



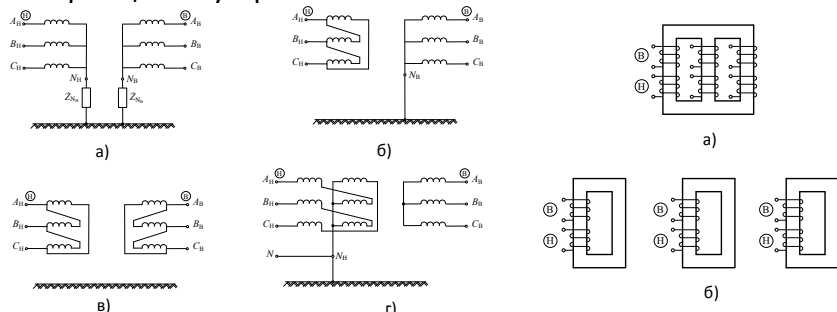
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ВАРНА
кафедра „Електронергетика“

№8. Моделиране на трифазни двунамотъчни трифазни трансформатори

проф. д.т.н. инж. мат. К. Герасимов

Описателен модел

• Принципно устройство



Схеми на свързване на намотките на
трифазни двунамотъчни трансформатори:

- а)
- б)
- в)
- г)

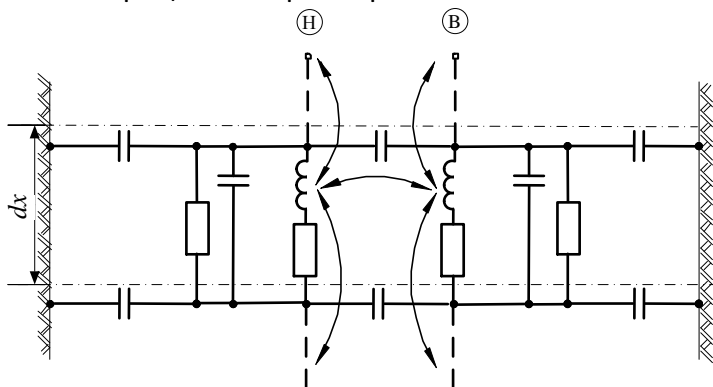
Изпълнение на магнитопроводите на
трифазни двунамотъчни трансформатори:

- а)
- б)



Описателен модел

- Предназначение
- Основни процеси и параметри



3

Опростиращи допускания

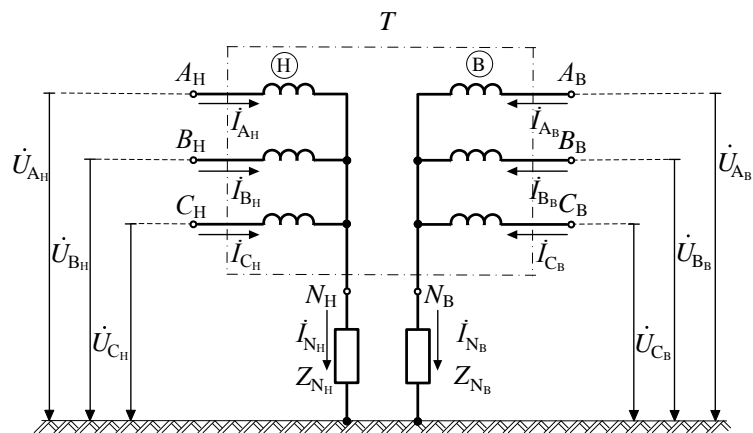
- Фазните намотки и фазните магнитни контури са линейни и симетрични. Това преди всичко означава, че не се отчита изменението на магнитната проницаемост на магнитопровода и изменението на активното съпротивление на намотките в зависимост от температурата;
- Не се отчитат капацитетите на намотките относно земята, междунавивковите и между намотките. Това означава, че системните модели не са пригодни за анализ на високочестотни (електровълнови) процеси;
- Собствените съпротивления на намотките са пропорционални на квадрата на броя на навивките;
- Приближено се отчита зависимостта на съпротивленията на контурите от изменението на коефициента на трансформация на трансформатора (k_t). Собствените съпротивления на регулируемите намотки и взаимните между тях се изменят с квадрата на изменението на k_t , а взаимните им с останалите намотки – с първата степен;
- Фазата на комплексния коефициент на трансформацията (комплексното преводно отношение) се определя без отчитане на ъгловата грешка. Отчита се само дефазирането, внесено от начина на свързване на намотките или от волтодобавъчния трансформатор.

