

CURS 14

MAȘINI ELECTRICE

Transformatorul electric – partea 1

CONTINUT

- ☐ **Generalitati**
 - ☐ **Elemente constructive ale transformatorului**
 - ☐ **Funcționarea transformatorului monofazat**
 - **Funcționarea in gol a transformatorului;**
 - **Funcționarea in sarcina a transformatorului.**
-

□ Generalitati

Transformatoarele electrice – sunt aparate electromagnetice statice de c.a. cu doua sau mai multe infasurari cuplate magnetic, care transforma parametrii energiei electromagnetice (tensiunea, intensitatea curentului, numărul de faza), fara a modifica frecventa mărimilor alternative.

Transformatoarele electrice – pot fi monofazate sau polifazate.

Transformatorul monofazat cu doua infasurari este constituit din:

- **miez feromagnetic** (realizat din tole de otel electrotehnic pe care sunt așezate cele doua infasurari);
 - **infasurarea primara = primarul transformatorului** (este infasurarea care primește energia electromagnetica);
 - **infasurare secundara = secundarul transformatorului** (este infasurarea care cedează energie electromagnetica).
-

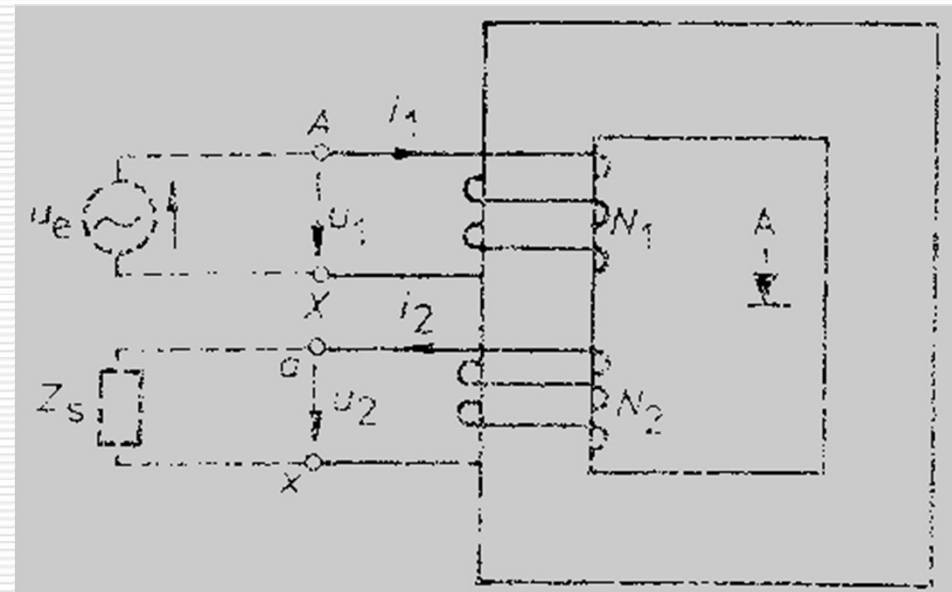
□ Generalitati

In studiul transformatorului, toate mărimile care se refera:

- la primarul transformatorului poarta **indicele 1**;
- la secundarul transformatorului poarta **indicele 2**.

Asocierea sensurilor pentru tensiuni si curenți:

- la primar cu convenția de la **receptoare**;
 - la secundar cu convenția de la **generatoare**.
-



□ Generalitati

Clasificarea transformatoarelor se poate face după mai multe criterii:

- după **numărul de faze** transformatoarele pot fi: **monofazate** sau **polifazate**, cele mai răspândite fiind cele **trifazate**;
- după **raportul de transformare** transformatoarele pot fi: **ridicătoare de tensiune** ($U_2 > U_1$) sau **coborâtore de tensiune** ($U_2 < U_1$);
- după **frecvența tensiunii de alimentare** transformatoarele pot fi: **de joasă frecvență** (cu circuit magnetic din otel electrotehnic) și de **înaltă frecvență** (cu circuit magnetic din ferite);
- după **utilizare** transformatoarele se clasifică în:
 - **transformatoare de putere (de forță)**, folosite în rețelele electrice;
 - **autotransformatoare**;
 - **transformatoare de măsură** (reductoare de tensiune sau de curent);
 - **transformatoare speciale** (de sudură, multiplicatoare statice de frecvență).

