

Laboratorul numărul 10

Variația de tensiune secundară și randamentul transformatoarelor

A. Variația de tensiune secundară

La funcționarea în sarcină a unui transformator tensiunea la bornele secundarului se modifică față de tensiunea de mers în gol în funcție de natura sarcinii (activă, inductivă, capacitivă sau mixtă). Această modificare, denumită variația de tensiune în secundarul transformatorului se determină cu relația:

$$\Delta U = U_{20} - U_2$$

unde:

- U_{20} este tensiunea la bornele secundarului la funcționarea în gol;
- U_2 - tensiunea la bornele secundarului la funcționarea în sarcină.

Pentru o apreciere mai corectă, variația de tensiune secundară se calculează în mărimi raportate la primar cu relația:

$$\Delta U' = U_1 - U_2'$$

Adeseori, variația de tensiune se exprimă în procente din tensiunea nominală primară:

$$\Delta u = \frac{U_{20}' - U_2'}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Modul de variație a tensiunii secundare respectiv variația de tensiune secundară în funcție de curentul secundar, pentru diverse tipuri sarcini este următoarea:

- $\varphi > 0$ - sarcină activ-inductivă; - apare o cădere semnificativă a tensiunii în secundar;
- $\varphi = 0$ - sarcină pur activă; - apare o cădere mică a tensiunii în secundarul transformatorului comparativ cu sarcina activ-inductivă;
- $\varphi < 0$ - sarcină activ-capacitivă. – conduce la o creștere a tensiunii în secundarul transformatorului.

B. Randamentul transformatoarelor

La funcționarea în sarcină a transformatorului apar următoarele pierderi:

- pierderi în fier;
- pierderi în cupru;

Randamentul transformatorului reprezintă raportul dintre puterea utilă și puterea absorbită:

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

unde:

P_2 - puterea utilă;

P_1 - Puterea absorbită.

Luând în considerație pierderile în transformator precum și relația de bilanț a puterilor:

$$P_1 = P_2 + \Sigma p$$

obținem pentru randament expresia:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = \frac{m \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2}{m \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 + p_{scN} + p_{Fe}}$$

unde:

m - numărul de faze ale transformatorului;

p_{scN} - pierderile de scurtcircuit nominale sau pierderile Joule;

p_{Fe} - pierderile de mers în gol la tensiune și frecvență nominale ale transformatorului.

Pentru a simplifica expresia randamentului, standardele admit să nu se țină seama de variația de tensiune secundară. Astfel, pentru $U_2=U_{2N}=c.t$ și $\cos\varphi_2=ct.$ considerând drept factor de încărcare raportul:

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1N}} = \frac{I_2}{I_{2N}}$$

Astfel expresia randamentului poate fi scrisă:

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2 + \beta^2 \cdot P_{scN} + P_0}$$

unde:

- S_N – puterea aparentă nominală a transformatorului;
- P_{scN} – puterea activă de scurtcircuit;
- P_0 – puterea activă de mers în gol.

Pentru $\cos \varphi_2 = c.t.$, singura variabilă este β astfel încât condiția ca randamentul să fie maxim se obține când:

$$\beta = \sqrt{\frac{P_0}{P_{scN}}}$$

Randamentul unui transformator este maxim atunci când pierderile variabile în înfășurările transformatorului sunt egale cu pierderile constante în fier.

Deoarece transformatorul nu are părți în mișcare, pierderile sunt relativ reduse, iar randamentul este foarte ridicat, atingând la transformatoarele de putere valori de $0,98 \div 0,99$.

Valoarea maximă a randamentului este dată de expresia:

$$\eta = \frac{S_N \cdot \cos \varphi_2}{S_N \cdot \cos \varphi_2 + 2 \cdot \sqrt{P_{scN} + P_0}}$$

De asemenea, transformatoarele funcționând timp îndelungat la sarcini mai mici decât sarcinile nominale, raportul pierderilor se alege astfel încât randamentul să rezulte maxim un curent de sarcină $I_1 = (0,3 \div 0,6) \cdot I_{1N}$, în această situație, raportul pierderilor este $P_{scN}/P_0 = 3 \div 1,1$. Pentru transformatoarele de putere se constată că randamentul variază foarte puțin după trecerea valorii maxime.

