

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA  
ZAVOD ZA ELEKTROSTROJARSTVO I AUTOMATIZACIJU

## **ELEKTROMEHANIČKE I ELEKTRIČNE PRETVORBE ENERGIJE**

Laboratorijske vježbe

### **Vježba 3**

## **POKUS PRAZNOG HODA I KRATKOG SPOJA, ELEMENTI NADOMJESNE SCHEME ASINKRONOG MOTORA**

Autori: Doc.dr.sc. Damir Žarko, dipl. ing.  
Doc.dr.sc. Mario Vražić, dipl. ing.  
Mirko Cettolo, dipl. ing.  
Goran Rovišan, dipl. ing.  
Tanja Vešić, dipl. ing.  
Stjepan Stipetić, dipl. ing.

Zagreb, 2009.

## POKUS PRAZNOG HODA I KRATKOG SPOJA, ELEMENTI NADOMJESNE SCHEME ASINKRONOG MOTORA

### Svrha vježbe

- a) Identifikacija vrste stroja i njegovih nazivnih podataka
- b) Provedba pokusa praznog hoda asinkronog motora
- c) Utvrđivanje magnetskog stanja i prilika u magnetskom krugu asinkronog stroja
- d) Provedba pokusa kratkog spoja asinkronog motora
- e) Utvrđivanje iznosa struje kratkog spoja i poteznog momenta
- f) Određivanje elemenata nadomjesne sheme asinkronog motora

### Zadatak vježbe

- a) S natpisne pločice ispitivanog stroja očitati potrebne nazivne podatke:  $U_n$ ,  $I_n$ ,  $P_n$ ,  $n_n$ ,  $f_n$ ,  $\cos \varphi_n$ , proizvođač, tip, serijski broj stroja (ili inventarski broj)
- b) Odrediti vrstu stroja i spoj namota stroja
- c) Skicirati raspored stezaljki na priključnoj kutiji
- d) Izračunati nazivni moment motora  $M_n$
- e) Procijeniti poteznu struju i potezni moment kod nazivnog napona
- f) Snimiti ovisnost  $I_0 = f(U_0)$ ,  $P_0 = f(U_0)$  i  $\cos \varphi_0 = f(U_0)$  u području od  $U = 1,2 U_n$  do  $U = 0,25 U_n$  za asinkroni motor u praznom hodu
- g) Nacrtati karakteristiku praznog hoda  $I_0 = f(U_0)$ , krivulju gubitaka  $P_0 = f(U_0)$ , te faktor snage  $\cos \varphi_0 = f(U_0)$
- h) Očitati struju praznog hoda  $I_0$ , gubitke  $P_0$  i faktor snage  $\cos \varphi_0$  za nazivni napon  $U_n$
- i) Nacrtati krivulju užih gubitaka praznog hoda  $P_0' = f(U_0)$
- j) Očitati ukupne gubitke u željezu  $P_{Fe} + P_d' + P_d''$  i pomoću kvadratne aproksimacije odrediti gubitke trenja i ventilacije  $P_{tr,v}$
- k) Snimiti ovisnost  $I_k = f(U_k)$ ,  $P_k = f(U_k)$ ,  $M_k = f(U_k)$  i  $\cos \varphi_k = f(U_k)$  zakočenog asinkronog motora, priključenog na sniženi napon  $U_k$ . Maksimalnu vrijednost sniženog napona podesiti tako da struja ne prelazi vrijednost **3 - 3,5**  $I_n$ .  
Ako dođe do zamjetnog zagrijavanja (mjerenje traje predugo), potrebno je kontrolirati zagrijavanje namota nakon svake izmjerene točke!
- l) Nacrtati karakteristiku kratkog spoja  $I_k = f(U_k)$ , krivulju gubitaka  $P_k = f(U_k)$ , poteznog momenta  $M_k = f(U_k)$ , te  $\cos \varphi_k = f(U_k)$
- m) Nacrtati karakteristiku poteznog momenta  $M_{k,mj} = f(U_k)$  mjerenog pomoću dinamovage
- n) Preračunati potezni moment i struju kratkog spoja na nazivni napon i spoj
- o) Usporediti računski i mjereni potezni moment  $M_k$  za nazivni napon i komentirati razliku
- p) Rezultate prikazati u apsolutnim (**Nm, A**) i relativnim (**pu, %**) jedinicama
- q) Odrediti parametre nadomjesne sheme asinkronog motora:
  - $R_s$  - nadomjesni otpor namota statora
  - $R_r'$  - nadomjesni otpor namota rotora
  - $X_{\sigma s}$  - rasipna reaktancija statora
  - $X_{\sigma r}'$  - rasipna reaktancija rotora
  - $R_0$  - nadomjesni otpor gubitaka u željezu
  - $X_m$  - glavna reaktancija
 Elementi označeni sa ' su preračunati sa rotora na stator
- r) Analizirati rezultate

## 1. Podsjetnik za vježbu

### 1.1 Natpisna pločica

Redovito su na natpisnoj pločici asinkronog stroja navedeni podaci za: napon, struju, snagu, brzinu vrtnje, (za kolutni stroj napon na otvorenim stezaljkama rotora i nazivna struja rotora), spoj namota, vrstu zaštite, vrstu pogona, godinu proizvodnje, klasu izolacije pojedinih namota, propisi kojima odgovara gradnja stroja, intermitenciju, tvornički broj, tip, vrstu izvedbe, naziv proizvođača. Primjer natpisne pločice dan je na slici 1.1.

