6.8)$$

де K_B – коефіцієнт повернення;

$K_{c.3}$ – коефіцієнт, що враховує збільшення струму при самозапуску двигунів;

$I_{раб.макс}$ – максимальний робочий струм лінії;

$I_{0н.р}$ – струм нульової послідовності, обумовлений несиметрією в системі в робочому режимі (у цьому завданні $I_{0н.р} = 0$).

Чутливість третього ступеня оцінюється коефіцієнтом чутливості при КЗ на землю наприкінці суміжних елементів: $K_{ч} \geq 1,2$.

Приклад розрахунку за варіантом а) (табл. 6.1)

При розрахунку варто зважити на те, що значення струмів однофазних коротких замикань, наведені в завданні, дані в місці КЗ, а несиметрія в струмах фаз відсутня: $I_{0н.р} = 0$.

Захист 3.

Установлюється лише третій ступінь, витримка часу якого дорівнює нулю.

III ступінь. Струм спрацьовування відстроюється від струму небалансу при 3-х фазному КЗ за трансформатором (6.4):

$$I_{c.33}^{III} = K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{К7}^{(3)} = 1,2 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 0,03 \text{ кА.}$$

Перевіримо чутливість третього ступеня наприкінці лінії (точка К6):

$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K6}^{(1)}}{I_{c.3}^{III}} = 1,0/0,03 = 33,4$. Розрахований коефіцієнт чутливості показує, що третій ступінь захисту 3 захищає всю лінію.

Резервувати на 3-й ділянці нема чого, крім самого III ступеня, тому можна зробити апаратне резервування, тобто установку двох комплектів захистів III ступеня.

Захист 2.

Цей комплект захистів містить 2 ступеня.

I ступінь. Відстроюється (6.2) від струму нульової послідовності при КЗ наприкінці зони ділянки, що захищається (точка К4):

$$I_{c.32}^I = K_H \cdot I_{K4}^{(1)} = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ кА.}$$

II ступінь. Відстроюється від захистів суміжних ділянок (III ступінь захисту 3 і захист трансформатора Т2)

1 умова (6.3): $I_{c.32}^{II} \geq K_H \cdot I_{c.33}^{III}$, $I_{c.32}^{II} \geq 1,2 \cdot 0,03 = 0,036 \text{ кА};$

2 умова (6.4) $I_{c.32}^{II} \geq K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{K5}^{(3)}$, $I_{c.32}^{II} \geq 1,2 \cdot 0,05 \Delta 0,8 = 0,048 \text{ кА.}$

Вибирається максимальне значення $I_{c.32}^{II} = 0,048 \text{ кА}$. Розрахований ступінь доцільно використовувати за умови, якщо $K_{\text{ч}} \geq 1,3$. Чутливість другого ступеня перевіряється при КЗ наприкінці ділянки, що захищається (точка К4):

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K4}^{(1)}}{I_{c.32}^{II}} = 1,5/0,048 = 31,25 \geq 1,3.$$

Перевіримо чутливість ступеня при КЗ у точці К6 для можливості застосування її в якості резервної для захисту 3:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K6}^{(1)}}{I_{c.32}^{II}} = 1,0/0,048 = 20,83 \geq 1,2.$$

Оскільки умова по чутливості резервного захисту задовольняється, то використання цього ступеня як резервного для ділянки ВГ виправдано. Витримка часу другого ступеня $t_{c.32}^{I^2} = 0,5 \text{ с}$. У зв'язку з вищесказаним установлення III ступеня недоцільна.

Захист 1.

Цей комплект захистів містить 3 ступеня.

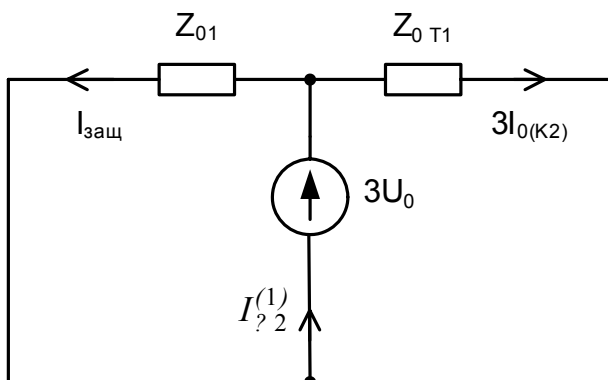


Рис 6.2 – Схема заміщення

I ступінь. Відстроюється від струму нульової послідовності при КЗ наприкінці зони ділянки, що захищається (точка К2) і від КЗ "за спиною" (точка К1). Для розрахунку уставки струму першого ступеня знайдемо величину струму, що протікає в захисті 1 при КЗ у точці К2. Схема заміщення показана на рис. 6.2. За 1-м законом Кірхгофа:

$$I_{\text{защ}} = I_{K2}^{(1)} - 3I_{0(K2)} = 2,5 - 0,4 = 2,1 \text{ кА.}$$

Тому що $I_{\text{защ}} > 3I_{0(K1)}$, згідно

(6.1), (6.2) струм $I_{c.31}^I = 1,2 \cdot 2,1 = 2,52 \text{ кА}$.

Знайдемо також коефіцієнт струморозподілу, який знадобиться при розрахунку II ступеня: $K_{\text{ток}} = \frac{I_{\text{защ}}}{I_{K2}^{(1)}} = 2,1/2,5 = 0,84$.

Слід зазначити, що коефіцієнт струморозподілу не залежить від місця виникнення КЗ на суміжному елементі. Розглянемо схему заміщення при КЗ на суміжному елементі (рис. 6.3), де Z_{01} – сумарний опір нульової послідовності лінії АБ і системи; Z_{0T1} – опір нульової послідовності трансформатора Т1; Z_0 – опір нульової послідовності лінії БВ до місця виникнення КЗ. Струм у захисті 1

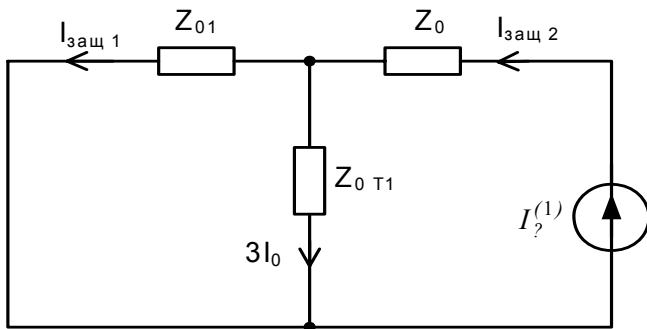


Рис 6.3 – Схема заміщення

визначається виразом

$$I_{\text{защ}1} = I_{\text{защ}} \frac{Z_{0T1}}{Z_{01} + Z_{0T1}}.$$

Перетворимо вираз до вигляду

$$K_{\text{ток}} = \frac{I_{\text{защ}1}}{I_{\text{защ}2}} = \frac{Z_{0T1}}{Z_{01} + Z_{0T1}}.$$

Звідси витікає, що $K_{\text{ток}}$ не залежить від величини Z_0 , тобто залишається незмінним при зміні місця виникнення КЗ на суміжному елементі. Тому

для знаходження $K_{\text{ток}}$ потрібно розглянути тільки один режим, наприклад, як у цьому випадку, КЗ у точці К2.

II ступінь. Відстроюється від швидкодіючих захистів суміжних ділянок (I ступінь захисту 2 і захист Т1) за наступними умовами:

1 умова: $I_{c.31}'' \geq K_H \cdot K_{\text{ток}} \cdot I_{c.32}'$, $I_{c.31}'' \geq 1,2 \cdot 0,84 \cdot 1,8 = 1,815$ кА;

2 умова: $I_{c.31}'' \geq K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{K3}^{(3)}$, $I_{c.31}'' \geq 1,2 \cdot 0,05 \cdot 1,1 = 0,066$ кА.

Тому що при КЗ наприкінці зони дії першого ступеня захисту 2 у захисті 1 протікає струм, що дорівнює струму в захисті 2 через наявність у заземленої нейтралі трансформатора Т1, то при розрахунку за умовою 1 необхідно це врахувати, що й зроблено шляхом введення коефіцієнта струморозподілу. З отриманих значень вибирається найбільше. Таким чином, уставка за струмом для другого ступеня захисту 1 дорівнює $I_{c.31}'' = 1,815$ кА. Чутливість другого ступеня перевіряється при КЗ наприкінці ділянки, що захищається (точка К2):

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{защ}}}{I_{c.31}''} = 2,1/1,815 = 1,157.$$

Коефіцієнт чутливості недостатній: $K_{\text{ч}} \leq 1,3$. Витримка часу другого ступеня – $t_{c.31}'' = 0,5$ с. Внаслідок недостатньої чутливості цього ступеня для захисту кінця лінії з необхідним $K_{\text{ч}}$ установлюється третій ступінь захисту з обов'язковим відстроюванням від другого ступеня захисту суміжної ділянки як за струмом, так і за часом.

III ступінь. Відстроюється від захистів суміжних ділянок (II ступінь захисту 2 і захист Т1) за наступними умовами:

1 умова: $I_{c.31}''' \geq K_H \cdot K_{\text{ток}} \cdot I_{c.32}''$, $I_{c.31}''' \geq 1,2 \cdot 0,84 \cdot 0,048 = 0,0483$ кА;

2 умова: $I_{c.31}''' \geq K_H \cdot \varepsilon \cdot I_{K3}^{(3)}$, $I_{c.31}''' \geq 1,2 \cdot 0,05 \cdot 1,1 = 0,066$ кА.

З отриманих значень вибирається найбільше. Таким чином, уставка за струмом для третього ступеня захисту 1 дорівнює $I_{c.31}^{III} = 0,066$ кА. Коефіцієнт чутливості $K_{ч} = \frac{I_{защ}}{I_{c.31}^{III}} = 2,1/0,066 = 31,81$ – коефіцієнт чутливості достатній. Витримка часу третього ступеня $t_{c.31}^{III} = t_{c.31}^{II} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1$ с.