Procedeu experimental

Lucrarea își propune determinarea variației de tensiune și a randamentului unui transformator monofazat prin ambele metode, directă și indirectă comparându-se în final rezultatele.

1. Se realizează schema electrică de montaj din Fig. 1. pentru transformatorul monofazat:

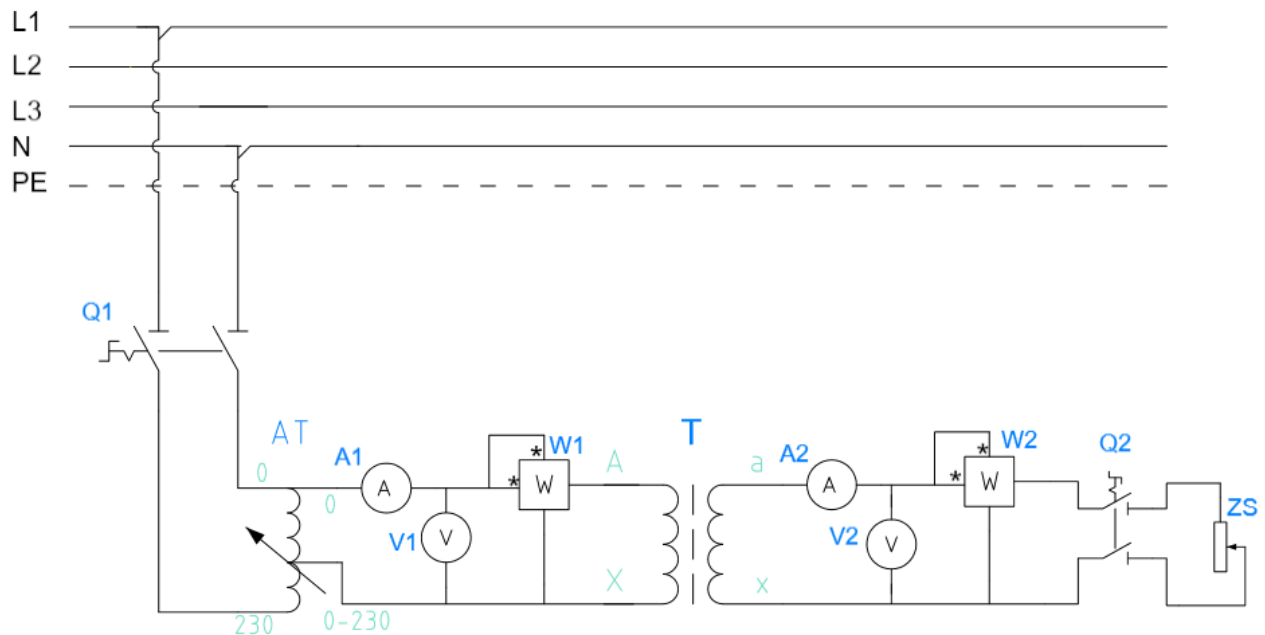


Fig. 1. Încercarea transformatorului monofazat

2. Se realizează încercarea de mers în gol:

- cu Q_2 , deschis, se alimentează primarul transformatorului cu tensiunea nominală $U_1=230V$ ca:

- Se măsoară tensiunea la bornele secundare U_2 , curentul absorbit de primar I_0 și puterea absorbită de primar P_0 ;

Prin încercarea de mers în gol se determină următoarele mărimi:

a) Raportul de transformare care se deduce din alimentarea primarului cu tensiune nominală și măsurarea tensiunii de mers în gol în secundarul transformatorului:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

unde tensiunile sunt măsurate pe fază.

b) Curentul de mers în gol: Pentru transformatorul monofazat valoarea acestui curent este citită la ampermetrul montat în primarul transformatorului. La transformatorul trifazat, curentul de mers în gol se ia ca medie aritmetică a curenților de fază de pe cele trei faze ale transformatorului. Valorile maxime admisibile ale curentului de mers în gol sunt fixate, de regulă, prin standarde, în unități relative, în funcție de puterea și de tensiunea

transformatorului. Aceste valori variază între $(2\div 10)\% \cdot I_{1N}$, procentul mare referindu-se la transformatoarele de mică putere.

