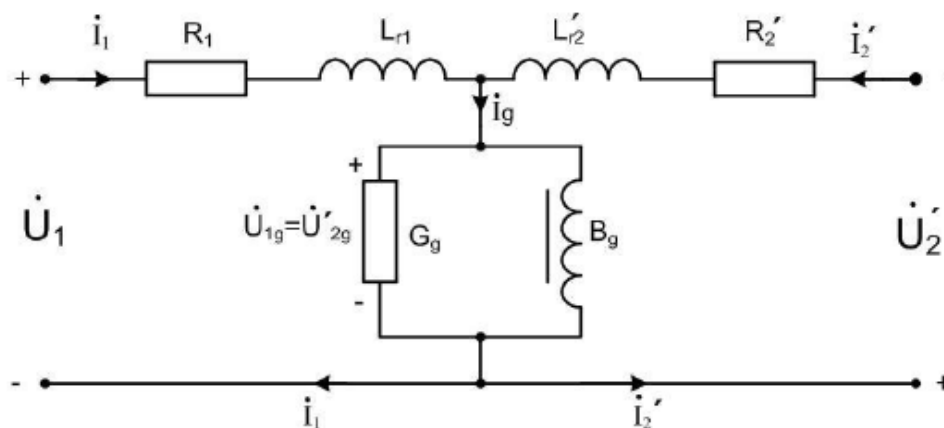


### 13. TRANSFORMATOR

#### Realni transformator sa željeznom jezgrom



Odnosi u transformatoru:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}; U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow S_1 = S_2 \text{ (VA)} \quad (13-1)$$

Radne snage na primaru i trošilu:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1); P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) \text{ (W)} \quad (13-2)$$

Gubici transformatoru:

$$P_g = P_{Cu} + P_{Fe} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + \frac{U_1^2}{R_g} \text{ (W)} \quad (13-3)$$

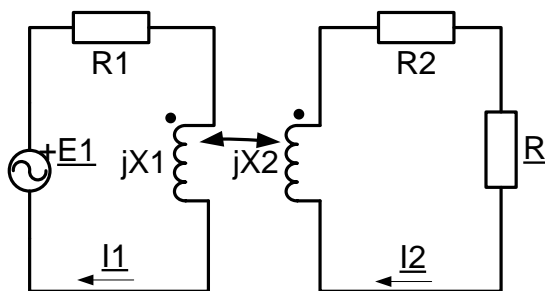
Svođenje sekundarnih veličina na primar:

$$\underline{U}_2' = \frac{N_1}{N_2} \cdot \underline{U}_2; \underline{I}_2' = \frac{N_2}{N_1} \cdot \underline{I}_2; R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_2; X_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot X_2; \quad (13-4)$$

Korisnost transformatora:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2)}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) + P_{Fe} + P_{Cu}} \quad (13-5)$$

**AV13-Z1** Transformator s jezgrom od izolatora (Slika 13.1) ima sljedeće karakteristike:  $E = 20 \text{ V}$ ,  $N_1 = 50$  zavoja,  $N_2 = 500$  zavoja,  $L_1 = 0,003 \text{ H}$ ,  $L_2 = 0,3 \text{ H}$ ,  $R_1 = 2 \ \Omega$ ,  $R_2 = 100 \ \Omega$ ,  $R = 200 \ \Omega$ ,  $K_1 = K_2 = 0,5$ ,  $\omega = 1000 \text{ rad/s}$ . Odredite struje  $\underline{I}_1$  i  $\underline{I}_2$ .



SLIKA 13.1

**Rješenje:**

Reaktancije su:

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1 = 3 \text{ (H)}; \quad X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 300 \text{ (H)}; \quad X_M = k \cdot \sqrt{X_{L1} \cdot X_{L2}} = 15 \text{ (H)}$$

Neka je smjer obilaska petlji u negativnom matematičkom smjeru te su jednačbe KZN uz nesuglasan spoj svitaka:

$$\underline{E}_1 - \underline{I}_1 \cdot (R_1 + jX_{L1}) + \underline{I}_2 \cdot jX_M = 0$$

$$-\underline{I}_2 \cdot (R + R_2 + jX_{L2}) + \underline{I}_1 \cdot jX_M = 0$$

Iz druge jednačbe izrazimo struju  $\underline{I}_2$  i uvrstimo u prvu iz koje nađemo struju  $\underline{I}_1$ , a zatim struju  $\underline{I}_1$ :

$$\underline{E}_1 - \underline{I}_1 \cdot (R_1 + jX_{L1}) + \underline{I}_1 \cdot \frac{jX_M}{R + R_2 + jX_{L2}} \cdot jX_M = 0$$

