

## Лекція 3-6

### Схеми заміщення трансформаторів і автотрансформаторів та їх параметри

#### 1. Двообмотковий трансформатор

##### 1.1. Схема заміщення.

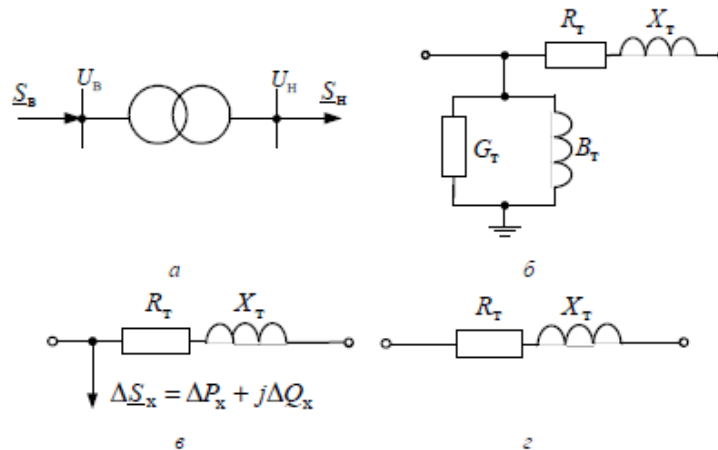


Рис. 1 – Позначення (а) і схеми заміщення двообмоткових трансформаторів: б) – повна; в) – спрощена для трансформаторів з напругою вищої сторони до 220 кВ; г) – спрощена для трансформаторів з напругою вищої сторони до 10 кВ

##### 1.2. Параметри схеми заміщення.

Активний опір двообмоткового трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.н.н}}^2}.$$

Повний опір трансформатора:

$$Z_T = \frac{u_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.н.н}}}.$$

Реактивний опір:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}.$$

Для трансформаторів потужності понад 1000 кВА  $X_T \gg R_T$ , тому:

$$X_T \approx Z_T = \frac{u_{\text{к, \%}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.н.н}}}.$$

Активна провідність:

$$G_T = \frac{\Delta P_x}{U_{\text{НОМ}}^2}.$$

Реактивна провідність:

$$B_T = \frac{\Delta Q_x}{U_{\text{НОМ}}^2},$$

де  $\Delta Q_x$  - намагнічуюча потужність трансформатора:

$$\Delta Q_x = \frac{I_x}{100} \cdot S_{\text{Т.ном}}.$$

#### 2. Триобмотковий трансформатор. Автотрансформатор

## 2.1. Схема заміщення.

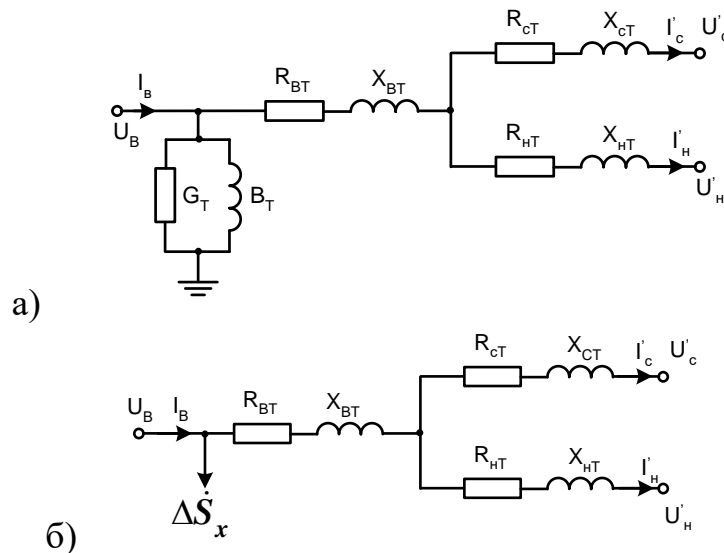


Рис. 2 – Схеми заміщення: а) – повна; б) – спрощена.

## 2.2. Параметри схем заміщення триобмоткового трансформатора.

Параметри кола намагнічення триобмоткового трансформатора (активну провідність  $G_T$  та реактивну провідність  $B_T$ ) визначаються як у двообмоткового.

Активні опори обмоток:

$$R_g = \frac{\Delta P_{кв} \cdot U_H^2}{S_{T.ном}^2};$$

$$R_c = \frac{\Delta P_{кc} \cdot U_H^2}{S_{T.ном}^2};$$

$$R_h = \frac{\Delta P_{кн} \cdot U_H^2}{S_{T.ном}^2},$$

де  $\Delta P_{кв}$ ,  $\Delta P_{кн}$ ,  $\Delta P_{кc}$  - потужності втрат КЗ обмоток.

$$\Delta P_{кв} = 0,5(\Delta P_{кв-с} + \Delta P_{кв-н} - \Delta P_{кc-н});$$

$$\Delta P_{кc} = 0,5(\Delta P_{кв-с} + \Delta P_{кc-н} - \Delta P_{кв-н});$$

$$\Delta P_{кн} = 0,5(\Delta P_{кв-н} + \Delta P_{кc-н} - \Delta P_{кв-с});$$

Потужність обмоток може бути у співвідношенні:

-  $S_{вн}/S_{сн}/S_{нн} = 100/100/100$  % - однакова потужність обмоток

-  $S_{вн}/S_{сн}/S_{нн} = 100/100/66,7$  % - потужність обмотки НН є менша;

-  $S_{вн}/S_{сн}/S_{нн} = 100/66,7/100$  % - потужність обмотки СН є менша.

Якщо потужності обмоток трансформатора однакові, то задають втрати КЗ на одну пару обмоток - найбільше значення  $\Delta P_e$ .

Для трансформаторів с однаковими потужностями обмоток сумарні втрати КЗ на пару обмоток порівну розподіляють між обмотками.

Активні опори обмоток:

$$R_g = R_c = R_h.$$

Активний опір обмотки ВН:

$$R_g = \frac{R_{спільн}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_k \cdot U_{ном}^2}{S_{Тнн}^2}.$$

Якщо одна з обмоток має потужність меншу за номінальну, то активний опір променя обмотки з меншою потужністю (66,7 %):

$$R_{66,7} = 1,5R_{100}$$

Реактивні опори обмоток ВН, СН і НН:

$$X_{\epsilon} = \frac{u_{\kappa, \%}^{\epsilon} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{Т.Н.Н}}};$$

$$X_c = \frac{u_{\kappa, \%}^c \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{Т.Н.Н}}};$$

$$X_n = \frac{u_{\kappa, \%}^n \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{Т.Н.Н}}},$$

де  $u_{\kappa}^{\text{В}}$ ,  $u_{\kappa}^{\text{С}}$  і  $u_{\kappa}^{\text{Н}}$  – напруги КЗ, прикладені до обмоток ВН, СН і НН:

$$u_{\kappa}^{\text{В}} = \frac{1}{2} (u_{\kappa \text{ в-н}, \%} + u_{\kappa \text{ в-с}, \%} - u_{\kappa \text{ с-н}, \%});$$

$$u_{\kappa}^{\text{С}} = \frac{1}{2} (u_{\kappa \text{ с-н}, \%} + u_{\kappa \text{ в-с}, \%} - u_{\kappa \text{ в-н}, \%});$$

$$u_{\kappa}^{\text{Н}} = \frac{1}{2} (u_{\kappa \text{ в-н}, \%} + u_{\kappa \text{ с-н}, \%} - u_{\kappa \text{ в-с}, \%});$$

### 2.3. Параметри схем заміщення триобмоткового автотрансформатора.

Параметри кола намагнічення триобмоткового трансформатора (активну  $G_T$  та реактивну  $B_T$  провідність) визначають як у двообмоткового.

Випадок 1: значення втрат короткого замикання задані тільки для однієї пари обмоток;

В режимі передачі потужності від ВН до СН і назад потужності обмоток однакові.

Активний опір обмотки ВН:

- якщо задано  $\Delta P_{\kappa \text{ в-с}}$ :

$$R_{\epsilon} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P_{\kappa \text{ в-с}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.Н.Н}}^2}.$$

- якщо задано  $\Delta P_{\kappa \text{ в-н}}$ :

$$R_{\epsilon} = \frac{\alpha}{\alpha + 1} \cdot \frac{\Delta P_{\kappa \text{ в-н}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.Н.Н}}^2}.$$

Активний опір обмотки СН:

$$R_c = R_{\epsilon}.$$

Активний опір обмотки НН:

$$R_n = \frac{R_{\epsilon}}{\alpha_n};$$

$$\alpha_n = S_{\text{НН}} / S_{\text{Т.Н.Н}}.$$

Випадок 2: значення втрат КЗ відомі для трьох пар обмоток,  $\Delta P_{\kappa \text{ в-с}}$ ,  $\Delta P_{\kappa \text{ в-н}}$ ,  $\Delta P_{\kappa \text{ с-н}}$ . Паспортні дані на пару обмоток  $\Delta P_{\kappa \text{ в-с}}$  наведено віднесеними до номінальної потужності автотрансформатора, а значення  $\Delta P_{\kappa \text{ в-н}}$  та  $\Delta P_{\kappa \text{ с-н}}$  – до номінальної

потужності обмотки НН. Їх перераховують до номінальної потужності автотрансформатора:

$$\Delta P_{\kappa \theta - \text{H}} = \Delta P'_{\kappa \theta - \text{H}} \cdot \frac{S_{\text{T.H.H}}^2}{S_{\text{HH}}^2} = \frac{\Delta P'_{\kappa \theta - \text{H}}}{\alpha^2};$$

$$\Delta P_{\kappa \text{C} - \text{H}} = \Delta P'_{\kappa \text{C} - \text{H}} \cdot \frac{S_{\text{T.H.H}}^2}{S_{\text{HH}}^2} = \frac{\Delta P'_{\kappa \text{C} - \text{H}}}{\alpha^2},$$

де  $\Delta P'_{\kappa \theta - \text{H}}$  та  $\Delta P'_{\kappa \text{C} - \text{H}}$  - табличні значення втрат потужності КЗ:

Активні опори обмоток:

$$R_{\theta} = \frac{\Delta P_{\kappa \theta} \cdot U_{\text{H}}^2}{S_{\text{T.H.H}}^2};$$

$$R_{\text{C}} = \frac{\Delta P_{\kappa \text{C}} \cdot U_{\text{H}}^2}{S_{\text{T.H.H}}^2};$$

$$R_{\text{H}} = \frac{\Delta P_{\kappa \text{H}} \cdot U_{\text{H}}^2}{S_{\text{T.H.H}}^2},$$

де  $\Delta P_{\kappa \theta}$ ,  $\Delta P_{\kappa \text{H}}$ ,  $\Delta P_{\kappa \text{C}}$  - потужності втрат КЗ обмоток:

$$\Delta P_{\kappa \theta} = 0,5(\Delta P_{\kappa \theta - \text{C}} + \Delta P_{\kappa \theta - \text{H}} - \Delta P_{\kappa \text{C} - \text{H}});$$

$$\Delta P_{\kappa \text{C}} = 0,5(\Delta P_{\kappa \theta - \text{C}} + \Delta P_{\kappa \text{C} - \text{H}} - \Delta P_{\kappa \theta - \text{H}});$$

$$\Delta P_{\kappa \text{H}} = 0,5(\Delta P_{\kappa \theta - \text{H}} + \Delta P_{\kappa \text{C} - \text{H}} - \Delta P_{\kappa \theta - \text{C}}).$$

Реактивні опори обмоток ВН, СН і НН:

$$X_{\theta} = \frac{u_{\kappa, \%}^{\theta} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{T.H.H}}};$$

$$X_{\text{C}} = \frac{u_{\kappa, \%}^{\text{C}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{T.H.H}}};$$

$$X_{\text{H}} = \frac{u_{\kappa, \%}^{\text{H}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{T.H.H}}},$$

де  $u_{\kappa}^{\text{B}}$ ,  $u_{\kappa}^{\text{C}}$  і  $u_{\kappa}^{\text{H}}$  - напруги КЗ, прикладені до обмоток ВН, СН і НН:

$$u_{\kappa}^{\text{B}} = \frac{1}{2}(u_{\kappa \theta - \text{H}, \%} + u_{\kappa \theta - \text{C}, \%} - u_{\kappa \text{C} - \text{H}, \%});$$

$$u_{\kappa}^{\text{C}} = \frac{1}{2}(u_{\kappa \text{C} - \text{H}, \%} + u_{\kappa \theta - \text{C}, \%} - u_{\kappa \theta - \text{H}, \%});$$

$$u_{\kappa}^{\text{H}} = \frac{1}{2}(u_{\kappa \theta - \text{H}, \%} + u_{\kappa \text{C} - \text{H}, \%} - u_{\kappa \theta - \text{C}, \%}).$$