

CURS 15

MAȘINI ELECTRICE

Transformatorul electric – partea 2

CONTINUT

- ☐ **Determinarea parametrilor transformatorului**
 - **Pierderile in transformator**
 - **Randamentul transformatorului**
 - **Caracteristica externa si variația de tensiune ale transformatorului**

 - ☐ **Transformatorul trifazat**
 - **Particularitati constructive**
 - **Conexiunile transformatoarelor trifazate**

 - ☐ **Autotransformatorul**
-

❑ Determinarea parametrilor transformatorului

❑ Pierderile in transformator

Infasurarea primara a transformatorului **absoarbe** de la rețeaua de alimentare puterea activa:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

Iar Infasurarea secundara a transformatorului **debitează** consumatorului puterea activa:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

Diferența dintre cele doua puteri = suma pierderilor care apar la funcționarea in sarcina a transformatorului.

$$P_1 - P_2 = \sum p = p_{Fe} + p_{Cu}$$

↑ Pierderile in cuprul transformatorului.

↓
Pierderile in fierul transformatorului.

□ Pierderile in transformator

Pierderile in fier se compun din:

- pierderi prin histerezis magnetic (p_H);
- pierderi prin curenți turbionari – curenți Foucault (p_F).

$$p_{Fe} = p_H + p_F$$

Pierderile in fier sunt independente de sarcina, daca tensiunea de alimentare este constanta.

Pierderile in cupru sunt pierderile ce apar prin efect Joule – Lentz in infasurarile transformatorului si sunt dependente de sarcina.

$$p_{Cu} = p_{Cu1} + p_{Cu2} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

La proiectarea transformatoarelor se va tine seama ca raportul dintre pierderile in fier si pierderile in infasurari sa fie cuprinse intre 0.16-0.49.

□ Randamentul transformatorului

Randamentul transformatorului reprezintă o mărime caracteristică definită prin raportul adimensional dintre **puterea activă secundară (P_2)** debitată de transformator receptorului și **puterea activă absorbită de primar (P_1)** de la rețeaua de alimentare:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + p_{Fe} + p_{Cu}}$$

Randamentul nominal al transformatoarelor crește odată cu creșterea puterii transformatoarelor.

- la puteri de ordinul unitatilor sau zecilor de VA – $\eta < 70 \%$;
 - la puteri de zeci sau sute de kVA – $\eta = (95 \div 97 \%)$;
 - la puteri de ordinul zecilor de MVA – $\eta > 99 \%$.
-

□ Randamentul transformatorului

Caracteristica randamentului este dependența dintre randamentul transformatorului și gradul său de încărcare în sarcină în condiții de alimentare normală (U_{1n}, f_n).

Grad de încărcare în sarcină, $\beta = I_2 / I_{2n}$ = raportul dintre curentul debitat de transformator și valoarea nominală a curentului secundar.

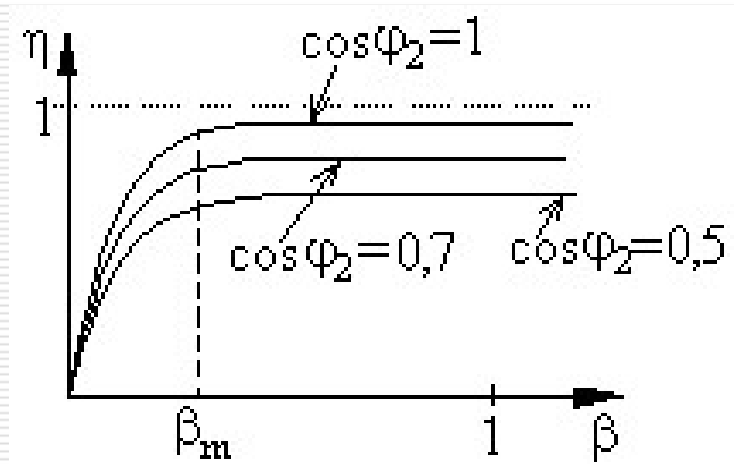
β - poate fi: $\beta = 0 \rightarrow$ funcționare în gol a transformatorului;

$\beta = 1 \rightarrow$ încărcarea transformatorului în sarcina nominală.