IV ступінь (чутлива). Цей ступінь захисту призначений для забезпечення далекого резервування й відбудовує від небалансу при протіканні через захист максимального робочого струму й забезпечення повернення струмових реле після відключення зовнішніх КЗ:

$$I_{c.31}^{IV} \geq \frac{K_H}{K_B} \cdot \varepsilon \cdot K_{cs} \cdot I_{роб\ макс}, \quad I_{c.31}^{IV} \geq 1,2 \cdot 0,9^{-1} \cdot 1,5 \cdot (60 + 40 + 30) = 26 \text{ А.}$$

Витримка часу четвертого ступеня:

$$t_{c.31}^{IV} = t_{c.31}^{III} + \Delta t = 2,5 + 0,5 = 3 \text{ с.}$$

Коефіцієнт чутливості наприкінці ділянки, що захищається:

$$K_{ч} = \frac{I_{защ}}{I_{c.31}^{IV}} = 2,1/0,026 = 80,76.$$

Коефіцієнт чутливості наприкінці ділянки, що резервується, повинен бути не меншим 1,2. Для розрахунку значення коефіцієнта чутливості розрахуємо відношення тієї частини струму, що протікає через захист при однофазному КЗ у точці К4, до струму $I_{c.31}^{IV}$ спрацьовування четвертого ступеня захисту 1:

$$K_{ч} = \frac{I_{K4}^{(1)} \cdot K_{ток}}{I_{c.31}^{IV}} = 1,5 \cdot 0,84/0,026 = 48,46.$$

Отримані значення коефіцієнта чутливості показують допустимість застосування четвертого ступеня захисту.

Тема 7 РОЗРАХУНОК ЗАХИСТУ ПАРАЛЕЛЬНИХ ЛІНІЙ НАПРУГОЮ 35 КВ Завдання

Визначити параметри спрацьовування поперечного диференційного струмового спрямованого захисту, струмової відсічки й максимального струмового захисту паралельних ліній відповідно до варіанта вихідних даних з табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдань

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметр										
$S_{K3}^{(3)}$ МВА	430	510	520	670	550	490	610	500	470	570
P , МВт	6,3	6,3	6,0	7,2	7,1	6,1	7,1	6,4	7,0	7,9
l , км	13	17	20	14	12	16	25	11	10	20
t_{cs5} , з	2,0	2,3	1,7	1,8	1,5	1,9	2,1	0,7	0,8	2,0
№ варіанта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Параметр										
$S_{K3}^{(3)}$ МВА	520	510	480	450	460	560	530	440	415	430
P , МВт	6,7	7,2	8,5	6,0	6,9	5,9	6,7	6,8	7,5	7,8
l , км	14	13	15	30	24	19	25	15	15	18
t_{cs5} , з	2,4	2,4	2,5	1,4	1,7	1,5	1,1	0,9	0,9	1,3

№ варіанта	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Параметр										
$S_{K3}^{(3)}$ МВА	470	460	520	470	425	420	400	410	580	460
P , МВт	7,8	7,0	7,4	7,9	7,2	6,4	7,7	8,1	7,6	6,75
l , км	15	27	18	20	21	14	19	20	28	19
t_{cs5} , с	1,3	1,6	1,6	1,9	2,1	1,9	1,8	1,7	1,0	1,3

Примітка. $S_{K3}^{(3)}$ – потужність системи при $K^{(3)}$ на шинах; P – потужність навантаження; t_{cs5} – витримка часу резервного захисту трансформатора Т.

Додаткові дані до розрахунку. $X_{л,уд} = 0,4$ Ом/км; $S_{T,ном} = 10$ МВА – номінальна потужність трансформатора Т; $U_K = 10,5\%$; $\cos\varphi = 0,85$; $\Delta t = 0,5$ с; $k_g = 0,9$; $k_3 = 1,5$.

Схема мережі представлена на рис. 7.1.

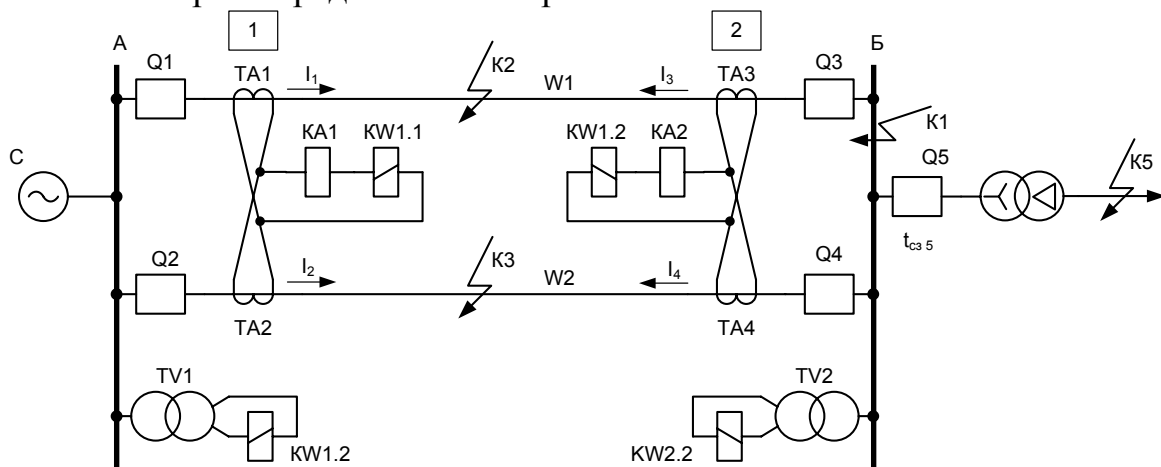


Рис. 7.1 – Вихідна схема і схема підключення поперечного диференційного струмового захисту

Методичні вказівки

Коротка характеристика захисту

На лініях напругою 35 кВ повинен бути передбачений захист від багатозначних КЗ, що забезпечує відповідно до ПУЕ відключення одного місця пошкодження в більшості випадків подвійних замикань на землю.

На паралельних лініях з однобічним живленням рекомендується встановлення струмового ступеневого й поперечного диференційного струмового спрямованого захистів.

Струмовий ступеневий захист встановлюється на кожній лінії з боку живлення, виконується дво-, триступеневим і має двофазне виконання. З метою підвищення чутливості до пошкоджень при КЗ за трансформаторами із з'єднанням обмоток Δ/Y і Y/Δ допускається виконання трирелейних схем захисту.

Поперечний диференційний струмовий спрямований захист призначений для прискорення відключення пошкоджень в режимі, коли в роботі перебувають обидві лінії. Захист виконується двома комплектами, встановлюваними на кінцях ліній, що захищаються, як показано на рис. 7.1, і забезпечує відключення при КЗ лише пошкодженої лінії з обох кінців без витримки часу. Як і струмовий, ступеневий поперечний диференційний захист має двофазне виконання.

Принцип дії поперечного диференційного струмового спрямованого захисту

Принцип дії захисту заснований на порівнянні комплексів вторинних струмів однойменних фаз паралельних ліній. У нормальному режимі та при зовнішніх КЗ (точка К1) струми \underline{I}_1 й \underline{I}_2 (\underline{I}_3 і \underline{I}_4), що проходять по лініях, збігаються по фазі й мають рівні значення. Тому струми в реле КА1 і КА2, обумовлені різницею відповідних вторинних струмів, можна вважати рівними нулю:

$$\underline{I}_{KA1} = \underline{I}_{1e} - \underline{I}_{2e} = \frac{\underline{I}_1 - \underline{I}_2}{n_T} \approx 0,$$

$$\underline{I}_{KA1} = \underline{I}_{3e} - \underline{I}_{4e} \approx 0,$$

де n_T – коефіцієнти перетворення трансформаторів струму ТА1- ТА4;

$\underline{I}_{1e} - \underline{I}_{4e}$ – вторинні струми.

При КЗ на одній з ліній (у точці К2 або в точці К3 на рис. 7.1) рівність первинних струмів порушується, що призводить до появи струмів в обмотках реле КА1 і КА2 та їхньому наступному спрацьовуванню. При цьому струм у реле КА1 визначається різницею вторинних струмів пошкодженої й непошкодженої ліній, а струм у реле КА2 дорівнює подвоєному значенню вторинного струму непошкодженої лінії. Таким чином, реле струму є пусковими органами захисту, що спрацьовують тільки при внутрішніх КЗ на будь-якій з паралельних ліній, тобто захист є селективним за принципом дії (є абсолютно селективним) і не має потреби у витримці часу.

Вибір пошкодженої лінії здійснюється за допомогою органів напрямку потужності (ОНП) двосторонньої дії KW1 і KW2, що включаються за 90°-ною схемою [4]. Струмові обмотки реле KW1 (KW2) включаються послідовно з обмотками реле КА1 (КА2), а обмотки напруги підключаються до встановлених на шинах підстанцій трансформаторів напруги TV1 (TV2). ОНП має два виходи. З наведених на рис. 7.2 діаграм вторинних струмів \underline{I}_{1e} , \underline{I}_{2e} і напруг \underline{U}_p , що ілюструють роботу ОНП, видно, що при КЗ на лінії W1 (точка К2) кут між підведеними до реле KW1 струмом \underline{I}_p і напругою \underline{U}_p дорівнює $\varphi_p = \varphi_1$, а при КЗ на лінії W2 (точка К3) змінюється до значення $\varphi'_p = \varphi_1 + \pi$ внаслідок зміни напрямку струму \underline{I}_p . У першому випадку сигнал з'являється на виході ОНП, що дозволяє відключити вимикач Q1 пошкодженого лінії W1, у другому – на виході, що дозволяє відключити вимикач Q2 пошкодженого лінії W2. Відключення відповідного вимикача відбувається, якщо одночасно з ОНП спрацьовує й реле струму.

При вимкненні однієї з ліній поперечний диференційний захист перетворюється в неселективний струмовий захист (струм проходить тільки в одній лінії), що діє без витримки часу. Тому передбачається вивід захисту з роботи: автоматичний – при відключенні одного з вимикачів у місці установлення захисту й оперативний (уручну) – при відключенні вимикача із протилежного боку лінії.

Методичні вказівки до розрахунку поперечного диференційного струмового спрямованого захисту

Розрахунок струму спрацьовування

Струм спрацьовування захисту в мережі з напругою до 35 кВ обирається з урахуванням виконання двох умов.