Трябва да се знае, че създадените при тези допускания модели на трансформаторите са пригодни преди всичко за анализ на процеси с честота, близка или равна на промишлената ($f_n = 50\text{Hz}$).

4



Принципна схема



5

Описание във фазни и симетрични координати

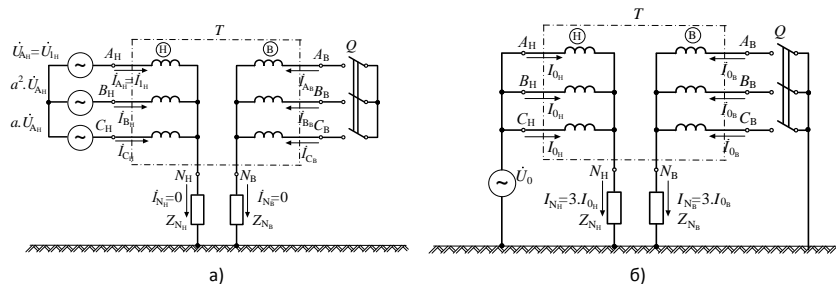
$$\mathbf{U}_T = \mathbf{Z}_T \cdot \mathbf{I}_T \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{U}_T = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_H \\ \mathbf{U}_B \end{bmatrix}; \mathbf{U}_H = \begin{bmatrix} \dot{U}_{A_H} \\ \dot{U}_{B_H} \\ \dot{U}_{C_H} \end{bmatrix}; \mathbf{U}_B = \begin{bmatrix} \dot{U}_{A_B} \\ \dot{U}_{B_B} \\ \dot{U}_{C_B} \end{bmatrix}; \\ \mathbf{I}_T = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_H \\ \mathbf{I}_B \end{bmatrix}; \mathbf{I}_H = \begin{bmatrix} \dot{i}_{A_H} \\ \dot{i}_{B_H} \\ \dot{i}_{C_H} \end{bmatrix}; \mathbf{I}_B = \begin{bmatrix} \dot{i}_{A_B} \\ \dot{i}_{B_B} \\ \dot{i}_{C_B} \end{bmatrix}; \mathbf{Z}_T = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{HH} & \mathbf{Z}_{HB} \\ \mathbf{Z}_{BH} & \mathbf{Z}_{BB} \end{bmatrix}; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{U}_{1T} = \mathbf{Z}_{1T} \cdot \mathbf{I}_{1T}; \\ \mathbf{U}_{2T} = \mathbf{Z}_{2T} \cdot \mathbf{I}_{2T}; \\ \mathbf{U}_{0T} = \mathbf{Z}_{0T} \cdot \mathbf{I}_{0T}; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{U}_{1T} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{1H} \\ \dot{U}_{1B} \end{bmatrix}; \mathbf{I}_{1T} = \begin{bmatrix} \dot{i}_{1H} \\ \dot{i}_{1B} \end{bmatrix}; \mathbf{U}_{2T} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{2H} \\ \dot{U}_{2B} \end{bmatrix}; \mathbf{I}_{2T} = \begin{bmatrix} \dot{i}_{2H} \\ \dot{i}_{2B} \end{bmatrix}; \mathbf{U}_{0T} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{0H} \\ \dot{U}_{0B} \end{bmatrix}; \mathbf{I}_{0T} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{0H} \\ \dot{I}_{0B} \end{bmatrix}; \\ \mathbf{Z}_{1T} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1,HH} & \dot{Z}_{1,HB} \\ \dot{Z}_{1,BH} & \dot{Z}_{1,BB} \end{bmatrix}; \mathbf{Z}_{2T} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{2,HH} & \dot{Z}_{2,HB} \\ \dot{Z}_{2,BH} & \dot{Z}_{2,BB} \end{bmatrix}; \mathbf{Z}_{0T} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_{0,HH} & \dot{Z}_{0,HB} \\ \dot{Z}_{0,BH} & \dot{Z}_{0,BB} \end{bmatrix}; \end{array} \right.$$