Natpisna pločica sadrži osnovne podatke o konstrukciji stroja te o njegovim mogućnostima u eksploataciji.

Svaka veća intervencija na stroju zahtijeva izmjenu ili dopunu natpisne pločice (npr. pri prematanju, promjeni načina hlađenja i sl.) s obaveznom naznakom imena izvođača ovih promjena.

KONČAR					
Code	A14330	No	117050		
3 ~	Type	5AZ80B-8 B3			
$\Delta/Y$	220/380	V	1.9/1.1	A	
	0.22	kW	cos $\varphi$	0.6	
50 Hz	HP	660	min-1		
$t_0$	$^{\circ}\text{C}$	Isol F			
IP 54 S1	IEC34-1, VDE0530				

Slika 1.1 Primjer natpisne pločice malog asinkronog stroja

## 1.2 Utjecaj temperature na veličinu otpora

Otpor namota ovisi o njegovoj temperaturi i raste s porastom temperature. Zato se kod svakog mjerenja otpora obavezno mora mjeriti i temperatura namota. Kod mnogih mjerenja se postupa i obratno; iz izmjerenog otpora toplog namota, a uz poznati otpor hladnog namota, računa se promjena temperature namota. Ovako određenu temperaturu smatramo prosječnom. Temperatura najtoplijeg mjesta u namotu je **5 - 15  $^{\circ}\text{C}$**  veća od prosječne, ovisno o načinu mjerenja.

Za promjenu otpora s temperaturom, za bakrene namote, vrijedi izraz:

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0} \cdot \frac{235 + \vartheta}{235 + \vartheta_0}$$

Pri tome je:

- $R_{\vartheta}$  - otpor kod temperature  $\vartheta$  (topli otpor),
- $R_{\vartheta_0}$  - otpor kod temperature  $\vartheta_0$  (hladni otpor),
- 235** - konstanta za bakar kod **20  $^{\circ}\text{C}$** , temperaturni koeficijent bakra iznosi  $1/(235 + \vartheta_0)$ .

Često se temperatura "hladnog" namota podudara s temperaturom okoline. Uz poznati "hladni" i "topli" otpor ( $R_{\vartheta_0}$ ,  $R_{\vartheta}$ ) te temperaturu hladnog namota ( $\vartheta_0$ ), računa se prosječna temperatura  $\vartheta$  toplog namota:

$$\vartheta = \frac{R_{\vartheta} \cdot (235 + \vartheta_0)}{R_{\vartheta_0}} - 235 = \left( \frac{R_{\vartheta}}{R_{\vartheta_0}} - 1 \right) \cdot (235 + \vartheta_0) + \vartheta_0$$

## 1.3 Dozvoljena trajna temperatura namota po propisima

Trajno povišenje temperature za **6  $^{\circ}\text{C}$**  uzrokuje skraćenje životne dobi izolacije na polovinu.

Klasa izolacije	Maks. temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura okoline ( $^{\circ}\text{C}$ )	Rezerva za najtoplije mjesto ( $^{\circ}\text{C}$ )	Dozv. nadtemperatura (K)	Materijal
Y	90	40			PVC – mekana plastika
A	105	40	5	60	papir, tkanina
B	130	40	10	80	izolacije na bazi poliestera
F	155	40	15	100	izolacije na bazi poliestera
H	180	40			tinjac, staklo
C	> 180	40			tinjac, staklo

## 1.4 Oznake stezaljki prema propisima

Stezaljke asinkronih strojeva se prema propisima označavaju:

<b>U, V, W</b>	namot statora spojenog u trokut ili zvijezdu bez zvjezdista
<b>U, V, W, N</b>	namot statora spojenog u zvijezdu s izvedenim zvjezdištem
<b>U1-U2, V1-V2, W1-W2</b>	namot statora, ako su izvedena oba kraja
<b>1U, 1V, 1W, 2U, 2V, 2W</b>	dva namota, bez zvjezdista (dvobrzinski motor s dva odvojena namota)
<b>K, L, M, Q</b>	namot kliznokolutnog rotora spojenog u zvijezdu, zvjezdište

U starijim pogonima možemo naići i na oznake po starim propisima:

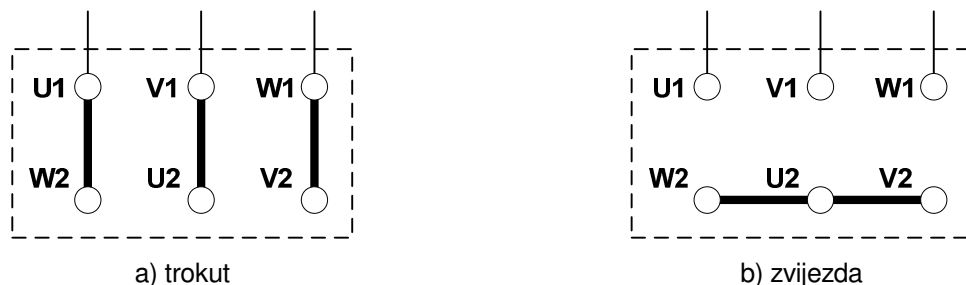
<b>X, Y, Z</b>	namoti statora
<b>R, S, T</b>	namoti statora ili mreža

### 1.5 Namoti asinkronog stroja

Namoti asinkronog stroja mogu biti:

- statorski namot (višefazni ili jednofazni; trofazni spojen u trokut ili zvijezdu; jednoslojni, višeslojni, štapni,
- rotorski namot (kavezni ili kolutni).