1. Струм спрацьовування захисту має бути відстроєний від максимального розрахункового струму небалансу $I_{нб\ макс}$ при зовнішньому КЗ на шини протилежної підстанції (точка К1):

$$I_{сз} = k'_n I_{нб\ макс}.$$

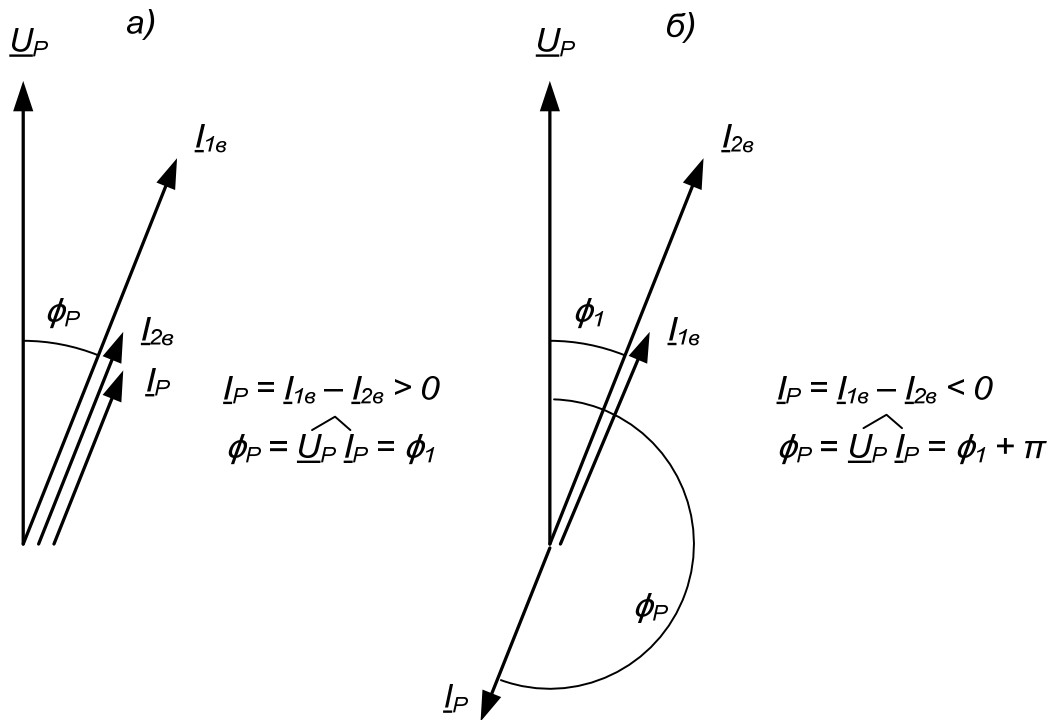


Рис. 7.2 – Векторні діаграми струмів і напруг, що підводяться до реле KW1 при КЗ у точці К2 на лінії W1 (а) і в точці К3 на лінії W2 (б)

Струм небалансу визначається розходженням повних похибок вимірювальних трансформаторів струму, а також можливою нерівністю опорів паралельних ліній. При однакових параметрах ліній враховується лише перша складова. У цьому випадку

$$I_{сз} = k'_n \cdot k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot 0,5 \cdot I_{к. вн. макс}, \quad (7.1)$$

де коефіцієнт відстроювання $k'_n = 1,2$; коефіцієнт однотипності трансформаторів струму $k_{одн} = 0,5$; коефіцієнт аперіодичності $k_{ан} = 2 - 3$ (при захисті без витримки часу); повна відносна погрішність $\varepsilon = 0,1$; максимальний струм зовнішнього КЗ $I_{к. вн. макс}$ (по кожній лінії проходить половина цього струму) визначається співвідношенням:

$$I_{к. вн. макс} = I_{K(K1)}^{(3)} = \frac{U_{с ном}}{\sqrt{3}(X_c + 0,5 \cdot X_l)}, \quad (7.2)$$

де $U_{с ном} = 35$ кВ – середня номінальна напруга мережі; X_c і X_l – індуктивні опори прямої послідовності системи й лінії, рівні

$$X_c = \frac{U_{с ном}^2}{I_{КЗ}^{(3)}}, \quad X_l = X_{л. уд} \cdot l. \quad (7.3)$$

2. Струм спрацьовування реле струму захисту повинен бути визначений з урахуванням необхідності його повернення після відключення зовнішнього КЗ

в режимі роботи лінії з однобічним вимкненням однієї з ліній (наприклад, при відключеному Q4 на лінії W2 – (див. рис. 7.1):

$$I_{c3} = \frac{k_n''}{k_e} \cdot I_{\text{раб. макс}} \quad (7.4)$$

де коефіцієнт відстроювання $k_n'' = k_n'$; коефіцієнт повернення реле струму $k_e = 0,9$; максимальний робочий струм $I_{\text{раб. макс}}$ визначається за заданою потужністю навантаження $P_{\text{нагр}} = P$ співвідношенням:

$$I_{\text{раб. макс}} = \frac{P_{\text{нагр}}}{\cos \varphi \sqrt{3} \cdot U_{\text{с ном}}} \quad (7.5)$$

Струм спрацьовування захисту вибирається за тією умовою, що дає більше значення. Обидва комплекти захисту можуть бути виконані з однаковими параметрами спрацьовування.

Оцінка чутливості захисту

Чутливість захисту оцінюється коефіцієнтом чутливості пускового органа й зоною каскадної дії. Каскадною називається така робота захисту, коли комплект захисту з одного боку лінії може і починає працювати тільки після відключення вимикача протилежного боку. Каскадна дія захисту обумовлена кінцевою чутливістю пускового органа, що не спрацьовує при КЗ поблизу шин протилежної підстанції.

Зони каскадної дії визначаються співвідношеннями:

$$l_{K1} = \frac{I_{c31}}{I'_K} l \quad \text{і} \quad l_{K2} = \frac{I_{c32}}{I''_K} l \quad (7.6)$$

для першого й другого комплектів захисту відповідно, причому $I_{c31} = I_{c32}$ а струми I'_K й I''_K приймаються приблизно рівними струмам трифазних КЗ на шинах протилежних підстанцій в режимі, коли працюють обидві лінії.

Струм I'_K визначається за (7.2), а струм I''_K – таким чином:

$$I''_K = \frac{U_{\text{с ном}}}{\sqrt{3} \cdot X_c} \quad (7.7)$$

Сумарна зона каскадної дії $l_K = l_{K1} + l_{K2}$ має бути меншою довжини лінії.

Коефіцієнт чутливості захисту визначається співвідношенням $k_{\text{ч}} = I_{\text{з мин}} / I_{c3}$ і перевіряється при КЗ у точці рівної чутливості обох комплектів ($k_{\text{ч мин рч}} \geq 2$) і при КЗ у зоні каскадної дії захисту ($k_{\text{ч мин к}} \geq 1,5$). У першому випадку (при однакових значеннях струмів спрацьовування) розглядається КЗ на середині лінії й $I_{\text{з мин}} = 0,5 I_K^{(2)}$, де $I_K^{(2)}$ – струм двофазного КЗ у розрахунковій точці. У другому випадку досить оцінити чутливість першого комплекту захисту при двофазному КЗ біля шин підстанції Б (точка К4) при відключеному вимикачі Q4.

Струмовий ступеневий захист паралельних ліній

У загальному випадку на кожній лінії встановлюється триступеневий захист. Перший ступінь становить селективну струмову відсічку без витримки часу, що захищає частину лінії. При необхідності відсічка може бути виконана неселективною. У цьому випадку потрібна оцінка можливості залишення її в роботі при паралельній роботі ліній. Другий ступінь являє собою відсічку з ви-

тримкою часу, що забезпечує відключення КЗ наприкінці лінії (у режимі, коли друга лінія відключена) і на шинах прийомної підстанції.

Максимальний струмовий захист – третій ступінь – виконується з витримкою часу і здійснює резервування відмови швидкодіючих ступенів і поперечного захисту при КЗ на лінії, що захищається, і відмови захисту або вимикача пошкоджених суміжних ділянок.

У розглянутому випадку рекомендується установа двоступеневого захисту.

Перший ступінь захисту виконується у вигляді селективної струмової відсічки без витримки часу; другий ступінь – у вигляді максимального струмового захисту.

Струм спрацьовування відсічки відбудовується від максимального значення струму $I_{к.вн.макс}$ й зовнішнього КЗ:

$$I_{сз}^I = k_n I_{к.вн.макс}, \quad (7.8)$$

де коефіцієнт надійності $k_n = 1,3$, а струм $I_{к.вн.макс}$ визначається при трифазному КЗ на шинах прийомної підстанції (точка К1) в режимі, коли одна з ліній вимкнена:

$$I_{К\ вн\ макс}^{(3)} = \frac{U_{с\ ном}}{\sqrt{3}(X_c + X_l)}. \quad (7.9)$$

Оцінкою відсічки служить довжина зони що захищається, обумовленої, головним чином, у режимі, коли одна з ліній вимкнена.

Параметри спрацьовування максимального струмового захисту МСЗ обираються відповідно до рекомендацій, розглянутих у темах (2 – 4).

Витримка часу $t_{сз\ МСЗ}$ вибирається за ступеневим принципом й у розглянутому випадку дорівнює:

$$t_{сз\ МТЗ} = t_{сз5} + \Delta t. \quad (7.10)$$

Струм спрацьовування визначається співвідношенням:

$$I_{сз}^{III} = \frac{k_n^{III} k_{сз}}{k_g} I_{раб.макс}, \quad (7.11)$$

де коефіцієнт надійності $k_n^{III} = 1,1 - 1,2$; коефіцієнт, що враховує самозапуск двигунів споживачів $k_{сз} = 1,2 - 2,0$; коефіцієнт повернення струму реле $k_g = 0,9$; максимальний робочий струм визначається співвідношенням (7.5).

Коефіцієнт чутливості МСЗ визначається при КЗ за трансформатором (точка К5) і при КЗ на шинах прийомної підстанції (точка К1) у режимі, коли в роботі перебувають обидві лінії.

Приклад розрахунку поперечного диференційного струмового спрямованого захисту

Вихідні дані для розрахунку відповідають варіанту № 30 з таблиці 7.1.

Для вибору струму спрацьовування за умовою (7.1) попередньо розраховуються опори X_c й X_l за (7.3) і струм $I_{К\ вн\ макс}^{(3)}$ за (7.2):

$$X_c = \frac{U_{с\ ном}^2}{S_{КЗ}^{(3)}} = \frac{(35 \cdot 10^3)^2}{460 \cdot 10^6} = 2,66 \text{ Ом}; \quad X_l = X_{л.уд} \cdot l = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ Ом};$$

$$I_{К\ вн\ макс}^{(3)} = \frac{U_{с\ ном}}{\sqrt{3}(X_c + X_l)} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(2,66 + 7,6)} = 3132 \text{ А};$$

$$I_{сз} = k_n' \cdot k_{одн} \cdot k_{ан} \cdot \varepsilon \cdot I_{к.вн.макс} = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 2,0 \cdot 0,1 \cdot 3132 = 187,9 \text{ А}.$$

Для вибору струму спрацьовування за (7.4) визначається значення $I_{\text{раб. макс}}$ за (7.5):

$$I_{\text{раб. макс}} = \frac{P_{\text{нагр}}}{\cos \varphi \sqrt{3} \cdot U_{\text{с ном}}} = \frac{6,75 \cdot 10^6}{0,85 \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 131,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{сз}} = \frac{k''}{k_6} \cdot I_{\text{раб. макс}} = \frac{1,2}{0,9} \cdot 131,1 = 175 \text{ А}.$$

Вибирається $I_{\text{сз}} = 187,9 \text{ А}$.

