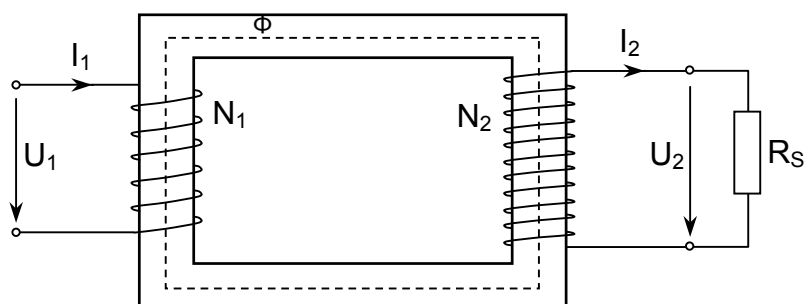


## 3. TRANSFORMATORUL

---

### 3.1 Principiul transformatorului

Transformatorul este un aparat electrotehnic static, bazat pe fenomenul inducției electromagnetice, construit pentru a primi putere electrică, în curent alternativ, sub o tensiune  $U_1$  și o intensitate  $I_1$  aplicată unui circuit primar și a o reda, cu aceeași frecvență, sub o tensiune  $U_2$  și o intensitate  $I_2$  la bornele unui circuit secundar, ca în figura 3.1.



**Fig. 3.1** Transformatorul

Transformatorul permite, deci, *transformarea* unei tensiuni în altă tensiune, transformare necesară pentru transportul (transferul) și distribuția cu pierderi minime de energie electrică în curent alternativ.

### 3.2 Construcția și funcționarea transformatorului monofazat

Transformatorul monofazat se compune dintr-un miez (cadru) din fier ce realizează un circuit magnetic închis, format din tole cu grosimea de 0,3, ..., 0,5 mm, izolate între ele cu lac sau cu hârtie pentru a împiedica formarea curenților Foucault de mare intensitate. Materialul utilizat pentru realizarea tolelor este un aliaj de fier cu 1,5, ..., 4% Si, numit ferosiliciu, în care pierderile de energie sunt

minime, atunci când, la inversarea magnetizării, energia electrică se transformă în căldură (fenomenul de histerezis). Pe miez se bobinează două înfășurări (bobine) din sârmă de cupru. Miezul magnetic realizează un cuplaj magnetic strâns între aceste înfășurări prin concentrarea liniilor câmpului de inducție magnetică și mărește fluxul de inducție magnetică (pentru fier  $\mu_r \gg 1$ ) prin spirele celor două circuite. Circuitul cărui  $i$  se aplică tensiunea generatorului de alimentare se numește *primar*. Al doilea circuit se numește *secundar*. Acesta este generatorul de tensiune pe linia de întrebuințare.

Presupunem că ambele circuite ale transformatorului au spirele înfășurate în același sens și că fiecare are  $N_1$  respectiv  $N_2$  spire. Transformatorul se consideră că funcționează în gol ( $i_2 = 0$ , adică circuitul secundar este fără consumator). Dacă se aplică transformatorului tensiunea alternativă  $u_1$  de valoare efectivă  $U_1$  în primar apare curentul de intensitate  $i_1$  și valoare efectivă  $I_1$ . Acesta dă naștere fluxului magnetic alternativ, având valoarea instantanee  $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ . Acest flux variabil care străbate spirele ambelor înfășurări face să apară în cele  $N_1$  spire ale primarului o t.e.m. de autoinducție:

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = N_1 \omega \Phi_m \sin \omega t$$

iar în secundar, t.e.m. este:

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = N_2 \omega \Phi_m \sin \omega t$$

Facem raportul celor două relații:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Conform legii lui Ohm, în circuitul primar suma dintre tensiunea de alimentare  $u_1$  și t.e.m. de autoinducție  $e_1$  trebuie să fie egală cu căderea de tensiune din primar:

$$u_1 + e_1 = R_1 i_1$$

unde  $R_1$  este rezistența primarului.

