

RAZRED _____

NADNEVAK _____

OCJENA _____

Transformator u normalnom pogonu

VJEŽBA

1

Priprema za vježbu

1. Transformator je električni uređaj koji _____ povezuje dva električna kruga _____ struje. Prijenos energije s jedne zavojnice na drugu odvija se zahvaljujući fizikalnom načelu _____. Transformatori rade isključivo na _____ struji jer je preduvjet za elektromagnetsku indukciju _____ magnetski tok.

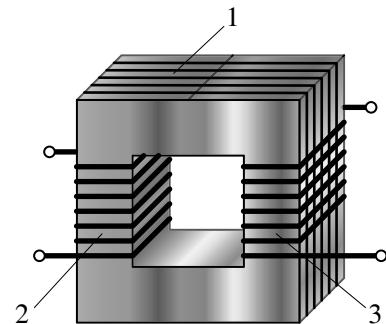
2. Navedite glavne dijelove transformatora prikazanog na slici 1.

1 – _____

2 – _____

3 – _____

Nacrtajte izvor napona i trošilo. Shematski prikažite silnice glavnog magnetskog toka.



Slika 1.
Glavni dijelovi transformatora

3. Promjenjivi magnetski tok u primaru inducira napon _____, a u sekundaru napon _____.

4. Napišite izraz za napon samoindukcije E_1 i za napon međuindukcije E_2 za transformator.

$$E_1 =$$

$$E_2 =$$

5. Omjer efektivnih vrijednosti napona primara U_1 i sekundara U_2 transformatora jednak je omjeru _____ primarnog i sekundarnog namota N_1 i N_2 . Tu jednakost nazivamo _____.

6. Efektivne vrijednosti struje primara transformatora I_1 i struje sekundara I_2 odnose se _____ njihovom broju zavoja N_1 i N_2 .

Transformator u normalnom pogonu

7. Po čemu se stvarni transformator razlikuje od idealnog?

8. Zbog čega nastaju gubitci u bakru transformatora? Kako ih računamo?

9. Zbog čega nastaju gubitci u željezu transformatora? Kako ih računamo?

10. Kako je definirana nazivna snaga transformatora?

11. Što je struja praznog hoda transformatora, a što struja opterećenja?

12. Koja su pogonska stanja transformatora?

13. Zadan je idealni transformator nazivne snage $S_N = 250 \text{ VA}$, nazivnog napona primara $U_{1N} = 230 \text{ V}$ i nazivnog napona sekundara $U_{2N} = 24 \text{ V}$. Izračunajte nazivne struje primara i sekundara. Koliki je prijenosni omjer transformatora?

Transformator u normalnom pogonu

Mjerni instrumenti i pribor: dvonamotni transformator, izmjenični izvor promjenjivog napona ili regulacijski transformator, trošilo impedancije Z , ampermetar, voltmeter, spojni vodovi.

Napomena: vježbu je moguće izvesti primjenom simulacijskih programa.

ZADATAK 1

Transformator opterećen impedancijom Z

- Proučite podatke raspoloživog transformatora i njegove karakteristike upišite u tablicu.

Preporuka: ako se vježba izvodi sa stvarnim komponentama, podešite vrijednost napona izvora tako da naponi primara i sekundara transformatora ne prelaze 50 V.

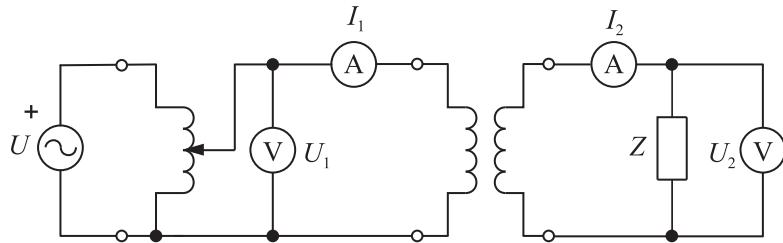
nazivna snaga S_N	nazivni napon primara U_{1N}	nazivni napon sekundara U_{2N}

- Impedanciju Z trošila odaberite tako da pri nazivnom naponu transformatora kroz sekundar teče 80 % nazivne struje. Mjerena provedite za dva trošila:

a) trošilo djelatnog otpora $Z = R$

b) induktivno-otporno trošilo impedancije $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ (serijski spoj djelatnog i induktivnog otpora).