Зони каскадної дії захисту при трифазних КЗ визначаються співвідношеннями (7.6), (7.2) і (7.7):

$$l_{\text{К1}} = \frac{I_{\text{сз1}}}{I'_K} \cdot l = \frac{187,9}{3132} l = 0,06 l; \quad I''_K = \frac{U_{\text{с ном}}}{\sqrt{3} \cdot X_c} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 2,66} = 7606 \text{ А};$$

$$l_{\text{К2}} = \frac{I_{\text{сз2}}}{I''_K} \cdot l = \frac{187,9}{7606} l = 0,025 l.$$

Таким чином, сумарна зона каскадної дії:

$$l_K = l_{\text{К1}} + l_{\text{К2}} = (0,06 + 0,025) l = 0,085 l \ll l.$$

Для перевірки коефіцієнта чутливості захисту при КЗ у точці рівної чутливості розглядається схема заміщення мережі, яка представлена на рис. 7.3.

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{\text{с ном}}}{\sqrt{3}(X_c + 0,5 \cdot X_l)} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3}(2,66 + 2,85)} = 3671 \text{ А}; \quad X_{\text{л экв}} = \frac{1,5X_l + 0,5X_l}{2X_l} = 0,375X_l = 2,85 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{з мин}} = 0,5I_K^{(2)} = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} 3671 = 1588 \text{ А}; \quad k_{\text{ч мин рч}} = \frac{I_{\text{з мин}}}{I_{\text{сз}}} = \frac{1588}{187,9} = 8,45 > 2.$$

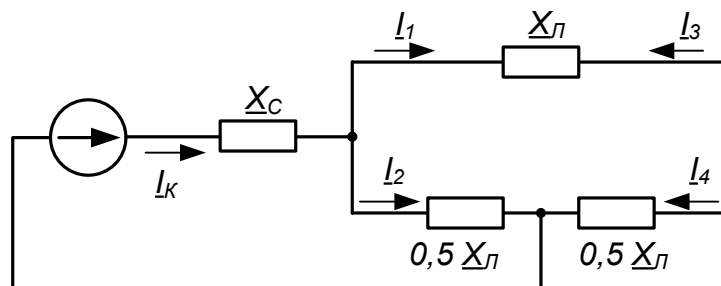


Рис. 7.3 – Еквівалентна схема заміщення для розрахунку $I_K^{(3)}$ при КЗ на середині лінії W2

Для перевірки коефіцієнта чутливості першого комплекту захисту визначається струм $I_{\text{з мин}}$ при двофазному КЗ у точці К4 при відключеному вимикачі Q4:

$$I_{\text{з мин}} = I_{\text{К4}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_{\text{с ном}}}{\sqrt{3}(X_c + X_l)} = \frac{1}{2} \frac{35 \cdot 10^3}{(2,66 + 7,6)} = 1705 \text{ А};$$

$$k_{\text{ч мин к}} = \frac{I_{\text{з мин}}}{I_{\text{сз}}} = \frac{1705}{187,9} = 9,1 > 1,5.$$

Тема 8
ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ДВООБМОТКОВИХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ ІЗ РЕЛЕ ТИПУ РНТ-560

Завдання

Провести розрахунок диференційного захисту із реле типу РНТ-560 для двообмоткового трансформатора згідно із заданим викладачем варіантом вихідних даних з таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Варіанти вихідних даних

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_{c \min}$, Ом	2,3	2,3	3,5	3,12	2,44	2,16	1,21	1,18	1,35	1,14
$x_{c \max}$, Ом	1,8	1,7	2,3	2,6	1,8	1,7	0,8	0,73	0,95	0,71
S_T , МВА	10	10	16	16	16	16	6,3	6,3	6,3	6,3
$u_{K\%}$	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	10,5	10,5	10,5	10,5
U_{BH} , кВ	115	115	115	115	150	158	115	115	115	115
$\pm \Delta U_{BH}$, %	15	15	15	15	12	12	15	15	15	15
U_{HH} , кВ	6,6	11	6,5	11	6,6	11	6,6	11	22	38,5

Параметр	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_{c \min}$, Ом	1,61	1,32	2,6	3,4	4,3	2,12	2,46	3,9	4,5	5,4
$x_{c \max}$, Ом	0,95	1,12	1,85	2,6	3,5	1,84	1,74	2,7	3,7	4,1
S_T , МВА	6,3	6,3	10	15	20	10	10	16	16	16
$u_{K\%}$	7,5	7,5	10,5	10,5	10,5	7,5	7,5	8	8	11
U_{BH} , кВ	35	35	121	121	121	38,5	38,5	38,5	38,5	158
$\pm \Delta U_{BH}$, %	9	9	0	0	0	5	5	5	5	12
U_{HH} , кВ	6,3	11	38,5	38,5	38,5	6,3	10,5	6,3	10,5	11

Примітка. $x_{c \min}$ – внутрішній опір системи, яка працює в мінімальному режимі при $K^{(3)}$ на шинах; $x_{c \max}$ – внутрішній опір системи, яка працює в максимальному режимі при $K^{(3)}$ на шинах; діапазон зміни відносної напруги короткого замикання при врахуванні РПН прийняти $\Delta u_{K\%} = \pm 1\%$.

Методичні вказівки

Для виконання захисту застосовують реле РНТ 565. Реле РНТ 566 і РНТ 566/2 призначені при використанні в плечах диференційного захисту трансформаторів з різними номінальними значеннями вторинних струмів.

Можлива схема включення (для однієї фази) і спрощена схема внутрішніх сполук реле РНТ 565 наведені на рис. 8.1.

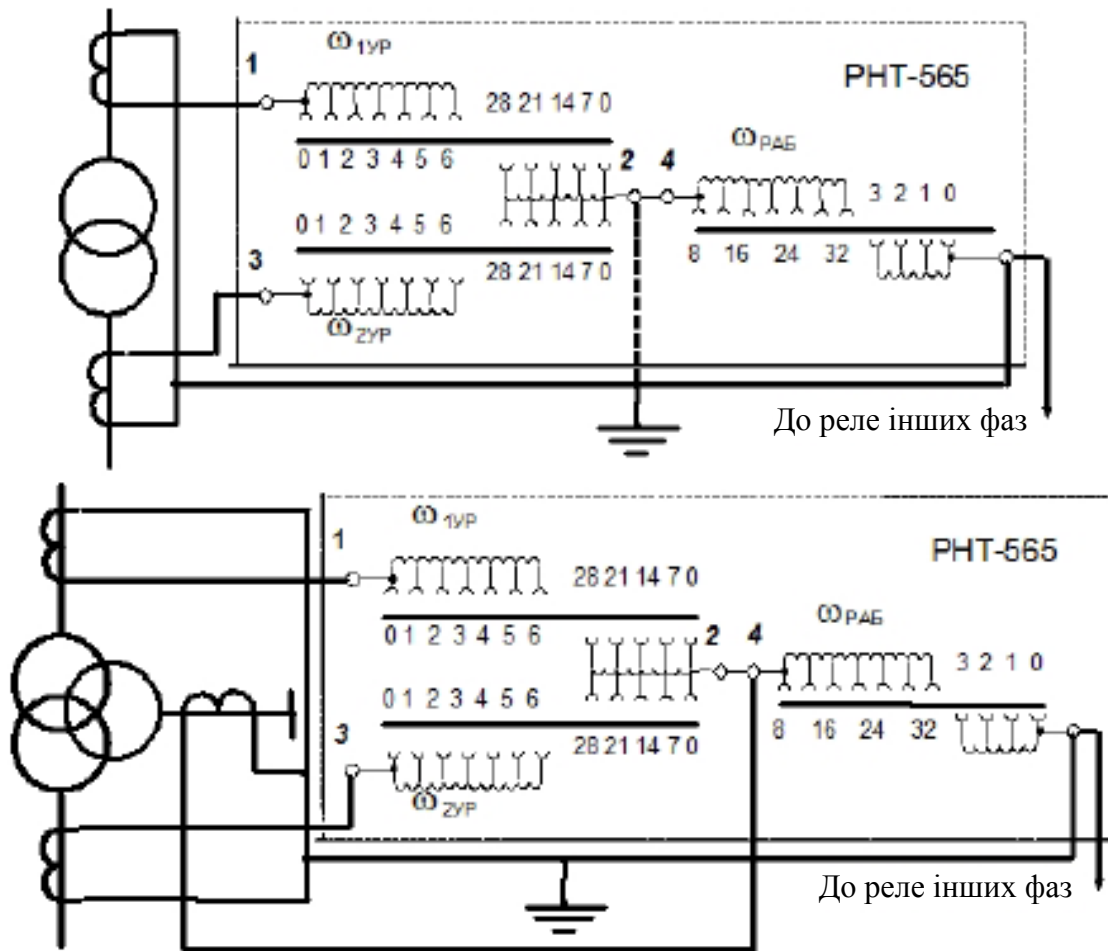


Рис. 8.1 – Приклади схем включення реле типу РНТ 565

Схема реле при застосуванні його для захисту триобмоткових трансформаторів дозволяє змінювати струми спрацьовування в межах (2,87 – 12,5) А. При застосуванні для захисту двообмоткових трансформаторів струм спрацьовування може регулюватися в межах (1,45 - 12,5)А

Для розрахунку диференційного захисту з реле РНТ 565 рекомендується наступний порядок:

1. Визначаються первинні струми на сторонах трансформатора, що захищається, у номінальному режимі роботи, вибираються трансформатори струму й визначаються відповідні вторинні струми в ланцюгах захисту

Для компенсації кутового зсуву струмів силових трансформаторів, з'єднаних за схемою Y/Δ або Δ/Y трансформатори струму на стороні зірки силового трансформатора необхідно з'єднувати за схемою Δ , а на стороні трикутника - за схемою Y .

