

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.

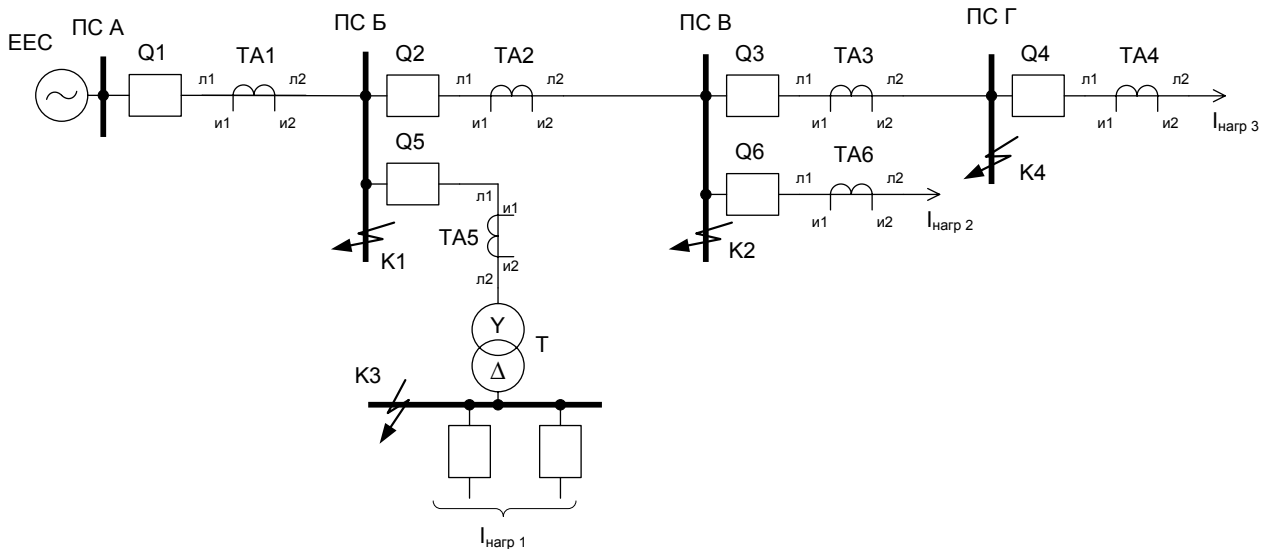


Рис. 3.1 – Схема мережі

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:

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

де $k_{сз}^{(3)}$ – 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 нейтраліями 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

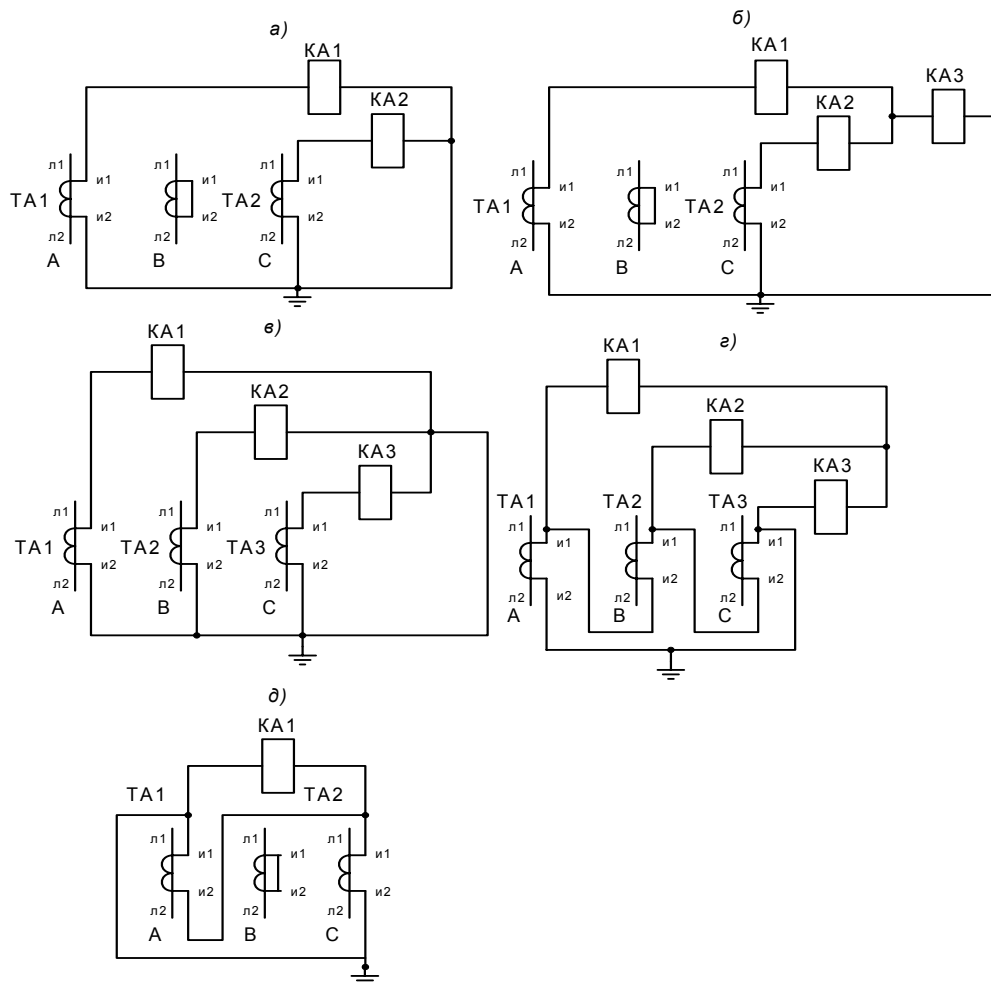


Рис. 3.2 – Схеми з'єднання вторинних кіл трансформаторів струму й реле

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:

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

а в точці К4 – як резервного:

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

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

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:

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

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

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 ($k_{\text{сх}}^{(3)} = \sqrt{3}$) і визначаємо струм спрацьовування реле:

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

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 ($k_{\text{сх}}^{(3)} = 1$) і визначаємо струм спрацьовування реле:

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

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

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

$$K_{q_{K2}} = \frac{0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{K2}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{cp1}} = 0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 1,73 > 1,2;$$

$$K_{q_{K3}} = \frac{0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{K3}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{cp1}} = 0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot 250 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 0,63 < 1,2.$$

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

$$K_{q_{K3}} = \frac{1 \cdot I_{K3}^{(3)}}{K_{I1} \cdot I_{cp1}} = 1 \cdot 250 \cdot 20^{-1} \cdot 10,00^{-1} = 1,25 > 1,2.$$