❑ Elementele constructive ale transformatorului

Transformatorul electric are 2 părți principale:

- elementele active
- elementele constructive.



Elementele active sunt miezul feromagnetic si infasurarile.

Rolul: asigura transformarea parametrilor energiei electromagnetice.

Elementele constructive sunt utilizate pentru protecția si solidarizarea elementelor active.

□ Elementele constructive ale transformatorului

Miezul feromagnetic servește:

- ca circuit magnetic de închidere al fluxului magnetic util;
- pentru mărirea cuplajului magnetic dintre infasurari.

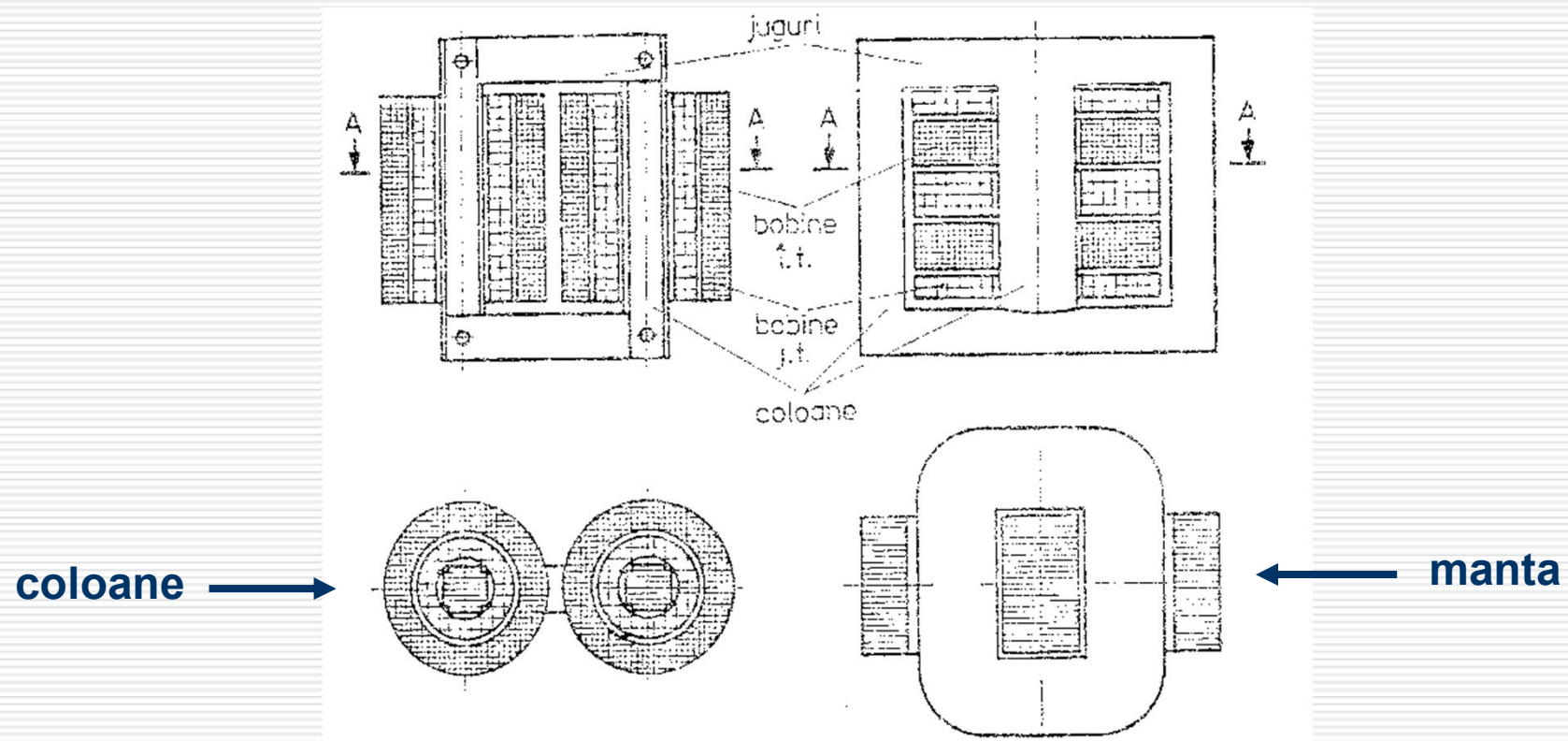
Pentru transformatoarele care sunt alimentate de la rețeaua industrială (50 Hz), **miezul feromagnetic** este realizat din tole de otel electrotehnic, cu grosimi de 0.3, 0.35 sau 0.5 mm, izolate între ele cu hârtie, oxizi sau straturi ceramice.