Stezaljke se u priključnoj kutiji niskonaponskih motora redovito raspoređuju na način prikazan na slici 1.2, da bi se omogućilo jednostavno prespajanje u zvijezdu ili u trokut.



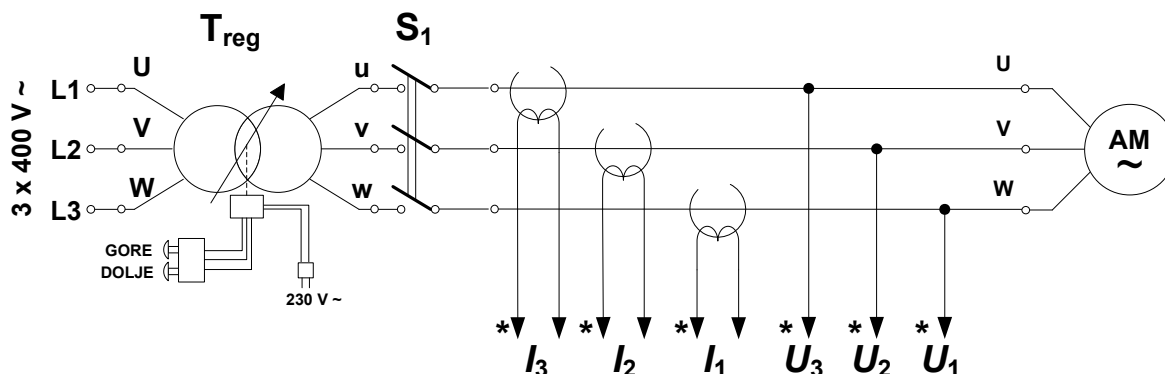
Slika 1.2 Priključak stroja za spoj trokut i zvijezda

Kod visokonaponskih strojeva su obično izvedeni samo počeci namota. Grijači i termo-sonde za kontrolu zagrijavanja namota se smještaju u posebne priključne kutije.

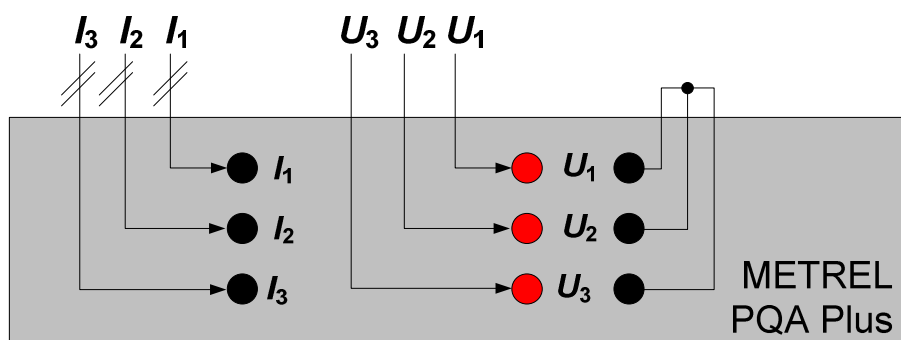
## 2. Pokus praznog hoda

Snimanje karakteristike praznog hoda asinkronog motora se obavlja prema shemi na slici 2.1. Pri tome se snimaju ovisnosti  $P_0 = f(U_0)$ ,  $I_0 = f(U_0)$  i  $\cos \varphi_0 = f(U_0)$  u području od  $U = 1,2 U_n$  do  $U = 0,25 U_n$ , dok klizanje ne naraste preko 1 %. Shema spoja mjernog kruga je prikazana na slici 2.2.

Fazni naponi se dovode u jedinicu za mjerenje napona i struja koja se sastoji od ukupno 6 LEM pretvornika (3 za napon i 3 za struju). Koriste se 3 naponska pretvornika koji pretvaraju mjerene napone u naponske signale razine  $\pm 10 \text{ V}$ . Ti signali se dovode u A/D pretvornik pomoću kojeg se pretvaraju u digitalni oblik. U A/D pretvornik se sa strujnih kliješta dovode i signali faznih struja, te se zatim svih 6 signala dovodi u računalo gdje se obrađuju programskim paketom DasyLab.



Slika 2.1 Shema spoja pokusa praznog hoda asinkronog motora



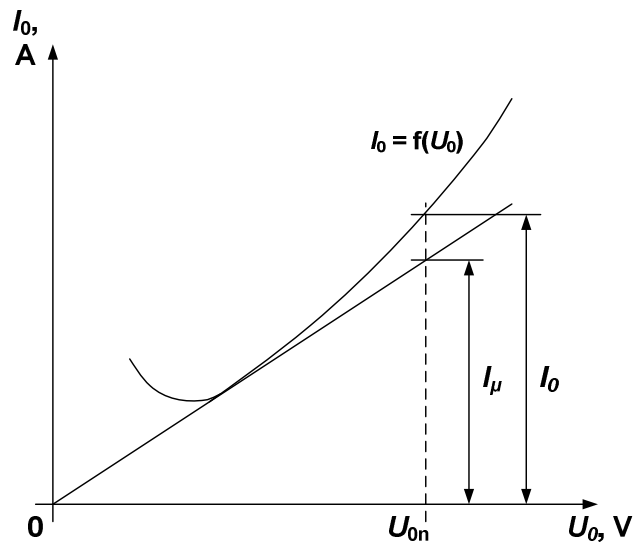
Slika 2.2 Shema spoja mjernog kruga

### 2.1 Karakteristika zasićenja

Karakteristika zasićenja prikazuje struju magnetiziranja u ovisnosti o induciranom naponu, što u određenom mjerilu predstavlja uzbudno protjecanje  $\Theta$  u ovisnosti o magnetskom toku  $\Phi$ . U praksi se uvijek kao struja  $I_0$  uzima srednja vrijednost struje sve tri faze, a inducirani napon se zamjenjuje naponom na stezaljkama  $U_0$ .

Kod znatnog sniženja napona u praznom hodu narast će onaj dio radne komponente struje koji se odnosi na gubitke trenja i ventilacije (vidi sliku 2.3). Budući da su ti gubici ovisni samo o brzini, koja je u praznom hodu bliska sinkronoj, pri sniženju napona dolazi do povećanja radne komponente struje  $I_0$  i faktora snage  $\cos \varphi_0$  te se zbog toga ne snima karakteristika zasićenja ispod 20 - 30 % nazivnog napona.

Drugi uzrok izlaska iz stanja praznog hoda je porast klizanja. Za održavanje potrebnog momenta trenja i ventilacije ( $M = k \cdot \Phi \cdot I_2$ ) nužna je veća struja u rotoru (zbog smanjenog toka). Povećanje struje rotora postiže se povećanjem induciranog napona rotora ( $E = s \cdot E_{20}$ ), tj. povećanjem klizanja.



Slika 2.3 Krivulja magnetiziranja asinkronog motora

Struja magnetiziranja  $I_\mu$  je onaj dio struje praznog hoda potreban za induciranje napona  $U_0$  na stezaljkama statorskog namota. U karakteristici magnetiziranja predstavljena je linearnim dijelom krivulje magnetiziranja.

## 2.2 Gubici u praznom hodu

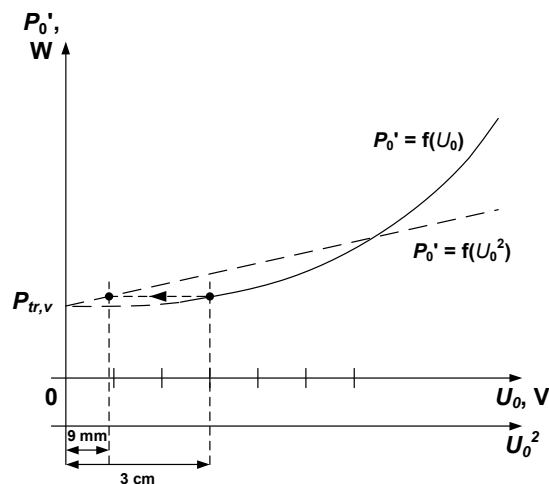
U praznom hodu neopterećenog stroja mreža pokriva:

- gubitke u željezu uzrokovane histerezom i vrtložnim strujama  $P_{Fe10}$ ,
- gubitke u namotima statora  $P_{Cu10}$ ,
- gubitke trenja i ventilacije  $P_{tr,v}$ ,
- dodatne gubitke  $P_d'$  - površinski i pulzacijski gubici, uzrokovani utorima statora i rotora, te strujama u praznom hodu,
- dodatni gubici  $P_d''$  - gubici koje statorske struje uzrokuju na površini i na zubima rotora i obrnuto.

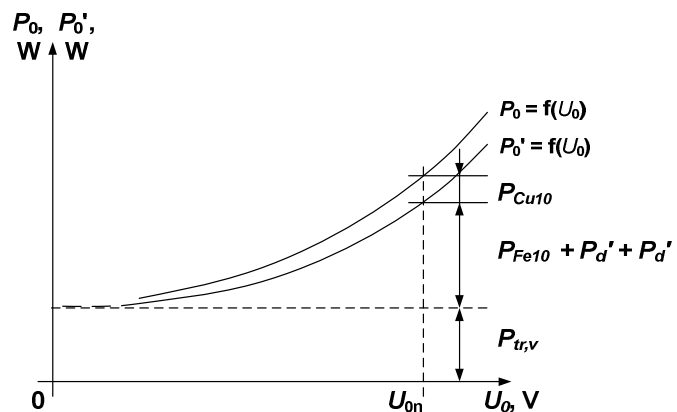
Gubici  $P_{tr,v}$ ,  $P_d'$  i  $P_d''$  pokrivaju se na račun mehaničke snage.

