

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK		Osnove električnih strojeva
Vježba br. 5	SINKRONI STROJ – NATPISNA PLOČICA, MJERENJE OTPORA NAMOTA	
Student:		
Grupa:		

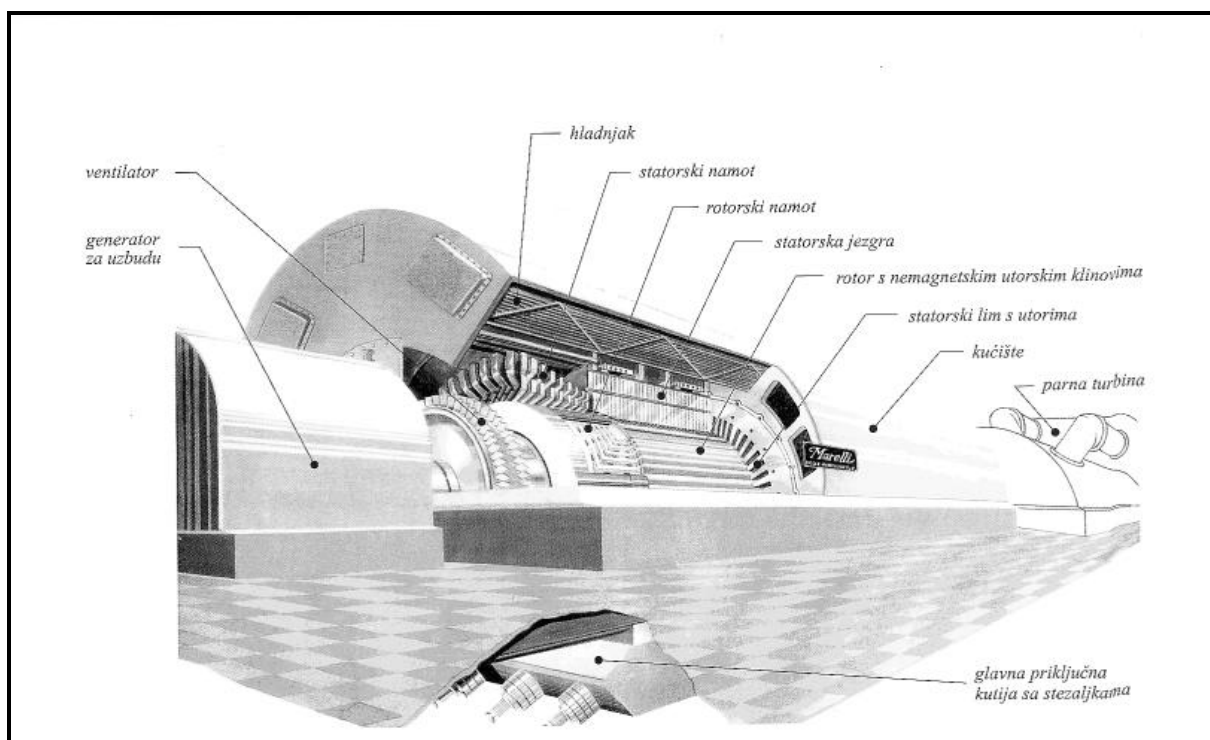
1. UVOD

Sinkroni strojevi su strojevi izmjenične struje kojima je brzina vrtnje rotora jednaka brzini vrtnje magnetskog polja u rasporu, dakle čvrsto povezana sa frekvencijom napona f i brojem pari polova p :

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (1-1)$$

Sinkroni strojevi mogu raditi kao motori i kao generatori. Sinkroni generatori su gotovo jedini izvori električne energije u mrežama izmjenične struje.

Uzbudni namot sinkronih strojeva je najčešće smješten na rotoru, a armaturni na statoru, iako je moguće i obrnuto (kod manjih sinkronih strojeva). U oba slučaja se zbog presijecanja magnetskih silnica u vodičima armaturnog namota inducira napon.



