

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK		Osnove električnih strojeva
Vježba br. 4		ASINKRONI MOTOR – KONSTRUKCIJA I NATPISNA PLOČICA
Student:		
Grupa:		

1. UVOD

1. 1. Osnovni dijelovi asinkronog motora

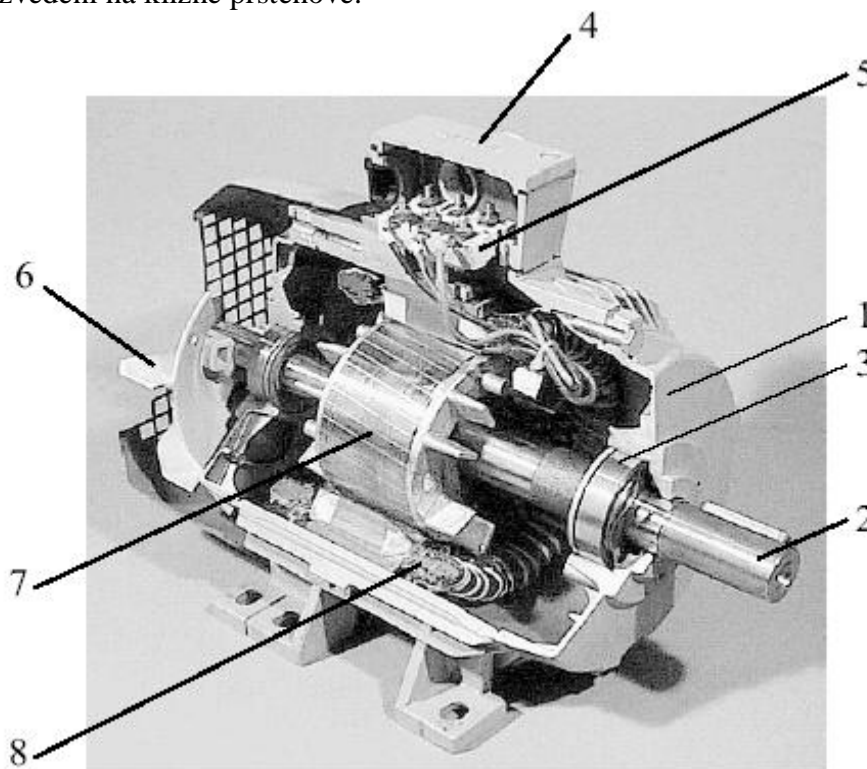
- Mehanički: kućište, osovina, ležajni štitovi, ležaji, ventilator.
- Električki: namot statora i rotora, priključne stezaljke.
- Magnetski: jaram i zubi statora, jaram i zubi rotora, zračni raspod.

Podjela statorskih namota može biti po više kriterija, a najčešće se dijele na:

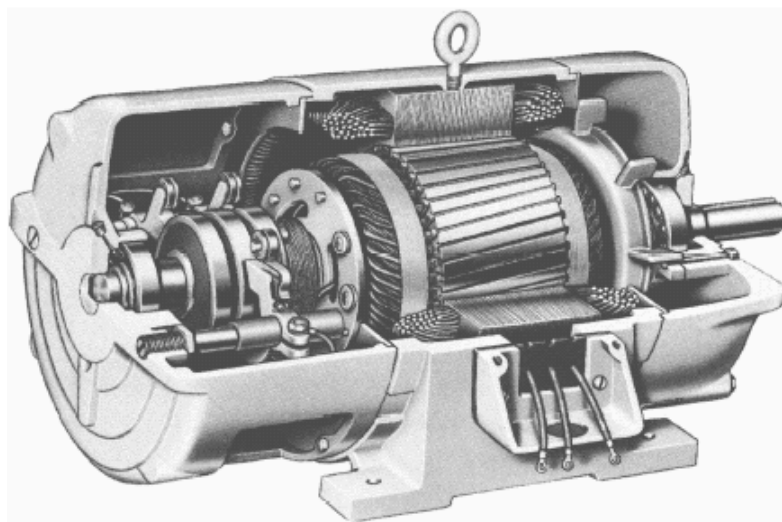
- višefazni ili jednofazni;
- trofazni spojen u trokut ili zvijezdu;
- jednoslojni, dvoslojni;

Rotorski namoti najčešće se dijele na:

- **kavezne**, kojima su namotaji izrađeni od bakrenih profila položenih u utore rotorskog paketa dinamo limova. Krajevi namota s čela su kratkospojeni prstenom, tako da sam namot ima oblik kaveza.
- **kliznokolutne**, koji imaju namot poput storskog, spojenog u zvijezdu, ali su krajevi namota izvedeni na klizne prstenove.