Miezul feromagnetic al transformatorului are 2 părți principale:

- **coloanele** (porțiunile de miez pe care se asează infasurarile transformatorului);
 - **jugurile** (porțiunile de miez care închid circuitul magnetic al coloanelor);
-

□ Elementele constructive ale transformatorului

Exista doua variante constructive de miezuri: **cu coloane** si **in manta**.



□ Elementele constructive ale transformatorului

Infasurarile transformatorului:

- sunt infasurari solenoidale cu spire circulare (la puteri mari) sau dreptunghiulare (la puteri mici), construite din conductoare de cupru sau aluminiu, izolate cu email, hârtie de cablu sau bumbac;
- sunt izolate între ele și fata de circuitul magnetic prin spații de aer sau straturi de materiale izolante.

Funcționarea unui transformator → **pierderi** → **încălzire**.

Răcirea transformatorului:

- pentru puteri **< 5kVA**, răcirea se face prin circulația naturală a aerului (transformatoare uscate);
 - pentru puteri cuprinse între **5 și 20 000 kVA**, răcirea se face prin circulația naturală a uleiului;
 - pentru puteri **> 20 000 kVA**, răcirea se face cu circulație forțată a uleiului sau utilizând ventilatoare.
-

☐ Funcționarea transformatorului monofazat

Transformatorul electric funcționează pe baza **legii inducției electromagnetice** și anume a inducției mutuale dintre două bobine (înfășurările primară și secundară), cuplate magnetic.

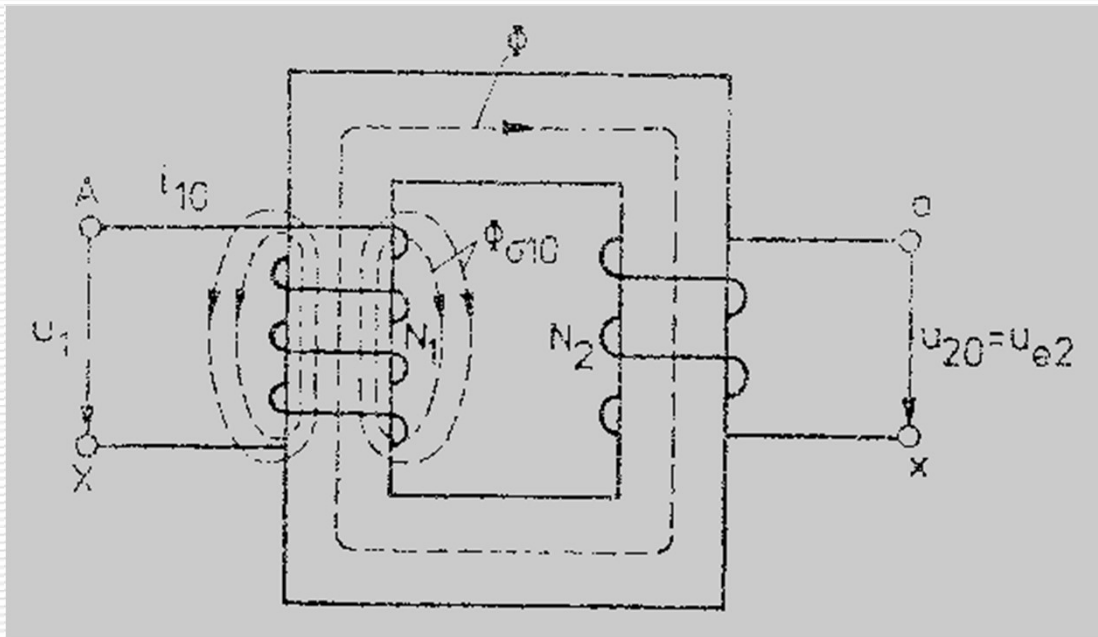
Un transformator poate funcționa într-unul din următoarele regimuri:

- ☐ regimul de funcționare **in gol**;
 - ☐ regimul de funcționare **in sarcină**.
-

□ Funcționarea in gol a transformatorului

Un transformator **funcționează in gol** când:

- înfășurarea secundară este deschisă ($I_2=0$, $Z_s=\infty$);
- înfășurarea primară este alimentată cu frecvența și tensiunea nominală.



i_{10} – curent de mers in gol;

$N_1 i_{10}$ – solenația primară;

Φ – flux magnetic fascicular util;

$\Phi_{\sigma 10}$ – flux magnetic total de dispersie;

u_1 – tensiunea de alimentare a înfășurării primare;

u_{20} – tensiunea de alimentare a înfășurării secundare (la mers in gol).

□ Funcționarea in gol a transformatorului

Fluxul fascicular util Φ :

- induce in infasurarea primara t.e.m.: $u_{e1} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

- iar in infasurarea secundara t.e.m.: $u_{e2} = -N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

Presupunem ca fluxul fascicular util este de forma: $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$

Tensiunea indusa in infasurarea primara va fi:

$$u_{e1} = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t = N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_m \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Valoarea efectiva este:

$$U_{e1} = \frac{N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 N_1 \cdot f \cdot \Phi_m$$

□ Funcționarea in gol a transformatorului

In mod analog, valoarea efectiva a t.e.m. indusa in infasurarea secundara este:

$$U_{e2} = \frac{N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 N_2 \cdot f \cdot \Phi_m$$

Fluxul magnetic total de dispersie $\Phi_{\sigma 10}$, va induce in infasurarea primara o t.e.m. de dispersie:

$$u_{e\sigma 10} = - \frac{d\Phi_{\sigma 10}}{dt} = - L_{\sigma 1} \cdot \frac{di_{10}}{dt}$$

inductanța de dispersie a infasurarii primare

Aplicând legea inducției electromagnetice circuitului primar si celui secundar rezulta:

$$u_{e1} + u_{e\sigma 10} = R_1 \cdot i_{10} - u_1 \qquad u_{e2} = u_{20}$$

rezistenta infasurarii primare

□ Funcționarea in gol a transformatorului

Deoarece $I_{10} = (0.5 \div 0.8) I_{1n}$, se poate neglija căderea de tensiune pe impedanța înfășurării primare ($Z_1 \cdot I_{10}$), deci:

$$U_1 \cong U_{e1} = 4.44 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi_m$$

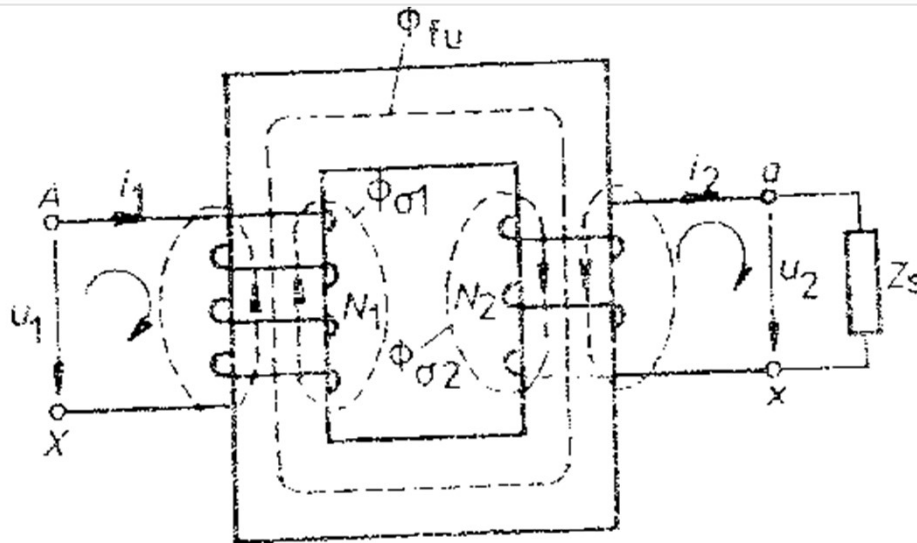
Raportul de transformare este definit ca raportul dintre valorile efective ale t.e.m. primara si secundara.