6 / 9



Схеми за изчисляване на елементите на Z_{ST}



Принципни схеми за провеждане на опитите на празен ход (прекъсвача Q е изключен)
и на късо съединение (Q – включен):

- а)
б)

$$U_{1H} = U_{1H, HOM} =$$

$$\dot{Z}_{1HH} =$$

$$\dot{U}_{1B} =$$

7

Опит на празен ход

(с напрежение на права последователност)

- При захранване откъм ниското напрежение

– условия:

– измерва се:

– съотношения:

$$\dot{Z}_{1HH} = \frac{U_{1H, HOM}}{\dot{I}_{\mu, H}} = \dot{Z}_{\mu, H} \quad \dot{U}_{1B} = \dot{Z}_{1, BH} \cdot \dot{I}_{\mu, H} \quad \dot{K}_{T\alpha} = \frac{\dot{U}_{1H, HOM}}{\dot{U}_{1B}} = \frac{\dot{Z}_{\mu, H}}{\dot{Z}_{1, BH}}$$

- При захранване откъм високото напрежение

– условия:

– измерва се:

– съотношения:

$$\dot{Z}_{1BB} = \frac{\dot{U}_{1B}}{\dot{I}_{1, B}} = \frac{\dot{U}_{1B, HOM}}{\dot{I}_{\mu, B}} = \dot{Z}_{\mu, B} \quad U_{1H} = \dot{Z}_{1, HB} \cdot \dot{I}_{\mu, B} \quad \dot{K}_{T\beta} = \frac{\dot{U}_{1H}}{\dot{U}_{1B, HOM}} = \frac{\dot{Z}_{1, HB}}{\dot{Z}_{\mu, B}}$$

8



Коефициент на трансформация

$$\dot{k}_{T,HOM} = \sqrt{\dot{k}_{Ta} \cdot \dot{k}_{T\delta}}$$

$$|\dot{k}_{T,HOM}| \approx \frac{U_{H,HOM}}{U_{B,HOM}}$$

$$\dot{k}_{T,HOM} = k_{T,HOM} \overset{-m30^\circ}{|}$$

$$\dot{k}_T = \frac{U_{H,HOM} \overset{-m,30^\circ}{|}}{U_{B,OTKL}}; \quad U_{B,OTKL} = U_{B,HOM} \cdot \left(1 + \frac{s \cdot n_{\text{раб}}}{100}\right), \text{ V}$$

**Занапред
приемаме :**

$$\dot{Z}_\mu = \dot{Z}_{\mu H} \Rightarrow k_{T,HOM}^2 = \frac{\dot{Z}_\mu}{\dot{Z}_{\mu B}} \Rightarrow \dot{Z}_{\mu B} = \frac{\dot{Z}_\mu}{k_{T,HOM}^2}$$

9

Опит на късо съединение (с напрежение на права последователност)

- При захранване откъм ниското напрежение

– условия:

– измерва се:

– съотношения:

$$\begin{cases} \dot{U}_{1H} = \\ 0 = \end{cases}$$

$$\dot{U}_{1H} =$$

$$\dot{Z}_K = \frac{\dot{U}_{1H}}{\dot{I}_{1H}}, \Omega \quad \dot{Z}_K =$$

$$\dot{Z}_{1HB} =$$

Тъй като $\frac{\dot{Z}_K}{\dot{Z}_\mu} \ll 1$, то от правилото за приближеното равенство $\sqrt{1-x} \approx 1-0,5x$, ако $x \ll 1$,

следва че \dot{Z}_{1HB} може да се изчислява с израза:

$$\dot{Z}_{1HB} = \frac{1}{k_{T,HOM}} (\dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K)$$

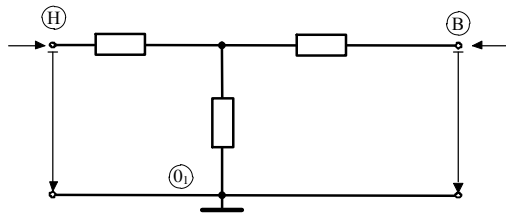
10



Т-образна заместваща схема за правата последователност

$$\begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{1H} \\ i_{1B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{1H} \\ \dot{U}_{1B} \end{bmatrix}$$

Поради симетрия на матрицата Z_{1T} следва:



11

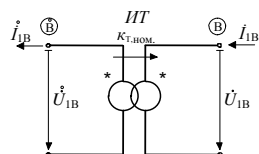
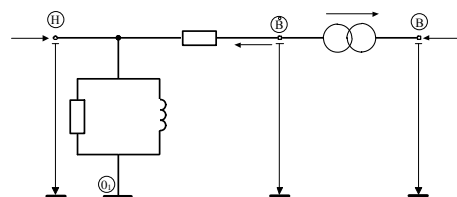
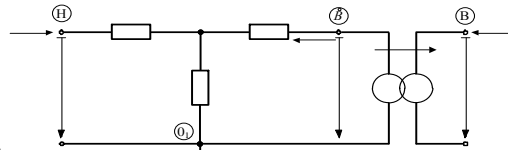
Заместващи схеми на права последователност с използване на идеален трансформатор

$$\Pi_U = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \kappa_{T,HOM} \end{bmatrix}; \Pi_I = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\kappa_{T,HOM}} \end{bmatrix}$$

$$\hat{Z}_{1T} = \Pi_U \cdot Z_{1T} \cdot \hat{\Pi}_U =$$

$$\hat{I}_{1T} = \Pi_I I_{1T} = \begin{bmatrix} I_{1H} \\ I_{1B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{1H} \\ \frac{I_{1B}}{\kappa_{T,HOM}} \end{bmatrix}$$

$$\hat{U}_{1T} = \Pi_U U_{1T} = \begin{bmatrix} U_{1H} \\ \kappa_{T,HOM} U_{1B} \end{bmatrix}$$



12



Матрица на съпротивлението Z_{0T} и заместващи схеми на нулева последователност

$Z_{0T} =$

$\dot{Z}_{0T} =$

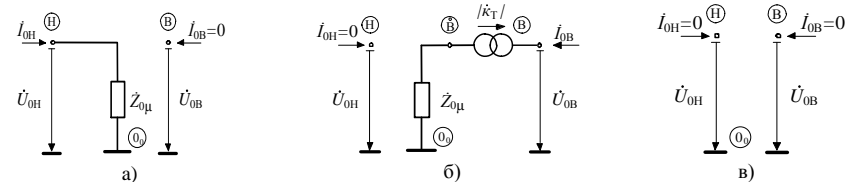
$\dot{Z}_{0K} \approx$

- за триядрен: $|\dot{Z}_{0\mu}| \ll |\dot{Z}_\mu|$

$|\dot{Z}_{0\mu, \nu(H)}| \approx X_{\mu^{\nu(H)}} =$

- за съставен от три еднофазни:

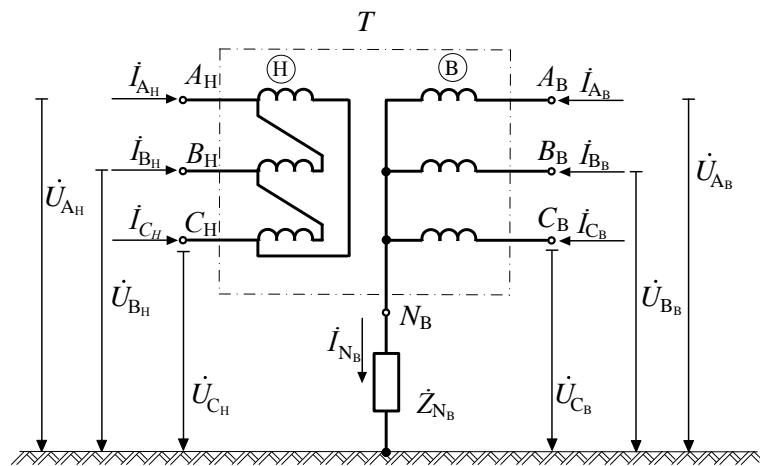
$\dot{Z}_{0\mu} = \dot{Z}_\mu$



Заместваща схема за нулева последователност на двунамотъчен трансформатор Y_0/Y_0-0 : а) звезден център N_n е директно заземен, а N_n – изолиран; б) N_n – директно заземен, а N_n – изолиран; в) N_n и N_n – изолирани;

13

Принципна схема



14



Матрици на съпротивленията, в симетрични координати

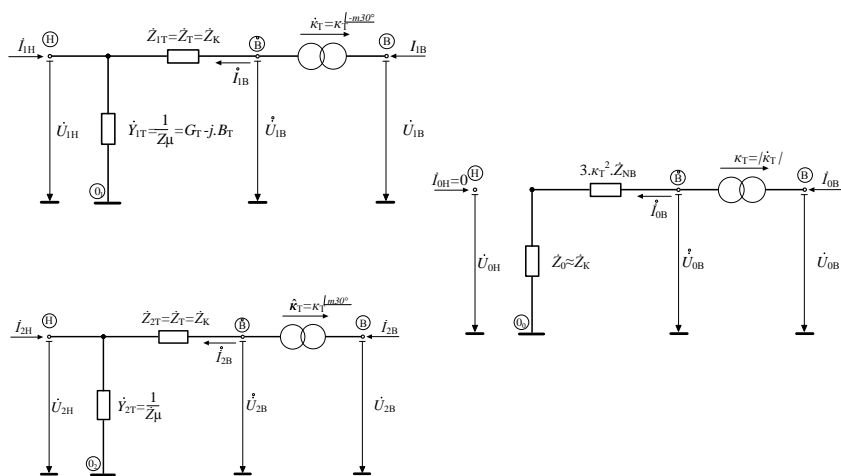
$$\mathbf{Z}_{1T} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\mu & \frac{1}{\dot{k}_T} \cdot (\dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K) \\ \frac{1}{\dot{k}_T} \cdot (\dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K) & \frac{1}{|\dot{k}_T|^2} \cdot \dot{Z}_\mu \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{Z}_{1T}^0 = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\mu & \dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K \\ \dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K & \dot{Z}_\mu \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z}_{2T} = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\mu & \frac{1}{\dot{k}_T} \cdot (\dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K) \\ \frac{1}{\dot{k}_T} \cdot (\dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K) & \frac{1}{|\dot{k}_T|^2} \cdot \dot{Z}_\mu \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{Z}_{2T}^0 = \begin{bmatrix} \dot{Z}_\mu & \dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K \\ \dot{Z}_\mu - 0,5 \cdot \dot{Z}_K & \dot{Z}_\mu \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Z}_{0T} = \begin{bmatrix} \infty & 0 \\ 0 & \left(\frac{1}{|\dot{k}_T|^2} \cdot \dot{Z}_{0K} + 3 \cdot \dot{Z}_{NB} \right) \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{Z}_{0T}^0 = \begin{bmatrix} \infty & 0 \\ 0 & \dot{Z}_{0K} + 3 \cdot |\dot{k}_T|^2 \cdot \dot{Z}_{NB} \end{bmatrix}$$

15

Заместващи схеми в симетрични координати

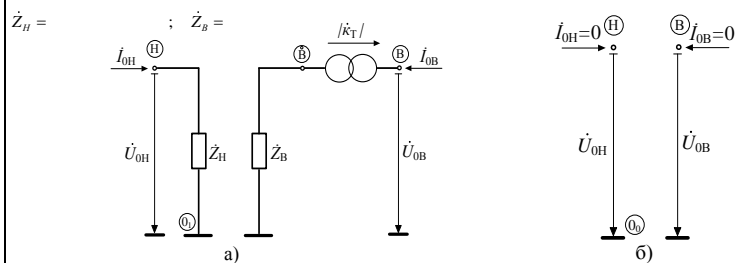


16



Обобщение за заместващите схеми

Последователност	Зависи ли от:		
	начина на свързване на намотките?	начина на заземяване на звездния център?	Начина на изпълнение на магнитопровода?
Права	не	не	не
Обратна	не	не	не
НУЛЕВА	ДА	ДА	ДА



Заместващи схеми за нулева последователност на двунамотъчен трансформатор:

- а) със свързване на намотките Y_0/z_0 и заземяване чрез и ;
 б) при изолирани и двата звездни центрове или свързване D/d

17