

Vježba br. 5:	ASINKRONI MOTOR: NATPISNA PLOČICA, MJERENJE OTPORA NAMOTA, PRAZNI HOD I KRATKI SPOJ
Student:	
Grupa:	

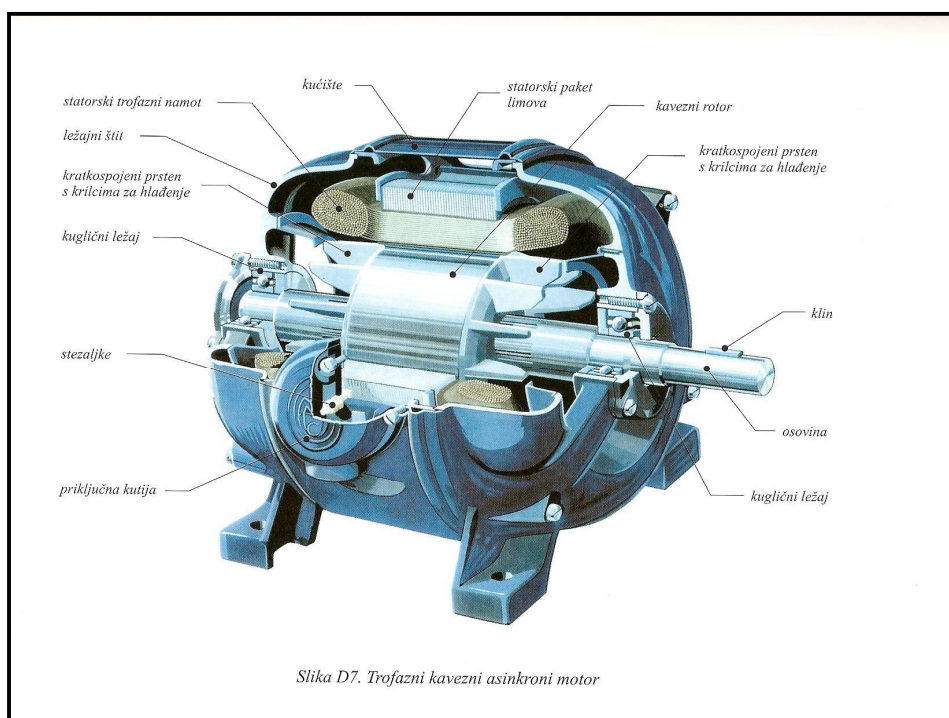
1. UVOD

Najrašireniji električni strojevi danas su svakako asinkroni kavezni strojevi. Robusni su, dobro zaštićeni od vanjskih utjecaja i pouzdani, a cijenom prihvatljivi. Koriste se najčešće kao motori najmanjih snaga do najvećih reda 60–ak MW, a ponekad i kao generatori (npr. u vjetroelektranama). Najčešće se izvede trofazno, a samo manjih snaga jednofazno. Brzina vrtnje rotora asinkronog stroja različita je od brzine vrtnje okretnog polja u rasporu pa od tuda dolazi i naziv *asinkroni*.

1.1. Osnovni dijelovi asinkronih strojeva

Stator (sl. 1) se sastoji od paketa, namota i konstrukcijskih dijelova i izvodi se kao i kod sinkronih strojeva. Na provrtu cilindričnog paketa izvedeni su utori u kojima je smješten namot.

Rotor (sl. 1) se sastoji od paketa, namota i konstrukcijskih dijelova. Redovito je cilindričan, valjkasti s utorima na obodu u kojima je namot. Ovisno o vrsti stroja namot rotora može biti izoliran s krajevima izvedenim na kolute (*kolutni asinkroni motor*) ili neizoliran i kratko spojen (*kavezni asinkroni motor*). U vježbi će se koristiti kavezni asinkroni motor.



Slika 1. Trofazni kavezni asinkroni motor

1.2. Princip rada

Priključkom statorskog namota asinkronog motora na izmjenični (najčešće trofazni) napon, poteče struja koja stvara okretno magnetsko polje koje rotira brzinom:

$$n = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (1)$$

Silnice magnetskog toka presjecaju vodiče namota statora i rotora i u njima induciraju napone frekvencije f_1 iznosa:

$$u \text{ statoru:} \quad E_1 = 4,44 \cdot \Phi \cdot N_1 \cdot f_{n1} \cdot f_1 \quad (2)$$

$$u \text{ rotoru:} \quad E_2 = 4,44 \cdot \Phi \cdot N_2 \cdot f_{n2} \cdot f_2 \quad (3)$$

Napon E_1 jednak je narinutom naponu po fazi (uz zanemarenje rasipnih padova napona). Napon E_2 protjerat će kroz kratko spojeni rotor struju I_2 , pa će na rotor djelovati obodna sila i moment zbog protjecanja struje kroz vodiče u magnetskom polju.

Rotor će se zavrtjeti do brzine pri kojoj se uspostavlja ravnoteža razvijenog momenta i momenta tereta (ili do brzine praznog hoda, ako je motor neopterećen). Ta brzina je nešto manja od sinkrone brzine vrtnje.