U dijagram se unose (vidi sliku 2.5):

- mjereni gubici praznog hoda  $P_0$ ,
- uži gubici praznog hoda dobivaju se odbijanjem gubitaka u namotu  $P_{Cu10} = 1,5 \cdot R_{st} \cdot I_0^2$  od  $P_0$ , za svaku točku ( $P_0' = P_0 - P_{Cu10}$ ),
- gubici trenja i ventilacije  $P_{tr,v}$  - ekstrapolacijom karakteristike  $P_0' = f(U_0)$  do 0 dobiveni  $P_{tr,v}$ , koji su konstantni u cijelom području. Ekstrapolacija se provodi tako da se nacrtava krivulja  $P_0' = f(U_0^2)$ . U području 30 - 70 %  $U_n$  ova krivulja je približno linearna, te se njenom linearnom aproksimacijom do ordinate pouzdano dobiva vrijednost  $P_{tr,v}$ , kao na slici 2.4.
- razliku između  $P_0'$  i  $P_{tr,v}$  čine ukupni gubici u željezu  $P_{Fe10} + P_d' + P_d''$ .



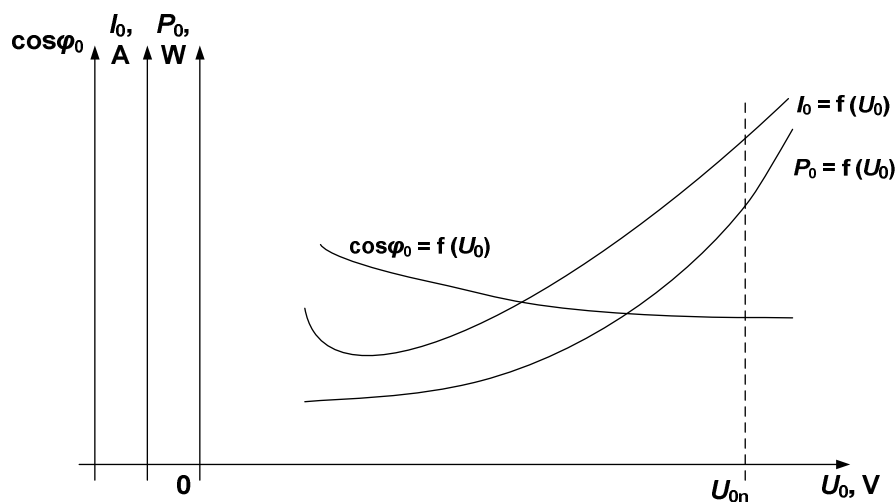
Slika 2.4 Aproksimacija gubitaka pomoću kvadratne skale



Slika 2.5 Raspodjela gubitaka praznog hoda asinkronog motora

Kvadratnu aproksimaciju najlakše (bez posebnog računanja) na milimetarskom papiru ostvarimo tako da očitamo vrijednost snage za "okrugli" broj centimetara napona. Zatim za istu vrijednost snage nanese kvadrat broja centimetara u milimetrima (npr. za 3 cm napona nanese  $3^2 = 9$  mm). Ovako iskonstruirana krivulja će biti približno pravac u području **30 - 70 %  $U_n$** , ovisno o zasićenju. Njen nagib će biti dovoljno velik, da možemo za napon jednak nuli očitati pouzdano gubitke trenja i ventilacije. Kod manjih strojeva, gdje brzina znatno pada s naponom i struja iz mreže raste, ovu aproksimaciju radimo na krivulji užih gubitaka.

Na slici 2.6 prikazan je primjer ovisnosti struje praznog hoda  $I_0$ , gubitaka  $P_0$  i faktora snage  $\cos \varphi_0$  o naponu  $U_0$ .

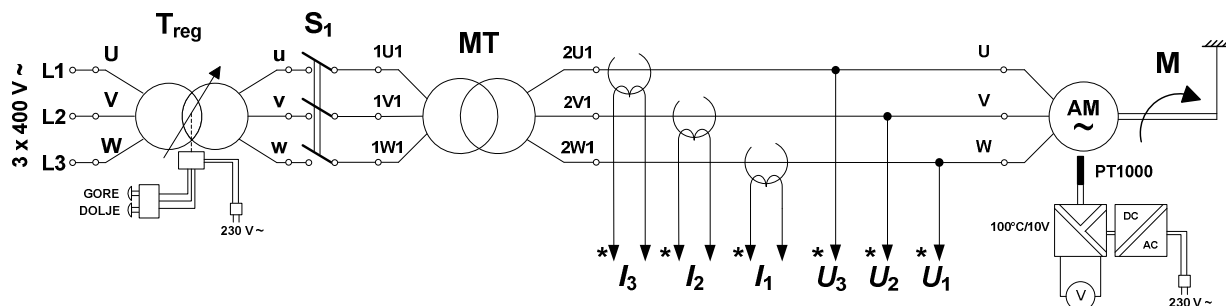


Slika 2.6 Ovisnost struje praznog spoja  $I_0$ , snage  $P_0$  i faktora snage  $\cos \varphi_0$  o naponu  $U_0$

### 3. Pokus kratkog spoja

Snimanje karakteristike kratkog spoja asinkronog motora se obavlja prema shemi na slici 3.1. Pri tome se snimaju ovisnosti  $I_k = f(U_k)$ ,  $P_k = f(U_k)$ ,  $M_k = f(U_k)$  i  $\cos \varphi_k = f(U_k)$  od najvećeg napona prema najmanjem. Asinkroni motor je priključen na sniženi napon  $U_k$ , a rotor mu je zakočen. Maksimalna vrijednost sniženog napona se podešava tako da struja ne prelazi vrijednost  $3 - 3,5 I_n$ . Razlog što se pokus provodi pri sniženom naponu  $U_k$  i potom vrijednosti struje i momenta preračunavaju na nazivni napon  $U_{kn}$  je velika potezna struja (struja kratkog spoja)  $I_k$  koja pri nazivnom naponu  $U_{kn}$  iznosi  $5 - 7 \cdot I_n$ .