Valoarea randamentului mai depinde:

- de defazajul φ_2 dintre curentul și tensiunea din secundar;
 - de factorul de putere al sarcinii transformatorului, $\cos \varphi_2$.
-

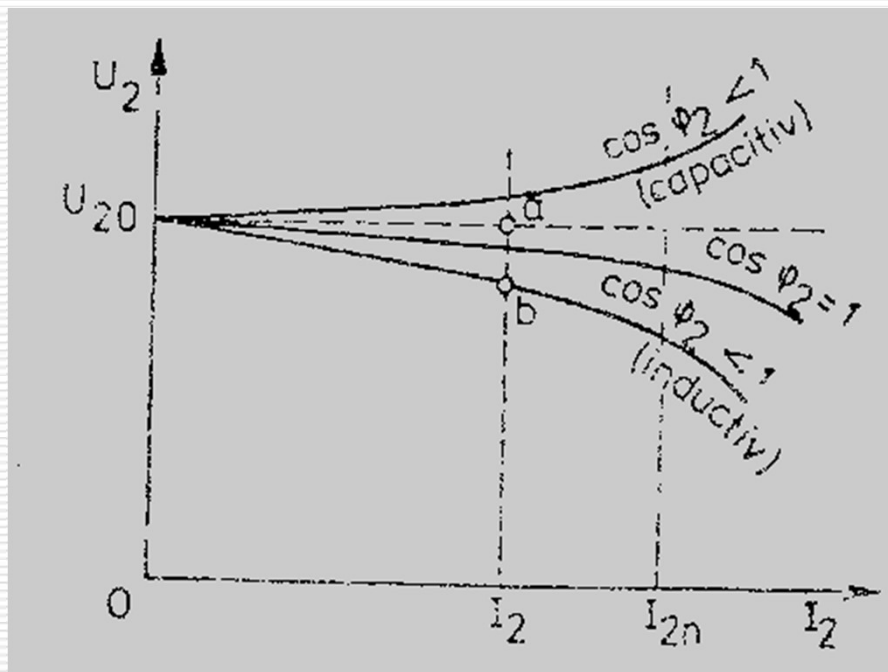
□ Randamentul transformatorului



- cu cât factorul de putere $\cos \varphi_2$ are o valoare mai redusă, cu atât randamentul este mai mic;
 - există o valoare optimă a gradului de încărcare în sarcină, β_m , pentru care randamentul este maxim;
 - funcționarea la sarcini reduse ($\beta < 0,2$) este neeconomică, deoarece randamentul are valori reduse.
-

□ Caracteristica externa si variatia de tensiune ale transformatoarelor

Caracteristica externa a unui transformator – dependenta tensiunii secundare (U_2), de curentul de sarcina (I_2) $\rightarrow U_2=f(I_2)$ la $U_1=U_{1n}=\text{const.}$ si $\cos\varphi_2=\text{const.}$



Reprezentate 3 valori ale defazajului dintre U_2 si I_2 :

- consumatori rezistivi (**$\cos\varphi_2=1$**);
- consumatori capacitivi (**$\cos\varphi_2<1$**);
- consumatori inductivi (**$\cos\varphi_2<1$**).

❑ Caracteristica externa si variația de tensiune ale transformatoarelor

In cazul consumatorilor **pur rezistivi si inductivi** (care reprezintă majoritatea consumatorilor) → **caracteristica este cazatoare** si mai puternic cazatoare cu cat consumatorul este mai inductiv.

Ex.: consumul casnic seara atunci când **tensiunea rețelei scade** deoarece majoritatea consumatorilor sunt acasă si consuma energie electrica.

In cazul consumatorilor **capacitivi** → **caracteristica externa este crescătoare**, deci la **creșterea curentului consumat tensiunea crește**, ceea ce conduce la apariția unor tensiuni periculoase ce pun in pericol funcționarea consumatorilor neprotejati la supratensiuni.



Nu se permite funcționarea consumatorilor cu caracter capacitiv.

□ Transformatorul trifazat

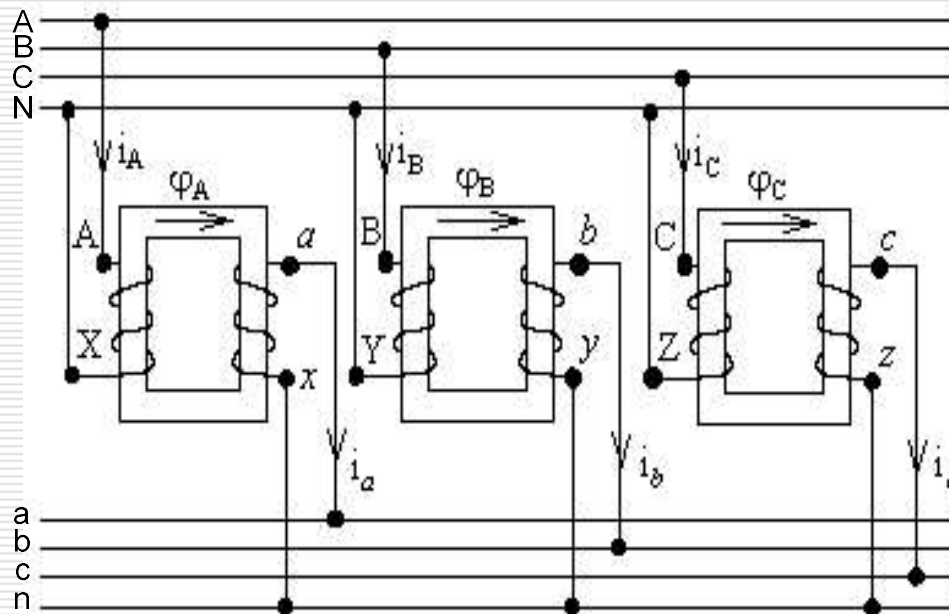
□ Particularitati constructive

Transformatoarele trifazate sunt utilizate in rețelele trifazate de transport si distribuție a energiei electrice industriale.

Transformatorul trifazat se poate realiza prin folosirea a 3 transformatoare monofazate identice, cate unul pentru fiecare faza, ale căror infasurari primare respectiv secundare se conectează intre ele:

- in stea sau triunghi (zigzag).
-

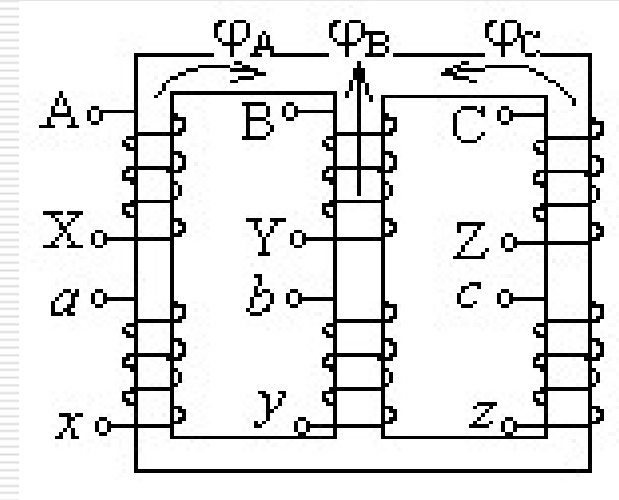
□ Particularitati constructive



- pe fiecare coloana se afla o infasurare primara si una secundara ale aceleiași faze;
- **primar** → capetele infasurarilor se notează cu **A, B, C** (pentru începuturi) si **X, Y, Z** (pentru sfarsituri);
- **secundar** → capetele infasurarilor se notează cu **a, b, c** (pentru începuturi) si **x, y, z** (pentru sfarsituri);
- **bornele de nul** → se notează cu **N** (primar) si **n** (secundar).

□ Particularitati constructive

$$\begin{aligned}
 u_A &= R_1 i_A + w_1 \frac{d\varphi_A}{dt} \longrightarrow u_A = \sqrt{2}U \sin \omega t \\
 u_B &= R_1 i_B + w_1 \frac{d\varphi_B}{dt} \longrightarrow u_B = \sqrt{2}U \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\
 u_C &= R_1 i_C + w_1 \frac{d\varphi_C}{dt} \longrightarrow u_C = \sqrt{2}U \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 u_{AB} &= u_A - u_B \\
 u_{BC} &= u_B - u_C \\
 u_{CA} &= u_C - u_A
 \end{aligned}$$

tensiuni de faza

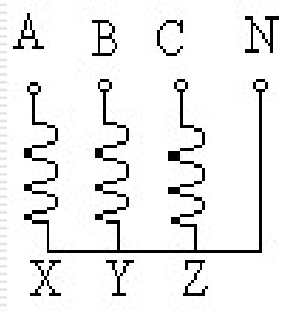
tensiuni de linie

$$u_A + u_B + u_C = R_1 (i_A + i_B + i_C) + w_1 \frac{d}{dt} (\varphi_A + \varphi_B + \varphi_C)$$