- Spojite strujni krug prema slici 2. Na primarnu stranu spojite promjenjivi izvor izmjeničnog sinusnog napona, voltmetre za mjerjenje primarnog i sekundarnog napona, ampermetre za mjerjenje primarne i sekundarne struje.



Slika 2.

Transformator opterećen impedancijom Z

- Mijenjajte primarni napon od vrijednosti $0,6 U_{1N}$ do $1,2 U_{1N}$. Mjerite primarni i sekundarni napon i struju. Dobivene rezultate upišite u tablicu. Izračunajte prijenosni omjer n transformatora za svako mjerjenje.

a) Mjerjenje uz djelatno opterećenje

trošilo	napon U_1	napon U_2	$n = U_1 / U_2$	struja I_1	struja I_2	$n = I_2 / I_1$
$Z = R$	$0,6 U_{1N}$					
	$0,8 U_{1N}$					
	$1,0 U_{1N}$					
	$1,2 U_{1N}$					

Transformator u normalnom pogonu

Prostor za račun:

b) Mjerenje uz induktivno opterećenje

$$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega, \quad L = \underline{\hspace{2cm}} \text{H}, \quad f = \underline{\hspace{2cm}} \text{Hz}$$

trošilo	napon U_1	napon U_2	$n = U_1/U_2$	struja I_1	struja I_2	$n = I_2/I_1$
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	$0,6 U_{1N}$					
	$0,8 U_{1N}$					
	$1,0 U_{1N}$					
	$1,2 U_{1N}$					

Prostor za račun:

5. Usporedite vrijednost prijenosnog omjera n pri nazivnoj vrijednosti napona s vrijednostima koje ste dobili za različite vrijednosti priključenog napona. Ako postoje razlike, objasnite što je uzrok tome.

6. Idealni transformator snage $S_N = 200 \text{ VA}$ ima nazivnu struju primara $I_{1N} = 0,87 \text{ A}$. Prijenosni omjer transformatora je $n = 100$. Izračunajte koliko iznose nazivni primarni U_{1N} i sekundarni napon U_{2N} te kolika je nazivna sekundarna struja transformatora I_{2N} .

RAZRED _____

NADNEVAK _____

OCJENA _____

Pokus praznog hoda i kratkog spoja transformatora

VJEŽBA

2

Priprema za vježbu

- Prazni hod transformatora je pogonsko stanje kod kojeg je na primarni priključen napon U_1 , a sekundarne priključnice su _____. Napon na sekundaru U_2 jednak je _____, a sekundarna struja I_2 jednaka je _____.
- Kratki spoj transformatora je pogonsko stanje kod kojeg je na primarnu stranu transformatora priključen napon U_1 , a sekundarne priključnice su _____ što znači da je sekundarni napon U_2 _____. Sekundarna struja I_2 je _____.
- Opišite na koji se način provodi pokus praznog hoda transformatora.

- Koje podatke o transformatoru dobivamo pokusom praznog hoda?

- Opišite na koji se način provodi pokus kratkog spoja transformatora.

- Koje podatke o transformatoru dobivamo pokusom kratkog spoja?

- Objasnite što predstavlja napon kratkog spoja $u_{k\%}$.

Pokus praznog hoda i kratkog spoja transformatora

8. Kako možemo izračunati struju kratkog spoja transformatora? Zbog čega je taj podatak važan?

9. Pri pokusu kratkog spoja transformatora 230/25 V sekundarna struja iznosila je $I_2 = 8,7 \text{ A}$, a napon primara $U_1 = 18,4 \text{ V}$. Izračunajte:

- a) napon kratkog spoja $u_{K\%}$
- b) koliko bi iznosila stvarna struja kratkog spoja I_{KS} .

10. Izračunajte struju kratkog spoja transformatora koji ima nazivnu struju $I_{2N} = 5 \text{ kA}$, a napon kratkog spoja $u_{K\%} = 5 \%$.