Schema spoja mjernog kruga prikazana je na slici 2.2.



Slika 3.1 Shema spoja snimanja pokusa kratkog spoja asinkronog motora

#### 3.1 Struja kratkog spoja

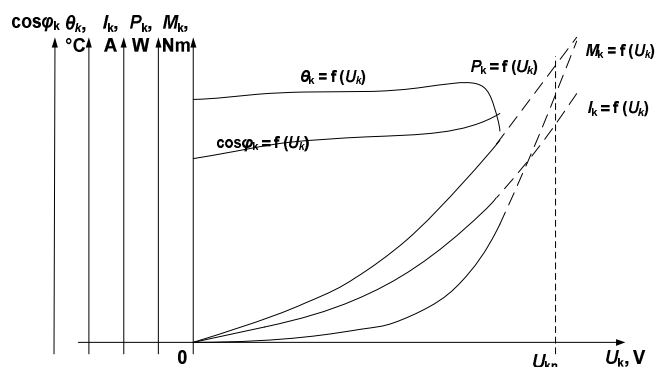
Pokus kratkog spoja daje ovisnost struje statora  $I_k$ , gubitaka  $P_k$ , momenta zakočenog asinkronog stroja  $M_k$ , te  $\cos \varphi_k$  o naponu na stezaljkama  $U_k$ .

Kada bi reaktancije i djelatni otpori, mjerodavni za veličinu struje kratkog spoja, bili konstantni, krivulja  $I_k = f(U_k)$  imala bi linearni karakter i  $\cos \varphi_k = f(U_k)$  bi bio konstantan.

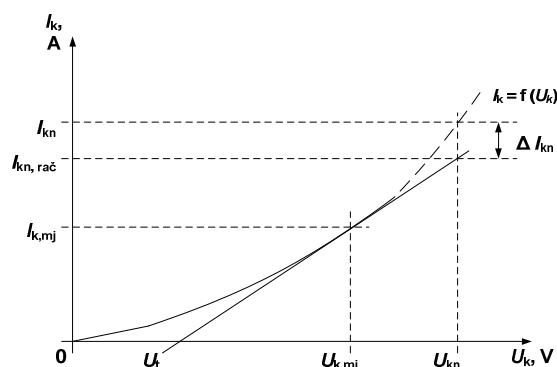
Glavni faktor koji kvari linearnost karakteristike  $I_k = f(U_k)$  je ovisnost rasipnih reaktancija o veličini struje. Ako se snima karakteristika samo kod nižih napona i ekstrapolira na nazivni napon po pravcu, dobit će se vrijednosti struje za  $20 - 50\%$  preniske (vidi sliku 3.3). Zbog toga se teži da pri mjerenju najviši napon bude što bliži nazivnom. Djelatni otpori se znatno mijenjaju sa zagrijavanjem. Da bi se što više eliminirao utjecaj zagrijavanja na oblik karakteristike, mjerenje se vrši u što kraćem vremenu. Počinje se s najvišim naponom, koji se smanjuje, tako da se temperatura hladnih namota u početku brzo podigne, a poslije praktično stagnira. Ako je zagrijanje naročito naglo i veliko, potrebno je mjeriti temperaturu namota pomoću termo sonde ugrađenih u namot i to prije i poslije snimanja svake točke te provesti korekciju.

U slučaju nazivnog spoja stroja u  $\Delta$ , te ako je raspoloživi izvor u ispitnoj stanici slab, može se stroj prespojiti iz  $\Delta$  u  $Y$ , i rezultate mjerenja u  $Y$  preračunati na  $\Delta$ .

Na slici 3.2 prikazan je primjer ovisnosti struje kratkog spoja  $I_k$ , gubitaka  $P_k$ , poteznog momenta  $M_k$  i faktora snage  $\cos \varphi_k$  o naponu  $U_k$ .



Slika 3.2 Ovisnost struje kratkog spoja  $I_k$ , snage  $P_k$ , poteznog momenta  $M_k$ , faktora snage  $\cos \varphi$  i temperature  $\theta_k$  statorskog namota o naponu  $U_{kn}$



Slika 3.3 Struja kratkog spoja  $I_k$  i preračunavanje na nazivni napon  $U_{kn}$

Struja kratkog spoja se na nazivni napon preračunava prema sljedećem izrazu, koristeći oznake prikazane na slici 3.3:

$$I_{kn, rač} = I_{k, mj} \cdot \frac{U_{kn} - U_t}{U_{k, mj} - U_t}$$



Pri tome su:

$U_{k,mj}$  i  $I_{k,mj}$  najveći izmjereni napon i struja pri pokusu kratkog spoja,  
 $U_{kn}$  i  $I_{kn}$  nazivni napon i struja kratkog spoja,  
 $U_t$  presjecište tangente na krivulju  $I_k = f(U_k)$  povučene iz točke najvećeg izmjenog napona i struje  $U_{k,mj}$ ,  $I_{k,mj}$  i osi apscise  $U_k$ .