$$k = \frac{U_{e1}}{U_{e2}}$$

□ Funcționarea în sarcină a transformatorului

Un transformator **funcționează în sarcină** când:

- înfășurarea secundară este conectată la un consumator având impedanța Z_s ;
- înfășurarea primară este alimentată cu frecvența și tensiunea nominală.



i_1, i_2 - curenții prin înfășurarea primară / secundară;

$N_1 i_1, N_2 i_2$ - solenația primară / secundară;

Φ_{fu} - flux magnetic fascicular util pentru primar respectiv secundar;

$\Phi_{\sigma 1}, \Phi_{\sigma 2}$ - flux magnetic de dispersie pentru primar respectiv secundar;

U_1, U_2 - tensiunea de alimentare a înfășurării primare respectiv secundare;

□ Funcționarea în sarcină a transformatorului

Suma fazorială a fluxurilor utile ($\Phi_{fu1} + \Phi_{fu2}$) = fluxul fascicular util din miezul transformatorului (Φ_{fu}) = cu fluxul fascicular util de la funcționarea în gol a transformatorului.

$$\underline{\Phi}_{fu1} + \underline{\Phi}_{fu2} = \underline{\Phi}_{fu}$$

Dacă se înlocuiește relația dintre fluxuri cu o relație între solenoizii, se obține:

$$N_1 \cdot \underline{I}_1 + N_2 \cdot \underline{I}_2 = N_1 \cdot \underline{I}_{10}$$

sau:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_{10} - \frac{N_2}{N_1} \cdot \underline{I}_2$$

□ Funcționarea în sarcină a transformatorului

Fluxul magnetic fascicular util Φ_{fu} :


- induce în înfășurarea primară t.e.m.: $u_{e1} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_{fu}}{dt}$

- iar în înfășurarea secundară t.e.m.: $u_{e2} = -N_2 \cdot \frac{d\Phi_{fu}}{dt}$

Fluxul magnetic total de dispersie util $\Phi_{\sigma 1}$, induce în înfășurarea primară t.e.m. de dispersie:

$$u_{e\sigma 1} = -\frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = -L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt}$$

Fluxul magnetic total de dispersie util $\Phi_{\sigma 2}$, induce în înfășurarea secundară t.e.m. de dispersie:

$$u_{e\sigma 2} = -\frac{d\Phi_{\sigma 2}}{dt} = -L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt}$$


inductanța de dispersie a înfășurării secundare a transformatorului.

Subiecte examen

1. Transformatorul electric – definiție.
2. Clasificarea transformatoarelor după numărul de faze si după raportul de transformare.
3. Clasificarea transformatoarelor după frecventa tensiunii de alimentare si după utilizare.
4. Elementele constructive ale transformatorului – clasificare, rolul acestora.
5. Cum se realizează răcirea transformatoarelor in funcție de ordinul de putere .
6. Funcționarea transformatorului in gol – condiții de funcționare, tensiunea electromotoare indusa in infasurarea primara si secundara (formule, semnificație mărimi).
7. Valorile efective ale tensiunii electromotoare induse in infasurarea primara si secundara la funcționarea transformatorului in gol – formule, semnificație mărimi.
8. Raportul de transformare la funcționarea transformatorului in gol – formula, semnificație mărimi.
9. Funcționarea transformatorului in sarcina – condiții de funcționare, tensiunea electromotoare indusa in infasurarea primara si secundara (formule, semnificație mărimi).