



Elektromotorni pogoni
Laboratorijske vježbe

Vježba 2

**ZALET I REVERZIRANJE
TROFAZNOG ASINKRONOG MOTORA NAPAJANOG
IZ PRETVARAČA NAPONA I FREKVENCije**

Autori: Doc.dr.sc. Damir Žarko, dipl. ing.
Mirko Cettolo, dipl. ing.
Goran Rovišan, dipl. ing.
Tanja Vešić, dipl. ing.

Zagreb, travanj 2010.

ZALET I REVERZIRANJE TROFAZNOG ASINKRONOG MOTORA NAPAJANOG IZ PRETVARAČA NAPONA I FREKVENCIJE

1. Cilj vježbe

Upoznavanje s načinom rada pretvarača napona i frekvencije, utjecaj pretvarača na zalet i reverziranje trofaznog kaveznog asinkronog motora i utjecaj na mrežu tijekom zaleta i reverziranja.

2. Zadatak vježbe

- a) Upoznati pretvarač napona i frekvencije, njegovo upravljanje, podešavanje i ponašanje u radu,
- b) Proučiti valne oblike napona i struje mreže i asinkronog motora u stacionarnom stanju kod:
 - neopterećenog motora,
 - nazivno opterećenog motora,
- c) Snimiti vremenski tok napona i struje mreže, te napona, struje, brzine vrtnje i momenta asinkronog motora kod:
 - zaleta neopterećenog motora,
 - reverziranja neopterećenog motora,
 - zaleta nazivno opterećenog motora,
 - reverziranja nazivno opterećenog motora,
- d) Izmjeriti napon i brzinu vrtnje neopterećenog motora pri različitim frekvencijama u rasponu od 5 Hz do 70 Hz. Prikazati funkcijsku ovisnost napona i brzine vrtnje o frekvenciji.
- e) Obraditi snimke napona i struje mreže, te napona, struje, brzine vrtnje i momenta asinkronog motora pomoću računala i odrediti za sve obavljene pokuse:
 - vrijeme trajanja zaleta ili reverziranja,
 - poteznu struju motora, tj. najveću struju tijekom pokretanja ili reverziranja,
- f) Mjerenje i rezultate prikazati u obliku ispitnog protokola.

3. Opis vježbe

3.1 Utjecaj zaleta asinkronog motora na mrežu

Prilikom uklopa na napojnu mrežu asinkroni motor uzima iz mreže struju **5–7** puta veću od nazivne. Velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog utjecaja na mrežu prilikom uklopa, velika potezna struja asinkronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora i to naročito kaveza rotora. To je i razlog zbog kojeg je broj zaleta (ili reverziranja) asinkronog motora direktno spojenog na mrežu ograničen u nekom vremenskom intervalu, jer u protivnom može doći do oštećenja motora.

Potezna struja može se smanjiti na nekoliko načina: korištenjem preklopke zvijezda-trokut, korištenjem soft-start uređaja ili pretvarača napona i frekvencije.

3.2 Princip rada pretvarača napona i frekvencije

U mnogim elektromotornim pogonima potrebno je regulirati brzinu vrtnje ili položaj rotora asinkronog motora. U tom slučaju motor se napaja iz pretvarača napona i frekvencije kojim se upravlja u otvorenom ili zatvorenom regulacijskom krugu. Osnovna shema energetskog kruga pretvarača je prikazana na slici 1. U pogonima koji ne zahtijevaju preciznu regulaciju brzine vrtnje upravljanje se vrši promjenom napona i frekvencije. Taj princip se zasniva na činjenici da je brzina vrtnje direktno proporcionalna frekvenciji f_s :

$$n = \frac{60f_s}{p}(1-s)$$

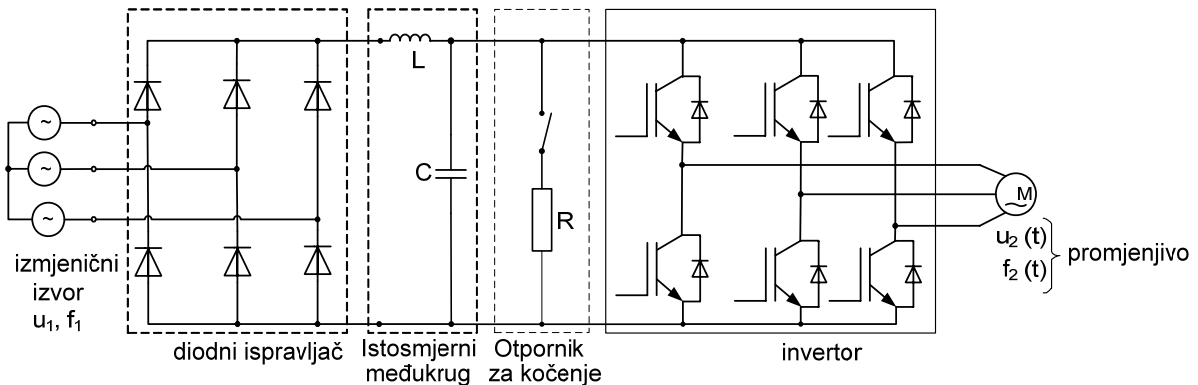
gdje je p broj pari polova, a s je klizanje motora. U motoru se zbog promjene frekvencije događaju i promjene magnetskog toka (indukcije), što utječe na promjene razvijenog momenta. Istovremeno postoje i fizikalna ograničenja koja su diktirana naponskom jednadžbom

$$U_s \approx E_s = 4,44 N f_s \Phi$$

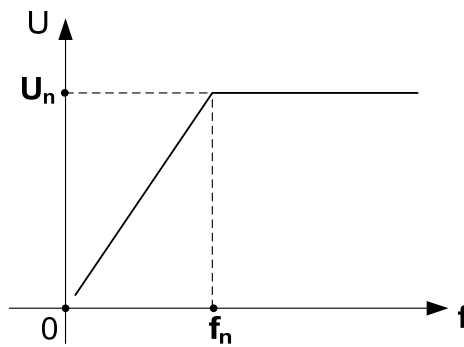
gdje je U_s napon na koji je priključen motor, N je broj zavoja armaturnog namota, a $\Phi = BS$ je ulančeni tok. Promijenimo li frekvenciju f_s ne mijenjajući napon, doći će do promjena indukcije B odnosno toka Φ . Povećanje B nije moguće zbog zasićenja magnetskog kruga, a smanjenjem B (pri povećanju f_s) smanjuje

se razvijeni moment motora što često nije dozvoljeno. Zbog toga treba mijenjati (regulirati) napon i frekvenciju po zakonu, slika 2.

$$\frac{U_s}{f_s} \approx \frac{E_s}{f_s} = k\Phi = \text{konst.}$$

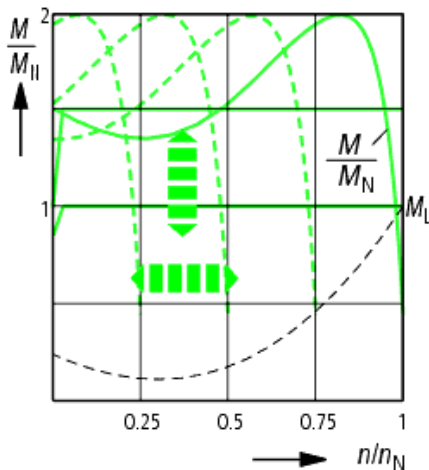


Slika 1. Trofazni pretvarač napona i frekvencije s istosmjernim međukrugom za regulirani elektromotorni pogon (energetski krugovi)

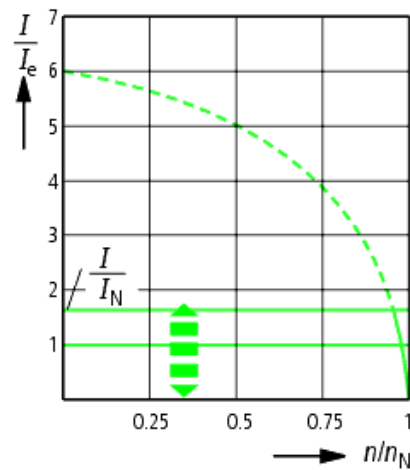


Slika 2. Promjena napona i frekvencije pri regulaciji brzine po zakonu $U_s/f_s = \text{konst.}$

Pretvaračem napona i frekvencije se može postići potezni moment jednak ili veći od nazivnog momenta uz ograničenje struje armature, slike 3 i 4.

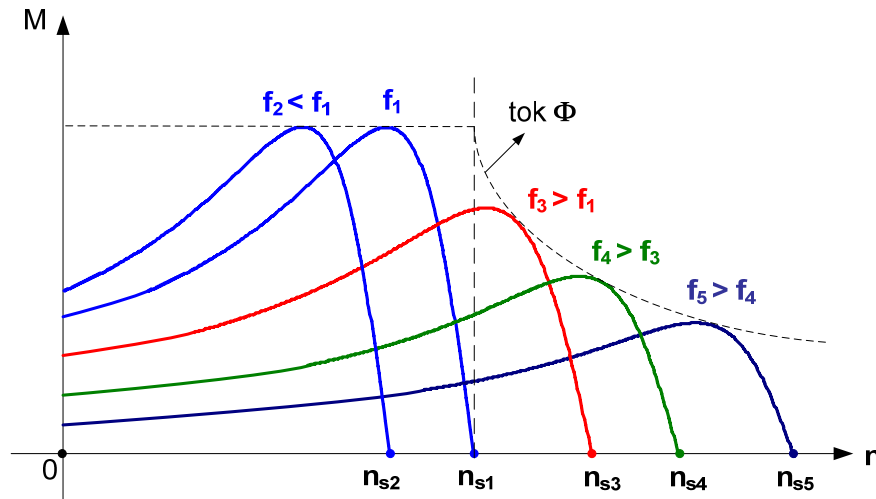


Slika 3. Moment motora kod zaleta pretvaračem napona i frekvencije



Slika 4. Struja motora kod zaleta pretvaračem napona i frekvencije

Pri istovremenoj promjeni napona i frekvencije, koja se zove **skalarna regulacija**, momentne karakteristike izgledaju prema slici 5., pri čemu je f_1 osnovna frekvencija za koju je građen motor. Za slučaj da se napon i frekvencija mijenjaju od nazivnog iznosa f_1 na niže, tj. na f_2 , dobiva se momentna karakteristika $U_2/f_2 = \text{konst.}$, tj. smanjeni su napon i frekvencija prema zakonu $U/f = \text{konst.}$ ($\Phi = \text{konst.}$). Povećanje frekvencije f_1 na f_3 nije moguće po zakonu $U/f = \text{konst.}$ jer je napon za određeni motor određen gornjom granicom napona mreže $U = U_n$. Zbog povećanja frekvencije f_1 na f_3 , a nepromijenjenog napona, smanjuju se magnetski tok u motoru i razvijeni moment. To je tzv. **područje slabljenja magnetskog toka**.



Slika 5. Promjena momentnih karakteristika u slučaju regulacije brzine vrtnje asinkronog motora promjenom napona i frekvencije

Glavni nedostatak skalarnе regulacije je ovisnost brzine vrtnje o opterećenju motora, budući da je regulacijski krug otvoren i nema informacije o trenutnoj brzini vrtnje motora. Zbog svoje jednostavnosti ova metoda se često koristi za manje zahtjevne pogone kao što su pumpe ili ventilatori.

U zahtjevnijim pogonima koji se javljaju u automatiziranoj tvorničkoj proizvodnji, servo pogonima ili robotici potrebno je precizno regulirati brzinu vrtnje ili položaj rotora. Glavni preduvjet za to je mogućnost direktnog upravljanja momentom motora koje se naziva **vektorska regulacija**. U vektorskoj regulaciji odvojeno se upravlja magnetskim tokom i momentom motora.

Iako pretvarač napona i frekvencije ograničava poteznu struju motora, on unosi više harmoničke članove u valni oblik struje motora koji na impedancijama u mreži stvaraju nesinusne padove napona i izobličuju valni oblik napona. To se može loše odraziti na rad mnogih drugih uređaja spojenih na mrežu. Taj problem se rješava ugradnjom filtra. Isto tako napajanje motora iz pretvarača rezultira povećanim gubicima u željezu statora i rotora, povećanim električnim naprežanjem izolacije namota, te može izazvati i druge neželjene posljedice poput pojave ležajnih struja koje mogu uništiti ležaj.

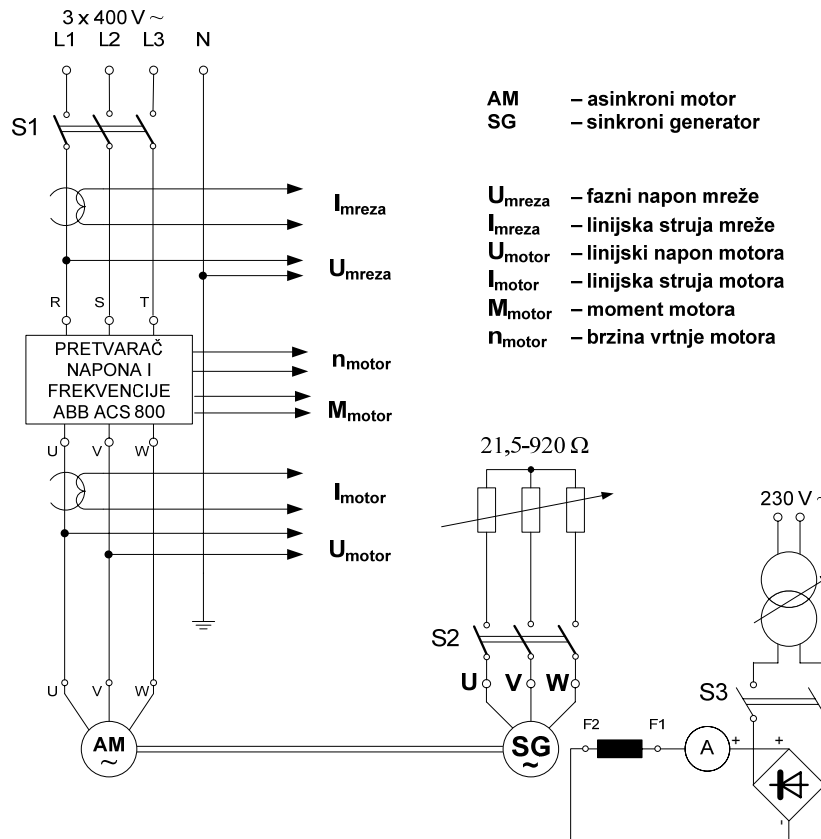
3.3 Postupak mjerenja

Mjerenje se izvodi na agregatu koji se sastoji od dva stroja: asinkroni motor i sinkroni generator,. Strojovi su mehanički povezani na istoj osovini. Asinkroni motor se u spoju Δ (trokut) preko pretvarača napona i frekvencije ABB ACS 800 priključuje na mrežu.

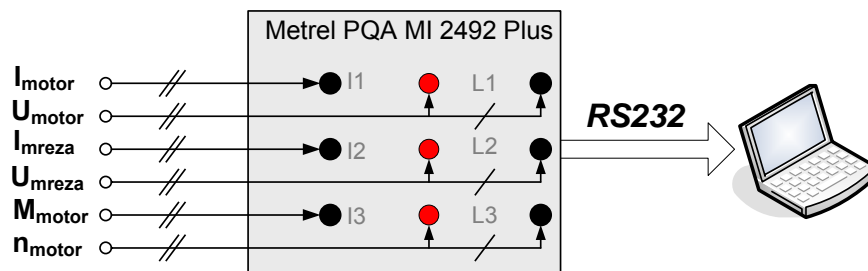
Sinkroni generator zaključen otpornikom služi kao opteretni stroj, a uzbuda generatora drži se konstantom. Pri tome se na stezaljkama generatora inducira napon proporcionalan uzbudnom toku i brzini vrtnje ($E = k_e \phi_f n$). Kada je armaturni namot spojen na otpornike, struja generatora će također biti proporcionalna naponu generatora, tj. brzini vrtnje te će snaga kojom se tereti asinkroni motor biti proporcionalna s kvadratom brzine, a opteretni moment će biti proporcionalan brzini vrtnje:

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{3I^2 R}{\omega} = \frac{3 \frac{k^2 \phi_f^2 n^2}{R}}{\frac{n \pi}{30}} = k_r n.$$

Schema spoja energetskog kruga prikazana je na slici 6., a mjernog kruga na slici 7. Mjerenje se provodi na neopterećenom i nazivno opterećenom asinkronom motoru. Mjere se fazni napon mreže te linijska struja mreže, linijski napon i linijska struja motora, brzina vrtnje i moment motora. Signali brzine i momenta motore uzimaju se s analognih izlaza AI1 i AI2 pretvarača na kojima se strujni signal preko zaključnih otpornika od 480 i 47 Ω pretvaraju u naponske signale pri čemu 10 V napona na signalu brzine odgovara 100% sinkrone brzine, a 1V u signalu momenta odgovara 100% nazivnog momenta motora. Sve mjerene veličine uvode se u mjerni uređaj Metrel PQA 2492 Plus koji komunicira s računalom preko RS232 komunikacijskog protokola. Rad s uređajem putem računala omogućava software PowerLink. Detaljne upute za rad s uređajem Metrel PQA Plus nalaze se u [5]. Podatke u Meterl PQA Plus treba snimati u *waveform* načinu snimanja pri čemu se u programu *PowerLink* dobiju valni oblici snimanih veličina i njihove efektivne vrijednosti koje će se koristiti u daljnjoj obradi.



Slika 6. Shema spoja energetskega kruga



Slika 7. Shema spoja mjernog kruga

Postupak mjerenja se sastoji od sljedećeg:

- identificirati sve objekte u laboratoriju prema shemi spoja energetskega i mjernog kruga,
- očitati podatke s natpisne pločice asinkronog motora te sinkronog generatora,
- prema shemama spojiti energetske i mjerni dio,
- provjeriti ispravnost spoja,
- uz odobrenje asistenta priključiti pretvarač na mrežni napon,
- podesiti parametre pretvarača (unijeti nazivne podatke motora, tip regulacije motora, ograničenja struje i frekvencije, vrijeme trajanja zaleta i zaustavljanja, te željenu frekvenciju),
- testirati podešenja pretvarača napona i frekvencije (vrijeme zaleta, raspon brzina), "poigrati" se s pretvaračem bez mjerenja,
- izmjeriti napon i brzinu vrtnje neopterećenog motora pri različitim frekvencijama u rasponu od 5 Hz do 70 Hz (u koracima od 5 Hz).
- pomoću Metrela PQA 2492 Plus snimiti napon i struju mreže, napon, struju, brzinu vrtnje i moment asinkronog motora kod:
 - zaleta neopterećenog motora,
 - reverziranja neopterećenog motora,
 - zaleta nazivno opterećenog motora,
 - reverziranja nazivno opterećenog motora,
- snimke prebaciti u računalo,
- obraditi dobivene snimke pomoću računala,
- odrediti i usporediti poteznu struju motora, propad napona mreže i trajanje zaleta i reverziranja za sve navedene slučajeve,
- napisati izvještaj o ispitivanju.

4. Pitanja za pripremu vježbe

- a) Koji se problemi mogu javiti tijekom pokretanja motora direktnim priključkom na mrežu?
- b) Na koje se načine može smanjiti potezna struja motora?
- c) Od kojih osnovnih dijelova se sastoji pretvarač napona i frekvencije?
- d) Objasniti princip skalarne regulacije.
- e) Skicirati momentnu karakteristiku motora za frekvenciju manju i za frekvenciju veću od nazivne.

5. Literatura

- [1] Jurković, B.: Elektromotorni pogoni, Školska knjiga, Zagreb, 1978
- [2] Wolf, R: Ispitivanje električnih strojeva III, Sveučilište u Zagrebu, 1964
- [3] Nurnberg, W: Ispitivanje električnih strojeva, Školska knjiga, Zagreb, 1951
- [4] Avčin, Jereb: Ispitivanje električnih strojeva, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1968
- [5] Upute za mjerenje analizatorom kvalitete električne energije Metrel PQA MI2x92 Plus, dostupno na http://www.fer.hr/predmet/elepog_a
- [6] http://www.koncar-mes.hr/WritePerm/UploadPhotos/trofazni_kavezni.pdf