Для зменшення похибки коефіцієнти перетворення трансформаторів струму рекомендується приймати трохи завищеними в порівнянні з розрахунковими i , по можливості, такими, щоб вторинний струм не перевищував 5 А.

2. Попередньо визначається первинний струм спрацьовування захисту, обумовлений наступними умовами:

2.1 За умовою відстроювання від струмів небалансу при зовнішнім короткому замиканні:

$$I_{сз} \geq \kappa_n I_{нб} , \quad (8.1)$$

де $\kappa_n = 1,3$ – коефіцієнт надійності реле, що враховує погрішності реле, помилки розрахунку й необхідний запас;

$I_{нб}$ – струм небалансу, що протікає через захист при зовнішнім короткому замиканні, може бути визначений за виразом:

$$I_{нб} = I'_{нб} + I''_{нб} , \quad (8.2)$$

де $I'_{нб}$ – складова, обумовлена погрішністю трансформаторів струму:

$$I'_{нб} = \kappa_A \cdot \kappa_{одн} \cdot f_i \cdot I_{кз\ вн\ макс} , \quad (8.3)$$

де $\kappa_A = 1$ – коефіцієнт, що враховує наявність аперіодичної складової в струмі КЗ

$\kappa_{одн} = \begin{cases} 0,5 \\ 1,0 \end{cases}$ – коефіцієнт однотипності трансформаторів струму;

$f_i = 0,1$ – відносне значення повної похибки трансформаторів струму;

$I_{кз\ вн\ макс}$ – періодична складова струму зовнішнього трифазного КЗ (для $t = 0$) або струм хитань, що проходить через захист трансформатора, що захищається;

$I''_{нб}$ – складова, обумовлена наявністю регулювання під напругою (РПН) у силового трансформатора:

$$I''_{нб} = (\Delta U_1 \cdot k_{ток1} + \Delta U_2 \cdot k_{ток2}) I_{кз\ вн\ макс} , \quad (8.4)$$

де $\Delta U_1, \Delta U_2$ – відносні похибки, обумовлені регулюванням напруги на сторонах трансформатора, що захищається, приймаються рівними половині діапазону регулювання;

$k_{ток1}, k_{ток2}$ – коефіцієнти струморозподілу, приймаються рівними відношенню струму короткого замикання на стороні, де здійснюється регулювання, до повного струму зовнішнього короткого замикання.

2.2 За умовою відстроювання від режиму включення ненавантаженого трансформатора під напругу

$$I_{сз} \geq \kappa_n \cdot I_{ном} \quad (8.5)$$

де $\kappa_n = 1 - 1,3$ – коефіцієнт надійності

$I_{ном}$ – номінальний струм трансформатора.

Із двох отриманих значень за пунктами 2.1 і 2.2 (8.1), (8.5) вибирається більше й приймається в якості вихідного для подальших розрахунків.

3. Виконується попередня перевірка чутливості захисту з метою з'ясування в першому наближенні можливості використання реле РНТ-560 або необхідності використання реле ДЗТ-11.

Чутливість захисту визначається при металевому ушкодженні на виводах трансформатору, що захищається. Розрахункові режими підстанцій і живильних систем є реально можливими режимами, що спричиняють мінімальний струм пошкодження. При цьому, на сторонах трансформатора, що примикають до мережі з більшим струмом замикання на землю, варто розглядати як міжфазні, так і однофазні КЗ на землю.

Для двообмоткових трансформаторів і для орієнтовних розрахунків захисту триобмоткових трансформаторів і автотрансформаторів коефіцієнт чутливості може бути визначений за виразом:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{K \min}^{(m)} k_{\text{схN}}^{(m)}}{I_{\text{сз}} k_{\text{схN}}^{(3)}}. \quad (8.6)$$

де $I_{K \min}^{(m)}$ – мінімальне значення струму короткого замикання виду m ($m = 3$ – трифазне КЗ; $m = 2$ – двофазне КЗ; $m = 1$ – однофазне замикання) у зоні, що захищається;

$I_{\text{сз}}$ – струм спрацьовування захисту;

$k_{\text{схN}}^{(3)}$ – коефіцієнт схеми, визначається видом пошкодження m , схемою з'єднання трансформаторів струму захисту на розглянутій стороні N і схемою з'єднання обмоток трансформатора, що захищається (див. таблицю 8.2)

Таблиця 8.2 – Коефіцієнти схем для різних видів КЗ

№ п/п	Вид короткого замикання	Місце короткого замикання	$\frac{k_{\text{схN}}^{(m)}}{k_{\text{схN}}^{(3)}}$
1	Трифазне	На стороні трикутника або зірки	1
2	Двофазне	На стороні зірки	$\frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)$
		На стороні трикутника	1
3	Однофазне	На стороні зірки	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Таблиця 8.2 складена виходячи з наступного: на стороні зірки силового трансформатора вторинні кола трансформаторів струму з'єднані в трикутник, а на стороні трикутника – у зірку; значення дані для трирелейної схеми захисту, для дворелейної схеми захисту значення наведені в дужках.

Згідно з ПУЕ значення коефіцієнта чутливості повинне бути не менш двох. Якщо необхідне значення коефіцієнта чутливості не виконується, то варто перейти до розрахунку захисту з гальмуванням.

4. Визначається число витків трансформатора реле, що насичується, для основної сторони (за основну приймається сторона з найбільшим вторинним струмом у плечах захисту або сторона основного живлення, коли вторинні струми близькі за значенням):

$$w_{\text{осн расч}} = \frac{F_{\text{ср}}}{I_{\text{ср осн}}}, \quad (8.7)$$

де $F_{\text{ср}} = 100$ А – магніторушійна сила спрацьовування реле РНТ-565 або реле РНТ-566;

$I_{\text{ср осн}}$ – струм спрацьовування реле, віднесений до основної сторони.

Отримане значення $w_{\text{осн расч}}$ округляється до найближчого меншого цілого значення.

5. Визначається число витків для неосновної сторони трансформатора, що захищається:

$$w_{\text{неосн расч}} = w_{\text{осн расч}} \frac{I_{\text{осн вт}}}{I_{\text{неосн вт}}}, \quad (8.8)$$

де $w_{\text{осн расч}}$ – прийняте ціле число витків для основної сторони;

$I_{\text{осн вт}}$ – вторинний струм у плечах захисту для основної сторони;

$I_{неосн\ вт}$ – вторинний струм у плечах захисту для неосновної сторони.

Отримане значення $w_{неосн\ расч}$ округляється до найближчого цілого значення (w_1).

Визначається складова струму небалансу від округлення числа витків неосновної сторони:

$$I_{нб}''' = \left| \frac{w_{неосн\ расч} - w_1}{w_{неосн\ расч}} \right| I_{кз\ вн\ макс} \quad (8.9)$$

де w_1 – прийняте ціле число витків для неосновної сторони.

Значення уточненого струму небалансу визначається підсумовуванням складових $I_{нб}'$, $I_{нб}''$, $I_{нб}'''$:

$$I_{нб} = I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''' \quad (8.10)$$

6. Розраховується уточнене значення струму спрацьовування реле на основній стороні

$$I'_{ср\ осн} = \frac{k_{сх} \cdot I_{нб}}{n_{ТА}} \quad (8.11)$$

7. Отримане уточнене значення струму спрацьовування реле на основній стороні $I'_{ср\ осн}$ порівнюється зі значенням $I_{ср\ осн}$, що відповідає прийнятому числу витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для основної сторони. Якщо внаслідок впливу складової $I_{нб}'''$ струм $I'_{ср\ осн}$, розрахований за (8.11) збільшився більш ніж на 5%, то число витків для основної сторони має бути змінене на найближче менше ціле значення. При цьому розрахунок по пунктах 5 – 7 повторюється доти, поки струм спрацьовування захисту не виявиться відбудованим від $I_{нб}'''$.

8. Оцінюється чутливість захисту при розрахункових видах пошкоджень. Якщо отримане значення коефіцієнта чутливості виявиться меншим двох, а розрахунковим значенням для вибору струму спрацьовування є умова (8.5), то для захисту варто використовувати реле з гальмуванням.

Приклад розрахунку диференційного захисту трансформатора на реле типу РНТ-565

Приводиться розрахунок диференційного захисту двообмоткового трансформатора 110/11 кВ потужністю 16 МВА, що має РПН на стороні ВН у межах $\pm 10\%$. Напруга короткого замикання трансформатора $u_{к\%} = 10,5$. Опір системи в максимальному режимі – 2,65 Ом, опір системи в мінімальному режимі – 3,18 Ом. Вихідна схема наведена на рис. 8.2.

Розрахунок проводиться в наступному порядку:

1. Визначаються первинні струми на сторонах трансформатора, що захищається, у номінальному режимі роботи, вибираються трансформатори струму й визначаються відповідні вторинні струми в колах захисту. При цьому трансформатори струму на стороні 110 кВ з'єднуються в трикутник і вибираються за значенням первинного струму $\sqrt{3}I_{ном}$ так, щоб вторинні струми не перевищували значення 5 А.

Розрахунки за пунктом зведені у таблицю 8.3.

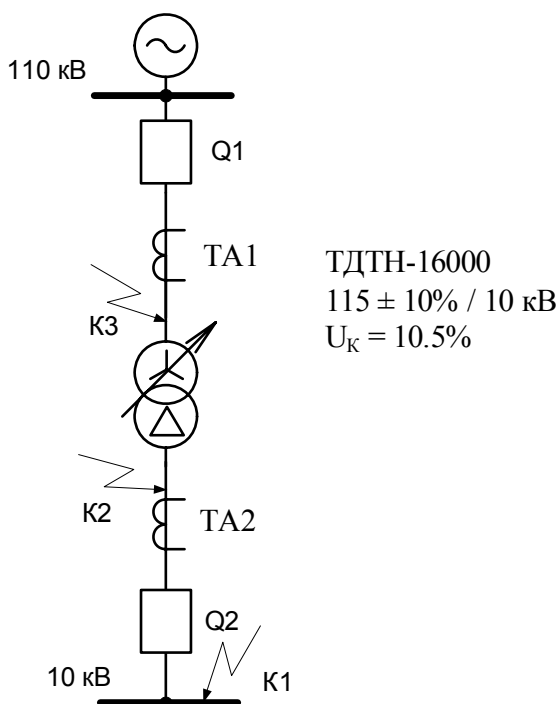


Рис. 8.2 – Вихідна схема двообмоточного трансформатора

2. Знаходимо приведенний до сторони ВН опір трансформатора:

$$x_T = \frac{u_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_{ВН}^2}{S_T} = 0,01 \cdot 10,5 \cdot 110^2 / 16000 = 79,41 \text{ Ом.}$$

Визначається первинний максимальний струм короткого замикання, що проходить через трансформатор, що захищається, при зовнішньому КЗ (точка К1 на шинах навантаження 10 кВ на рис. 8.2):

$$I_{K \text{ макс}} = \frac{U_{ВН} \cdot 10^3}{\sqrt{3}(x_{c \text{ макс}} + x_T)} = 110 \cdot 10^3 \cdot [\sqrt{3} (2,65 + 79,41)]^{-1} = 773,96 \text{ А.}$$

3. Попередньо визначається первинний струм спрацьовування захисту:

– за умовою відстроювання від струму небалансу (8.4) без врахування складової $I''_{нб}$:

$$I_{сз} = \kappa_n I''_{нб} = \kappa_n \cdot (I'_{нб} + I''_{нб}) = 1,3 \cdot (1 \cdot 0,1 + 0,1) \cdot 773,96 = 201,23 \text{ А;}$$

Таблиця 8.3. Результати розрахунків за пунктом 1.