Razlika izračunate vrijednosti struje kratkog spoja  $I_{kn,rač}$  i stvarne vrijednosti struje kratkog spoja  $I_{kn}$  se ne može precizno odrediti:

$$\Delta I_{kn} = I_{kn} - I_{kn,rač}$$

Ona je to manja, što je točka najvećeg izmjenog napona i struje bliža nazivnom naponu i struji kratkog spoja.

### 3.2 Potezni moment

Potezni moment za nazivni napon može se dobiti na sljedeće načine:

- mjerenjem kod nazivnog napona,
- mjerenjem kod sniženog napona i preračunavanjem po kvadratnoj ovisnosti o naponu na nazivnu vrijednost,
- računski iz snage koja prelazi sa statora na rotor pri nazivnom ili sniženom mjerenom naponu i struji kratkog spoja, prema izrazu:

$$M_{k,rač} = \frac{P_{okr}}{\omega_s} = \frac{P_k - 1,5 \cdot R_{st} \cdot I_k^2}{\omega_s} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k - 1,5 \cdot R_{st} \cdot I_k^2}{\omega_s}$$

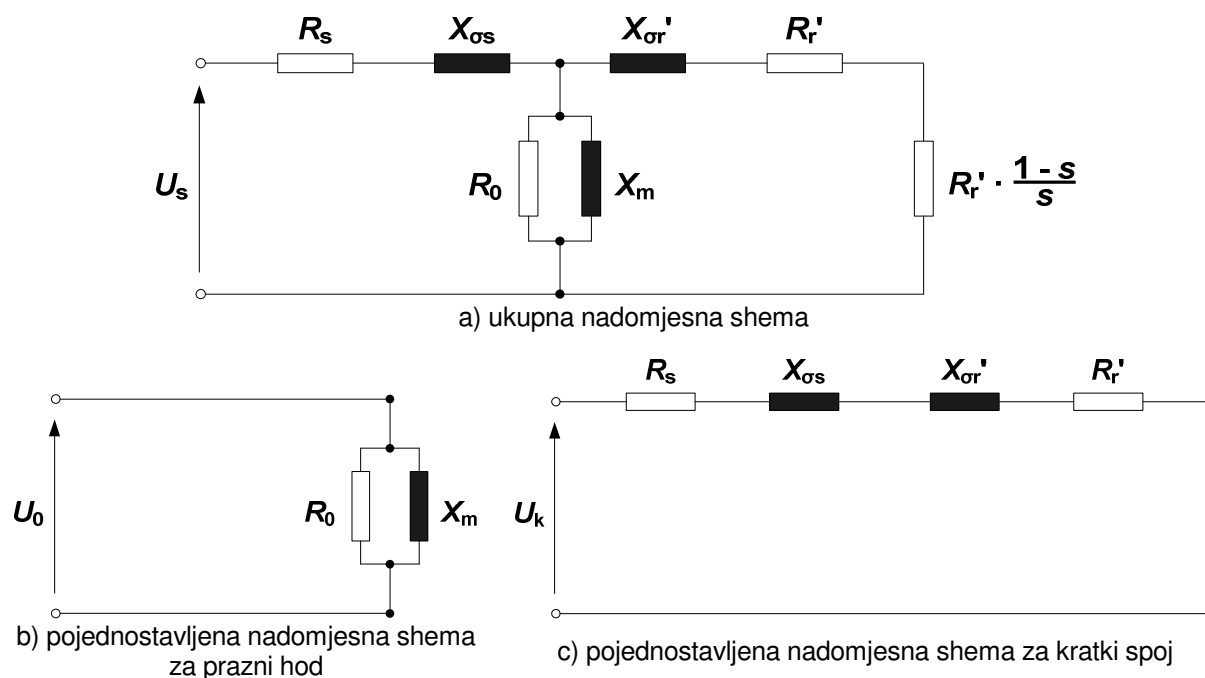
Ovaj rezultat se mora preračunati na nazivni napon, na način:

$$M_{kn} = M_{k,rač} \cdot \left( \frac{U_{kn}}{U_{k,rač}} \right)^2$$

Koja metoda će se primijeniti u konkretnom slučaju ovisi o mogućnostima ispitne stanice i zahtijevanoj točnosti.

## 4. Elementi nadomjesne sheme asinkronog motora

### 4.1 Nadomjesna shema asinkronog motora



Slika 4.1 Nadomjesna shema asinkronog motora

Parametri nadomjesne sheme određuju se iz mjerenja otpora statora, pokusa praznog hoda i kratkog spoja. U praznom hodu zanemarujemo vrijednosti  $R_s$  i  $X_{\sigma s}$  zbog male struje praznog hoda i malog pada napona na tim parametrima. U kratkom spoju zanemarujemo  $X_m$  i  $R_0$  zbog toga što stroj radi u linearnom (nezasićenom) dijelu krivulje magnetiziranja pa je struja u poprečnoj grani nadomjesne sheme zanemariva u odnosu na struju u uzdužnoj grani.