c) Pierderile de mers în gol: Puterea P_0 absorbită de transformator în acest regim de funcționare acoperă pierderile în fier și pe cele în cupru: $P_0 = p_{Fe} + p_{Cu}$

Deoarece curentul de mers în gol este mic, atunci pierderile în cupru sunt neglijabile astfel încât P_0 compensează pierderile în fier prin curenți turbionari și histerezis:

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

Cu valorile nominale obținute pentru I_0 și P_0 se vor calcula parametrii echivalenți ai circuitului magnetic al transformatorului:

- factorul de putere la mersul în gol:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1N} \cdot I_0}$$

- impedanța de magnetizare Z_m :

$$Z_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_{20}}{I_0} = K \cdot \frac{U_{20}}{I_0}$$

- rezistența de magnetizare R_m :

$$R_m = \frac{P_0}{I_0^2}$$

- reactanța de magnetizare X_m :

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}$$

Rezistențele R_1 și R_2 , reprezintă rezistențele ohmice ale înfășurărilor primară și secundară și se vor determina printr-o metoda cunoscută de măsurare în curent continuu a rezistențelor.

Astfel se completează tabelul:

Tabelul 1

U_{1N} [V]	U_{20} [V]	K	I_0 [A]	P_{10} [W]	Z_m [Ω]	R_m [Ω]	X_m [Ω]	p_{Fe} [W]

3. Se realizează încercarea de scurtcircuit:

- Se închide Q_2 , pe impedanța variabilă Z_s pe valoare;

- Se alimentează primarul transformatorului cu tensiune crescătoare de la zero, cu ajutorul autotransformatorului, până când înfășurarea secundară este parcursă de curentul nominal I_{2N} .

Astfel la încercarea de scurtcircuit se determină următoarele mărimi:

a) Tensiunea de scurtcircuit.

Tensiunea cu care a fost alimentat primarul transformatorului în regim de scurtcircuit, la atingerea curentului $I_{2sc}=I_{2N}$, se numește tensiune nominală de scurtcircuit. Această mărime este foarte importantă în funcționarea transformatorului fiind specificată de regulă pe plăcuța indicatoare a acestuia.

Tensiunea de scurtcircuit este fixată prin standarde, în funcție de puterea și tensiunea nominală ale transformatorului, fiind exprimată în procente și variază între (5,5÷10,5)% din tensiunea primară nominală ($U_{sc}=5,5\div 10,5\%U_{1N}$).

b) Pierderile de scurtcircuit

Tensiunea de scurtcircuit aplicată transformatorului fiind redusă, fluxul și inducția magnetică din miez sunt relativ mici, astfel încât pierderile în fier pot fi neglijate. De asemenea, se neglijează, datorită valorii reduse, și curentul de magnetizare (de mers în gol), astfel încât relația între curenții nominali din primar și secundar este: $I_{1N} = I_2'$ unde I_2' este curentul nominal secundar raportat.

Puterea utilă a transformatorului fiind nulă deoarece $U_2=0$, puterea absorbită de primar P_{scN} reprezintă pierderile în cuprul transformatorului corespunzătoare sarcinii nominale (p_{scN}):

$$P_{scN} = p_{scN} = R_{sc} \cdot I_{1N}^2$$

Se măsoară valorile nominale obținute în regim de scurtcircuit calculându-se parametrii de scurtcircuit și componentele tensiunii de scurtcircuit ale transformatorului:

- rezistența de scurtcircuit R_{sc} :

$$R_{sc} = \frac{P_{scN}}{I_{1N}^2}$$

- impedența de scurtcircuit Z_{sc} :

$$Z_{sc} = \frac{U_{sc}}{I_{1N}}$$

- reactanța de magnetizare X_{sc} :

$$X_{sc} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{sc}^2}$$

U_{1N} : - componenta activă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice respectiv procentual din

$$U_{sca} = R_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$U_{sca} = \frac{R_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