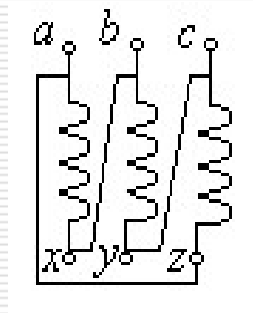
$$i_A + i_B + i_C = 0 \rightarrow \varphi_A + \varphi_B + \varphi_C = 0$$

❑ Conexiunile transformatoarelor trifazate

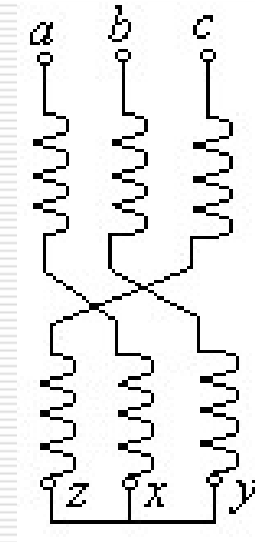
Infasurarile transformatoarelor trifazate pot fi conectate in:



↓
stea



↓
triunghi



↓
zigzag

❑ Conexiunile transformatoarelor trifazate

Conexiunea stea se notează cu **Y** (primar) si **y** (secundar).

Conexiunea triunghi se notează cu **D** (primar) si **d** (secundar).

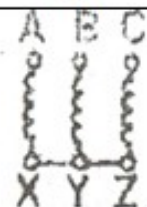
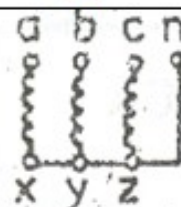
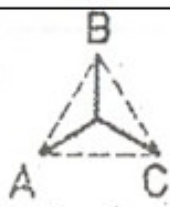
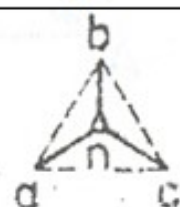

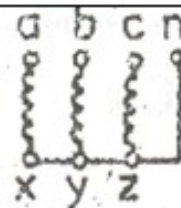
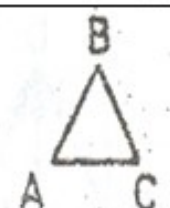

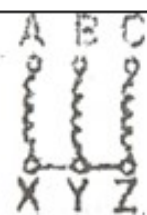
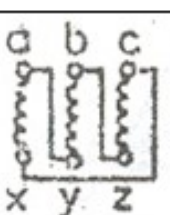
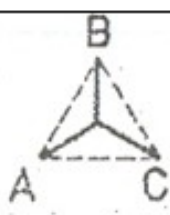
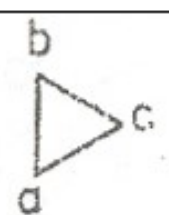
Conexiunea zigzag se utilizează numai in secundar si se notează cu **z**.

Tensiunea obținuta pe faza la zigzag < tensiunea care se obține la conexiunea stea a infasurarilor.

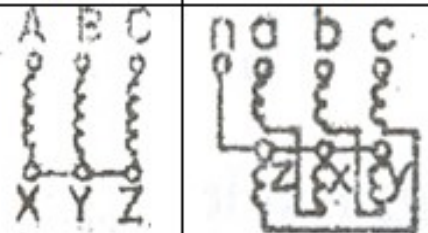
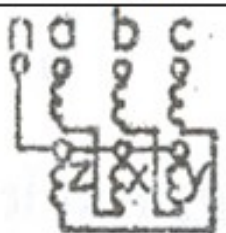
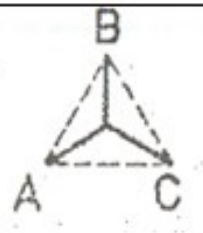
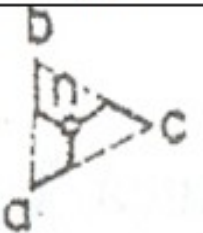

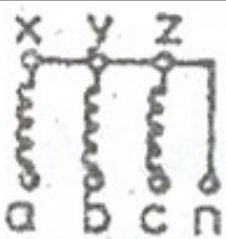


Dezavantaj: utilizarea unui număr de spire mai mare cu 1.155 ori pentru a se obține aceeași tensiune → cantitatea de cupru este mai mare.