Параметр	Позначення, розрахункова формула	Чисельні значення для сторін	
		110 кВ	10 кВ
Первинні номінальні струми трансформатора, А	$I_{ном} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$	$16000 \cdot (\sqrt{3} \cdot 110)^{-1} = 83,98 \text{ А}$	$16000 \cdot (\sqrt{3} \cdot 10)^{-1} = 839,78 \text{ А}$
Схема з'єднання вторинних ланцюгів трансформаторів струму		Трикутник 200/5	Зірка 1500/5
Коефіцієнти трансформації ТТ	$n_{ТА}$	200/5	1500/5
Вторинні струми в ланцюгах захисту	$I_{ном \text{ вт}} = \frac{I_{ном} \cdot k_{сх}}{\sqrt{3} \cdot I_{ном}}$	$83,98 \cdot \sqrt{3} / (200/5) = 3,64 \text{ А}$	$839,78 / (1500/5) = 2,80 \text{ А}$

– за умовою відстроювання від кидка струму намагнічування:

$$I_{сз} = \kappa_n I_{ном} = 1,3 \cdot 83,98 = 109,17 \text{ А.}$$

Таким чином, розрахунковою умовою для вибору струму спрацьовування є відстроювання від струму небалансу

$$I_{сз} = 201,23 \text{ А.}$$

4. Виконується попередня перевірка чутливості захисту.

У розглянутому прикладі розрахунковим за чутливістю є двофазне КЗ на стороні НН у мінімальному режимі роботи системи

$$I_{K \text{ min}}^{(2)} = \frac{U_{ВН}}{\sqrt{3}(x_{c \text{ min}} + x_T)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 110 \cdot 10^3 \cdot [\sqrt{3} (3,18 + 79,41)]^{-1} \cdot 0,5 \cdot \sqrt{3} = 665,97 \text{ А.}$$

За виразом (8.6)

$$k_{q \min} = \frac{I_{K \min}^{(2)} \cdot 1}{I_{c3} \cdot 1} = 665,97/201,23 = 3,31 > 2.$$

Розрахунок захисту з реле типу РНТ слід продовжити.

5. Визначається число витків трансформатора, що насичується, яке потім уточнюється з урахуванням складової $I_{нб}'''$.

Розрахунки за пунктом 5 зводяться у таблицю 8.4.

Таблиця 8.4 – Розрахунок параметрів реле РНТ

№ п/п	Параметр	Позначення і метод визначення	Чисельне значення
1	2	3	4
1	Розрахунковий струм спрацьовування реле на основній стороні, А	$I_{ср осн} = \frac{k_{сх} I_{с3}}{n_{ТА110}}$	$\sqrt{3} \cdot 201,23 / (200/5) = 8,71$ А
2	Розрахункове число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для основної сторони, витки	$w_{осн расч} = \frac{F_{расч}}{I_{ср осн}}$	$100 / I_{ср осн} = 11,48$
3	Прийняте число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для основної сторони, витки	$w_{осн}$	11
4	Струм спрацювання реле на основній стороні, А	$I_{ср осн} = \frac{F_{расч}}{w_{осн}}$	$100 / 1111 = 9,09$
5	Розрахункове число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для неосновної сторони, витки	$w_{неосн расч} = w_{осн} \frac{I_{осн вт}}{I_{неосн вт}}$	$11 \cdot 3,64 / 2,80 = 14,29$
6	Прийняте число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для неосновної сторони, витки	$w_{неосн}$	14
7	Складова $I_{нб}'''$, А		$ (14,29 - 11) / 14,29 \times 773,96 = 15,68$ А
8	Уточнене значення струму спрацьовування захисту $I_{с3}$, А	$I_{с3} = k_n \cdot (I_{нб}' + I_{нб}'' + I_{нб}''')$	$201,23 + 1,3 \cdot 15,68 = 221,61$ А
9	Уточнений струм спрацьовування реле на основній стороні, А	$I'_{ср осн} = \frac{k_{сх} I_{с3}}{n_{ТА110}}$	$\sqrt{3} \cdot 221,61 / (200/5) = 9,60$ А
10	Оцінка відносного впливу збільшення струму спрацьовування реле	$\frac{I'_{ср осн} - I_{ср осн}}{I_{ср осн}} \cdot 100\%$	$\frac{9,60 - 8,71}{8,71} \cdot 100\% = 10,13\%$
Розрахована в п. 10 розбіжність перевищує припустимі 5%, тому далі проводиться уточнюючий розрахунок			
11	Уточнене (зменшене на одиницю значення зі строки 3) прийняте число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для основної сторони, витки	$w_{осн}$	10

№ п/п	Параметр	Позначення і метод визначення	Чисельне значення
1	2	3	4
12	Уточнений струм спрацьовування реле на основній стороні, А	$I_{ср осн} = \frac{F_{расч}}{W_{осн}}$	100/1010 = А
13	Розрахункове число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для неосновної сторони, витки	$W_{неосн расч} = W_{осн} \frac{I_{осн вт}}{I_{неосн вт}}$	10·3,64/2,80 = 12,99
14	Прийняте число витків обмотки трансформатора реле, що насичується, для неосновної сторони	$W_{неосн}$	13
15	Складова $I_{нб}'''$, А	$I_{нб}''' = \left \frac{W_{неосн расч} - W_{неосн расч}}{W_{неосн расч}} \right \times I_{К макс}$	$(13-12,99)/12,99$ × $773,96 = 0,57$ А
16	Уточнене значення струму спрацьовування захисту $I_{сз}$, А	$I_{сз} = \kappa_n \cdot (I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб})$	201,23 + 1,3·0,57 = 201,98 А
17	Уточнений струм спрацьовування реле на основній стороні, А	$I'_{ср осн} = \frac{k_{сх} I_{сз}}{n_{ТА110}}$	$\sqrt{3} \cdot 201,98 / (200/5) = 8,75$ А
18	Оцінка відносного впливу збільшення струму спрацьовування реле	$\frac{I'_{ср осн} - I_{ср осн}}{I_{ср осн}} \cdot 100\%$	$(8,75 - 8,71) / 8,71 \cdot 100\% = 0,37\%$
Отримана в п. 18 розбіжність не перевищує припустимі 5%, тому проводиться остаточний розрахунок			
10	Остаточне прийняте рішення про число витків трансформатора реле, що насичується, для установлення на основній стороні (110 кВ) і неосновній стороні (10 кВ)	$W_{осн}$ $W_{неосн}$	10 13

6. Оцінюється чутливість захисту при двофазному короткому замиканні у точці К2 (рис. 8.2) у мінімальному режимі роботи системи

$$k_{ч min} = \frac{I_{К min}^{(2)} \cdot 1}{I_{сз} \cdot 1} = 665,97/201,98 = 3,30 > 2.$$

Висновок: розглянутий захист має достатню чутливість і може бути допущеним до встановлення.

Тема 9
ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ЗАХИСТ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ
ДВООБМОТКОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ІЗ РЕЛЕ ТИПУ ДЗТ-11

Завдання

Провести розрахунок диференційного захисту із реле типу ДЗТ-11 для двообмоткового трансформатора згідно з вихідними даними з таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 Варіанти вихідних даних

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x_{c \min}$, Ом	2,3	2,3	3,5	3,12	2,44	2,16	1,21	1,18	1,35	1,14
$x_{c \max}$, Ом	1,8	1,7	2,3	2,6	1,8	1,7	0,8	0,73	0,95	0,71
S_T , МВА	10	10	16	16	16	16	6,3	6,3	6,3	6,3
$u_{K\%}$	10,5	10,5	10,5	10,5	11	11	10,5	10,5	10,5	10,5
U_{BH} , кВ	115	115	115	115	150	158	115	115	115	115
$\pm \Delta U_{BH}$, %	15	15	15	15	12	12	15	15	15	15
U_{HH} , кВ	6,6	11	6,5	11	6,6	11	6,6	11	22	38,5
Параметр	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x_{c \min}$, Ом	1,61	1,32	2,6	3,4	4,3	2,12	2,46	3,9	4,5	5,4
$x_{c \max}$, Ом	0,95	1,12	1,85	2,6	3,5	1,84	1,74	2,7	3,7	4,1
S_T , МВА	6,3	6,3	10	15	20	10	10	16	16	16
$u_{K\%}$	7,5	7,5	10,5	10,5	10,5	7,5	7,5	8	8	11
U_{BH} , кВ	35	35	121	121	121	38,5	38,5	38,5	38,5	158
$\pm \Delta U_{BH}$, %	9	9	0	0	0	5	5	5	5	12
U_{HH} , кВ	6,3	11	38,5	38,5	38,5	6,3	10,5	6,3	10,5	11

Примітка. $x_{c \min}$ - внутрішній опір системи, яка працює в мінімальному режимі при $K^{(3)}$ на шинах; $x_{c \max}$ - внутрішній опір системи, яка працює в максимальному режимі при $K^{(3)}$ на шинах.

Для підвищення чутливості поздовжніх диференційних захистів широко використовується принцип гальмування наскрізним (циркулюючим) струмом [3]. Як видно зі схеми диференційного захисту з гальмуванням (рис. 9.1, *a*), при зовнішньому (наскрізному) КЗ цей струм ($I_{2K \text{ макс вн}}$) проходить по **гальмівній** обмотці w_T диференційного реле. У цей же час по диференційній (робочій) обмотці w_P реле проходить струм небалансу $I_{2нб}$.