- componenta reactivă a tensiunii de scurtcircuit în unități fizice sau procente:

$$U_{scr} = X_{sc} \cdot I_{1N}$$

$$u_{scr} = \frac{X_{sc} \cdot I_{1N}}{U_{1N}} \cdot 100\%$$

Cu valorile obținute pentru componentele tensiunii de scurtcircuit (U_{sc} , U_{sca} și U_{scr}) se construiește triunghiul de scurtcircuit care, pentru sarcina nominală $I_{1sc}=I_{1N}$ poartă denumirea de triunghiul fundamental de scurtcircuit (Fig. 2).

Tabelul 2

$U_{1N}[V]$	$I_{sc}[A]$	$P_{1sc}[W]$	$Z_{sc}[\Omega]$	$R_{sc}[\Omega]$	$X_{sc}[\Omega]$	$p_{Cu}[W]$	U_{sca}	U_{scr}

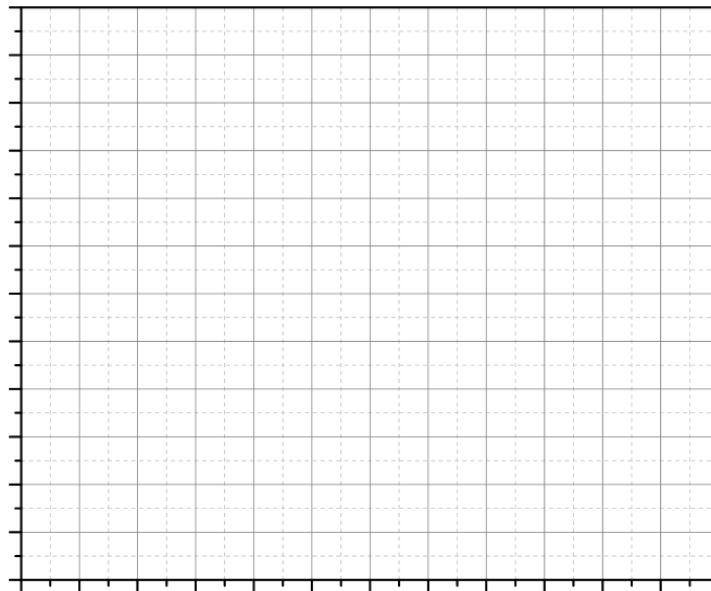


Fig. 2 – Triunghiul fundamental de scurtcircuit

Triunghiul de scurtcircuit fiind un triunghi dreptunghic la construirea lui sunt necesare două laturi: U_{sca} și U_{scr} . și va rezulta astfel φ_{sc} , unghiul dintre cele două tensiuni) e reprezintă defazajul transformatorului. Valoarea acestui defazaj este dată de relația:

$$\operatorname{tg} \varphi_{sc} = \frac{U_{scr}}{U_{sca}} = \frac{X_{sc}}{R_{sc}}$$

Acest defazaj variază cu puterea transformatorului. La transformatoarele mari se poate neglija componenta activă a tensiunii de scurtcircuit.

4. Se realizează încărcarea în sarcină a transformatorului:

- se alimentează transformatorul de la rețea cu tensiunea nominală $U_1=U_{1N}$;

- se închide întrerupătorul Q2, pe impedanța de sarcină Z_s ;

- - pentru diverse impedanțe de sarcină la $\varphi > 0$ - sarcină activ-inductivă, la $\varphi = 0$ - sarcină pur activă și $\varphi < 0$ - sarcină activ-capacitivă se variază curentul din circuitul secundar de la 0 la $1,25 \cdot I_{1N}$.

- se completează tabelul 3 cu rezultatele obținute pentru fiecare tip de sarcină cu care s-a încărcat transformatorul.

- Tabelul 3

Tipul de sarcină	U_1 [V]	I_1 [A]	P_1 [W]	$\cos \varphi_1$	U_2 [V]	I_2 [A]	P_2 [W]	$\cos \varphi_1$	ΔU [V]	η
$\varphi > 0$ – R_s activ-inductivă										
$\varphi = 0$ - R_s pur activă										
$\varphi < 0$ – R_s activ-capacitivă										

- Se trasează caracteristicile: $U_2=f(I_2)$, $\eta=f(I_2)$ $\Delta U=f(I_2)$ pentru toate cele trei tipuri de sarcină.