11. Transformator nazivne snage $S_N = 100 \text{ VA}$, 230/24 V ima djelatni otpor primarnog i sekundarnog namota $R_1 = 30,2 \Omega$, odnosno $R_2 = 0,55 \Omega$. Pokusom kratkog spoja izmjerena je primarni napon $U_K = 28,5 \text{ V}$. Nazivna struja primara transformatora je $I_{1N} = 0,48 \text{ A}$, a sekundara $I_{2N} = 4,1 \text{ A}$. Izračunajte gubitke u bakru primarnog i sekundarnog namota P_{Cu} , napon kratkog spoja $u_{K\%}$ i faktor faznog pomaka $\cos \phi_K$.

Pokus praznog hoda i kratkog spoja transformatora

Mjerni instrumenti i pribor: dvonamotni transformator, izmjenični izvor napona, regulacijski transformator, ampermetar, voltmeter, vatmetar i spojni vodovi.

Napomena: vježbu je moguće izvesti primjenom simulacijskih programa.

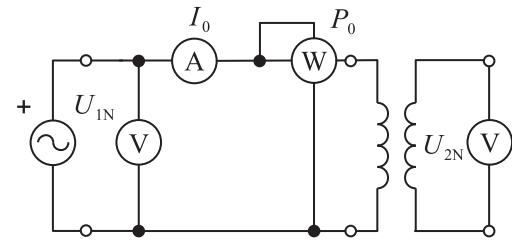
ZADATAK 1

Pokus praznog hoda

1. Spojite strujni krug prema shemi na slici 1.

2. Primar transformatora priključite na nazivni napon, a na sekundarne priključnice spojite voltmeter. Ampermetrom izmjerite struju primara, a vatmetrom snagu koja se troši u praznom hodu.

3. Rezultate mjerena upišite u tablicu.



Slika 1.

Pokus praznog hoda

U_{1N}	I_0	P_0	U_{2N}

4. Izračunajte prijenosni omjer transformatora n i faktor faznog pomaka u praznom hodu $\cos \varphi_m$.

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} =$$

$$\cos \varphi_m = \frac{P_{Fe}}{U_{1N} I_0} =$$

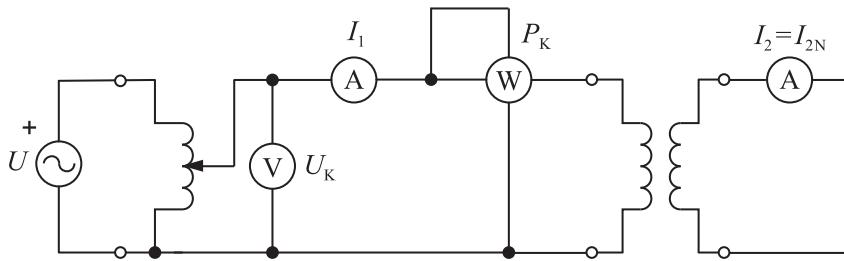
5. Na osnovi čega možemo tvrditi da izmjerena snaga P_0 predstavlja gubitke u željezu P_{Fe} ?

6. Kako možemo izračunati struju kratkog spoja transformatora? Zbog čega je taj podatak važan?

Pokus praznog hoda i kratkog spoja transformatora

ZADATAK 2 Pokus kratkog spoja

1. Spojite strujni krug prema shemi na slici 2.



Slika 2.

Pokus kratkog spoja

2. S pomoću regulacijskog transformatora postupno povećavajte napon primara od nule do iznosa U_K kod kojeg na sekundaru teče nazivna struja transformatora $I_2 = I_{2N}$.
3. Tako dobivene vrijednosti upišite u tablicu.

U_K	I_1	P_K	I_2

4. Na temelju izmjerenih vrijednosti izračunajte:

$$\text{Faktor faznog pomaka } \cos \varphi_K = \frac{P_{Cu}}{U_K I_{1N}} =$$

$$\text{Napon kratkog spoja } u_{K\%} = \frac{U_K}{U_{1N}} \cdot 100 =$$

5. U slučaju kratkog spoja koliko bi iznosila struja kratkog spoja transformatora I_{KS} ?

RAZRED _____

NADNEVAK _____

OCJENA _____

Proračun mrežnog transformatora

VJEŽBA

3

Priprema za vježbu

MREŽNI TRANSFORMATOR

U elektronici pod pojmom transformatora podrazumijevamo transformator snage stotinjak voltampera koji napon gradske mreže snižava na napon potreban za napajanje električnih uređaja.

Ovdje ćemo prikazati pojednostavljeni način proračuna osnovnih karakteristika mrežnog (suhog) transformatora za napajanje električnog uređaja. Proračun se osim na fizikalnim zakonitostima temelji i na određenim iskustvenim podatcima. Iz iskustva je poznato da bakreni namoti transformatora imaju dopuštenu gustoću struje Γ u granicama **od 1,5 do 3,5 A/mm²** u ovisnosti o tome je li transformator suhi ili uljni. Željezne jezgre od toplo valjanih limova imaju maksimalnu magnetsku indukciju B **od 1,2 – 1,5 T**, dok kod hladno valjanih limova magnetska indukcija može iznositi i **do 1,8 T**. Osnovni podatci koji nam trebaju biti poznati su:

- nazivna snaga transformatora S_N , VA
- nazivni primarni napon U_{1N} , V
- nazivni sekundarni napon U_{2N} , V
- frekvencija f , Hz
- način hlađenja transformatora.

U ovom slučaju nam način hlađenja ne igra bitnu ulogu jer se radi o suhim transformatorima snage nekoliko desetaka ili stotina voltampera. Koristeći se ovim podatcima, određujemo osnovne veličine transformatora:

- a) površinu presjeka željezne jezgre S_{Fe} , cm²
- b) broj zavoja primara i sekundara N_1 i N_2
- c) površinu presjeka bakrene žice primarnog i sekundarnog namota q_1 i q_2 , mm².

a) Određivanje presjeka jezgre

Za određivanje presjeka jezgre koristimo se iskustvenom formulom koja se može primijeniti za male transformatore:

$$S_{Fe} = 1,2\sqrt{S_N} \cdot 10^{-4}.$$

Snagu izražavamo u voltamperima, a presjek jezgre dobivamo u m².

Proračun mrežnog transformatora

b) Određivanje broja zavoja

Broj zavoja primarnog namota određujemo s pomoću izraza za izračunavanje induciranih naponi u primaru:

$$E_1 = 4,44 \Phi f N_1,$$

gdje je:

E_1 inducirani napon u primaru, V

Φ magnetski tok, Wb

N_1 broj zavoja primarnog namota,

f frekvencija, Hz.

U praznom hodu transformatora je inducirani napon E_1 približno jednak nazivnom naponu U_{1N} i na temelju toga postavljamo jednakost za primarni broj zavoja N_1 :

$$N_1 = \frac{U_{1N}}{4,44 \Phi f}.$$

Magnetsku indukciju B odaberemo prema iskustvenim podatcima ili iz pripadajućih tablica i nomograma za određenu vrstu limova. Uzimajući u obzir da je:

$$B = \frac{\Phi}{S_{Fe}},$$

dobivamo konačan izraz za broj zavoja primarnog namota:

$$N_1 = \frac{U_{1N}}{4,44 B S_{Fe} f}.$$

Broj zavoja sekundarnog namota dobivamo s pomoću omjera transformacije:

$$N_2 = N_1 \frac{U_{2N}}{U_{1N}}.$$

c) Površina presjeka bakrene žice

Presjek bakrene žice od koje se izrađuju namoti određen je dopuštenom gustoćom struje Γ (A/mm^2), koju odabiremo kao iskustveni podatak. Nazivne struje primara i sekundara računamo prema izrazima:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}.$$

Koristeći se tim vrijednostima nazivne primarne i sekundarne struje I_{1N} i I_{2N} te odabirući vrijednost gustoće struje Γ , računamo površine presjeka žice primarnog i sekundarnog namota q_1 i q_2 :

$$q_1 = \frac{I_{1N}}{\Gamma} \quad q_2 = \frac{I_{2N}}{\Gamma}.$$

Ovako izračunane vrijednosti izražene su u mm^2 . Za izradu namota odabiremo najbliži veći presjek žice iz kataloga. U praksi je razrađen čitav niz iskustvenih metoda za brzo i dovoljno točno proračunavanje mrežnih transformatora određenih namjena, uz korištenje određenih vrsta i oblika transformatorskih limova.