Zaostajanje rotora za brzinom okretnog polja statora se naziva klizanjem i određuje prema izrazu:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (4)$$

1.3. Namot asinkronog motora

U priključnoj kutiji obično se nalazi 6 priključnih stezaljki na koje su izvedeni počeci i krajevi namotaja. Oznake i raspored priključaka su standardizirani i označavaju se prema propisima ovim oznakama:

Tablica 1. Oznake priključaka namota

Oznake	Vrsta namota
U, V, W	namoti statora spojeni u trokut
U, V, W, N	namoti statora spojeni u zvijezdu s izvedenim zvjezdishem
U1-U2, V1-V2, W1-W2	namot statora ako su izvedena oba kraja
K, L, M, Q	namoti kliznokolutnog rotora spojenog u zvijezdu

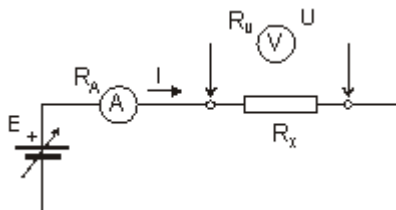
Tablica 2. Sheme spajanja namota

Trofazni jednobrzinski motor	Niži napon	Viši napon
Shema priključka na mrežu		

Smjer vrtnje mijenjamo zamjenom dvije dovodne faze u priključnoj kutiji !

1.4. Mjerenje otpora namota asinkronog motora U – I metodom

Za mjerenje otpora namota koristi se U-I metoda u naponskom spoju prema shemi spoja, slika 2. Prije izbora instrumentarija nužno je iz podataka natpisne pločice procijeniti vrijednosti otpora pojedinih namota:



Slika 2. U-I metoda mjerenja otpora

Veličina mjerne struje podešava se promjenom napona na izvoru istosmjernog napona, a treba ju odabrati prema veličini nazivne struje dotičnog namota i to tako da ne prelazi **10 %** nazivne struje, jer se samo tada može zanemariti povećanje otpora uslijed zagrijavanja, koje izaziva mjerna struja. Ako se za mjerenje koriste klasični pokazni instrumenti (ampermetar i voltmetar) tada im treba mjerno područje tako odabrati da im otklon bude što veći (preko **2/3** punog otklona), kako bi pogreška mjerenja bila što manja. S obzirom da se radi o mjernom krugu s induktivitetom, mjerna struja će postupno rasti i to sporije, što je veći induktivitet. Zato se očitavanje napona voltmetrom smije provesti tek kad struja dosegne svoju konačnu vrijednost. Prije isključivanja struje potrebno je odspojiti voltmetar (milivoltmetar), kako ne bi došlo do njegovog oštećenja zbog induciranja visokog napona pri isključivanju struje u krugu induktiviteta.

Kod trofaznih izmjeničnih strojeva mjeri se u pravilu otpor namota između stezaljki (sve tri kombinacije). Ukoliko se mjeri otpor pojedine faze, mora se navesti pogonski spoj stroja, zbog računanja gubitaka u namotu. Kada je poznat otpor između stezaljki, pogonski spoj namota nije nužno poznavati.

Otpor namota kliznokolutnog rotora mjeri se direktno na kliznim kolutima (nelinearni prijelazni otpor četkica ne ulazi u otpor namota).

1.4.1. 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. Za promjenu otpora s temperaturom, za bakrene namote, vrijedi:

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0} (1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta\vartheta) \quad (5)$$

gdje je: R_{ϑ} otpor na temperaturi ϑ (topli otpor), R_{ϑ_0} otpor na temperaturi ϑ_0 (hladni otpor), $\alpha_{Cu} = 0.0039$ je toplinski koeficijent otpora bakra, a $\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_0$ razlika radne temperature stroja i temperature okoline. Kao radna temperatura stroja uzima se temperatura od 75°C.

Obavezno se mora izmjeriti i zabilježiti temperatura namota (odnosno okoline), kod koje je vršeno mjerenje otpora. Kada nema podatka o temperaturi okoline, pretpostavlja se 20 °C.

1.4. Pokus praznog hoda asinkronog motora

Prazni hod je takvo pogonsko stanje u kojem je stroj priključen na nazivni napon, a osovina rotora je neopterećena. *Struja statora u praznom hodu* I_0 je kod velikih strojeva mala u odnosu na nazivnu struju te su i gubici u bakru statora mali u odnosu na iste gubitke pri nazivnoj struji.

Gubici u željezu u praznom hodu jednaki su onima pri nazivnom opterećenju jer ti gubici ovise o naponu. Snaga koju stroj uzima iz mreže potrebna je za pokrivanje gubitaka praznog hoda, a *glavninu tih gubitaka čine gubici u željezu*.

Kod malih strojeva, međutim, struja praznog hoda može biti značajna i dostiže oko 50 %, a kod sporohodnih motora čak i 100 % nazivne struje motora. Tu već ne možemo zanemariti gubitke u namotu naspram gubitaka u jezgri stroja.

U praznom hodu neopterećenog stroja moraju se iz mreže pokriti:

- gubici u željezu uzrokovani histerezom i vrtložnim strujama P_{Fe10} ;
- gubici u namotima statora P_{Cu10} .