$$\underline{I}_1 = 3,79 - j4,19 = 5,64 / -47,86^\circ \text{ (A)}$$

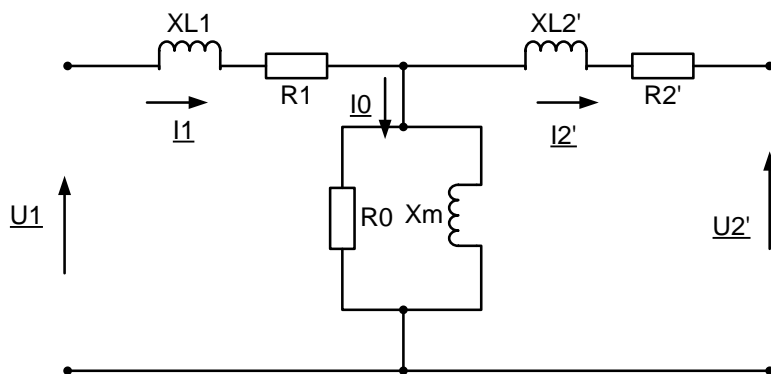
$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \cdot \frac{jX_M}{R + R_2 + jX_{L2}} = 0,20 - j0,01 = 0,2 / -2,86^\circ \text{ (A)}$$

**AV13-Z2** Jednofazni transformator nominalne snage 10 kVA i primarnog napona 220 V ima ove podatke: gubici praznog hoda pri nominalnom naponu su 50 W, gubici kratkog

spoja pri nominalnoj struji su 150 W, struja praznog hoda iznosi 3% nominalne i napon kratkog spoja 8% nominalnog. Sekundarni napon je 110 V. Nacrtajte ekvivalentnu shemu transformatora reduciranog na primar i izračunajte vrijednosti elemenata nadomjesne sheme uz uvjet da su reducirani sekundarni otpori jednaki primarnima.

**Rješenje:**

Nadomjesna shema dana je na slici 13.2



Nazivne struje primara i sekundara su:

$$I_{n1} = \frac{S_n}{U_{n1}} = 45,45 \text{ (A)}; \quad I_{n2} = \frac{S_n}{U_{n2}} = 90,90 \text{ (A)}$$

Napon kratkog spoja i struja praznog hoda su:

$$U_{ks} = u_k \cdot U_{n1} = 17,6 \text{ (V)}; \quad I_0 = i_0 \cdot I_{n1} = 1,36$$

Djelatni otpori namota za kratki spoj uz zanemarenje poprečne grane u nadomjesnoj shemi iznose:

$$Z_{ks} = \frac{U_{ks}}{I_{n1}} = 0,38 \text{ (\Omega)} \quad R_1 = \frac{P_{ks}}{2 \cdot I_{n1}^2} = 0,036 \text{ (\Omega)}$$

Ovo je ujedno i sekundarni otpor reduciran na sekundarnu stranu:

$$R_{2c} = R_1 = 0,036 \text{ (\Omega)}$$

Uz istu aproksimaciju nađemo impedanciju kratkog spoja:

$$Z_{ks} = \frac{U_{ks}}{I_{n1}} = 0,38 \text{ (\Omega)}$$

Rasipna reaktancija primara je:

$$X_{L1} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{Z_{ks}^2 - R_1^2} = 0,19 \text{ } (\Omega)$$

Ovo je ujedno i rasipna reaktancija sekundara svedena na primar:

$$X_{L2c} = X_{L1} = 0,19 \text{ } (\Omega)$$

Iz praznog hoda uz zanemarenje otpora i rasipnih reaktancija nađemo  $R_0$  i  $X_M$ :

$$R_0 = \frac{U_{n1}^2}{P_0} = 968 \text{ } (\Omega); \quad G_0 = \frac{1}{R_0} = 0,00103 \text{ } (S)$$

Prividna vodljivost je;

$$Y_p = \frac{I_0}{U_{n1}} = 0,0062 \text{ } (S)$$

Susceptancija poprečne grane je:

$$B_M = \sqrt{Y_p^2 - G_0^2} = 0,0061 \text{ } (S)$$

Na kraju reaktancija magnetiziranja iznosi:

$$X_M = \frac{1}{B_M} = 163,62 \text{ } (\Omega)$$

**AV13-Z3:** Jednofazni transformator nominalne snage  $S = 50 \text{ kVA}$  i  $2300/230 \text{ V}$  ima  $R_1 = 0,5 \text{ } \Omega$  i  $R_2 = 0,005 \text{ } \Omega$  te gubitke u željezu  $P_{Fe} = 290 \text{ W}$ . Treba izračunati stupanj korisnog djelovanja za opterećenje: a)  $50 \text{ kVA}$ ,  $\cos\varphi_2 = 1$ , b)  $5 \text{ kVA}$ ,  $\cos\varphi_2 = 1$  i c)  $50 \text{ kVA}$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