Avantaj: uniformizarea incarcarii celor trei faze in cazul unei sarcini dezechilibrate (cazul rețelelor de iluminat cu conductor neutru).

□ Conexiunile transformatoarelor trifazate

Simbol	Schema de conexiuni		Diagrama de fazori		Raportul de transformare	Domeniul de utilizare
	IT	JT	IT	JT	U_{e1}/U_{e2}	
Yyn					$\frac{N_1}{N_2}$	- Tr. coborâtoare pentru distribuție de putere; - Tr. ridicătoare.
Dyn					$\frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	- Tr. coborâtoare pentru distribuție de lumina; - firul neutru se poate încărca 100%
Yd					$\frac{\sqrt{3} \cdot N_1}{N_2}$	Tr. coborâtoare sau ridicătoare pentru centrale și stații.

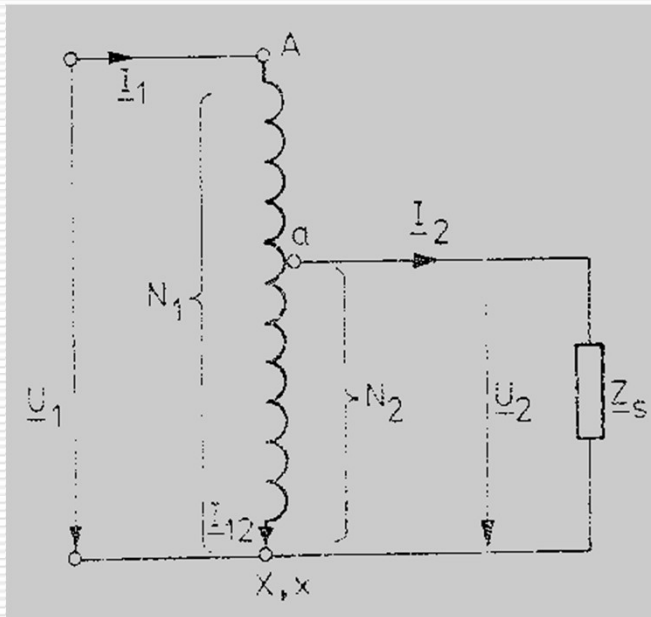
□ Conexiunile transformatoarelor trifazate

Simbol	Schema de conexiuni		Diagrama de fazori		Raportul de transformare	Domeniul de utilizare
	IT	JT	IT	JT	U_{e1}/U_{e2}	
Yz_n					$\frac{2 \cdot N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Ca la Dy _n Limita S=160kVA.
Dy_n					$\frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2}$	Ca la Dy _n

□ Autotransformatorul

Autotransformatorul este format ca și transformatorul obișnuit:

- dintr-un miez feromagnetic;
- 2 înfășurări: una primară cu N_1 spire și alta secundară cu N_2 spire legate galvanic între ele.



- autotransformatorul poate fi ridicător sau coborâtor de tensiune;

→ Autotransformator de tensiune la care înfășurare secundară face parte din înfășurarea primară.

□ Autotransformatorul

Deoarece fluxul magnetic străbate ambele infasurari, rezulta la funcționarea în gol:

$$k = \frac{U_{e1}}{U_{e2}} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

În mod obișnuit **raportul de transformare** al autotransformatoarelor variază între $0.5 \div 2$.

Autotransformatoare:

- **monofazate**
 - **trifazate** (utilizate în rețele de transport ca ridicătoare sau coborâtoare de tensiune, la pornirea motoarelor asincrone cu rotor în scurtcircuit).
-

Subiecte examen

1. Pierderile care apar la funcționarea transformatorului in sarcina – formule, semnificație mărimi.
 2. Randamentul transformatorului – definiție, formula, semnificație mărimi, valoare in funcție de ordinul de putere.
 3. Ce se intelege prin „grad de încărcare in sarcina” – definiție, formula, semnificație mărimi.
 4. Caracteristica randamentului pentru transformatoare in funcție de caracterul sarcinii – reprezentare grafica + explicații.
 5. Caracteristica externa a unui transformator in funcție de caracterul sarcinii – reprezentare grafica + explicații.
 6. Transformatorul trifazat – construcție, tensiunile de faza si tensiunile de linie .
 7. Conexiunile transformatoarelor trifazate – clasificare, reprezentarea schemelor de conectiuni.
-