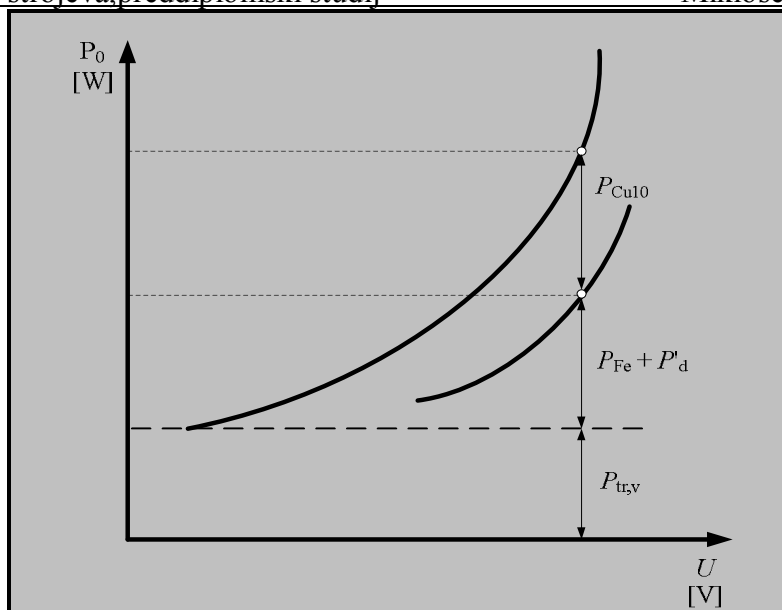
Na račun mehaničke snage pokrivaju se

- gubici zbog trenja i ventilacije $P_{tr,v}$;
- dodatni gubici P'_d

U pokusu praznog hoda mijenjamo napon statora i mjerimo struju i snagu koju stroj uzima iz mreže. Napon napajanja mijenja se od $1,2 U_n$ do otprilike $0,25 U_n$, odnosno do napona pri kojem struja počinje rasti.

U dijagram praznog hoda unosimo:

- gubitke praznog hoda P_0 u ovisnosti o naponu statora
- ekstrapolacijom do 0 dobivamo $P_{tr,v}$ koji su konstantni u cijelom području napona
- odbijanjem $P_{Cu10} = 1.5 \cdot R_{st} \cdot I_0^2$ od P_0 za svaku točku dobivamo P'_0 (uži gubici praznog hoda $P'_0 = P_0 - P_{Cu10}$);
- razliku između P'_0 i $P_{tr,v}$ čine gubici $P_{Fe10} + P'_d$.

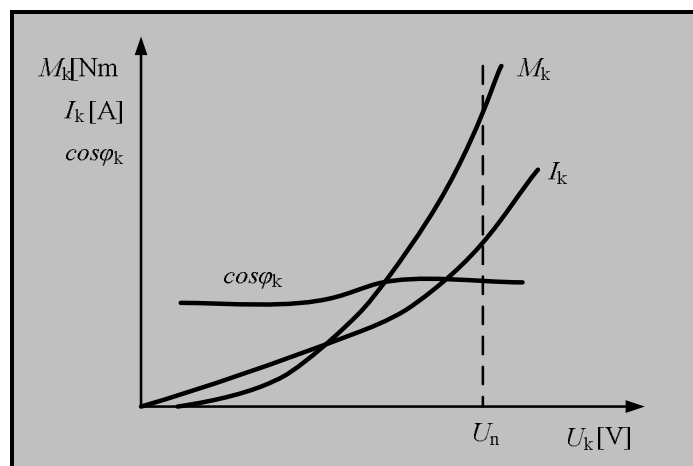


Slika 3. Raspodjela gubitaka praznog hoda

1.5. Pokus kratkog spoja asinkronog motora

Pokus kratkog spoja daje ovisnost struje statora I_k , $\cos\varphi_k$ i momenta M_k , zakočenog asinkronog stroja o naponu na stezaljkama (Slika 4).

Krivulja $I_k = f(U)$ imala bi linearni karakter, a $\cos\varphi = f(U)$ bio bi konstanta kada bi djelatni otpori i reaktancije, mjerodavni za veličinu struje kratkog spoja, bili konstantni. Djelatni otpori se znatno mijenjaju sa zagrijavanjem. Kako bi se što više eliminirao utjecaj zagrijavanja na izgled karakteristike, vršimo mjerenje što brže a počinjemo ga s najvišim naponima, koje za daljnje točke snižavamo, tako da se temperatura hladnih namota u početku brzo podigne, a poslije praktički stagnira.



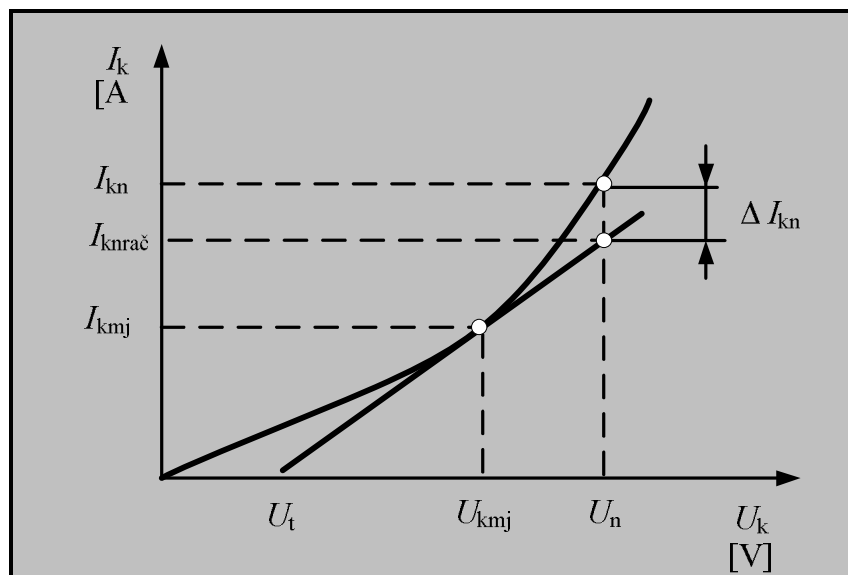
Slika 4. Karakteristike kratkog spoja asinkronog motora

Glavni je faktor, koji kvari linearnost karakteristike $I_k = f(U_k)$, ovisnost rasipnih reaktancija o veličini struje. Ako snimamo karakteristiku samo kod nižih napona, pa izvršimo ekstrapolaciju na nominalni napon po pravcu, dobit ćemo vrijednosti struje za 20 - 50 % preniske.