### 4.2 Parametri iz pokusa praznog hoda

Iz mjerenja u pokusu praznog hoda očitaju se podaci pri nazivnom naponu  $U_{0n}$ :

- $I_{0n}$  linijska struja u praznom hodu pri nazivnom naponu,
- $P_{0n}$  ukupni gubici u praznom hodu pri nazivnom naponu,
- $\cos \varphi_{0n}$  faktor snage u praznom hodu pri nazivnom naponu.

Iz tih podataka i poznatog otpora između stezaljki statorskog namota  $R_{st}$ , računaju se:

$P_{0n}'$  užli gubici u praznom hodu pri nazivnom naponu, izračunati prema izrazu:

$$P_{0n}' = P_{0n} - 1,5 \cdot R_{st} \cdot I_{0n}^2$$

$P_{Fen}$  gubici u željezu pri nazivnom naponu, izračunati prema izrazu:

$$P_{Fen} = P_{0n}' - P_{tr,v}$$

Ako su gubici trenja i ventilacije zanemarivi, nije ih potrebno uzimati u obzir.

U praznom hodu vladaju takve prilike u stroju da se utjecaj otpora namota i rasipnih reaktancija statora i rotora može zanemariti, pa se elementi nadomjesne sheme  $R_0$  i  $X_m$  računaju prema slijedećim izrazima:

$$Z_0 = \frac{U_{0n}}{\sqrt{3} \cdot I_{0n}}, \quad \cos \varphi_{0n} = \frac{P_{Fen}}{\sqrt{3} \cdot U_{0n} \cdot I_{0n}}, \quad R_0 = \frac{Z_0}{\cos \varphi_{0n}}, \quad X_m = \frac{Z_0}{\sin \varphi_{0n}}$$

Pri tome su:

- $Z_0$  impedancija jedne faze nadomjesne zvijezde u praznom hodu,
- $R_0$  otpor jedne faze nadomjesne zvijezde u praznom hodu,
- $X_m$  reaktancija jedne faze nadomjesne zvijezde u praznom hodu.

### 4.3 Parametri iz pokusa kratkog spoja

Iz mjerenja u pokusu kratkog spoja očitaju se podaci pri sniženom naponu  $U_k$  preračunati na nazivni napon  $U_{kn}$ :

- $I_{kn}$  linijska struja u kratkom spoju pri nazivnom naponu,
- $P_{kn}$  gubici u kratkom spoju pri nazivnom naponu,
- $\cos \varphi_{kn}$  faktor snage u kratkom spoju pri nazivnom naponu.

U kratkom spoju međusobno djelovanje statorskog i rotorskog toka je takvo da ostaju samo rasipni tokovi. Utjecaj glavne reaktancije može se zanemariti, pa se elementi nadomjesne sheme  $R_s$ ,  $R_r'$ ,  $X_{\sigma s}$  i  $X_{\sigma r}'$  računaju prema slijedećim izrazima:

$$Z_k = \frac{U_{kn}}{\sqrt{3} \cdot I_{kn}}, \quad \cos \varphi_{kn} = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \cdot U_{kn} \cdot I_{kn}}, \quad R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_{kn}, \quad X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_{kn}$$

$$R_s = \frac{R_{st}}{2}, \quad X_{\sigma s} = X_{\sigma r}' = \frac{X_k}{2}$$

$$R_r' = R_k - R_s$$

Pri tome su:

- $Z_k$  impedancija jedne faze nadomjesne zvijezde u kratkom spoju,
- $R_{st}$  izmjereni otpor između stezaljki statorskog namota,
- $R_s$  otpor jedne faze nadomjesne zvijezde statora,
- $R_r'$  otpor jedne faze nadomjesne zvijezde rotora, preračunat na statorsku stranu,
- $X_{\sigma s}$  rasipna reaktancija jedne faze nadomjesne zvijezde statora,
- $X_{\sigma r}'$  rasipna reaktancija jedne faze nadomjesne zvijezde rotora, preračunata na statorsku stranu.

## 5. Pitanja za pripremu vježbe

- a) Koje najvažnije fizikalne veličine treba sadržavati natpisna pločica asinkronog motora?
- b) Kada se mijenjaju podaci natpisne pločice i zašto?
- c) Koje namote može imati asinkroni motor, kakvi namoti mogu biti i koji su osnovni načini spajanja namota?
- d) Zašto se provodi pokus praznog hoda asinkronog motora?
- e) Što prikazuje snimljena karakteristika praznog hoda?
- f) Koji gubici asinkronog motora se mogu odrediti pokusom praznog hoda? Opišite postupak njihovog određivanja
- g) Zašto se provodi pokus kratkog spoja asinkronog motora?
- h) Što prikazuje snimljena karakteristika kratkog spoja?
- i) Koji gubici asinkronog motora se mogu odrediti pokusom kratkog spoja?
- j) Koliko je dozvoljeno zagrijavanje namota za klase izolacije **A, B, F**?
- k) Koji je postupak određivanja poteznog momenta asinkronog motora?
- l) Koji podaci i iz kojih pokusa su potrebni za određenje elemenata nadomjesne sheme asinkronog motora?
- m) Na koji način se određuju  $X_m$  i  $R_0$ ?
- n) Na koji način se određuju  $X_{\sigma s}$  i  $X_{\sigma r}'$ , te  $R_s$  i  $R_r'$ ?