Slika 1. 1. Trofazni sinkroni generator 175 MVA, 15 kV, 3000 o/min

1.1. Osnovni dijelovi sinkronih strojeva

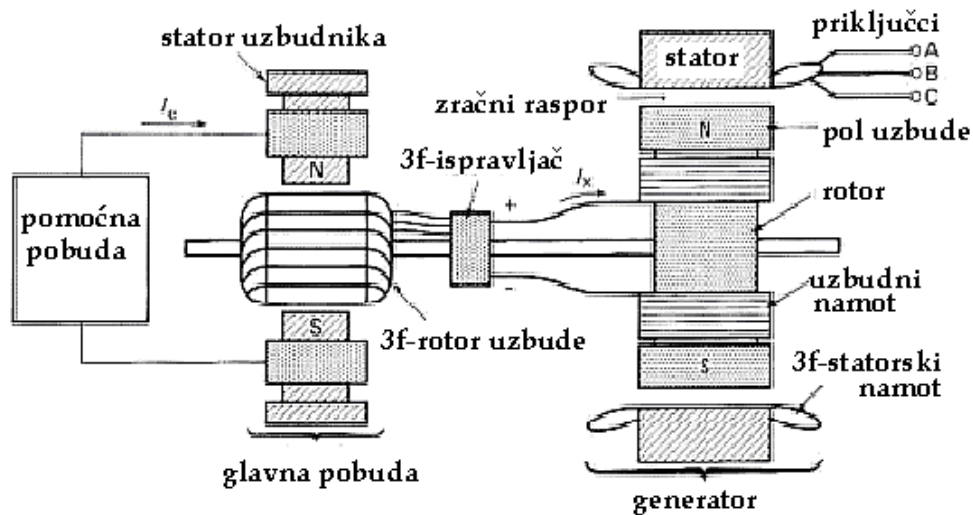
Armaturni namot smješten je na statoru. Statorski paket izvodi se u obliku šupljeg valjka sastavljenog od međusobno izoliranih limova. Statorski se namot ulaže u jednako razmaknute uzdužne utore na unutrašnjem obodu statora. Dijelovi statorskog paketa između utora nazivaju se zubi, a preostali dio magnetskih limova čini jaram.

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

- jednofazne ili višefazne;
- jednoslojne ili dvoslojne;

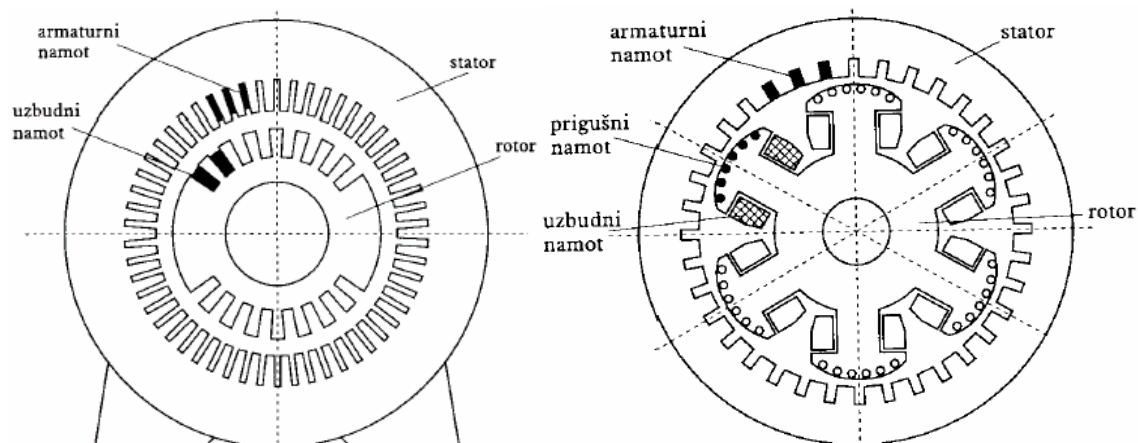
Trofazni statorski namoti su uobičajeno spojeni zvijezdu.