Магніторушійна сила з робочої обмотки F_P спрямована на спрацьовування реле, магніторушійна сила гальмівної обмотки F_T – на збільшення струму спрацьовування реле, що запобігає його спрацьовуванню при зовнішніх КЗ. Для забезпечення неспрацьовування реле при зовнішніх КЗ на гальмівній обмотці реле має бути включене число витків w_T , розраховане за виразом:

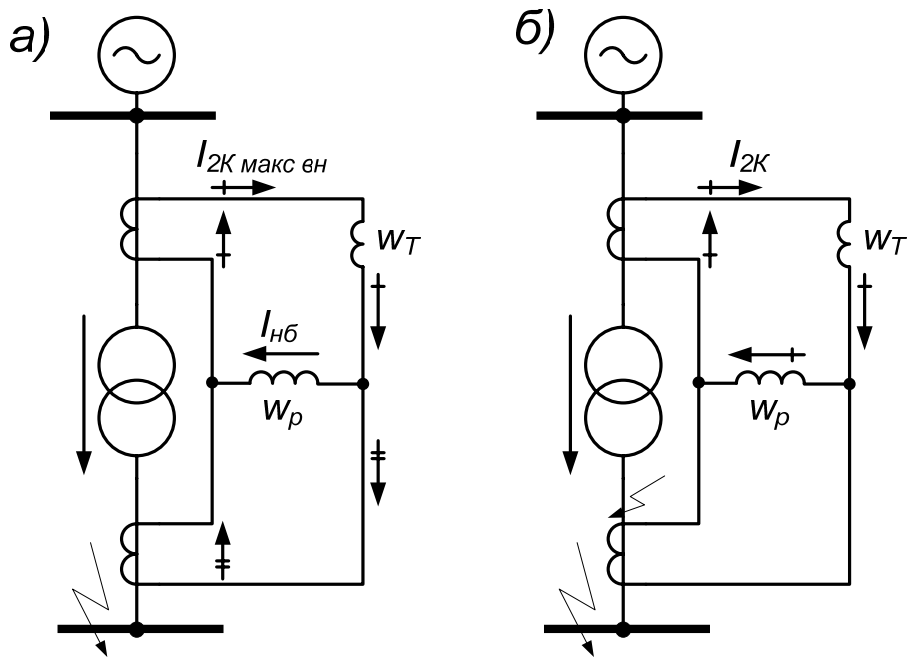


Рис. 9.1 – Струмозподіл в колах однієї фази диференційного захисту з гальмуванням при зовнішньому КЗ (а) і при КЗ в зоні дії захисту (б)

$$w_T \geq \frac{k_n \cdot I_{нб} \cdot w_p}{I_{K \text{ макс вн}} \cdot \text{tg} \alpha}, \quad (9.1)$$

де $I_{K \text{ макс вн}}$ – періодична складова струму (при $t = 0$ с) при розрахунковому зовнішньому трифазному КЗ на тій стороні трансформатора, де ввімкнена гальмівна обмотка, у максимальному режимі роботи системи й з урахуванням впливу РПН трансформатора; $I_{нб}$ – струм небалансу (первинний), розрахований за виразами (8.2), (8.3), (8.10); w_p – розрахункове число витків робочої обмотки реле на стороні, де ввімкнена гальмівна обмотка; k_n – коефіцієнт надійності, що враховує помилку реле й необхідний запас, приймається рівним 1,5; $\text{tg} \alpha$ – тангенс кута нахилу до осі абсцис дотичної, проведеної з початку координат до гальмівної характеристики спрацьовування реле, що відповідає мінімальному гальмуванню (крива 2 на рис. 9.2), для реле ДЗТ-11 приймається рівним 0,87.

Гальмівні характеристики реле ДЗТ-11 (рис. 9.2) побудовані при нормальному затягуванні протидіючої пружини для таких кутів між робочим (I_p) і гальмівним (I_m) струмами в реле, при яких забезпечується максимальне (крива 1) і мінімальне (крива 2) гальмування.

Область, розташована нижче характеристики 2, є областю надійного неспрацьовування реле; область, розташована вище характеристики 1 – областю надійного спрацьовування. При цьому для забезпечення чутливості захисту точка, що відповідає розрахунковим випадкам КЗ у зоні дії захисту й обумовлена величинами F_p й F_T , повинна перебувати не менш чим на 10 % своїх координат вище характеристики 1 [5].

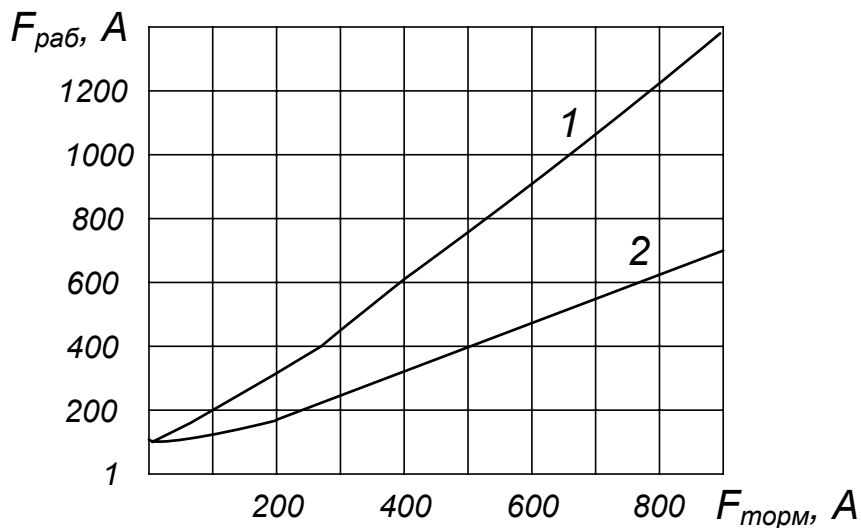


Рис. 9.2 – Гальмівні характеристики реле типу ДЗТ-11

При КЗ у зоні дії захисту (при однобічному живленні) по робочій і гальмівній обмотках проходить однаковий струм (рис. 9.1, б), тобто $I_p = I_m$. Однак обране за виразом (9.1) співвідношення чисел витків робочої й гальмівної обмоток ($w_p > w_T$) повинне забезпечувати перевагу робочої магніторухомої сили ($F_p > F_T$) і, отже, надійне спрацювання реле.

Вибір місця включення гальмівної обмотки. При виконанні диференційного захисту понижувальних трансформаторів з реле, що мають *одну* гальмівну обмотку, при однобічному живленні трансформатора є можливість виключити вплив гальмівної обмотки при КЗ у зоні дії захисту. Для цього на двообмоткових понижувальних трансформаторах гальмівна обмотка повинна включатися в плече диференційного захисту не з боку живлення (як показано на рис. 9.1 для пояснення принципу дії захисту), а в плече протилежне.

Розрахунок чисел витків інших обмоток реле ДЗТ-11 (крім гальмівної) виконується так само, як для реле РНТ (див. тему 8).

Приклад розрахунку диференційного захисту трансформатора на реле ДЗТ-11

Розраховуються уставки диференційного захисту з гальмуванням двообмоткового трансформатора потужністю 6,3 МВА, $(115 \pm 16 \%)$ кВ/11 кВ, $u_{к макс} = 11\%$, $u_{к мин} = 9,5\%$, $u_{к ср} = 10,5\%$. Дані розрахунку струмів КЗ наведені на рис 9.3. Значення струмів КЗ для точки К1 віднесені до сторони ВН, для точки К2 – до сторін ВН і НН. У чисельнику зазначені максимальні значення, у знаменнику - мінімальні.

При КЗ за трансформаторами струму сторони ВН (точка К1) маємо $I_{К ВН}^{(3)} = 410/230$ А; на стороні НН (точка К2) $I_{К НН}^{(3)} = 3600/2600$ А.

Визначаються середні значення первинних і вторинних номінальних струмів для всіх сторін трансформатора, що захищається, так само, як при розрахунку числа витків обмоток реле типу РНТ.

Первинний номінальний струм трансформатора:

$$I_{1 ном} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{ВН}} = 6300/(\sqrt{3} \cdot 115) = 400 \text{ А}; \quad (9.2)$$

$$I_{2\text{ ном}} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{\text{НН}}} = 6300/(\sqrt{3} \cdot 11) = 410 \text{ А.} \quad (9.3)$$

Вибирається місце установлення гальмівної обмотки реле ДЗТ-11: плече сторони НН (рис. 9.3).

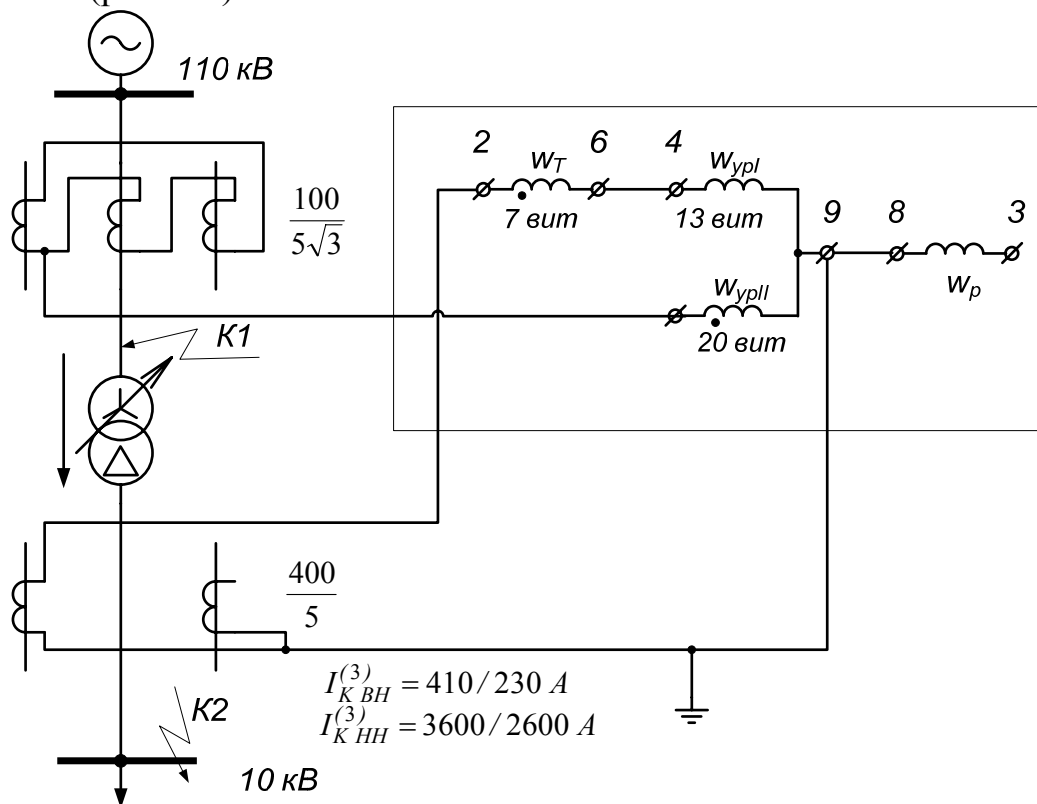


Рис. 9.3 – Схема включення обмоток реле типу ДЗТ-11 в диференційному захисті двообмоткового трансформатора