### **Rješenje:**

Prijenosni omjer transformatora je:

$$n = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} = 10$$

**a)  $S_t = 50 \text{ kVA}$ ;  $\cos(\varphi_2) = 1$**

Struje sekundara i primara su:

$$I_2 = \frac{S_t}{U_{n2}} = 217,39 \text{ } (A); \quad I_1 = \frac{I_2}{n} = 21,73 \text{ } (A)$$

Ukupna djelatna snaga transformatora:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + P_0 + S_t \cdot \cos(\varphi_1) = 50762,6 \text{ } (W)$$

Stupanj korisnog djelovanja je omjer djelatne snage trošila i djelatne snage primara:

$$\eta = \frac{S_t \cdot \cos(\varphi_1)}{P_1} = 0,984$$

**b)  $S_t = 5 \text{ kVA}$ ;  $\cos(\varphi_2)=1$**

Struje sekundara i primara su:

$$I_2 = \frac{S_t}{U_{n2}} = 21,739 \text{ (A)}; \quad I_1 = \frac{I_2}{n} = 2,173 \text{ (A)}$$

Ukupna djelatna snaga transformatora:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + P_0 + S_t \cdot \cos(\varphi_1) = 5294,7 \text{ (W)}$$

Stupanj korisnog djelovanja je omjer djelatne snage trošila i djelatne snage primara:

$$\eta = \frac{S_t \cdot \cos(\varphi_1)}{P_1} = 0,944$$

**c)  $S_t = 50 \text{ kVA}$ ;  $\cos(\varphi_2)=0,8$**

Struje sekundara i primara su:

$$I_2 = \frac{S_t}{U_{n2}} = 217,39 \text{ (A)}; \quad I_1 = \frac{I_2}{n} = 21,73 \text{ (A)}$$

Ukupna djelatna snaga transformatora:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + P_0 + S_t \cdot \cos(\varphi_1) = 40762,6 \text{ (W)}$$

Stupanj korisnog djelovanja je omjer djelatne snage trošila i djelatne snage primara:

$$\eta = \frac{S_t \cdot \cos(\varphi_1)}{P_1} = 0,981$$

**AV13-Z4:** Na transformatoru su obavljena mjerenja i rezultati su za prazni hod:  $U_1 = 3530 \text{ V}$ ,  $U_2 = 182 \text{ V}$ ,  $P_0 = 198 \text{ W}$ , a za kratki spoj:  $I_k=1,42 \text{ A}$  i  $P_k=159 \text{ W}$ . Koliko je stupanj korisnog djelovanja za snagu sekundara od  $P = 6 \text{ kW}$ ?

**Rješenje:**

$$P_1 = 6425,8 \text{ (W)}; \quad P_t = 6000 \text{ (W)}; \quad \eta = P_t / P_1 = 0,93$$

**AV12-Z5:** Jednofazni transformator nominalnih napona  $U_1 = 10000$  V i  $U_2 = 500$  V ima omjer gubitaka  $P_{Cu}/P_{Fe} = 1,5$ , opterećen je trošilom snage  $S_2 = 100$  kVA i  $\cos \varphi_2 = 1$ , pri čemu je djelotvornost  $\eta = 0,95$ . Odredite otpore svitaka ako je prijenosni omjer  $n = U_1/U_2 = 20$ , a  $R_1 = R_2'$ ,  $X_{r1} = X_{r2}'$ .

**Rješenje:**

$$R_1 = 15,8 \text{ } (\Omega) = R_2'; \quad R_2 = 39,47 \text{ (m } \Omega)$$

**AV12-Z6:** Jednofazni transformator nominalne snage 100 kVA i napona 1000/230 V; frekvencije  $f = 50$  Hz ima  $u_{1k} (\%) = 5,5$  %. Ako su gubici kratkog spoja  $P_{1k} = 800$  W, treba odrediti impedanciju kratkog spoja  $Z_k$ , uz pretpostavku da je  $R_1 = R_2'$ ,  $X_{r1} = X_{r2}'$

**Rješenje:**

$$Z_k = \frac{U_{1k}}{I_{1k}} = 0,55 / 81,63^0 \text{ } (\Omega)$$

LITERATURA

- [1] Branislav Kuzmanović, „Osnove elektrotehnike II“, Zagreb ELEMENT, 2000
- [2] Ivan Felja-Danira Koračin, „Zbirka zadataka i rješениh primjera iz osnova elektrotehnike 1. i 2. dio“, Zagreb, Školska knjiga 1985.
- [3] Gordan Đurović, „Elektrotehnika I i II-Zbirka zadataka, Zagreb, 2004.
- [4] E. Šehović, M. Tkalić, I. Felja, Osnove elektrotehnike - zbirka primjera, I dio“, Školska knjiga, Zagreb, 1984.