Zbog toga se teži da se mjerenje provodi kod što većeg napona. Preračunavanje struje kratkog spoja na nazivni napon:

$$I_{kn,r} = I_{k,mj} \frac{U_n - U_t}{U_{k,mj} - U_t} \quad (6)$$

$$I_{kn} = I_{kn,r} + \Delta I_{kn}$$



Slika 5. Struja kratkog spoja asinkronog motora

1.5.1. Potezni moment asinkronog motora

Metode mjerenja poteznog momenta ovise o raspoloživoj opremi i veličini stroja. Potezni moment za nazivni napon možemo dobiti na slijedeće načine :

- *mjerenjem kod nazivnog napona;*
- *mjerenjem kod sniženog napona i preračunavanjem po kvadratnoj ovisnosti o naponu na nazivnu vrijednost ;*
- *računski iz snage koja prelazi iz statora na rotor pri mjerenom naponu i struji kratkog spoja.*

$$M_{k,mj} = \frac{P_{12}}{\omega_s} = \frac{P_k - 1.5 \cdot R_{st} \cdot I_k^2}{\omega_s} \quad (7)$$


gdje je: ω_s sinkrona kutna brzina, P_k i I_k snaga, odnosno struja, koju motor uzima iz mreže u kratkom spoju, a R_{st} otpor između stezaljki u toplom stanju. Moment se izračunava prema gornjoj relaciji jedino ako ne postoji mogućnost direktnog mjerenja momenta na osovini.

Ovaj rezultat se mora preračunati na nazivni napon i spoj stroja.

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

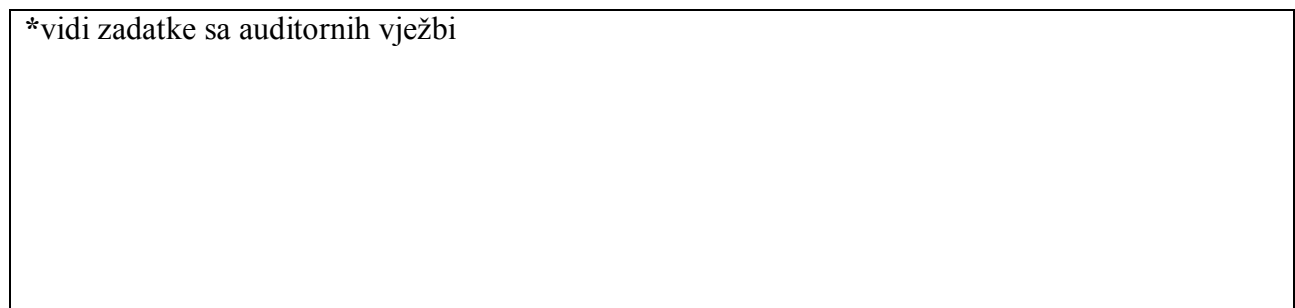
2. PRIPREMA ZA VJEŽBU

2.1. Skicirajte priključnu pločicu s rasporedom stezaljki stroja i spojeve koje treba napraviti između stezaljki da se dobije spoj namota u zvijezdu, odnosno u trokut.



2.2. Odredite električnu snagu, iskoristivost, moment, klizanje, ukupne gubitke i sinkronu brzinu pri nazivnom opterećenju (vidi sliku 5b).

*vidi zadatke sa auditornih vježbi



2.3. Što se određuje pokusom praznog hoda asinkronog motora ?

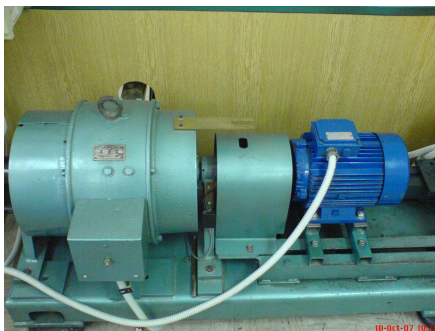
2.4. Kada trofazni asinkroni motor radi u kratkom spoju?

2.5. Što prikazuje snimljena karakteristika kratkog spoja ?

2.6. Na koji se način određuje potezni moment asinkronog motora ?

3. RAD NA VJEŽBI

Za izvođenje vježbe koristiti asinkroni motor prikazan na slici 6 a) s podacima natpisne pločice danim na slici 6 b).



a)

Proizvođač:	Končar
Vrsta stroja:	asinkroni motor
Nazivna snaga:	4 kW
Nazivni napon:	380/660 V
Nazivna struja:	8,7 / 5 A
Faktor snage:	0,82
Frekvencija:	50 Hz
Brzina vrtnje:	1420 o/min

b)

Slika 6. Ispitivani asinkroni motor (desno) a) i podaci s natpisne pločice b)

3.1. Natpisna pločica

1. Ustanovite tehničke podatke ispitivanog stroja. Svakom podatku potrebno je odrediti značenje.

3.2. Mjerenje otpora namota

1. Izmjerite U-I metodom otpor sve tri faze i izračunajte srednju vrijednost. Isto tako izmjerite otpor između stezaljki u spoju zvijezda i u spoju trokut te također izračunajte srednju vrijednost otpora za oba spoja.

Temperatura okoline: $\vartheta_0 =$

Tablica 3. Otpor faze

Stežaljke	Napon, V	Struja, A	Otpor, Ω
U1 – U2			
V1 – V2			
W1 – W2			

$$R_f = \frac{R_U + R_V + R_W}{3} =$$

Tablica 4. Otpor između stežaljki u spoju trokut

Stežaljke	Napon, V	Struja, A	Otpor, Ω
U1 - V1			
U1 - W1			
V1 - W1			

$$R_{stt} = \frac{R_{UV} + R_{UW} + R_{VW}}{3} =$$

Tablica 5. Otpor između stežaljki u spoju zvijezda

Stežaljke	Napon, V	Struja, A	Otpor, Ω
U1 - V1			
U1 - W1			
V1 - W1			

$$R_{stz} = \frac{R_{UV} + R_{UW} + R_{VW}}{3} =$$

2. Preračunajte ove otpore na toplo stanje (75°C) i izračunajte iznos gubitaka u bakru statorskog namota pri nazivnoj struji.

$$R_{fg} = R_f (1 + 0,0039 \cdot (75 - \vartheta_0)) =$$

$$I_{fn} =$$

$$R_{sttg} = R_{stt} (1 + 0,0039 \cdot (75 - \vartheta_0)) =$$

$$I_{nt} =$$

$$R_{stzg} = R_{stz} (1 + 0,0039 \cdot (75 - \vartheta_0)) =$$

$$I_{nz} =$$

3. Izračunajte gubitke u staterskom namotu pri nazivnoj struji:

Izračunati preko otpora faze:

$$P_{Cun} = 3 \cdot I_{fn}^2 \cdot R_{fg} =$$

Izračunati preko otpora između stežaljki u spoju trokut:

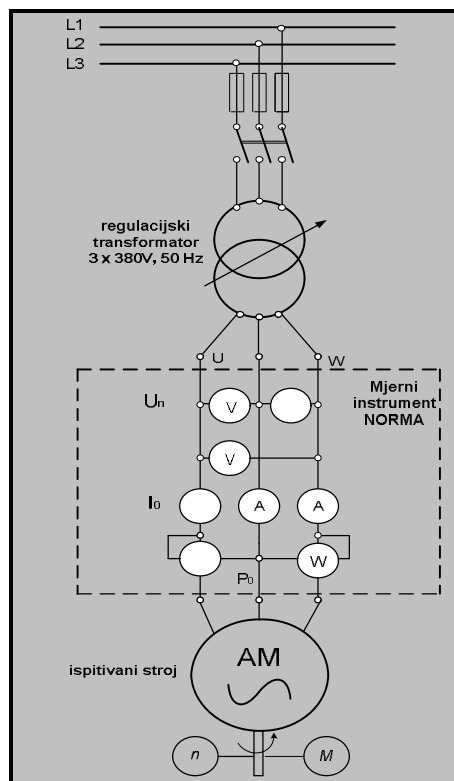
$$P_{Cun} = 1,5 \cdot I_{nt}^2 \cdot R_{sttg} =$$

Izračunati preko otpora između stežaljki u spoju zvijezda:

$$P_{Cun} = 1,5 \cdot I_{nz}^2 \cdot R_{stzg} =$$

3.3. Pokus praznog hoda

1. Spojite asinkroni motor i instrumente prema shemi na slici 7. Snimiti ovisnost struje I_0 , snage P_0 i faktora snage $\cos \varphi$ u praznom hodu uzima pri naponu napajanja od $U = 1,2 \cdot U_n$ do $U = 0,25 \cdot U_n$. Tijekom mjerenja kontrolirajte brzinu vrtnje. Struju mjeriti u sve tri faze. Izmjerene podatke prikažite u tablici 6.



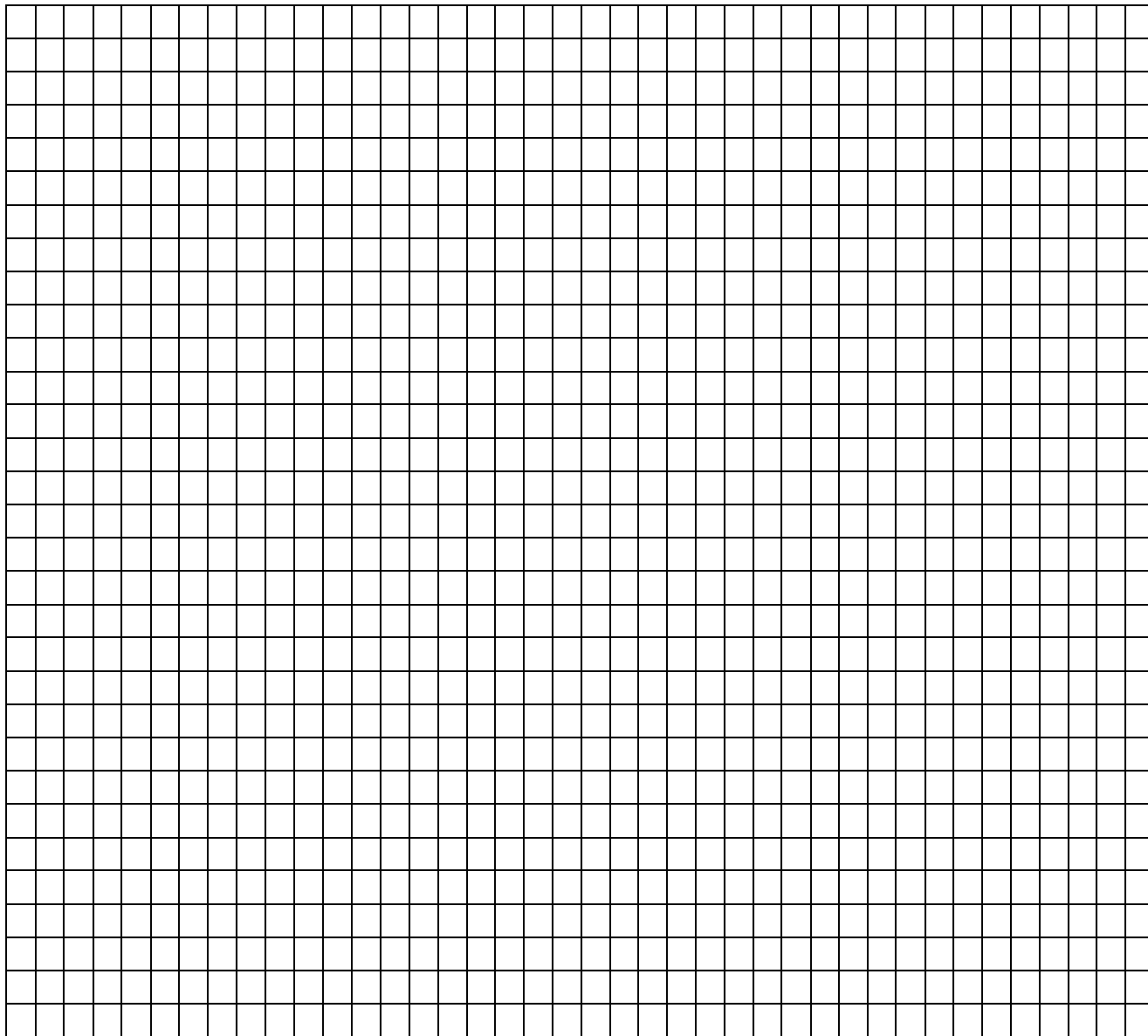
Slika 7. Shema spoja za pokus praznog hoda

Tablica 6. Izmjerene vrijednosti

U	[V]										
I_0	[A]										
P_0	[W]										
$\cos \varphi$											
m	[kg]										
n	[min ⁻¹]										

2. Nacrtajte karakteristiku praznog hoda $I_0 = f(U)$, krivulju gubitaka $P_0 = f(U)$, te $\cos \varphi = f(U)$. Sa dijagrama očitajte: struju praznog hoda I_0 , faktor snage $\cos \varphi_0$ i gubitke P_0 kod nazivnog napona U_n .

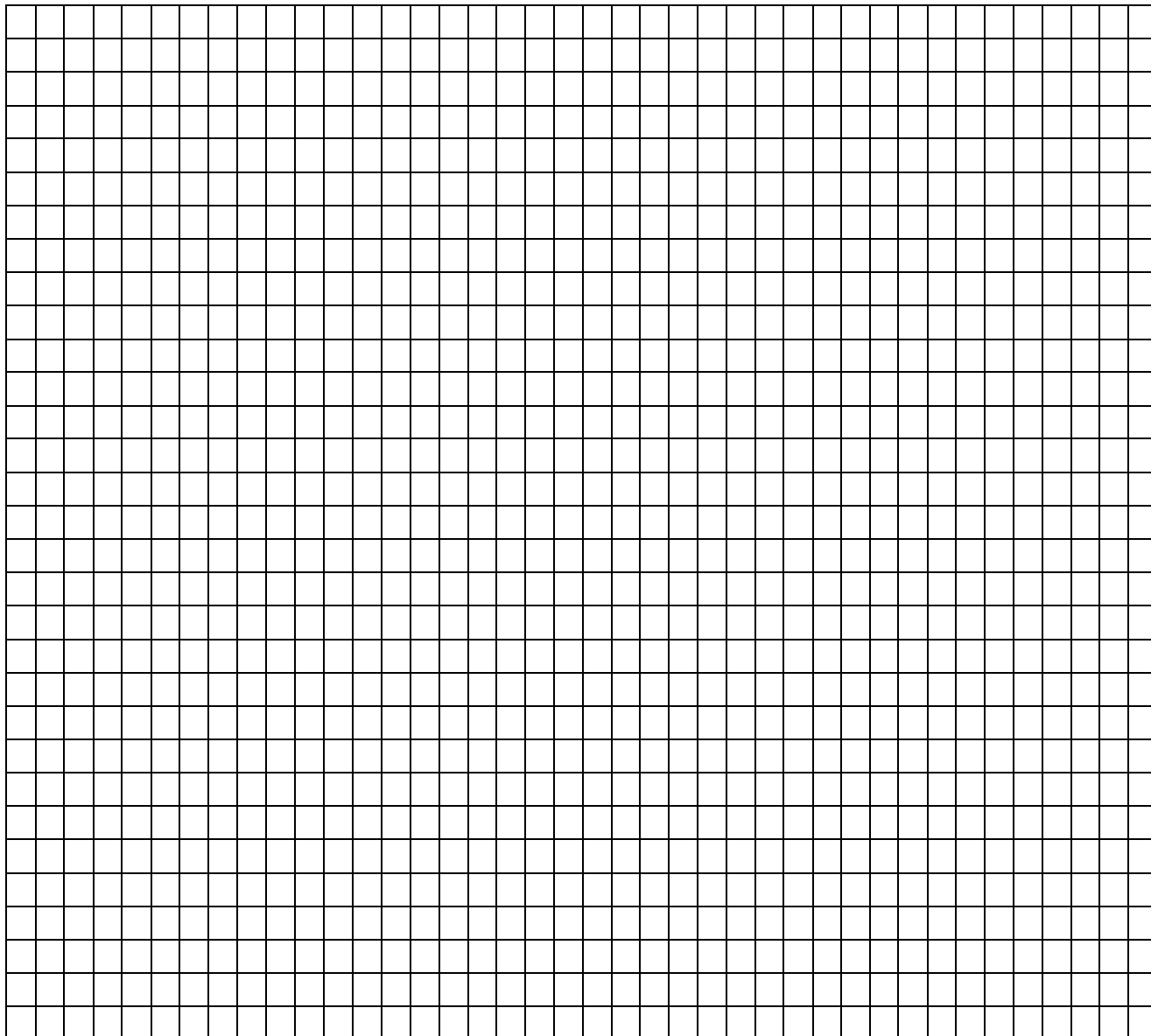
a) $I_0 = f(U)$, $P_0 = f(U)$, $\cos \varphi = f(U)$



$\cos \varphi$		
I_0	[A]	
P_0	[W]	

3. Nacrtajte krivulju užih gubitaka praznog hoda P_0' odbijanjem $P_{\text{Cu10}} = 1.5 \cdot R_{\text{st}} \cdot I_0^2$ od P_0 za svaku točku.

b) $P_0' = f(U)$



4. Ekstrapolacijom karakteristike P_0 do napona 0 V odredite $P_{\text{tr,v}}$ koji su konstantni u cijelom području napona.

$$P_{\text{tr,v}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

5. Očitati s karakteristike gubitke u željezu i gubitke u bakru pri nazivnom naponu kako je prikazano na slici 8.

$$P_{\text{Cu0}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_{\text{Fe}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3.4. Pokus kratkog spoja

*Napomena:

Pokus se provodi u spoju namota u zvijezdu pri sniženom naponu uz mjerenje momenta na osovini.

1. Prije pokusa kratkog spoja izmjerite U-I metodom otpor između stezaljki motora i temperaturu okoline.

$$\vartheta_0 = \text{_____} [^{\circ}\text{C}]$$

$$U = \text{_____} [\text{V}]$$

$$I = \text{_____} [\text{A}]$$

$$R_{st} = \text{_____} [\Omega]$$

2. Spojite motor prema shemi na slici 8. Osovinu motora zakočite. Mjerenje počinje s naponom 0 V i zatim se povećava za prvo mjerenje na maksimalnu vrijednost tako da struja ni u jednoj fazi ne prelazi vrijednost $3 \times I_n$, a zatim se smanjuje. Prvo mjerenje treba obaviti što prije (zbog velike struje). Snimite ovisnost struje, faktora snage i momenta zakočenog motora o naponu napajanja U .

Tablica 7. Izmjerene vrijednosti

U_k	[V]										
I_k	[A]										
P_k	[W]										
cosφ_k											
m	[kg]										
M	[Nm]										

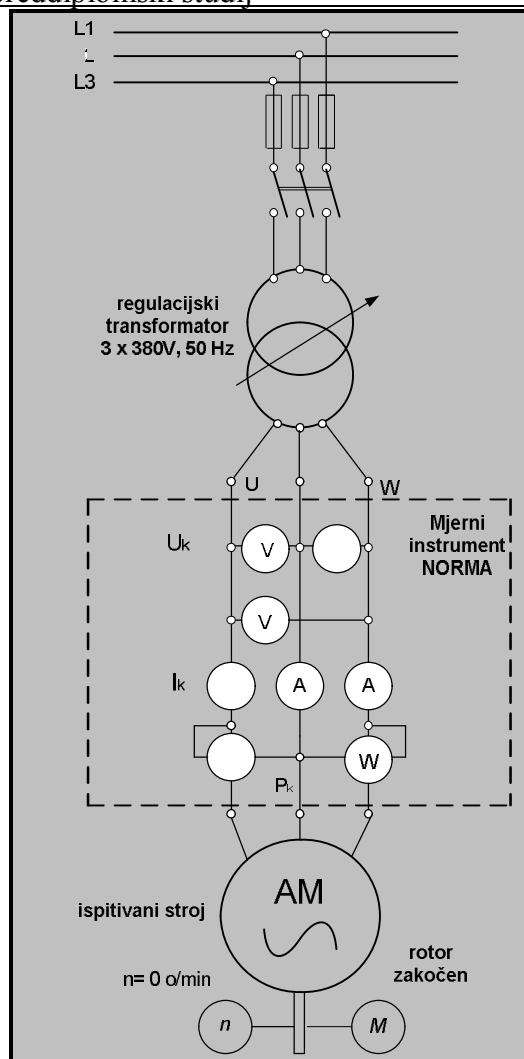
3. Na kraju mjerenja izmjerite ponovo otpor između istih stezaljki i izračunajte temperaturu namota nakon pokusa.

$$U = \text{_____} [\text{V}]$$

$$I = \text{_____} [\text{A}]$$

$$R_{st} = \text{_____} [\Omega]$$

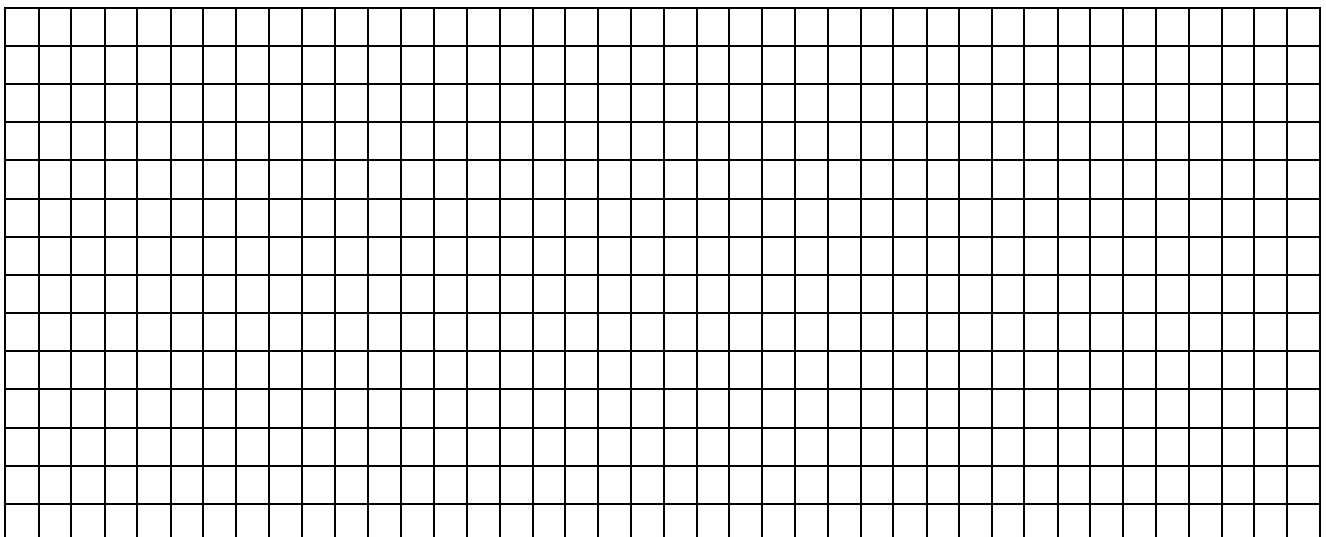
$$\vartheta = \vartheta_0 + \frac{1}{\alpha_{Cu}} \cdot \left(\frac{R_{\vartheta}}{R_{\vartheta_0}} - 1 \right) =$$

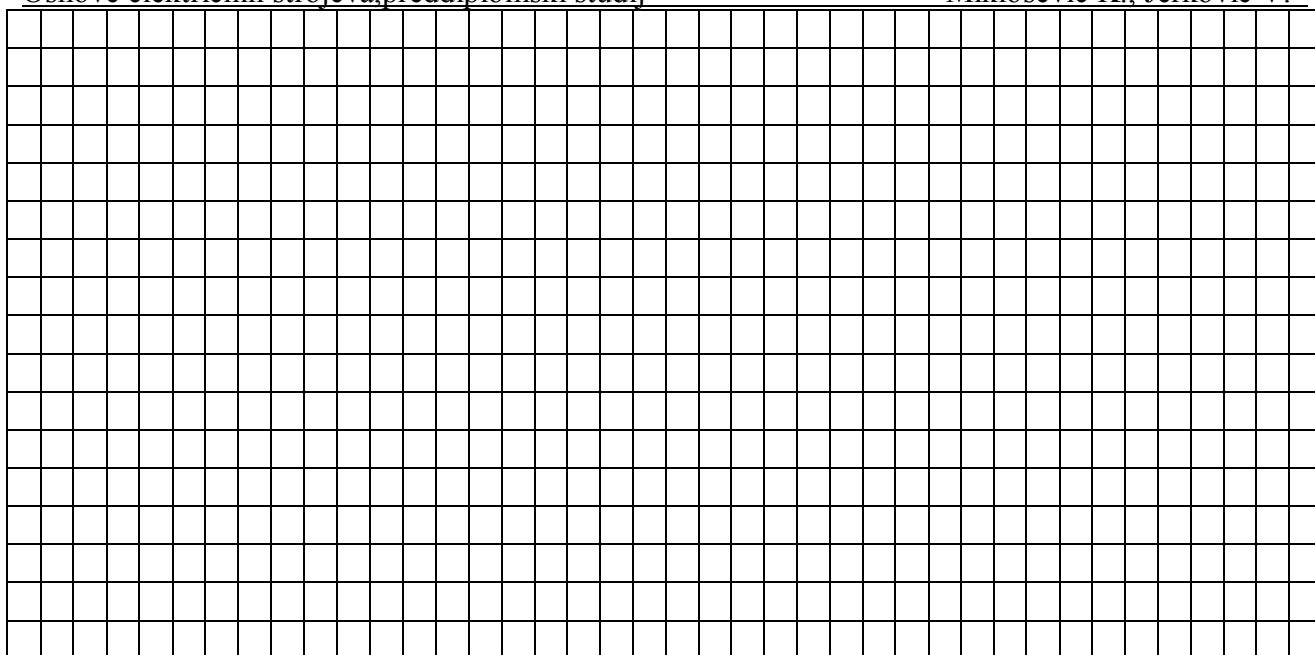


Slika 8. Shema spoja za pokus kratkog spoja

4. Prikažite u dijagramu krivulje $I_k = f(U)$, $P_k = f(U)$, $M_k = f(U)$, $\cos\varphi_k = f(U)$.

c) $I_k = f(U)$, $P_k = f(U)$, $M_k = f(U)$, $\cos\varphi_k = f(U)$





5. Preračunajte potezni moment i poteznu struju na nazivni napon prema relaciji:

$$I_{kn} = I_{kmj} \frac{U_n}{U_{mj}} =$$

$$M_{kn} = M_{kmj} \left(\frac{U_n}{U_{mj}} \right)^2 =$$

Za U_{mj} uzmite najveći primarni napon, a I_{kmj} i M_{kmj} su pripadne vrijednosti struje i momenta. Izračunate nazivne vrijednosti upišite u dijagrame struje odnosno momenta.

4. ZAPAZANJA I KOMENTAR