De obicei, valoarea lui  $R_1$  este mică și produsul  $R_1 i_1$  se poate neglija, astfel încât:

$$e_1 \approx -u_1$$

Semnul " - " arată că t.e.m. de autoinducție este în opoziție de fază cu tensiunea rețelei de alimentare a transformatorului,  $u_1$ .

La funcționarea în gol a transformatorului, t.e.m.  $e_2$  este egală cu tensiunea  $u_2$  de la bornele secundarului:

$$e_2 = u_2$$

Rezultă deci, că:

$$\frac{e_1}{e_2} \cong \frac{U_1}{U_2}$$

T.e.m.  $e_1$  și  $e_2$  sunt în fază, iar tensiunile  $u_1$  și  $u_2$  sunt în opoziție de fază (semnul " - " din fața raportului  $u_1 / u_2$  indică această defazare, de  $\pi$  radiani).

În valoare absolută, rezultă o relație și între valorile efective ale mărimilor alternative:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

Raportul tensiunilor la bornele înfășurărilor, la mersul în gol al transformatorului, notat cu  $k$ , se numește raportul de transformare al transformatorului.

Dacă  $k < 1$ ,  $u_2 > u_1$ , transformatorul poartă denumirea de transformator ridicător de tensiune, iar dacă  $k > 1$ ,  $u_2 < u_1$ , se numește transformator coborâtor de tensiune. Când  $k = 1$ ,  $u_2 = u_1$ , transformatorul servește la separarea electrică a circuitelor, ele rămânând cuplate prin câmp magnetic, adică cuplate inductiv. Transformatoarele cu raport de transformare apropiat de unitate sunt folosite în unele montaje din electronică.

Dacă la bornele transformatorului se conectează un consumator rezistiv de rezistență  $R_S$ , prin circuitul secundar va apărea curentul de intensitate  $i_2$ . În acest caz,  $u_2 \approx e_2$  deoarece apare căderea de tensiune pe sarcină  $R_S i_2$ . În condiții normale

(nominale) de funcționare, diferența  $e_2 - u_2$  este mică, deoarece și pierderile Joule în secundarul transformatorului sunt mici. Se poate deci considera că practic, puterea  $P_1$  din primar și cea din secundar  $P_2$  sunt egale:  $P_1 = P_2$  sau  $U_1 I_1 = U_2 I_2$ , de unde:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \approx \frac{N_1}{N_2} = k$$

Pentru cazul transformatorului care funcționează în sarcină, în sensul că la bornele primarului se aplică tensiunea  $u_1$  de la o rețea de alimentare, iar la bornele înfășurării secundare este conectat un receptor (consumator) de curent alternativ, procesele fizice sunt, în principal, următoarele: circuitul secundar fiind închis printr-un consumator oarecare, rezistiv sau rezistiv - reactiv, t.e.m. produce în el un curent de intensitate  $i_2$ . Acest curent produce la rândul său un flux  $\Phi_2$  care conform legii lui Lenz este de sens contrar fluxului creat de curentul primar, denumit flux de regim  $\Phi_1$ . Având în vedere faptul că transferul de putere din primar în secundar (realizat prin cuplaj magnetic) face să apară o serie de pierderi de natură electrică și magnetică (prin efect Joule în înfășurări și pierderi prin curenți turbionari și histerezis în miezul de fier) valoarea maximă a fluxului  $\Phi_2$  este mai mică decât valoarea maximă a lui  $\Phi_1$ . Diferența celor două fluxuri constituie fluxul principal prin transformator și este practic egal cu fluxul  $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$  produs de curentul primar la mersul în gol al transformatorului:  $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_m \cos \omega t$ . La o creștere a sarcinii, valoarea maximă a lui  $\Phi_2$  crește și are ca efect tendința de scădere a fluxului principal  $\Phi$ . Ca efect, din relația:

$$i_1 = \frac{u_1 - N_1 \frac{d\Phi}{dt}}{R_1}, \quad \left( \text{din } u_1 + e_1 = R_1 i_1, \quad e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \right)$$

rezultă că valoarea efectivă  $I_1$  crește. Creșterea lui  $I_1$  implică creșterea valorii maxime a fluxului  $\Phi_1$ . Ca urmare,  $\Phi_m$  rămâne practic constant în raport cu variația sarcinii.