Визначається первинний струм небалансу за (8.2), (8.3), (8.4) без врахування складової $I''_{\text{нб}}$ при $\kappa_n = 1$ для реле ДЗТ:

$$I_{\text{нб перв}} = \kappa_n \cdot (I'_{\text{нб}} + I''_{\text{нб}}) = 1,0 \cdot (1 \cdot 0,1 + 0,1) 410 = 106,6 \text{ А.} \quad (9.4)$$

Струм спрацьовування захисту вибирається тільки за умовою відстроювання від кидка струму намагнічування

$$I_{\text{сз}} = 1,5 \cdot I_{\text{Тр ном макс}} \quad (9.5)$$

де 1,5 – коефіцієнт врахування кидка струму намагнічування; $I_{\text{Тр ном макс}}$ – максимальне значення номінального струму трансформатора, що відповідає мінімальному положенню регулятора РПН. Для цього прикладу значення $I_{\text{Тр ном макс}}$ розраховуємо за виразом:

$$I_{\text{Тр ном макс}} = I_{1\text{ ном}} = \frac{S_T}{\sqrt{3}U_{\text{ВН мин}}} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}} \cdot (1 - 0,01 \cdot \Delta U_{\text{ВН}})} = 6300 \cdot [\sqrt{3} \cdot 115 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16)]^{-1} = 37,65 \text{ А.}$$

$$\text{Тоді, згідно з (9.5), } I_{\text{сз}} = 1,5 \cdot I_{\text{Тр ном макс}} = 1,5 \cdot 37,65 = 56,48 \text{ А.}$$

Визначаються числа витків обмоток ДЗТ для вирівнювання магніторухомих сил аналогічно тому, як це виконувалося для реле РНТ. Розрахунок починається з вибору числа витків для тієї обмотки трансформатора реле, що насичується, що включається в плече ВН, оскільки це сторона регульованої напруги, хоча й з меншим вторинним струмом. Результати розрахунку зведено у таблицю 9.2.

Таблиця 9.2 – Розрахунок числа витків обмотки реле типу ДЗТ-11

№ з/п	Позначення величини і розрахунковий вираз	Чисельне значення
1	2	3
1	$I_{ср\ неосн} = \frac{I_{сз\ неосн} \cdot k_{сх\ неосн}^{(3)}}{n_{ТА\ неосн}}$	$56,48 \cdot \sqrt{3} / (100/5) = 4,89\text{А}$
2	$w_{неосн\ расч} = \frac{F_{ср}}{I_{ср\ неосн}}$	$100/44,89 = 20,44$
3	$w_{неосн}$ (найближче менше ціле)	20
4	Уточнене значення $I_{ср\ неосн} = \frac{F_{ср}}{w_{неосн}}$	$100/20 = 5\text{ А}$
5	$I_{сз\ неосн} = \frac{I_{ср\ неосн} \cdot n_{ТА\ неосн}}{k_{сх\ неосн}^{(3)}}$ (сторона ВН)	$5 \cdot (100/5) / \sqrt{3} = 57,74$
6	$I_{сз\ осн} = \frac{I_{ср\ неосн} \cdot U_{ВН} (1 - 0,01 \cdot \Delta U)}{U_{НН}}$	$57,74 \cdot 115 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) / 11 = 507,02\text{ А}$
7	Вторинний струм неосновної сторони $I_{2\ неосн} = \frac{I_{1\ ном} \cdot k_{сх\ неосн}^{(3)}}{n_{ТА\ неосн}}$	$400 \cdot \sqrt{3} / (100/5) = 2,74\text{ А}$
8	Вторинний струм основної сторони $I_{2\ осн} = \frac{I_{1\ ном} \cdot k_{сх\ неосн}^{(3)}}{n_{ТА\ неосн}}$	$410 \cdot 1 / (400/5) = 4,13\text{ А}$
9	$w_{осн\ расч} = w_{неосн} \frac{I_{2\ неосн}}{I_{2\ осн}}$	$20 \cdot 2,74 / 4,13 = 13,25$
10	$w_{осн\ расч} = w_{неосн} \frac{I_{2\ неосн}}{I_{2\ осн}}$ (найближче ціле)	13
11	$I_{нб}''$ по (9)	$(13,25 - 13) \cdot 410 / 13,25 = 7,86\text{А}$
12	Уточнений струм небалансу $I_{нб}$	$106,6 + 7,86 = 114,46\text{ А}$
13	Остаточні прийняті числа витків $w_{осн} = w_{ур\ I}$ (сторона НН) $w_{неосн} = w_{ур\ II}$ (сторона ВН)	13 20
14	Контроль вирівнювання вторинних струмів $I_{2\ неосн} \cdot w_{неосн}$ і $I_{2\ осн} \cdot w_{осн}$	$2,74 \cdot 20 \approx 4,13 \cdot 13$ $54,78 \approx 53,73$

6. Визначається за виразом (9.1) число витків гальмівної обмотки реле ДЗТ-11, необхідне для забезпечення бездіяльності захисту при зовнішньому трифазному КЗ (точка К2 на рис. 9.3):

$$w_T \geq \frac{k_n \cdot I_{нб} \cdot w_p}{I_{K\ макс\ вн} \cdot tg\alpha},$$

де значення струму небалансу I_{ia}^2 з таблиці повинне бути приведене до сторони НН при найменшому значенні коефіцієнта перетворення силового трансформатора яке має місце при крайньому від'ємного положення регулятора РПН:

$$\frac{k_n \cdot I_{нб} \cdot w_{осн\ раас}}{I_{К\ макс\ вн} \cdot tg\alpha} = 1,5 \cdot 114,46 \cdot 115 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) / 11 \cdot 13,25 / (3600 \cdot 0,87) = 6,38.$$

Числа витків на гальмівній обмотці реле ДЗТ-11 можуть бути встановлені наступні: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 18, 24. Приймається найближче більше число витків: $w_T = 7$.

Визначається за формулою (8.6) коефіцієнт чутливості захисту при КЗ за трансформатором у зоні дії захисту, коли струм пошкодження проходить тільки через трансформатори струму сторони ВН і гальмування відсутнє. Згідно з вихідними даними $I_{К\ ВН\ мин}^{(3)} = 230$ А. За табл. додатка для схеми з'єднання трансформаторів струму в трикутник розрахунковий струм у реле:

$$I_{р\ мин} = 1,5 \cdot I_{К\ ВН\ мин}^{(3)} / n_{ТА} = 1,5 \cdot 230 / (100/5) = 17,25 \text{ А.}$$

При проходженні струму КЗ по стороні ВН струм спрацьовування реле

$$I_{ср} = \frac{F_{ср}}{w_{ур\ II}} = 100/20 = 5 \text{ А.}$$

Тоді коефіцієнт чутливості

$$k_q^{(2)} = 17,25/5 = 3,45 > 2,$$

що відповідає вимогам ПУЕ.

РЕКОМЕНДОВАНИ ДЖЕРЕЛА

1. Алексеев О. П. Упражнения по релейной защите : учеб. пособие / О. П. Алексеев, Т. П., Маврицина и др. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 64 с.
2. Будкин В. В. Сборник лабораторных работ по курсу "Релейная защита электроэнергетических систем" : учеб. пособие / В. В. Будкин, О. И. Матвеева, А. И. Матвеев – М. : Издательство МЭИ, 1995. – 52 с.
3. Копьев В. Н. Релейная защита основного электрооборудования электростанций и подстанций. Вопросы проектирования : учеб. пособие / В. Н. Копьев – Томск : Изд. ЭЛТИ ТПУ, 2005. – 107 с.
4. Басс Э. И., Дорогунцев В. Г. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие / Э. И. Басс, В. Г. Дорогунцев; под ред. А. Ф. Дьякова. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 296 с.
5. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах : учеб. пособие / В. А. Андреев – М. : Высш. шк., 2008. – 252 с.

ДОДАТОК

Формули для визначення розрахункових струмів в реле максимальних струмових захистів при двофазних КЗ

Схема виконання максимального струмового захисту	Коефіцієнт схеми при симетричному режимі $k_{cx}^{(3)}$	Струми в реле при двофазних КЗ	
		в місці встановлення захисту або за трансформатором Y/Y-0(12)	за трансформатором Y/Δ-11
Повна зірка (рис. 3.2, в)	1	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$	$I_p = \frac{I_K^{(3)}}{n_T}$
Неповна зірка з двома реле (рис. 3.2, а)	1	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$	$I_p = \frac{I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$
Неповна зірка з трьома реле (рис. 3.2, б)	1	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$	$I_p = \frac{I_K^{(3)}}{n_T}$
Трикутник з трьома реле (рис. 3.2, г)	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{n_T}$	$I_p = \frac{3 \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$
Трикутник з двома реле	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$	$I_p = \frac{3 \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$
Схема включення одного реле на різницю напруг двох фаз А та С	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_K^{(3)}}{2 \cdot n_T}$	Не застосовується (відмовляє при КЗ фаз А та В)

Навчальне видання

Методичні вказівки
до проведення практичних занять
з курсу
РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИКА

*(для студентів 4 і 5 курсів заочної форми навчання
за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології"
спеціальності „Електротехнічні системи електроспоживання”,
4 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки
6.030601 „Менеджмент” та слухачів другої вищої освіти за спеціальністю
7.05070103- „Електротехнічні системи електроспоживання”)*

Укладач **ШИМУК** Дмитро Степанович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

Редактор *С. В. Тимощук*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 253М

Підп. до друку 12.03.2012	Формат 60 x 84/16
Друк на різнографі.	Ум. друк. арк. 3,5
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №4064 від 12.05.2011