



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva



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

ELEKTROMEHANIČKE PRETVORBE ENERGIJE

Laboratorijske vježbe

2. laboratorijska vježba - Pokus praznog hoda i kratkog spoja,
elementi nadomjesne sheme asinkronog motora

Autori:

Dora Penić dipl. ing.
Mario Klanac mag. ing.
Izv. prof. dr. sc. Stjepan Stipetić
Prof. dr. sc. Damir Žarko

Svrha vježbe

- Identifikacija vrste stroja i njegovih nazivnih podataka
- Provedba pokusa praznog hoda asinkronog motora
- Provedba pokusa kratkog spoja asinkronog motora
- Utvrđivanje iznosa struje kratkog spoja i poteznog momenta
- Određivanje elemenata nadomjesne sheme asinkronog motora

Zadatak vježbe

- 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)
 - Skicirati raspored stezaljki
 - Odrediti vrstu stroja i spoj namota stroja
 - Skicirati raspored stezaljki
 - Snimiti ovisnost struje $I_0 = f(U_0)$, snage $P_0 = f(U_0)$ i faktora snage $\cos \varphi_0 = f(U_0)$ o naponu u području od 1,2 U_n do 0,25 U_n za asinkroni motor u praznom hodu
 - Nacrtati karakteristiku praznog hoda $I_0 = f(U_0)$ i krivulju gubitaka $P_0 = f(U_0)$
 - Očitati struju praznog hoda I_{0n} , gubitke P_{0n} te faktor snage $\cos \varphi_{0n}$ za nazivni napon U_n
 - Nacrtati krivulju užih gubitaka praznog hoda $P'_0 = f(U_0)$
 - Očitati ukupne gubitke u željezu P_{Fe} i pomoću kvadratne aproksimacije odrediti gubitke trenja i ventilacije $P_{tr,v}$
 - Snimiti ovisnost $I_k = f(U_k)$, $P_k = f(U_k)$ i $\cos \varphi_k = f(U_k)$ zakočenog asinkronog motora, priključenog na sniženi napon U_k . Maksimalna vrijednost sniženog napona tijekom pokusa podesiti tako da struja ne prelazi vrijednost 3 - 3,5 I_n . Ako dođe do zamjetnog zagrijavanja (mjerjenje traje predugo), potrebno je kontrolirati zagrijavanje namota nakon svake izmjerenе točke!
 - Nacrtati karakteristiku kratkog spoja $I_k = f(U_k)$, krivulju gubitaka $P_k = f(U_k)$, te $\cos \varphi_k = f(U_k)$
 - Nacrtati karakteristiku poteznog momenta dobivenog računskim putem $M_{k,rač} = f(U_k)$
 - Preračunati potezni moment i struju kratkog spoja na nazivni napon i spoj
 - Odrediti parametre nadomjesne sheme asinkronog motora:
 - R_s - nadomjesni otpor namota statora
 - R_r' - nadomjesni otpor namota rotora
 - $X_{σs}'$ - rasipna reaktancija statora
 - $X_{σr}'$ - rasipna reaktancija rotora
 - R_{Fe} - nadomjesni otpor gubitaka u željezu
 - X_m - glavna reaktancija
- Napomena: Elementi označeni sa ' su preračunati s rotora na stator
- Analizirati rezultate

1. Identifikacija vrste stroja

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

SIEMENS							
D-90441							
3 Mot. 1AV3083B 1LE10030DB322AA				Th.Cl. 155(F) IP55			
F no UD 2001/2224296 001 001				IM B3			
U, V	f, Hz	P, kW	I, A	PF	RPM	EFF-CL	ETA %
230	50	0,75	3,05	0,75	1450	IE3	82,5
400	50	0,75	1,75	0,75	1450	IE3	82,5
460	60	0,86	1,72	0,75	1750	IE3	83,5

Slika 1.1. Natpisna pločica asinkronog stroja Siemens 1AV3083B

(npr. pri prematanju, promjeni načina hlađenja i sl.) s obaveznom naznakom imena izvodača ovih promjena.

1.2. Utjecaj temperature na veličinu otpora

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

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

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

Pri tome je:

R_ϑ - otpor kod temperature ϑ ("topli" otpor)

R_{ϑ_0} - otpor kod temperature ϑ_0 ("hladni" otpor)

235 - konstanta za bakar kod 20 °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_{ϑ_0} , R_ϑ) te temperaturu hladnog namota računa se prosječna temperatura ϑ 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

Iznose dozvoljene trajne temperature namota određuju propisi prema kojima se ti iznosi određuju ovisno o klasi izolacije namota. Trajno povišenje temperature za 10 °C uzrokuje skraćenje životne dobi izolacije na polovinu.

Klasa izolacije	Maks. temperatura (°C)	Temperatura okoline (°C)	Rezerva za najtoplije mjesto (°C)	Dozvoljena nadtemperatura (K)	Materijal
B	130	40	10	80	izolacije na bazi poliestera
F	155	40	10	105	izolacije na bazi poliestera
H	180	40	15	125	tinjac, staklo

1.4. Oznake stezaljki prema propisima

Stezaljke asinkronih strojeva se prema propisima označavaju:

U, V, W	namot statora spojenog u trokut ili zvijezdu bez izvedenog zvjezdista
U, V, W, N	namot statora spojenog u zvijezdu s izvedenim zvjezdistem
U1-U2, V1-V2, W1-W2	namot statora, ako su izvedena oba kraja

1.5. Namoti asinkronog stroja

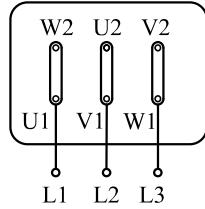
Namoti asinkronog stroja su:

- statorski namot (jednofazni ili višefazni: npr. trofazni spojen u trokut ili zvijezdu)

– rotorski namot (kavezni ili kolutni).

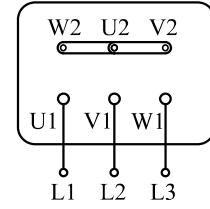
Stezeljke se u priključnoj kutiji niskonaponskih motora redovito raspoređuju na način prikazan na slici 1.2, da bi se omogućilo jednostavno prespajanje u zvijezdu ili u trokut.

Shema spoja namota u trokut (Δ)



Shema spajanja u priključnoj kutiji (spoј Δ)

Shema spoja namota zvijezdu (Y)



Shema spajanja u priključnoj kutiji (spoј Y)

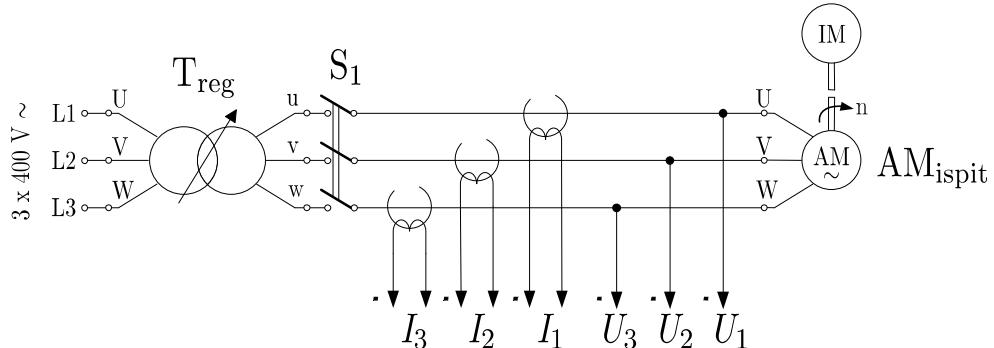
Slika 1.2. Priključak stroja za spoј trokut i zvijezda

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

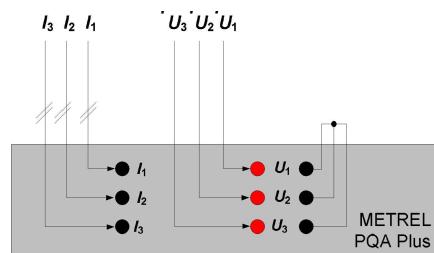
2. Pokus praznog hoda

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.

Linijski naponi i struje spajaju se na analizator snage Metrel PQA Plus. Naponi se spajaju na naponske ulaze uređaja izravno, a signali struje se sa strujnih klijesta spajaju na ulaze za mjerjenje struje. Na samom uređaju potrebno je podesiti mjerne opsege struja i napona prema odgovarajućim vrijednostima tijekom pokusa. Vrijednosti struja, napona, snaga i faktora snage se očitavaju sa zaslona uređaja.



Slika 2.1. Shema spoja pokusa praznog hoda asinkronog motora



Slika 2.2. Shema spoja mjernog kruga

2.1. Karakteristika praznog hoda

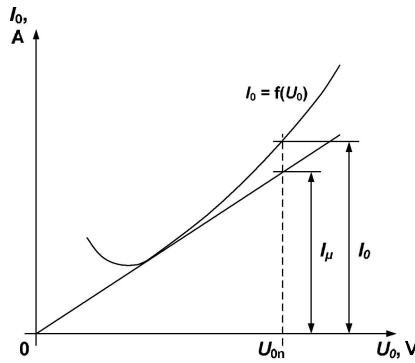
Karakteristika praznog hoda prikazuje struju praznog hoda I_0 u ovisnosti o naponu na stezaljkama U_0 . U praksi se uvijek kao struja I_0 uzima srednja vrijednost struje sve tri faze, a inducirani napon

se zamjenjuje srednjom vrijednošću sva tri napona na stezalkama U_0 .

Može se reći da je brzina vrtnje asinkronog motora tijekom pokusa praznog hoda bliska sinkronoj. Iz toga proizlazi da su gubici trenja i ventilacije tijekom pokusa praznog hoda konstantni.

Struja motora u praznom hodu I_0 sastoje se od jalove komponente (struja magnetiziranja) i radne komponente (struja potrebna za pokrivanje gubitaka). Kod znatnog sniženja napona u praznom hodu narast će onaj dio radne komponente struje koji se odnosi na pokrivanje gubitaka trenja i ventilacije (vidi sliku 2.3). Osim do porasta radne komponente struje uz snižavanje napona dolazi i do pada jalove komponente struje (struja magnetiziranja) što rezultira porastom faktora snage $\cos \varphi_0$. Zbog navedenog se karakteristika praznog hoda ne snima ispod 20 - 30% nazivnog napona.

Struja magnetiziranja I_μ je onaj dio struje praznog hoda potreban za induciranje napona U_0 na stezalkama statorskog namota (zanemaruje se razlika u odnosu na inducirani napon E_0). U karakteristici magnetiziranja se struju magnetiziranja može predstaviti lineariziranjem krivulje magnetiziranja.



Slika 2.3. Karakteristika praznog hoda asinkronog motora

2.2. Gubici u praznom hodu

U praznom hodu neopterećenog stroja struja praznog hoda iz mreže pokriva:

- gubitke u željezu P_{Fe} uzrokovane histerezom i vrtložnim strujama (ovdje su uključeni i dodatni gubici zbog pulzacija polja),
- gubitke u namotu statora P_{Cu1} ,
- mehaničke gubitke trenja i ventilacije $P_{tr,v}$

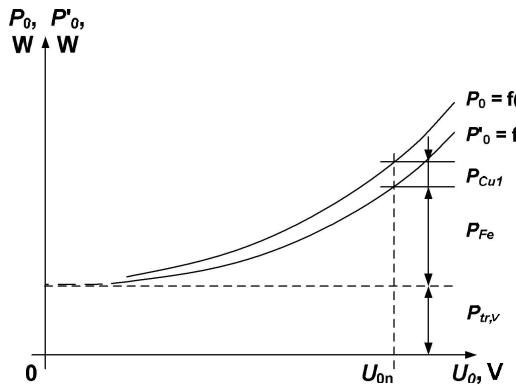
U dijagram se unose (vidi sliku 2.4):

- mjereni gubici praznog hoda P_0 ,
- uži gubici praznog hoda $P'_0 = P_0 - P_{Cu1}$ - dobivaju se odbijanjem gubitaka u statorskom namotu $P_{Cu1} = 1,5R_{st}I_0^2$ od P_0 , za svaku točku,
- gubici trenja i ventilacije $P_{tr,v}$ - dobivaju se 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 linearна, te se njenom linearnom aproksimacijom do ordinate pouzdano dobiva vrijednost $P_{tr,v}$, kao na slici 2.5.

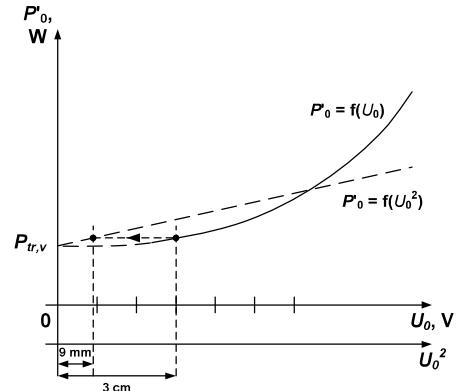
- razliku između P'_0 i $P_{tr,v}$ čine ukupni gubici u željezu P_{Fe} .

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 nanesemo kvadrat broja centimetara u milimetrima (npr. za 3 cm napona nanesemo $3^2 = 9$ 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.

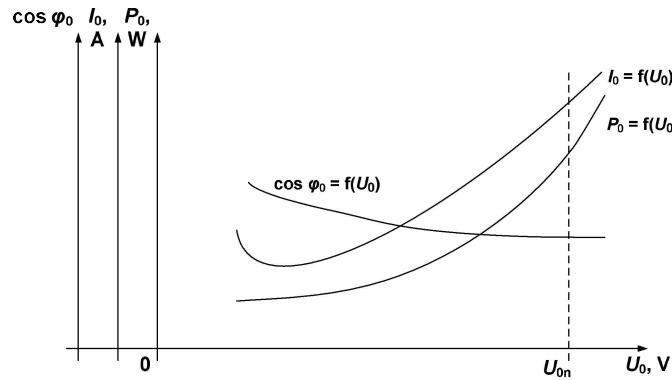
Na slici 2.6 prikazan je primjer ovisnosti struje praznog hoda I_0 , gubitaka P_0 i faktora snage $\cos \varphi_0$ o naponu U_0 .



Slika 2.4. Raspodjela gubitaka praznog hoda asinkronog motora



Slika 2.5. Aproksimacija gubitaka pomoću kvadratne skale

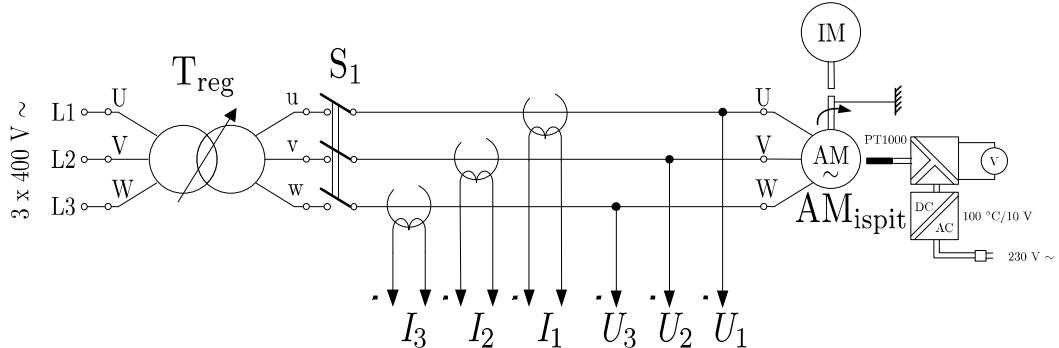


Slika 2.6. Ovisnost struje praznog hoda I_0 , snage P_0 i faktora snage $\cos \varphi_0$ o naponu U_0

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 maksimalnog ispitnog 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 te što se 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 I_n . Shema spoja mjernog kruga prikazana je na slici 2.2.

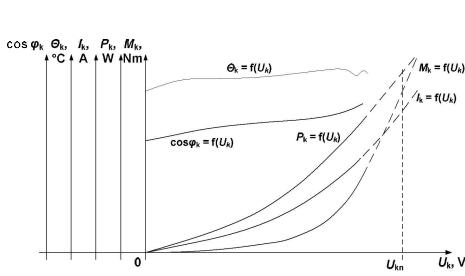
Tijekom pokusa prati se i zagrijavanje namota asinkronog motora. Temperatura namota mjeri se pomoću PT 1000 termosonde, a očitava se digitalnim instrumentom spojenim na izlaz mjernog pretvornika za termosondu koji za temperaturu 100 °C na izlazu daje napon 10 V.



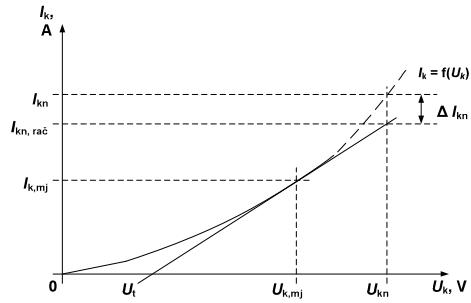
Slika 3.1. Shema spoja snimanja pokusa kratkog spoja asinkronog motora

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 naponova 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 mjerenu najviši napon bude što bliži nazivnom. Djelatni otpori se znatno mijenjaju sa zagrijavanjem. Da bi se što više eliminirao utjecaj zagrijavanja na oblik karakteristike, mjerjenje 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 sondi ugrađenih u namot i to prije i poslije snimanja svake točke te provesti korekciju. 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 $\cos \varphi_k$ i temperature θ_k statorskog namota o naponu U_k



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:

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

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 izmjereno naponu 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 izmjereno naponu i struje bliža nazivnom naponu i struci kratkog spoja.

3.2. Potezni moment

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

- mjerjenjem kod nazivnog napona,
- mjerjenjem 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 mjerrenom naponu i struji kratkog spoja, prema izrazu:

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

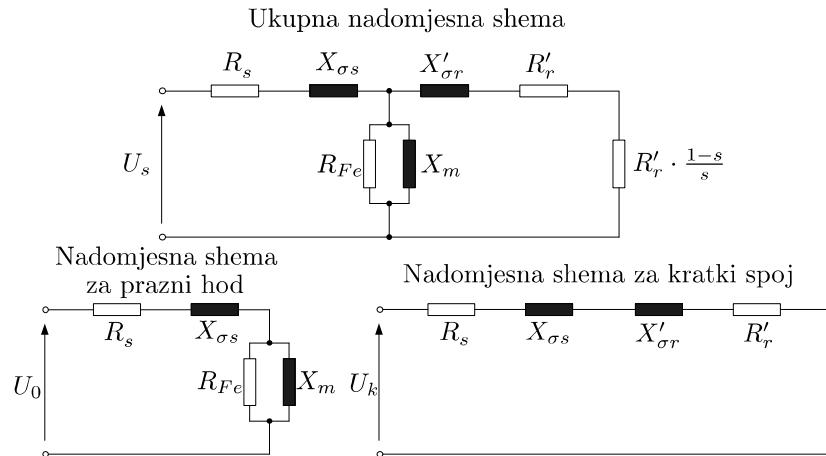
Ovaj rezultat se mora preračunati na nazivni napon, na način:

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

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 mjerjenja otpora statora, pokusa praznog hoda i kratkog spoja. U praznom hodu ne zanemarujemo vrijednosti R_s i $X_{\sigma s}$ za razliku od praznog hoda transformatora. U kratkom spoju zanemarujemo X_m i R_{Fe} zbog toga što je stroj relativno nezasićen pa je struja u poprečnoj grani nadomjesne sheme zanemariva u odnosu na struju u uzdužnoj grani. Svi parametri računaju se za jednu fazu nadomjesne zvijezde.

4.2. Parametri iz pokusa kratkog spoja

Iz mjerena 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 sljedećim izrazima:

$$Z_k = \frac{U_{kn}}{\sqrt{3} \cdot I_{kn}}, \cos \varphi_{kn} = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \cdot U_{kn} \cdot I_{kn}}, \quad R_s = \frac{R_{st}}{2} \quad X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_{kn}, \quad X_{os} = X'_{\sigma r} = \frac{X_k}{2}$$

Pri tome su:

Z_k impedancija faze namota u kratkom spoju,

R_{st} izmjereni otpor između stezaljki statorskog namota,

R_s otpor faze namota statora

R'_r otpor faze namota, preračunat na statorskiju stranu,

$X_{\sigma s}$ rasipna reaktancija jedne faze statora,

$X'_{\sigma r}$ rasipna reaktancija jedne faze rotora, preračunata na statorskiju stranu.

4.3. Parametri iz pokusa praznog hoda

Iz mjerjenja u pokusu praznog hoda određeni su 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} ' uži 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:

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

Gubici trenja i ventilacije nisu sadržani u otporu R_{Fe} . Elementi nadomjesne sheme R_{Fe} i X_m računaju se prema sljedećim izrazima (bez zanemarenja statorskog otpora i rasipne reaktancije):

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{0n} &= \frac{P_{0n}}{\sqrt{3} \cdot U_{0n} \cdot I_{0n}}, \\ \sin \varphi_{0n} &= \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{0n}}, \\ E_{0f} &= \sqrt{\left(\frac{U_{0n}}{\sqrt{3}} \cos \varphi_{0n} - R_s I_0\right)^2 + \left(\frac{U_{0n}}{\sqrt{3}} \sin \varphi_{0n} - X_\sigma I_{0n}\right)^2}, \\ \varphi_{0, \text{kor}} &= \arctan \frac{\frac{U_{0n}}{\sqrt{3}} \sin \varphi_{0n} - X_\sigma I_{0n}}{\frac{U_{0n}}{\sqrt{3}} \cos \varphi_{0n} - R_s I_0}, \\ R_{Fe} &= \frac{3 \cdot E_{0f}^2}{P_{Fen}}, \\ I_\mu &= I_0 \sin \varphi_{0, \text{kor}}, \\ X_m &= \frac{E_{0f}}{I_\mu} \end{aligned}$$

Pri tome su:

R_{Fe} nadomjesni otpor koji predstavlja gubitke u željezu,

X_m glavna reaktancija.

Za grubi proračun mogu se koristi pojednostavljeni izrazi koji zanemaruju padove napona na R_s i $X_{\sigma s}$ u pokusu praznog hoda:

$$R_{Fe} = \frac{3 \cdot U_{0f}^2}{P_{Fen}},$$

$$I_\mu = I_0 \sin \varphi_{0n}.$$

Literatura

- [1] Materijali s predavanja
<https://www.fer.unizg.hr/predmet/epe/materijali>
- [2] Wolf R.: Ispitivanje električnih strojeva; skripta
- [3] Gašparac I., Cettolo M.: Ispitivanje električnih strojeva; skripta
- [4] Žarko D.: Teorija izmjeničnih strojeva, asinkroni stroj; skripta