Slika 1. 1. Presjek trofaznog asinkronog kaveznog elektromotora: 1 – ležajni (bočni) poklopac, 2 – vratilo (osovina), 3 – ležaj, 4 – priključna kutija, 5 – priključne stezaljke, 6 – ventilator, 7 – rotor, 8 – stator s namotajima



Slika 1. 2. Presjek trofaznog asinkronog kliznokolutnog elektromotora

1. 2. Princip rada asinkronog motora

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

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

Silnice magnetskog polja presijecaju vodiče namota statora i rotora i u njima induciraju napone frekvencije f_1 iznosa:

$$\text{stator: } E_1 = 4,44 \cdot \Phi \cdot f_1 \cdot w_s \cdot f_{ns}, \quad (2)$$

$$\text{rotor: } E_2 = 4,44 \cdot \Phi \cdot f_1 \cdot w_r \cdot f_{nr} \quad (3)$$

Napon E_1 jednak je narinutom faznom naponu. Napon E_2 protjerat će kroz kratko spojeni rotor struju pa će na rotor djelovati obodna sila i moment zbog presijecanja struje kroz vodiče u magnetskom polju. Rotor će se zavrtjeti pod utjecajem zakretnog momenta do brzine pri kojoj se uspostavi ravnoteža razvijenog momenta i momenta tereta, ili do brzine praznog hoda, ako je motor neopterećen.

Rad asinkronog motora priključenog na napon ograničavaju dva pogonska stanja: mirovanje (kratki spoj) i sinkronizam (idealni prazni hod). U sinkronizmu brzina motora je jednaka sinkronoj brzini. Sinkronizam nije moguć kao stacionarno stanje, jer tada ne bi tekla struja i ne bi bilo momenta koji bi ga podržavao. U realnom praznom hodu mora teći neka struja koja će stvoriti moment da se svlada otpor trenja i pokriju gubici.

Razliku brzine vrtnje okretnog magnetskog polja n_s i brzine vrtnje asinkronog motora n izražava parametar nazvan klizanje s :

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

1. 3. Natpisna pločica

Natpisna pločica ima zadaću dati osnovne podatke o gradnji 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 naznako m imena izvođača ovih promjena. Razjašnjenja podataka s natpisne pločice asinkronog stroja prikazana su na primjeru malog trofaznog asinkronog motora, koji se u laboratoriju koristi za vježbe.

Tablica 1. 1. Primjer natpisne pločice malog asinkronog stroja

KONČAR	made in		- Podrijetlo stroja
Croatia			
Code 276684	Nr 528011		- Narudžbeni broj i tvornički broj
3 \approx Type 5AZ 112-	B3		- Vrsta struje, tip i oblik stroja
M4			
Δ/Y 380/660 V	8,7 / 5 A		- Spoj namota, napon i struja
4 kW	0,82 cos ϕ		- Snaga i faktor snage
50 Hz	1420 min ⁻¹		- Frekvencija i broj okretaja
t _o °C Isol.F	IP 54	S1	- Temperaturna klasa, zaštita i vrsta pogona
IEC34-1VDE0530			- Norme koje stroj udovoljava

Tehnička razjašnjenja

a) Na vrhu natpisne pločice uobičajeno se nalaze podaci o proizvođaču i zemlji podrijetla. Slijedi šifra (Code) pod kojom se stroj vodi i naručuje od proizvođača, što je značajno kod naručivanja rezervnih dijelova ili dodatnih razjašnjenja između korisnika i proizvođača.

b) Oznaka **3** \approx ukazuje da se radi o trofaznom stroju za izmjeničnu struju.

c) Svaki motor označen je **tipnom oznakom** koja daje osnovne podatke o stroju u pogledu električke i mehaničke izvedbe. Tipna oznaka sastoji se iz skupine slova i brojki čije je značenje određeno internim tvorničkim standardom. Za naš primjer:

A	B	C	D
5	AZ	100LB-4	A

A – Oznaka serije

- 5 - serija motora izvedenih u siluminskom kućištu (za oblik B3 s odlivenim nogama)
- 6 - serija motora izvedenih u siluminskom kućištu (za oblik B3 s montažnim nogama)
- 7 - serija motora izvedenih u kućištu od lijevanog željeza (B3 s montažnim nogama)

B - Oznaka vrste stroja

- AZ - asinkroni zatvoreni motor
- AZA - motori s razlikom u mehaničkoj izvedbi
- ABZ - motori brodske izvedbe, itd.

C - podaci koji su standardizirani međunarodnim propisima, a dani su radi kompatibilnosti strojeva različitih proizvođača. Različitim duljinama kućišta odnosno aktivnog dijela (limovi i namotaji) postižu se različite snage stroja, uz isti promjer statora i osnu visinu.

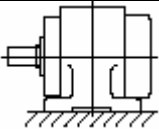
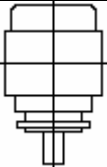
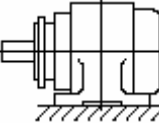

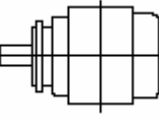
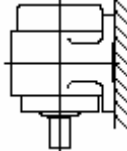
- 100 – Osnovna visina (u mm) je visina centra osovine od postolja na koje se pričvršćuju nožice. Za male el. motore osne visine su standardizirane 56 – 250
- L - Duljina kućišta (postoje oznake S, M, L)
- B - Duljina aktivnog dijela unutar iste duljine kućišta (postoje oznake A, B, C)
- 4 - Broj polova stroja, (kod višebrzinskih el. motora oznaka je npr. 2/4)

D - Oznaka dodatne opreme ili izvedbe stroja (u našem primjeru nema ove oznake)

- A - motor s ugrađenim grijačima namota
- G - motor s prigradenim inkrementalnim davačem
- K - motor s priključnim kabelom
- S - motor s prigradenom sklopkom
- T - motor s ugrađenom termičkom zaštitom

d) **Izvedbeni oblik** motora i njegovo označavanje definirani su propisima IEC 60034-7 i DIN 49250, a ima za cilj lakšu zamjenu strojeva raznih proizvođača. U donjoj tabeli su neki češće korišteni oblici s usporednim oznakama prema DIN i prema IEC.

Tablica 1. 2. Izvedbeni oblici motora

B – Strojevi s bočnim oklopima (štitnicima) i horizontalnim vratilom			V – Strojevi sa bočnim oklopima (štitnicima) i vertikalnim vratilom		
Izvedbeni oblici		Objašnjenje	Izvedbeni oblici		Objašnjenje
oznaka	skica		oznaka	skica	
IM B3 IM 1001			IM V1 IM 3011		pričvrсна prirubnica oblika A prema DIN 42948 na pogonskoj strani u blizini ležaja
IM B35 IM 2001		pričvrсна prirubnica oblika A prema DIN 42948 na pogonskoj strani u blizini ležaja	IM V3 IM 3031		pričvrсна prirubnica oblika A prema DIN 42948 na pogonskoj strani u blizini ležaja
IM B5 IM 3001		pričvrсна prirubnica oblika A prema DIN 42948 na pogonskoj strani u blizini ležaja	IM V5 IM 1011		

e) **Nazivni napon, struja i spoj.** Trofazni kavezni asinkroni elektromotori nazivnih snaga do 2.2kW danas se izrađuju standardno za napon 230/400V (spoj D/Y), a motori nazivnih snaga iznad 3kW za napon 400/690V (spoj D/Y). Raniji standard bio je 220/380 V. Za kliznokolutni stroj dan je i napon na otvorenim stezaljkama rotora i nazivna struja rotora. Dopusšteno odstupanje od nazivnog napona iznosi $\pm 10\%$, pri čemu nazivna snaga elektromotora ostaje nepromijenjena. Navedena je nazivna struja elektromotora pri nazivnom naponu mreže i pri nazivnom opterećenju. Kod višebrzinskih (polnopraklopnih) motora, podaci o spoju, naponu, struji i brzini dani su za svaku brzinu motora. Prvi podatak za struju vrijedi uz prvi podatak o naponu odnosno spoju. Isto tako drugi podatak za struju vrijedi uz drugi podatak o naponu odnosno spoju. U našem primjeru, ako el.motor spajamo u spoj trokut (oznaka D ili Δ), tada je nazivni napon 380 V, a nazivna struja 8,7 A. Ako el.motor spajamo u spoj zvijezda, tada je nazivni napon 660 V, a nazivna struja je 5 A.

f) **Nazivna snaga i $\cos\phi$.** Na natpisnoj pločici navedena je nazivna snaga elektromotora u trajnom radu, vrsta pogona S1, pri temperaturi okoline od 40° C i nadmorskoj visini do 1000 m. Ukoliko su narušeni uvjeti hlađenja, zbog povećane temperature okoline ili povećanja nadmorske visine, tada snagu motora treba korigirati prema tablicama.

Tablica 1. 3. Korigiranje snage motora prema temperature i nadmorskoj visini

Temperatura rahladnog zraka	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
Snaga motora u % nazivne snage	100%	100%	100%	96%	91%	86%	80%
Nadmorska visina	2000 m		3000 m		4000 m		
Snaga motora u % nazivne pri temperaturi zraka 40°C	92%		84%		78%		
Nazivna snaga motora pri temperaturi rashl. zraka	32°C		24°C		16°C		

g) **Nazivna frekvencija i broj okretaja.** Nazivna frekvencija za elektromotor iz primjera je 50Hz. Elektromotori izrađeni za frekvenciju mreže 50Hz mogu se priključiti na mrežu frekvencije 60Hz, pri čemu će brzina vrtnje motora porasti približno 20%. Ukoliko se uz povećanje frekvencije u istom omjeru poveća i napon mreže, motor se smije opteretiti s približno 15% većom snagom od snaga koje su navedene u tehničkim podacima. Iznosi I_k/I_n , M_k/M_n i M_m/M_n ostaju približno isti. Ukoliko je uz povećanje frekvencije napon mreže ostao isti, tada se snaga motora ne smije povećavati, a iznosi I_k/I_n , M_k/M_n i M_m/M_n smanjuju se na vrijednosti približno 85% od vrijednosti navedenih na natpisnoj pločici.

h) **Temperaturna klasa** – označava se slovima Y, A, B, F, H i C i daje podatak o maksimalnoj temperaturi koju namot može trajno izdržati za predviđenu životnu dob. U našem primjeru (za klasu F) maksimalna temperatura najtoplijeg dijela namota ne smije biti veća od 155 °C. Trajno povišenje temperature za 8 °C uzrokuje skraćenje životne dobi izolacije na polovinu.

Motor je potpuno zatvoren, a hlađenje se ostvaruje odvodom topline preko orebrenog kućišta pomoću ventilatora montiranog s vanjske strane motora na vratilo i zaštićenog ventilatorskom kapom. Ventilator je takvog oblika da se motor može nazivno opteretiti bez obzira na smjer vrtnje. Motor treba montirati uvijek tako da rashladni zrak može oko njega nesmetano strujati.

Tablica 1. 4. Dozvoljene trajne temperature namota po propisima

klasa izolacije	maksimalna temperatura [°C]	temperatura okoline [°C]	rezerva za najtoplije mjesto [°C]	dozvoljena nadtemper. [°K]	materijal
Y	90	40			PVC – mekana plastika
A	105	40	5	60	papir, tkanina
B	130	40	10	80	izolacija na bazi poliestera
F	155	40	15	100	
H	180	40			tinjac, staklo
C	>180	40			

i) **Stupanj zaštite.** El.motor iz primjera izveden je u stupnju zaštite IP 54. Ova zaštita štiti osobe od dodira dijelova pod naponom i od pokretnih unutarnjih dijelova, od štetnog taloženja prašine i prskanja vode iz svih smjerova. Druge stupnjeve zaštite proizvođači rade na poseban zahtjev. U donjoj tablici dano je značenje nekoliko stupnjeva zaštite koji se češće primjenjuju kod el.motora.

Tablica 5. Stupnjevi zaštite elektromotora

Oznaka stupnja zaštite kućišta	Opseg zaštite		
	Zaštita osoba od dodira s dijelovima pod naponom i pokretnih unutarnjih dijelova.	Zaštita od ulaza stranih krutih tijela.	Zaštita od štetnog djelovanja prodora vode
IP 54	Potpuna zaštita.	Zaštita od štetnog taloženja prašine u unutrašnjosti, prodor prašine nije potpuno spriječen, ali prašina ne može ući u količini dovoljnoj da utječe na rad stroja.	Zaštita od prskanja vode iz svih smjerova.
IP 55			Zaštita od prskanja vode u mlazu iz svih smjerova.
IP 56			Zaštita od zapljuskivanja morskom vodom i jakih mlazova.

j) **Vrstom pogona** definiran je režim rada pod kojim elektromotor radi u trajnom pogonu. U našem primjeru, oznaka S1 znači da je el.motor predviđen za stalni rad s nazivnim opterećenjem.

1. 4. Spajanje namota asinkronog motora

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

Tablica 6. 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 zvjezdištem
U1-U2, V1-V2, W1-W2	namot statora ako su izvedena oba kraja
K, L, M, Q	namoti kliznokolutnog rotora spojenog u zvijezdu

Tablica 7. Sheme spajanja namota

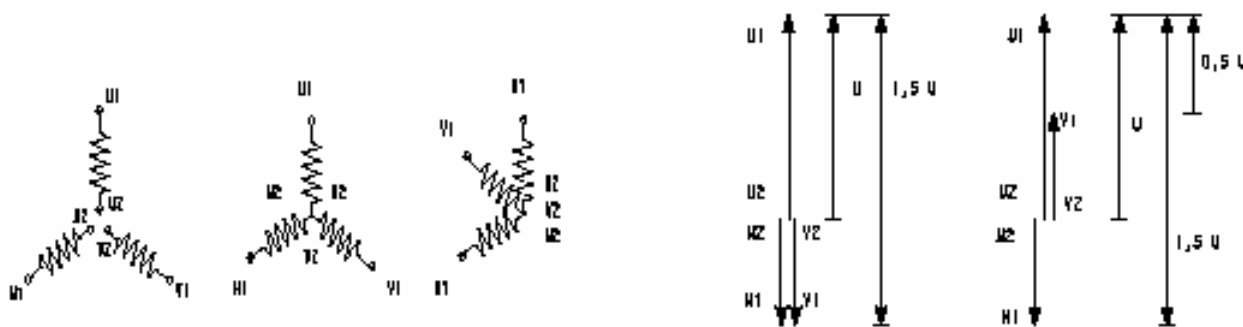
Trofazni jednobrzinski motor	Niži napon	Viši napon
Shema priključka na mrežu		
Trofazni dvobrzinski motori s jednim namotom	Niža brzina	Viša brzina
Dahlanderov spoj D/YY - konstantni moment na obje brzine		
Dahlanderov spoj Y/YY – ventilatorska karakteristika momenta		
Shema priključka na mrežu		

Smjer vrtnje mijenjamo zamjenom dvije dovodne faze u priključnoj kutiji !

2. ODREĐIVANJE PRIPADNOSTI PRIKLJUČNIH STEZALJKI

Izvodi namota asinkronih strojeva izvedeni su na stezaljkama u priključnoj kutiji i označeni su standardnim oznakama. Ukoliko su na priključnu pločicu izvedeni počeci i krajevi statorskih namota bez oznaka, treba provesti određivanje oznaka koje se provodi na sljedeći način:

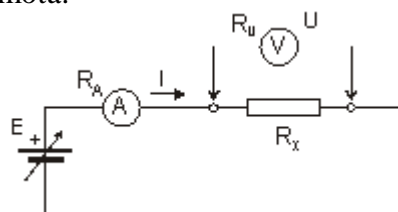
- ommetrom se odredi pripadnost stezaljki pojedinim faznim namotima;
- za svaki fazni namot treba jedan od krajeva namota proizvoljno izabrati i označiti s U2, V2, odnosno W2, te ih međusobno kratko spojiti (zvjezdište). Za ostale stezaljke pretpostavljamo da su počeci faznih namota U1, V1, W1. Na jedan od faznih namota, npr. na stezaljke U1-U2, narine se izmjenični napon iznosa U. Između stezaljki U1-V1 i U1-W1 mora se pojaviti napon iznosa $1,5 \cdot U$ (teorijska vrijednost, u praksi $1,2 \cdot U$ do $1,3 \cdot U$), jer su osi namota koji su izvedeni na ove stezaljke pomaknute za 120° el., odnosno 240° el. u odnosu na napajani namot. Između stezaljki V1-W1 mora se pojaviti napon $0V$ jer je os namota izvedenih na ove stezaljke **pod pravim kutom** u odnosu na napajani;
- ukoliko spoj nije ispravan, dobivaju se drugačiji iznosi napona, npr. $0,5 \cdot U$ i $1,5 \cdot U$;
- redoslijed stezaljki** pri priključivanju na trofazni sustav odredit ćemo tako da pri priključku sustava R, S, T na stezaljke U, V, W dobijemo desni smjer vrtnje.



Slika 2. 1. Ispravan i neispravan spoj namota

3. MJERENJE OTPORA NAMOTA ASINKRONOG MOTORA U-I METODOM

Za mjerenje otpora namota koristi se U-I metoda u naponskom spoju prema shemi spoja, slika 3. 1. Prije izbora instrumentarija nužno je iz podataka natpisne pločice procijeniti vrijednosti otpora pojedinih namota:



Slika 3. 1. U-I metoda mjerenja otpora, naponski spoj

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 voltmeter), 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).

3. 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 .**

4. GUBICI U TROFAZNOM NAMOTU IZMJENIČNIH STROJEVA

Korisnost, odnosno gubici u pojedinim dijelovima stroja ovise o veličini stroja. Kod trofaznih izmjeničnih strojeva mjeri se otpor namota između stezaljki (sve tri kombinacije) i na osnovi srednje vrijednosti tih otpora računaju se ukupni gubici u sve tri faze. Naime, ukoliko je poznat otpor faze, moramo znati spoj namota statora da bismo mogli odrediti faznu struju i nakon toga izračunati ukupne gubitke u namotu prema izrazu:

$$P_{Cu} = 3 \cdot I_f^2 \cdot R_f \quad (6)$$

Međutim, kada je poznat otpor između stezaljki R_{st} , pogonski spoj namota nije nužno poznavati. Gubici u bakru namota, pri struji I , računaju se tada prema izrazu:

$$P_{Cu} = 1.5 \cdot R_{st} \cdot I^2 \quad (7)$$

Pri tome vrijedi: $R_f = \frac{R_{st}}{2}$.

5. PRIPREMA ZA VJEŽBU

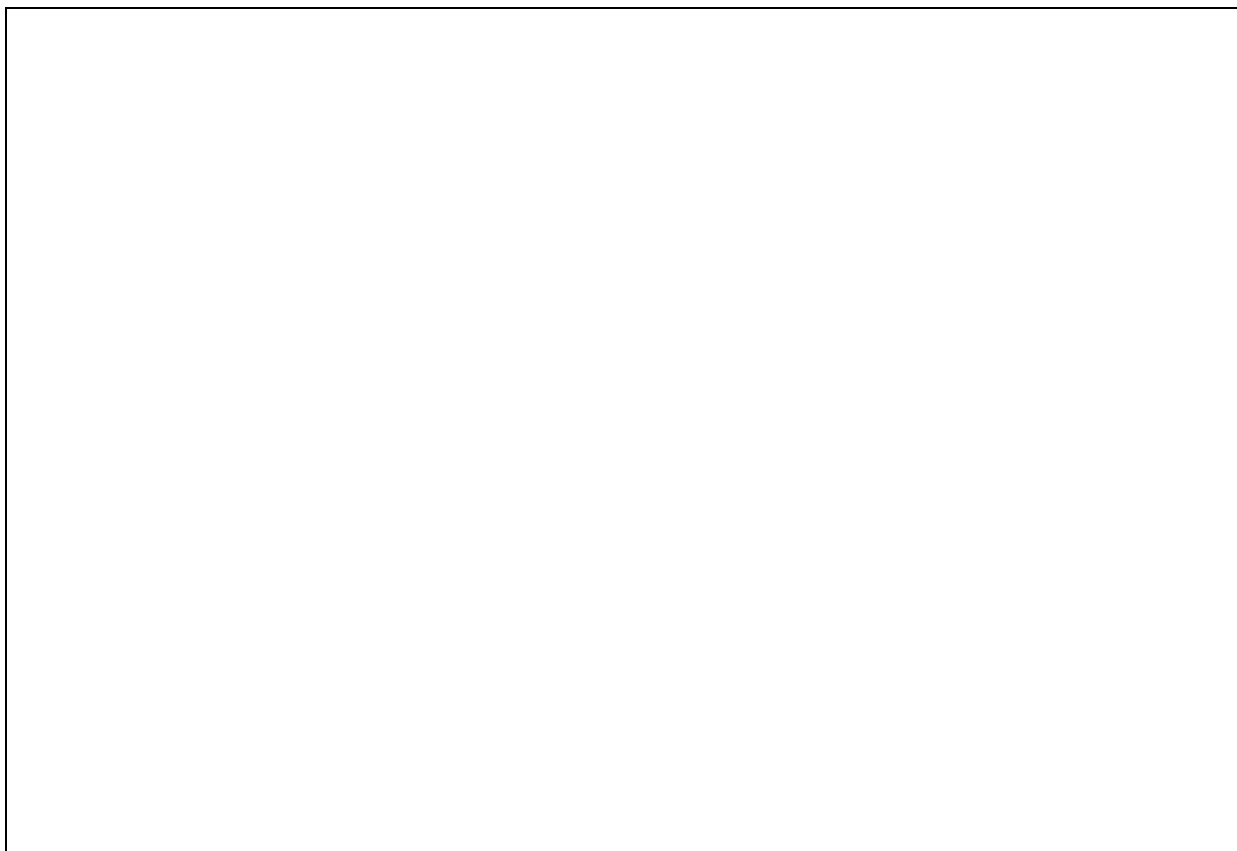
1. Koje namote ima asinkroni motor, kakvi mogu biti i koji su osnovni načini spajanja namota?

2. O čemu ovise gubici asinkronog motora i kako se računaju ukupni gubici u namotu?

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

6. ZADATAK

1. S natpisne pločice ispitivanog stroja očitati osnovne podatke i svakom podatku odrediti značenje.



2. Odrediti električnu snagu koju motor uzima iz mreže pri nazivnom opterećenju, korisnost, ukupne gubitke i sinkronu brzinu.

$$P_{1n} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi =$$

$$P_{gn} = P_{1n} - P_n =$$

$$M_n = \frac{30}{\pi} \frac{P_n}{n_n} =$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} =$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} =$$

$$\eta = \frac{P_n}{P_{1n}} =$$

3. Postupkom koji je opisan u opisu vježbe provjeriti oznake svih stezaljki stroja. Za provjeru oznaka stezaljki koristite izmjenični napon 40V, 50Hz. Rezultate mjerenja upisati u tablicu.

<i>N a p o n</i>		
<i>Između stezaljki</i>	<i>očekivano</i>	<i>mjereno</i>
U1 - U2	U = 40 V	
U1 - V1	U = 60 V	
U1 - W1	U = 60 V	
V1 - W1	U = 0 V	

Provedeni postupak pokazuje da su oznake stazaljki _____ .

4. 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: $\vartheta_0 =$

Otpor faze

Stezaljke	Napon, V	Struja, A	Otpor, Ω
U1 - U2			
V1 - V2			
W1 - W2			

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

Otpor između stezaljki u spoju trokut

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

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

Otpor između stezaljki u spoju zvijezda

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

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

5. Preračunati ove otpore na toplo stanje (75 °C) i izračunati iznos gubitaka u bakru statorskog namota pri nazivnoj struji.

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

$$I_{fn} =$$

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

$$I_{nt} =$$

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

$$I_{nz} =$$