Uzbudni namot smješten je na rotoru. Rotor je uzbudni dio stroja i izrađuje se kao turborotor (strojevi s neistaknutim polovima – okrugli ili cilindrični rotor) ili hidrorotor (strojevi s istaknutim polovima). Napaja se iz istosmjernog izvora, a priključuje preko kliznih kolutova i četkica (kontaktno) ili se preko inverznog stroja i rotorskog ispravljača ostvaruje bezkontaktni prijenos energije za uzbudu, slika 1. 2. Kod nekih manjih strojeva za uzbudu se koriste i permanentni magneti.



Slika 1. 2. Bezkontaktni prijenos energije na uzbudu.

Prigušni namot. Prigušni namot se često ugrađuje u rotor strojeva s istaknutim polovima. Čine ga metalni štapovi u uzdužnim utorima na polnim nastavcima bočno s obje strane, međusobno povezani kratkospojenim prstenima – tzv. kratkospojeni kavez rotora. Ugrađuje se radi smanjivanja dodatnih gubitaka i prenapona u prijelaznim stanjima i pri nesimetričnim opterećenjima, prigušivanja njihaja rotora uslijed poremećaja u mreži, promjenjivog momenta pogonskog stroja ili nesimetričnog opterećenja te za asinkrono pokretanje trofaznog sinkronog generatora.



Slika 1. 3. Poprečni presjek sinkronog stroja s turborotorom (lijevo) i hidrorotorom (desno)

1.2. Načelo rada sinkronog generatora

Prolazom istosmjernje uzbudne struje kroz rotorski uzbudni namot stvara se magnetsko polje, nepokretno kad rotor miruje. Pri okretanju rotora nekim pogonskim strojem (turbina, diesel motor i sl.), rotira i magnetski tok polova te presijeca vodiče statorskog namota u kojima se inducira izmjenični napon. U utorima statorskog paketa trofaznog sinkronog stroja smještene su tri fazna namota međusobno pomaknuta za $\alpha = \frac{120^\circ}{p}$. Prema tome, u njima se induciraju tri fazna napona međusobno pomaknuta za 120° el. Da bi bilo moguće postići konstantu frekvenciju induciranog napona, rotor se mora okretati konstantnom brzinom vrtnje (npr. za $f = 50$ Hz, $p = 1$, potrebna brzina vrtnje je 3000 o/min).

Glavna obilježja napona induciranog u namotu sinkronog generatora su **frekvencija, oblik i iznos**. Frekvencija je razmjerna brzini vrtnje, a oblik napona određuje promjenjiva indukcija u zračnom rasporu, ovisna o rasporedu uzbudnog namota i veličini raspora te izvedbi armaturnog namota. Iznos induciranog napona ovisi o konstrukcijskoj izvedbi, jakosti magnetskog toka i brzini vrtnje rotora. Kako brzina rotora mora biti konstantna (da bi frekvencija bila konstantna), moguće je iznos napona mijenjati jedino promjenom magnetskog toka (tj. promjenom uzbudne struje I_f).

2. NATPISNA PLOČICA

Funkcija natpisne pločice je dati osnovne podatke o gradnji stroja te o njegovim mogućnostima u eksploataciji. Redovito su na natpisnoj pločici sinkronog stroja navedeni podaci za **napon, struju, snagu, brzinu vrtnje, cos φ , vrstu napajanja uzbude** (nezavisna, samouzbudna, kompaundna), **struju uzbude, napon uzbude, vrstu zaštite, vrstu pogona, godinu proizvodnje, klasu izolacije** pojedinih namota, **propise** kojima odgovara gradnja stroja, **intermitenciju, tvornički broj, tip, vrstu izvedbe, naziv proizvođača**.