Așadar, când crește sarcina transformatorului, adică crește  $I_2$ , crește și intensitatea curentului  $I_1$  prin circuitul primar, deoarece puterea furnizată în secundar crește și deci trebuie să crească și puterea absorbită de primar de la

## SURSE ȘI CIRCUITE DE ALIMENTARE

rețeaua de alimentare. Invers, la scăderea puterii în secundar, scade și puterea absorbită de primar.

Pentru transformatoarele de înaltă frecvență din aparatura electronică se folosesc miezuri din ferită (amestec sinterizat din oxizi de fier și alți oxizi) care au permitivitate relativă mare și conductivitate redusă.

*Randamentul transformatorului* se definește ca fiind raportul dintre puterea activă  $P_2$  furnizată de secundar și puterea activă  $P_1$  primită de către primar de la rețeaua de alimentare.

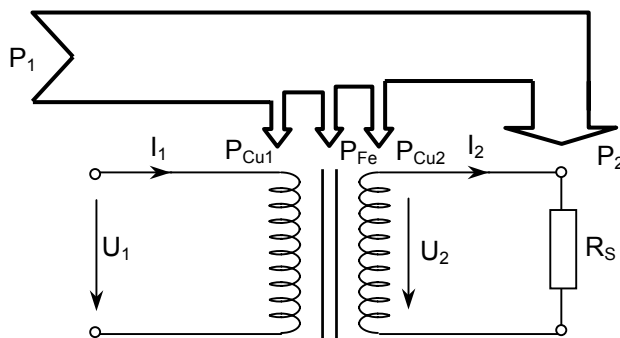
Diferența  $P_2 - P_1$  reprezintă puterea pierdută de transformator, care se compune din pierderile prin efect Joule în înfășurările transformatorului numite *pierderi în cupru*  $P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$  și pierderile prin histerezis și curenți turbionari, numite *pierderi în fier*,  $P_{Fe}$ . Deci, expresia randamentului este:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

Randamentul atinge un maxim când  $P_{Cu} = P_{Fe}$ . Cum transformatorul nu are piese în mișcare, ele nu au pierderi de energie prin frecări și funcționează cu randamente mai mari decât ale mașinilor electrice rotative, atingând chiar valori de 99% la transformatoarele de putere mare. În fig. 3.2 se prezintă bilanțul puterilor active într-un transformator lucrând în sarcină.



**Fig. 3.2** Bilanțul puterilor active într-un transformator lucrând în sarcină

## ÎNTREBĂRI – PROBLEME

---

---

1. Ce valori poate căpăta tensiunea de ieșire dintr-un transformator în raport cu tensiunea de intrare?
2. Care este rolul straturilor izolatoare (lac sau hârtie) dintre tolele miezului unui transformator?
3. Pentru situația în care ambele circuite ale transformatorului au spirele înfășurate în același sens, precizați faza între tensiunea electromotoare de autoinducție din primarul transformatorului și tensiunea electromotoare indusă în secundar.
4. Pentru situația în care ambele circuite ale transformatorului au spirele înfășurate în același sens, precizați faza între tensiunea  $U_1$  din primarul transformatorului și tensiunea  $U_2$  din secundar
5. Pentru cazul transformatorului care funcționează în sarcină, t.e.m. din secundar produce un curent de intensitate  $i_2$ . Acest curent determină apariția unui flux magnetic  $\Phi_2$ . Care este sensul acestui flux față de fluxul magnetic  $\Phi_1$ ?
6. Cum este ca valoare, pentru un transformator ridicător de tensiune, fluxul magnetic secundar  $\Phi_2$  față de fluxul magnetic  $\Phi_1$  din primar?
7. Ce se constată pentru un transformator funcționând în sarcină, la o creștere a sarcinii, pentru valoarea maximă a fluxului  $\Phi_{2m}$ ?
8. Ce reprezintă fluxul principal pentru un transformator funcționând în sarcină?
9. Ce se întâmplă la creșterea sarcinii unui transformator cu valoarea maximă a fluxului principal  $\Phi_m$ ?