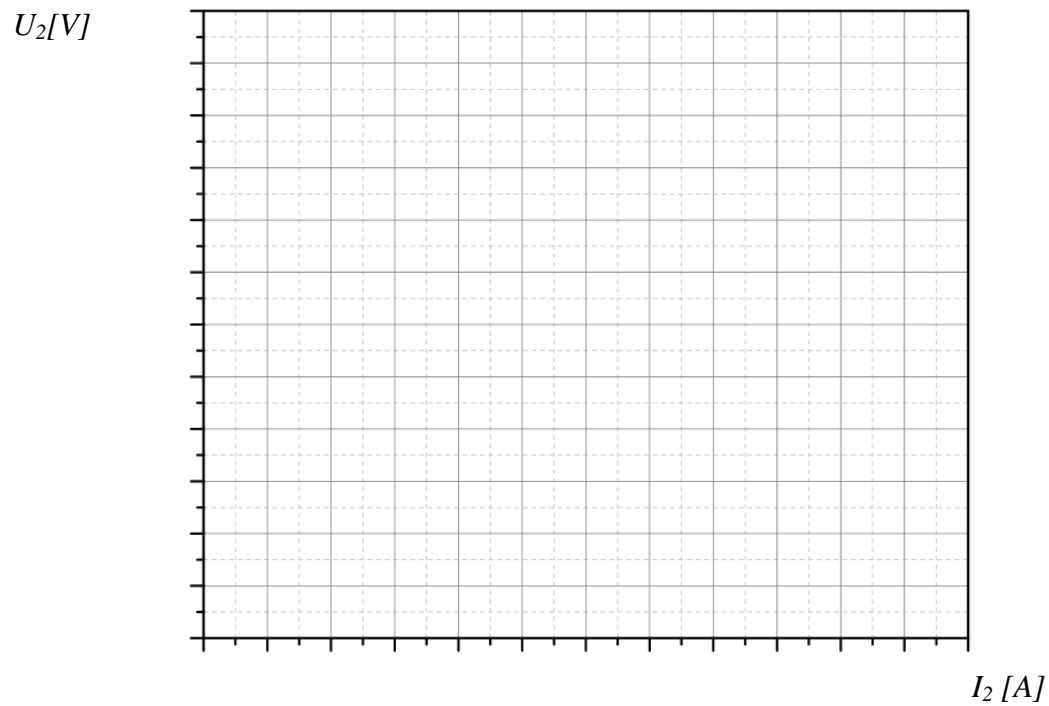


Fig. 3 – Variația tensiunii în secundarul transformatorului

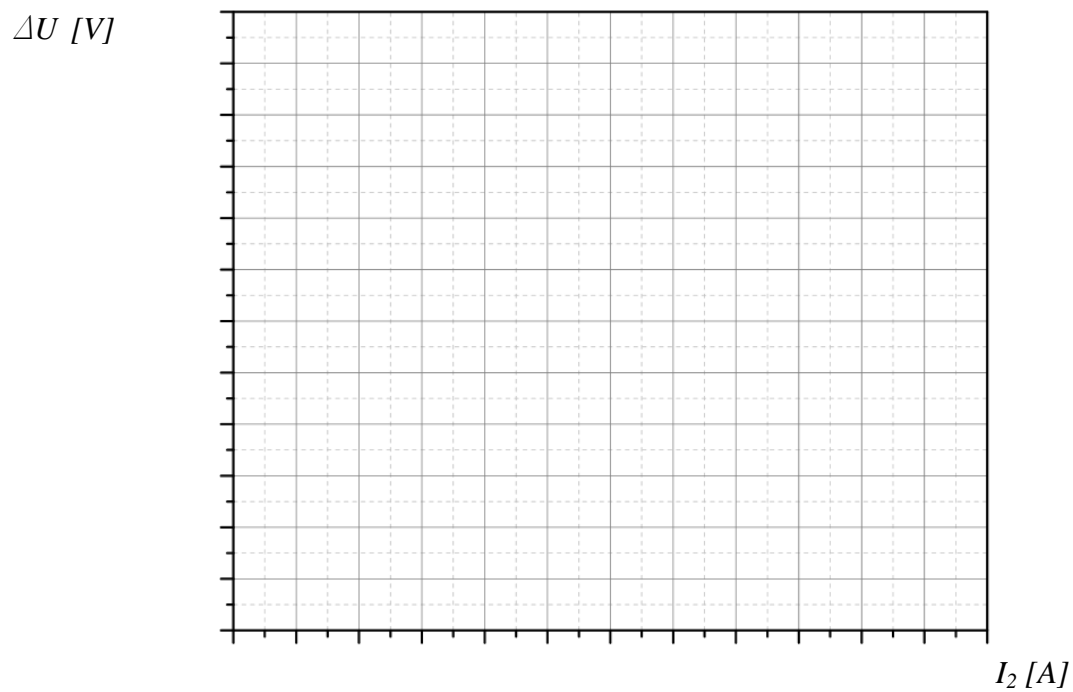


Fig. 4 – Caderea de tensiune în secundarul transformatorului

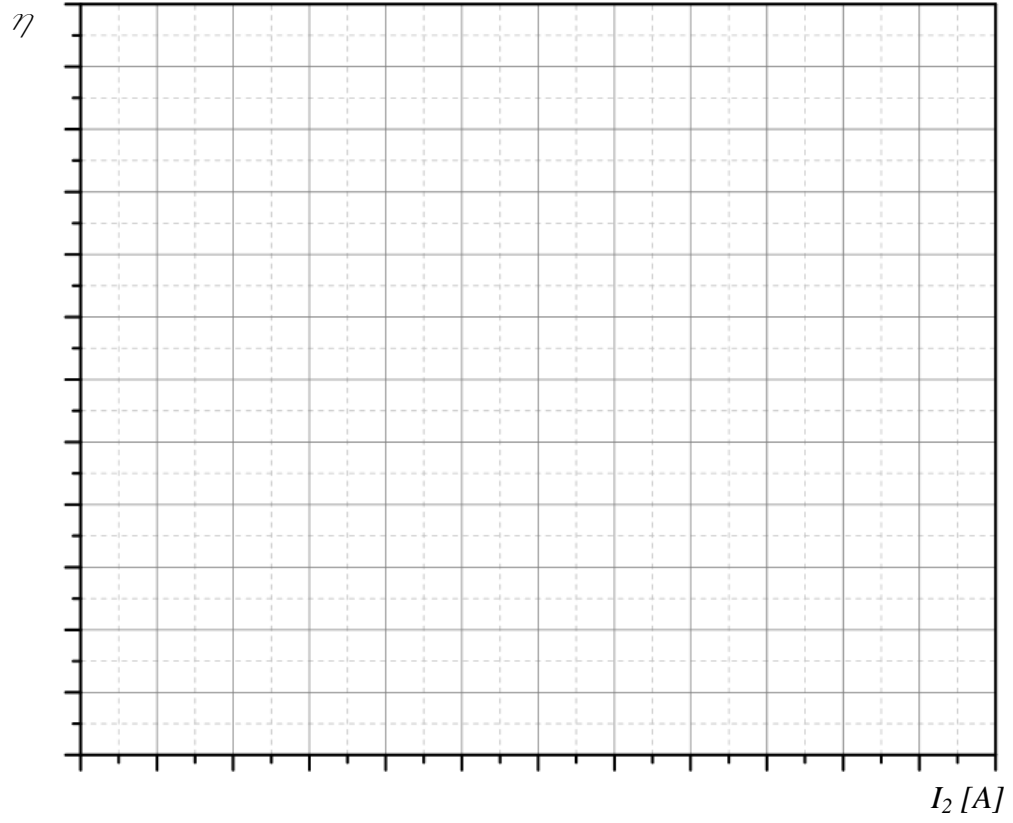


Fig. 5 – Randamentul transformatorului