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

RADE KONČAR			
3 ~	gen	Br.	41
Tip	S 205/46-10		
Y	6300 ± 5 %	V	202 A
2200	kVA	cos φ	0.7
600	r/min	50	Hz
STR.	uzbuda	90 V	170 A

Slika 2. 1. Primjer natpisne pločice većeg (VN) sinkronog generatora

RADE KONČAR			
3 ~	gen	br.	
	Tip	SC265-8	
III		400 V	10 A
7	kVA	cos φ	0.8
1000	r/min	50	Hz
	samouzbuda	30 V	13,8 A

Slika 2. 2. Primjer natpisne pločice manjeg (NN) sinkronog generatora

2. 1. Oznake stezaljki prema propisima

Stezaljke sinkronih strojeva se prema propisima označavaju:

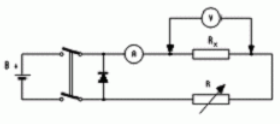
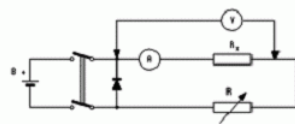
U, V, W	namoti armature spojeni u trokut ili zvijezdu bez izvedenog zvjezdišta
U, V, W, N	namoti armature spojeni u zvijezdu s izvedenim zvjezdištem
U1-U2, V1-V2, W1-W2	namoti armature, ako su izvedeni počeci i krajevi faznih namota
F1-F2	uzbudni namot

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

X, Y, Z	namoti armature
R, S, T	namoti armature ili mreža
C-D, I-K	uzbudni namot

3. MJERENJE OTPORA NAMOTA SINKRONOG STROJA

Za mjerenje otpora namota sinkronog stroja koristi se U - I metoda. U - I metoda je univerzalno primjenjiva i prikladna za sve veličine otpora. Ovisno o veličini otpora namota koji se mjeri, koristi se tzv. naponski ili strujni spoj, slika 3. 1.

Naponski spoj (za male otpore)		Strujni spoj (za veće otpore)	
vrijednost otpora	$R_x = \frac{U}{I}$	vrijednost otpora	$R_x = \frac{U}{I}$
vrijednost otpora (kada se računa potrošak voltmetra)	$R_x = \frac{U}{I - \left(\frac{U}{R_V}\right)}$	vrijednost otpora (kada se računa pad napona na ampermetru)	$R_x = \frac{U - I \cdot R_A}{I} = \frac{U}{I} - R_A$
			

Slika 3. 1. U - I metoda mjerenja otpora 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 obvezno mora mjeriti i temperatura namota. Za promjenu otpora s temperaturom, za bakrene namote, vrijedi:

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0}(1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta\vartheta) \quad (3-1)$$

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 .** Veličinu mjerne struje treba 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.

Tablica 3. 1. Dozvoljene trajne temperature namota prema IEC normama

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			

Vijek trajanja izolacijskog materijala ovisi o mnogim čimbenicima, a najznačajniji je od njih temperatura. Zbog toga se klasifikacija izolacijskog materijala zasniva na njegovoj sposobnosti da izdrži određenu maksimalnu temperaturu (najtoplije točke) pod uobičajenim pogonskim uvjetima. Električni se strojevi hlade na više načina i s raznim medijima kao rashladnim sredstvom.

4. PRIPREMA ZA VJEŽBU

1. Koje namote sadrži sinkroni stroj, kakvi mogu biti i koji su osnovni načini spajanja namota?

2. Ukratko objasnite načelo rada sinkronog generatora.

3. Koja su glavna obilježja napona induciranog u namotu sinkronog gneratora?

5. ZADATAK

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

2. U-I metodom izmjerite otpor sve tri faze armature stroja, kao i otpor između stezaljki u spoju zvijezda, te izračunajte srednju vrijednost.

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 zvijezda

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

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

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

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

$$I_{fn} =$$

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

$$I_{nz} =$$

Gubici u statorskom namotu pri nazivnoj struji:

Izračunati preko otpora faze:

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

Izračunati preko otpora između stezaljki u spoju zvijezda:

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

4. Pokazni dio vježbe – rad sinkronog generatora.

5. Zapažanja na vježbi i komentar: