



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva



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

ELEKTROMEHANIČKE PRETVORBE ENERGIJE

Laboratorijske vježbe

3. laboratorijska vježba - Vanjske karakteristike istosmjernog stroja i pokus opterećenja asinkronog stroja

Autori:

Dora Penić dipl. ing.

Mario Klanac mag. ing.

Izv. prof. dr. sc. Stjepan Stipetić

Prof. dr. sc. Damir Žarko

Zagreb, siječanj 2021.

Svrha vježbe

- Mjerjenjem ovisnosti brzine vrtnje o struji (momentu) opterećenja utvrditi ona svojstva istosmjernog motora koja karakteriziraju njegovo ponašanje prema radnom mehanizmu.
- Određivanje nazivnih podataka asinkronog motora i usporedba s podacima natpisne pločice

Zadatak vježbe

- Snimiti momentnu karakteristiku istosmjernog motora s nezavisnom uzbudom za slučaj $U_a = U_{an}/3$.
- Odrediti momentnu karakteristiku istosmjernog motora s nezavisnom uzbudom za slučaj $U_a = U_{an}$.
- Snimljene karakteristike prikazati u dijagramu.
- Za nazivni napon $U_a = U_{an}$ izračunati korisnu snagu na osovini P_2 , korisnost η i prikazati dobivene vrijednosti u ovisnosti o momentu.
- Pri nazivnom naponu snimiti struju, snagu, moment (ako je moguće) i klizanje ili brzinu asinkronog motora u rasponu 1,2 - 0 P_{2n} .
- Prema propisima izračunati korisnu snagu na osovini P_2 , koristeći rezultate pokusa praznog hoda.
- Izračunati s , gubitke, M , η u ovisnosti o snazi P_1 uzetoj iz mreže.
- Nacrtati karakteristike opterećenja, te za nazivnu snagu $P_2 = P_{2n}$ očitati iz krivulja opterećenja nazivne podatke stroja.
- Usporediti podatke natpisne pločice s izmjerenim podacima.

1. Vanjska karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

Vanjska karakteristika nezavisno uzbudenog motora pokazuje ovisnost brzine vrtnje motora n o struji opterećenja I_a uz konstantni napon U_a te konstantnu struju uzbude I_u

$$n = f(I_a) | U_a = \text{konst.}, I_u = \text{konst.}$$

Brzina vrtnje blago opada s porastom opterećenja (tvrdna vanjska karakteristika). Uz konstantnu uzbudnu struju (magnetski tok) motor se vrti tolikom brzinom vrtnje da inducirani napon bude toliki da on uvećan za sve padove napona u armaturnom krugu, a koji ovise o struji opterećenja, bude jednak konstantnom narinutom naponu

$$U_a = E + I_a * R_{a,uk} + \Delta U_c.$$

Pri tome je struja opterećenja (armature) tolika da s magnetskim poljem proizvede potrebni moment jednak momentu tereta.

1.1. Promjena brzine vrtnje promjenom uzbudnog toga i armaturnog napona

Kako je inducirani napon proporcionalan brzini vrtnje i magnetskom toku može se pisati

$$E = k_e \Phi n = c_e n$$

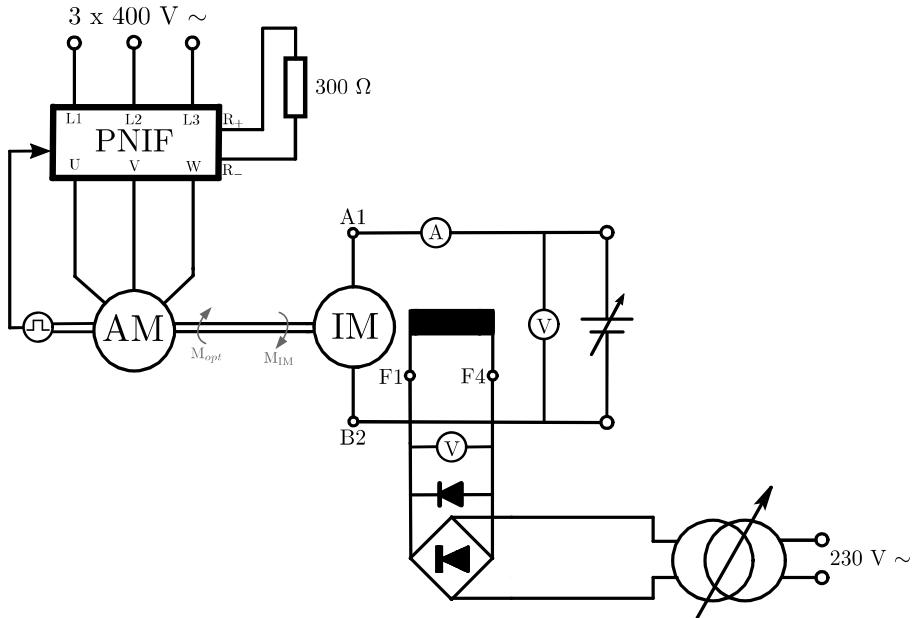
a za motor za armaturni krug II. Kirchoffov zakon glasi

$$U_a = E + I_a * R_{a,uk} + \Delta U_c.$$

Iz navedene dvije relacije se dobiva

$$n = \frac{U_a}{c_e} - \frac{R_a}{c_e} I_a.$$

Dakle, brzina vrtnje istosmjernog nezavisnog motora može se mijenjati promjenama napona U_a (regulacija naponom), gdje viši napon daje veću brzinu vrtnje, i promjenom uzbudne struje I_u koja izaziva promjenu magnetskog toka (regulacija poljem), gdje veća uzbudna struja daje manju brzinu vrtnje. Promjena brzine vrtnje se ne odvija obratno proporcionalno promjeni uzbudne struje, jer zbog zakriviljenosti (zasićenja) karakteristike magnetiziranja magnetski tok nije proporcionalan uzbudnoj struci.



Slika 1.1. Shema spoja snimanja motorskih karakteristika istosmjernog stroja s nezavisnom uzbudom

1.2. Stabilnost

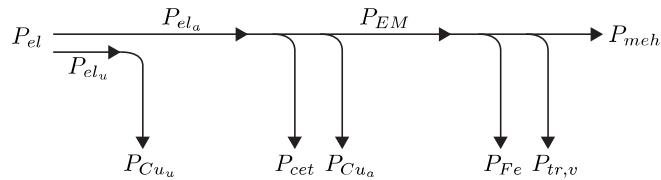
Kod većih opterećenja dolazi uslijed djelovanja reakcije armature do smanjenja magnetskog toka (unatoč konstantne uzbudne struje), što dovodi do nekontroliranog porasta brzine vrtnje (naravno i do porasta armaturne struje), odnosno kaže se, motor postaje nestabilan (povećanje tereta izaziva povećanje brzine vrtnje!).

1.3. Snimanje vanjske karakteristike

Snimanje se provodi prema shemi na slici 1.1. Napon na motoru i struja uzbude se drže konstantnim, dok se promjene opterećenja ostvaruju asinkronim motorom napajanim preko frekvencijskog pretvarača.

1.4. Tokovi snage i gubitaka istosmjernog stroja u motorskom režimu rada

Tokovi snage i gubitaka u motorskom režimu rada prikazani su grafički na slici 1.2.



Slika 1.2. Tokovi snage i gubitaka istosmjernog stroja u motorskom režimu rada

U motorskom režimu u stroj ulazi električna snaga P_{el} , P_{el_a} u namot armature, i P_{el_u} u namot uzbude. Sva snaga koja uđe kroz namot uzbude disipira se u gubicima namota uzbude. Snaga P_{el_a} se na rotor prenosi preko četkica, pa se jedan njen dio izgubi na četkicama, a drugi dio na (ukupnom) otporu armature

$$P_{EM} = P_{el_a} - P_{cet} - P_{Cu_a}.$$

Dobivena snaga je snaga elektromehaničke pretvorbe koja se iz električnog oblika pretvara u mehanički oblik. Budući da se rotor okreće u magnetskom polju uzbude, magnetski tok u magnetskom krugu rotora je promjenljiv, pa postoje gubici u željezu rotora koji se sastoje od histereznih gubitaka i gubitaka vrtložnih struja. Oni su proporcionalni kvadratu indukcije, odnosno kvadratu magnetskog toka uzbude, te brzini odnosno kvadratu brzine vrtnje. Osim gubitaka u željezu, zbog vrtnje rotora, u ležajevima nastaju gubici trenja i ventilacije koji su proporcionalni kvadratu brzine vrtnje. Konačno, kada se od snage elektromagnetske pretvorbe oduzmu gubici u željezu rotora i

gubici trenja i ventilacije, dobiva se korisna mehanička snaga:

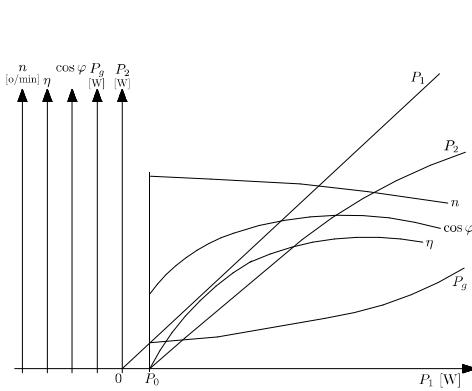
$$P_{meh} = P_{EM} - P_{tr,v} - P_{Fe} = M_{os}\omega.$$

Uz poznatu snagu koja ulazi u motor i snagu na osovini, Korisnost motora se može odrediti pomoću izraza:

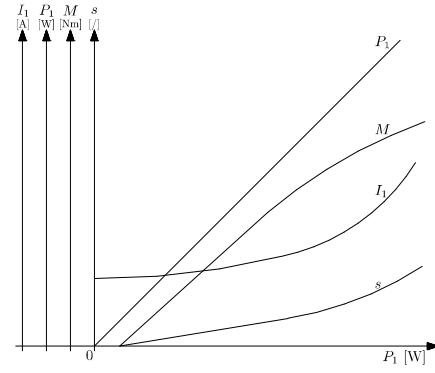
$$\eta = \frac{P_{meh}}{P_{el}}.$$

2. Karakteristike opterećenja asinkronog motora

Karakteristike opterećenja su ovisnosti: brzine vrtnje n , klizanja s , snage na osovini P_2 , gubitaka u motoru P_g , $\cos\varphi$, struje uzete iz mreže I_1 , korisnosti η i momenta na osovini motora M o snazi uzetoj iz mreže P_1 (slika 2.1 i slika 2.2) pri naponu motora U_1 .



Slika 2.1. Shema spoja za pokus opterećenja asinkronog motora



Slika 2.2. Krivulje opterećenja asinkronog motora
- ulazna snaga, moment, struja, klizanje u ovisnosti o ulaznoj snazi

2.1. Određivanje karakteristika opterećenja pokusom opterećenja i pomoću rezultata pokusa praznog hoda

Ako se ne raspolaže s mogućnošću direktnog mjerjenja momenta na osovini, tada su za određivanje krivulja opterećenja potrebni i podaci praznog hoda. Iz pokusa opterećenja poznati su podaci o struci I_1 , snazi P_1 i brzini vrtnje n , odnosno klizanju s . U ovom slučaju snagu P_2 se određuje na temelju određivanja gubitaka stroja što uključuje poznavanje svih gubitaka:

- gubici u bakru statora P_{Cu1} ,
- gubici u bakru rotora P_{Cu2} ,
- gubici u željezu statora P_{Fes} ,
- gubici trenja i ventilacije $P_{tr,v}$,
- dodatni gubici u stroju P_{dod} .

Gubici u bakru statorskog namota odredeni su izrazom:

$$P_{Cu1} = 1,5 \cdot R_{st1} \cdot I_1^2$$

za čije je određivanje potrebno poznavanje otpora namota statora. Gubici $P_{tr,v}$ i P_{dod} se uzimaju iz rezultata pokusa praznog hoda.

Dodatne se gubitke može procijeniti relacijom:

$$P_{dod} = 0,03 \cdot P_{ln} \cdot \left(\frac{I_n}{I_{ln}} \right)^2$$

Gubici u bakru rotora određuju se na temelju izraza:

$$P_{Cu2} = s \cdot P_{okr}, \quad P_{okr} = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe1} - P_{dod}$$

$$P_{Cu2} = s \cdot (P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe1} - P_{dod})$$

Mehanička snaga rotora jednaka je:

$$P_{meh} = (1 - s) \cdot P_{okr}$$

Snaga predana teretu iznosi:

$$P_2 = P_{\text{meh}} - P_{\text{tr,v}}$$

pri čemu se koriste gubitci trenja i ventilacije dobiveni pokusom praznog hoda. Moment motora može se izračunati prema:

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{\frac{n \cdot \pi}{30}}.$$

2.2. Postupak određivanja nazivnih podataka iz karakteristika opterećenja

Za nazivnu snagu motora P_n , očitanu s natpisne pločice, iz krivulje $P_2 = f(P_1)$ odredi se snaga P_1 , koju motor, pri nazivnom opterećenju, uzima iz mreže. Iz snage P_1 i krivulja opterećenja mogu se očitati svi ostali nazivni podaci.

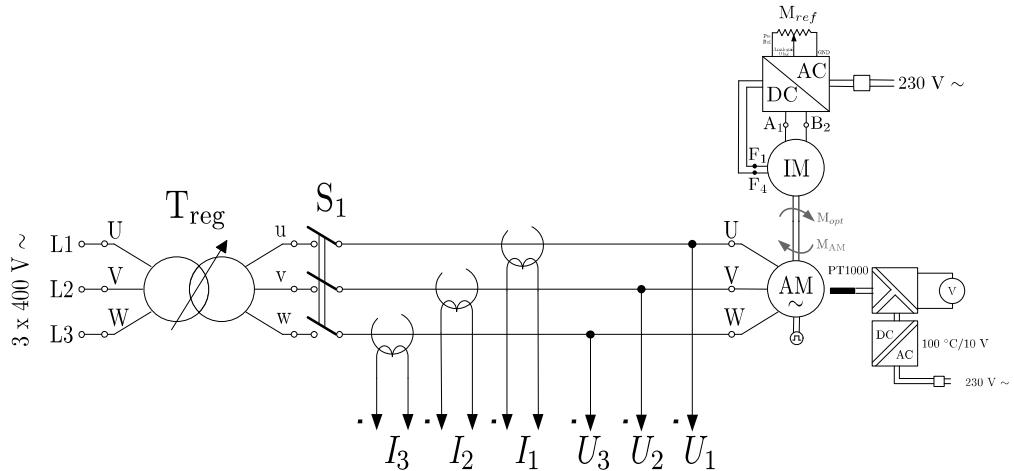
2.3. Tolerancije podataka natpisne pločice

Zbog rasipanja karakteristika motora nazivni podaci s natpisne pločice odstupat će od podataka izmjerjenih na ispitivanom motoru. Tolerancije koje su pri tome dopuštene dane su u tablici.

Veličina	Dozvoljeno odstupanje
Tolerancija napona i frekvencije	± 10% V, +3/-5% Hz
Brzina n	±30% ($n_s - n_n$) za $P_{2n} \leq 1 \text{ kW}$
Korisnost η	-0.15(1- η) za $P_{2n} \leq 150 \text{ kW}$
Faktor snage $\cos\varphi$	-(1- $\cos\varphi$)/6, (min 0.02, max 0.07)
Klizanje s	±30 za $P_{2n} \leq 1 \text{ kW}$
Struja kratkog spoja I_{kn}	20%
Potezni moment M_{kn}	-15% do +25%
Prekretni moment M_{max}	-10%

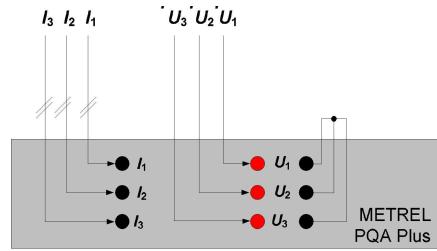
2.4. Snimanje karakteristika opterećenja

Izbor sheme ovisi o mogućnostima ispitne stанице i snazi motora. Na ovim vježbama snimanje se provodi prema shemi na slikama 2.3 i 2.4. Napon na motoru se drži konstantnim. Prije početka mjerjenja potrebno je dovesti motor u pogonski toplo stanje jer promjena otpora može znatno utjecati na izmjerene karakteristike. Prilikom rada s motorom potrebno je pratiti temperaturu stroja putem PT1000 sonde. Temperaturu je potrebno kontrolirati da ne izade iz dozvoljenog opsega te time ne ošteći stroj. Radi ravnomjernijeg zagrijavanja motora snimanje se vrši od radne točke s najvećim opterećenjem prema praznom hodu. Maksimalna struja opterećenja (srednja vrijednost struje sve tri faze) neka ne prelazi 120 – 150 % nazivne vrijednosti. Terećenje asinkronog motora vrši se zadavanjem reference momenta na pretvaraču za istosmjerni motor (IM) koji je u generatorskom režimu rada.



Slika 2.3. Shema spoja za pokus opterećenja asinkronog motora

Naponi i struje spajaju se na analizator snage Metrel PQA Plus. Naponi se spajaju na naponske ulaze uređaja izravno, a signalni struje se sa strujnih kliješta spajaju na strujne ulaze uređaja (slika 2.4.).



Slika 2.4. Shema spoja mjerljivog kruga

Tijekom pokusa treba bilježiti sva 3 linijska napona motora, struju motora u sve tri faze, snagu uzetu iz mreže, faktor snage, brzinu vrtnje i temperaturu. Ostale vrijednosti u karakteristikama opterećenja dobivaju se računski.

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
- [5] Stephen J. Chapman: Electric Machinery Fundamentals, McGraw-Hill, International Edition, 2005. ISBN: 0073529540