

ASINHRONE MAŠINE



OSNOVI ELEKTROENERGETIKE

Dr Ivana Vlajić-Naumovska

Sadržaj

2

- Uopšteno o asinhronim mašinama
- Prednosti i primena asinhronih mašina
- Namotaji mašina za naizmeničnu struju
- Trofazni motor sa namotanim rotorom
- Trofazni motor sa kratkospojenim rotorom
- Jednofazni asinhroni motor
- Asinhroni generator
- Osnovni princip rada
- Ekvivalentna šema asinhronne mašine
- Bilans aktivne snage
- Karakteristika momenta asinhronog motora
- Pokretanje asinhronih motora
- Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

Prednosti i primena asinhronih mašina

3

- Asinhrona mašina se u primeni najčešće susreće kao motor, i to trofazni.
- Tipični je predstavnik električne mašine male snage koja se obično pravi u velikim serijama.
- Prednosti asinhronih mašina, u odnosu na ostale vrste električnih mašina, su prvenstveno manja cena, jednostavnost konstrukcije, manji momenat inercije, robusnost, pouzdanost i sigurnost u radu, lako održavanje, dok su nedostaci vezani uglavnom za uslove pokretanja i mogućnost regulisanja brzine obrtanja u širokim granicama.
- Primena mikroprocesora i energetske elektronike omogućila je ekonomično upravljanje motorima za naizmeničnu struju i time konkurentnost i u području pogona sa promenljivom brzinom.

Asinhrone mašine

4



Slika 1: a) niskonaponski motor b) visokonaponski motor

Namotaji mašina za naizmeničnu struju

5

- Električne mašine za naizmeničnu struju obično imaju dva namotaja, induktor i indukt.
- *Induktor* – namotaj kroz koji prolazi električna struja i stvara magnetsko polje koje magneti čitavo magnetsko kolo mašine.
- *Indukt* – namotaj u kome se pod uticajem promena magnetskog fluksa induktora indukuju elektromotorne sile (ems), a ako je električno kolo namotaja zatvoreno, i struje.

Namotaji mašina za naizmeničnu struju

6

- Namotaji mogu biti namotani na istaknute polove ili smešteni u žlebove koji su aksijalno postavljeni po obimu induktora ili indukta.
- Namotaji za naizmeničnu struju su uvek raspoređeni u žlebove.

Mašina	<i>Induktor</i> (smeštaj, oblik struje)	<i>Indukt</i> (smeštaj, oblik struje)
<i>asinhrona</i>	stator, naizmenični	rotor, naizmenični
<i>sinhrona</i>	rotor, jednosmerni	stator, naizmenični

Tabela 1 Namotaji mašina za naizmeničnu struju

Namotaji mašina za naizmeničnu struju

7

- Za predstavljanje namotaja upotrebljavaju se razvijene i kružne šeme.
- *Razvijena šema* se dobija kada se cilindrična površina statora i rotora, gledano sa strane žlebova, preseče po jednoj izvodnici i razvije u jednu ravan.
- *Kružne šeme* prikazuju ili izgled namotaja statora ili rotora sa bočne strane, ili njihov radijalni presek.

Standardne oznake krajeva namotaja trofaznih naizmeničnih mašina

8

namotaj	nova oznaka	stara oznaka
statorski	U1, U2 V1, V2 W1, W2	U, X V, Y W, Z
rotorski asinhrona mašina	K1, K2 L1, L2 M1, M2	u, x v, y w, z
rotorski (pobudni) sinhrona mašina	P1, P2	I, K

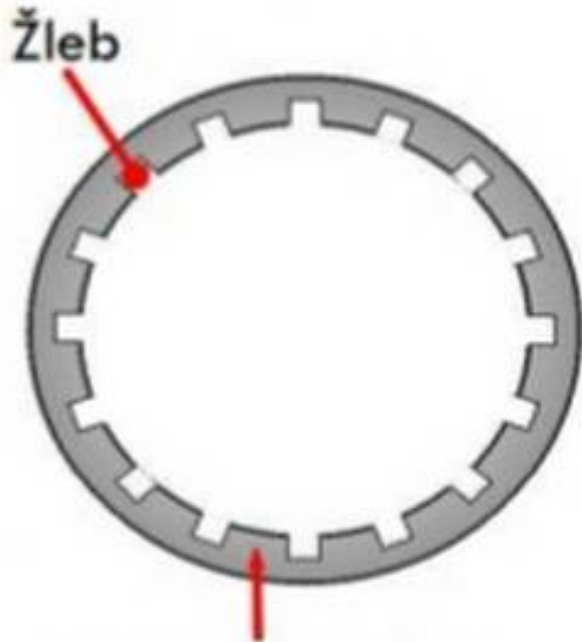
Namotaji mašina za naizmeničnu struju

9

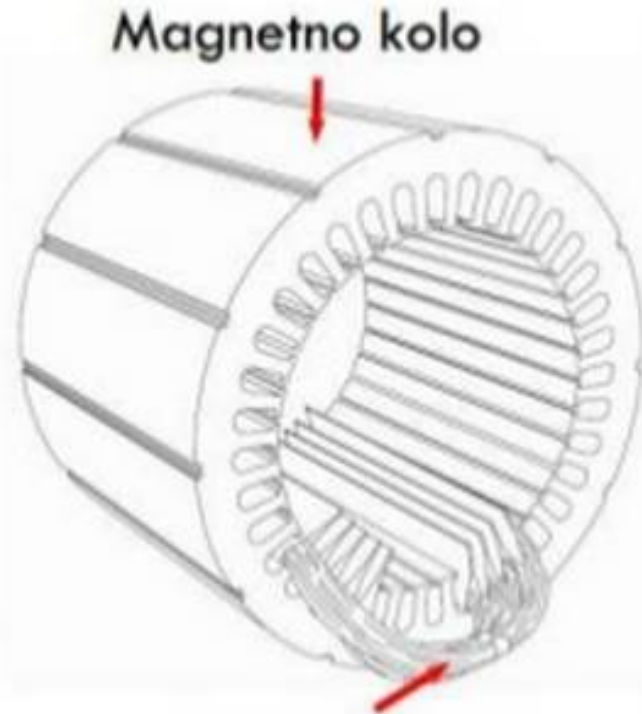
- Namotaj pobude (*induktora*) je smešten u otvorene ili poluzatvorene žlebove statora.
- Namotaj indukta je smešten na rotoru. S obzirom na način izvođenja namotaja rotora (*indukta*), razlikujemo dva osnovna tipa asinhronih mašina:
 - sa namotanim rotorom (klizno-kolutne) i
 - kratkospojenim rotorom (kavezne).
- Asinhrona mašina se u primeni najčešće sreće kao trofazni motor, pa će zato prvo biti reči o trofaznim motorima sa namotanim i kratkospojenim rotorom.

Namotaji mašina za naizmeničnu struju

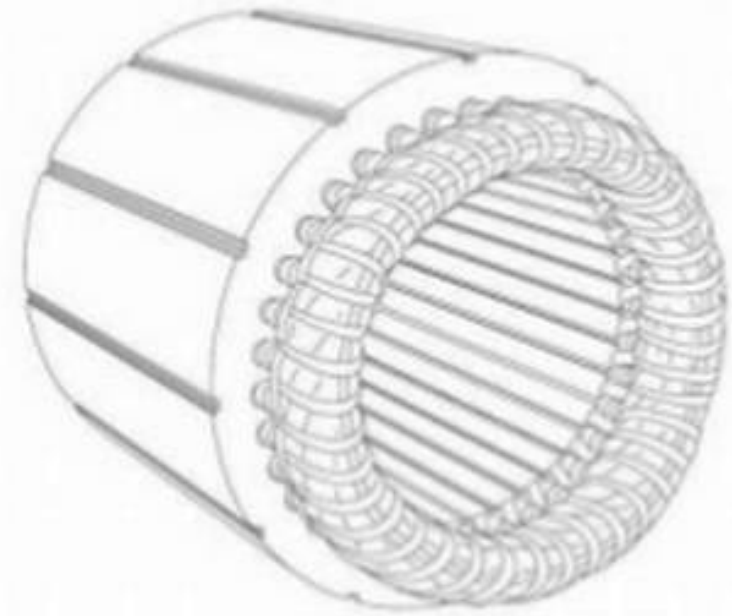
10



Feromagnetni lim
statora



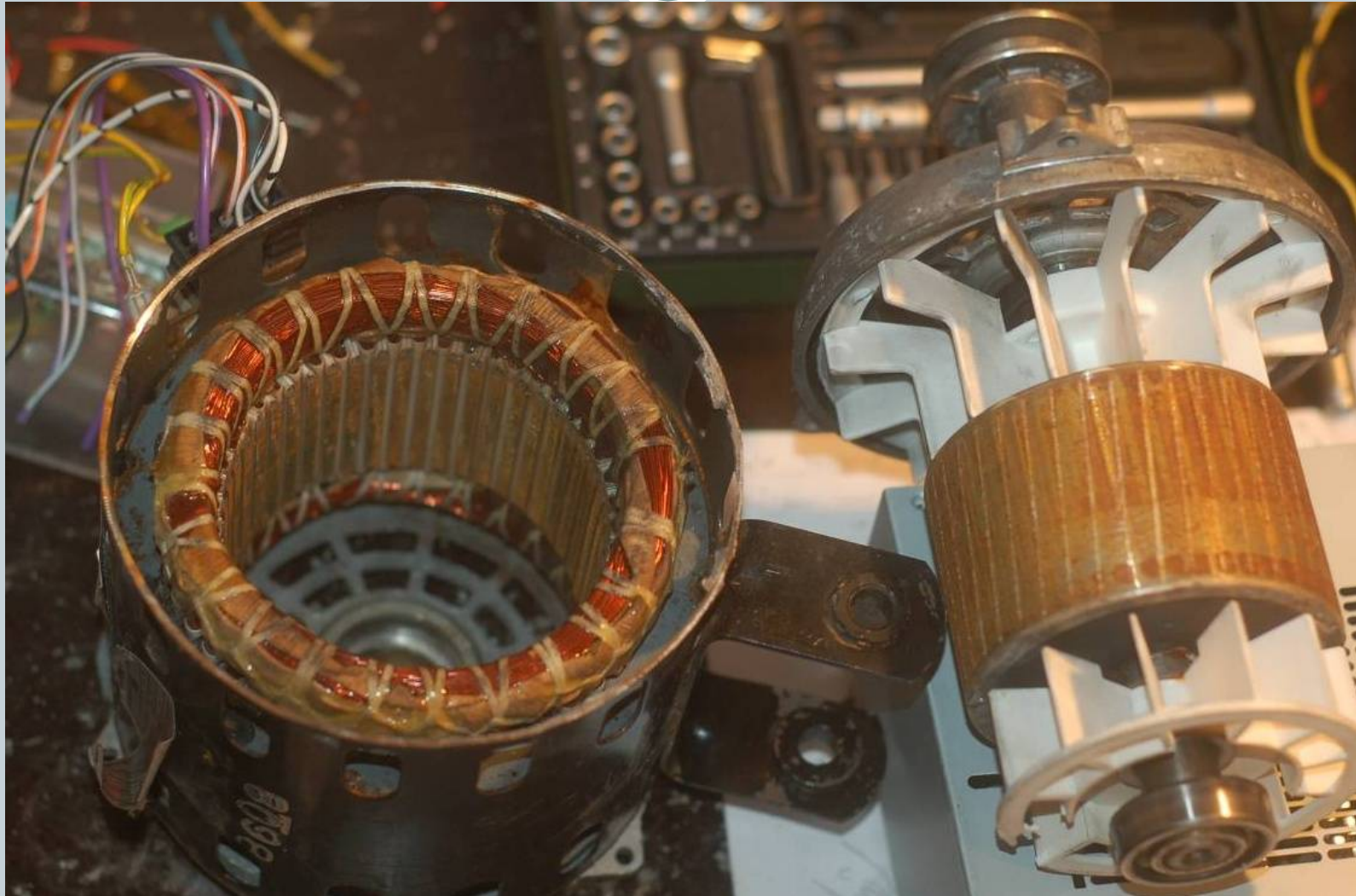
Postavljanje
pobudnog namotaja



Izgled statora
asinhronne mašine

Namotaji mašina za naizmeničnu struju

11



Trofazni motor sa namotanim rotorom

12

- Namotaj statora je trofazan, kao kod sinhronih motora.
- Namotaj rotora je takođe trofazan (motani), kod mašina manjih snaga je spregnut u zvezdu, dok je kod mašina većih snaga, da bi se smanjio napon u stanju mirovanja, spegnut u trougao, a slobodni krajevi su mu spojeni na tri metalna klizna koluta (prstena), izolovana međusobno i od vratila.
- Po tri klizna koluta (za svaku fazu po jedan) klize dirke (četkice) koje su fiksirane za stator i čiji su priključci izvedeni na stator. Na ovaj način je moguć električni pristup rotorskom namotaju, odnosno dovodenje i odvođenje električne energije.
- U svrhu boljeg pokretanja ili regulisanja brzine obrtanja, rotorskom kolu se dodaje odgovarajući trofazni rotorski otpornik.

Trofazni motor sa namotanim rotorom

13

- Uloga kao i dimenzionisanje rotorskih otpornika može biti dvojaka – oni mogu da služe za pokretanje (startovanje, puštanje u rad), odnosno regulisanje brzine obrtanja.
- Ako služe samo za pokretanje, da bi se smanjilo habanje dirki kao i gubici usled trenja dirki o klizne prstenove, većina motora je snabdevena naročitim uređajem koji po puštanju motora u rad podiže dirke i klizne prstenove dovodi u kratki spoj.
- Motor tada radi kao asinhrona mašina sa kratkospojenim rotorom.

Trofazni motor sa namotanim rotorom

14

- Asinhronne mašine sa namotanim rotorom, u odnosu na one sa kratkospojenim rotorom, imaju komplikovaniju izvedbu, skuplje su, imaju manju pouzdanost u radu, podložnije su kvarovima a za pokretanje im je ponekad potreban dodatni uređaj u vidu otpornika za puštanje u rad.
- Osnovna prednost im je vezana za bolje karakteristike pri puštanja u rad, što je naročito važno kod pogona sa teškim uslovima pokretanja kada se zahtevaju veliki polazni momenti.

Trofazni motor sa kratkospojenim rotorom

15

- Namotaj statora se, u principu, ne razlikuje od namotaja statora trofaznih asinhronih mašina sa namotanim rotorom.
- Međutim, namotaj rotora je značajno različit – podseća na kavez.
- Kod motora manjih i srednjih snaga izliven je od aluminijuma, a kod motora većih snaga izrađen je od neizolovanih bakrenih štapnih provodnika, koji se na bočnim stranama kratko spajaju sa po jednim prstenom.

Trofazni motor sa kratkospojenim rotorom

16

- U oba slučaja kratkospojeni rotor nema mogućnost spoljnog električnog pristupa, vrlo je robustan i može da izdrži visoka mehanička i termička naprezanja.
- Ovako formiran namotaj u suštini predstavlja n -fazni namotaj, gde je n broj štapnih provodnika. U analizama se ovaj namotaj ekvivalentira trofaznim.
- Osnovni problem vezan za primenu ove vrste asinhronih mašina su loše polazne karakteristike (karakteristike pri puštanju u rad).

Osnovni princip rada

17

- Posmatrajmo asinhronu mašinu sa trofaznim namotajem na statoru i ekvivalentnim trofaznim kratkospojenim namotajem na rotoru.
- Neka je namotaj statora priključen na sistem naizmeničnih trofaznih napona. U namotaju statora javlja se kontra elektromotorna sila $\underline{E}_1$ koja drži ravnotežu priključenom naponu statora $\underline{U}_1$ i čiji se modul razlikuje od napona za pad napona na omskoj otpornosti i reaktansi rasipanja (što iznosi nekoliko procenata). Kroz namotaj statora protičaće naizmenične trofazne struje koje stvaraju *Teslino obrtno magnetno polje*.
- Obrtno polje rotira u zazoru tzv. sinhronom brzinom, n_s :

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

➤ gde je f učestanost (frekvencija) mreže, a p broj pari polova.

Osnovni princip rada

18

- Pri tome obrtno polje preseca provodnike statora i rotora i u njima indukuje odgovarajuće *elektromotorne sile (ems)*.
- Pošto je električno kolo rotora zatvoreno, usled ove ems se u provodnicima namotaja rotora stvara struja, I_2 , čija je aktivna komponenta istog smera kao i ems.
- Pošto se provodnik sa strujom nalazi u magnetnom polju indukcije B , na njega će delovati elektromagnetna sila:

$$\vec{F} = I_2 \left(\vec{l} \times \vec{B} \right),$$

Osnovni princip rada

19

- Ova sila obrće rotor u smeru obrtnog magnetog polja. To se dešava sa svim provodnicima po obimu rotora, a zbir svih proizvoda sile i poluprečnika predstavlja obrtni momenat elektromagnetnih sila motora. Obrtni momenat motora je prorcionalan proizvodu struje rotora, fluksa i ugla između njih, φ_2 :

$$M = k I_2 \Phi \cos \varphi_2$$

- Prema tome, kada se stator asinhronne mašine priključi na mrežu, obrtni momenat motora obrće rotor u smeru obrtanja obrtnog polja. Pri tome su struje u rotoru izazvane elektromagnetskom indukcijom. Prenos energije sa statora na rotor vrši se isključivo elektromagnetskom indukcijom, pa ove mašine često nazivamo *indukcionim mašinama*.

Osnovni princip rada

20

- Uslov za obrtanje rotora je različita brzina obrtnog magnetnog polja, n_s , i brzine obrtanja rotora, n , odnosno postojanje relativnog kretanja između obrtnog magnetnog polja i rotora, jer jedino tada se pri presecanju provodnika rotora od strane obrtnog magnetnog polja može indukovati ems u rotoru, odnosno stvoriti struja u namotaju rotora.
- Relativnim klizanjem s , nazivamo veličinu koja je određena sledećim izrazom:
$$s = \frac{n_s - n}{n_s},$$
- Vrednost relativnog klizanja s pri naznačenom opterećenju kreće kod motora manjih snaga od 3 do 8%, a kod motora većih snaga od 1 do 3%. Učestanost električnih i magnetnih veličina rotora, f_2 , dobija se kada se primarna učestanost (učestanost mreže) pomnoži sa klizanjem s ($f_2 = sf_1$).

Osnovni princip rada

21

- Samo u trenutku puštanja u rad ili kad rotor usled preopterećenja stane (kratki spoj), učestanost u rotoru je jednaka statorskoj učestanosti, odnosno klizanje je jednako jedinici.
- Označimo indukovanu elektromotornu silu rotora u mirovanju sa E_{20} . Induktivni otpor rotora se menja sa učestanošću:

$$X_{2\sigma,s} = 2\pi f_2 L_{2\sigma} = 2\pi s f_1 L_{2\sigma} = s X_{2\sigma}$$

➤ gde je $X_{2\sigma}$ induktivni otpor rotora u mirovanju.

- Za struju u rotoru imamo:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_{2\sigma,s}^2}} = \frac{s E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{2\sigma})^2}}$$

Osnovni princip rada

22

- Ako brojilac i imenilac podelimo sa klizanjem s dobijamo sledeći izraz za struju rotora:

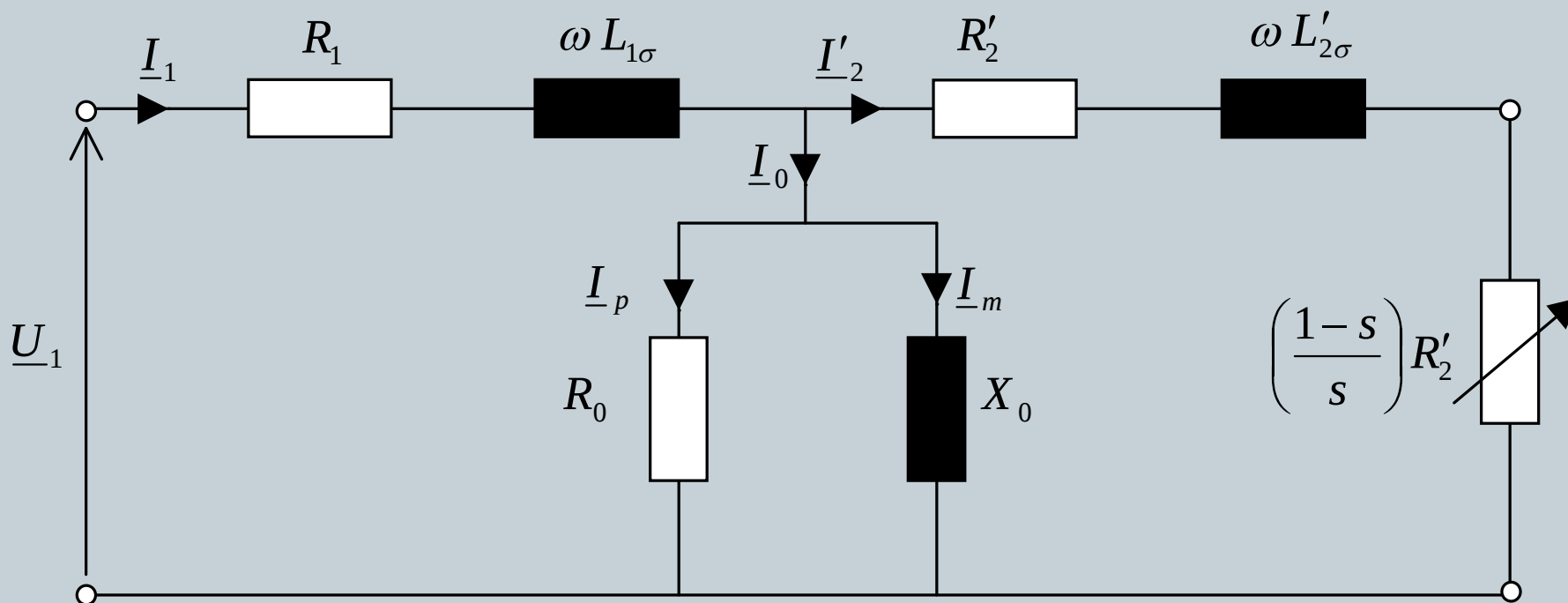
$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{2\sigma}^2}}$$

- Prikažimo sada ekvivalentnu promeljivu otpornost rotora R_2/s u obliku zbira stvarnog otpora rotorskog namotaja R_2 i fiktivnog otpora R_{2d} :

$$\frac{R_2}{s} = R_2 + R_{2d} = R_2 + R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right)$$

Ekvivalentna šema asinhrone mašine

23



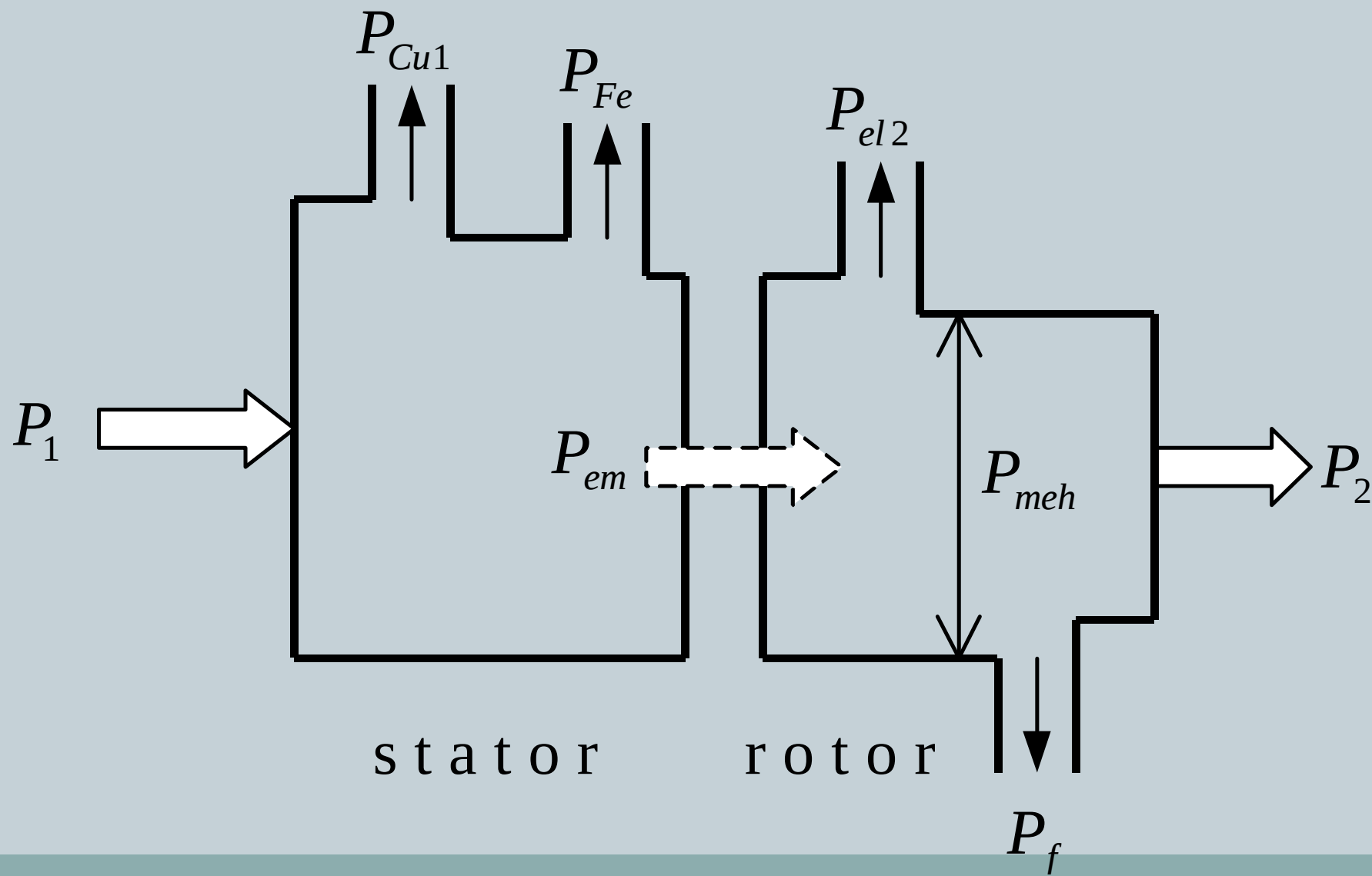
Bilans aktivne snage

24

- Rad asinhronne mašine je praćen sledećim gubicima (izraženim preko snage gubitaka):
 - gubicima u namotajima statora (gubici u bakru statora), P_{Cu1} ,
 - gubicima zbog magnećenja magnetnog kola statora (gubici u gvožđu statora), P_{Fe} ,
 - električnim gubicima u rotoru, P_{el2} , koji sadrže gubitke u bakru namotaja rotora, P_{Cu2} , i eventualno, kod mašina sa namotanim rotorom, gubitke u dodatnim električnim kolima, spojenim na kolo rotora i
 - mehaničkim gubicima usled trenja (frikcije) i ventilacije, P_f .

Bilans aktivne snage

25



Bilans aktivne snage

26

- Snaga obrtnog elektromagnetnog polja, P_{em} , koja se kroz međugvožđe prenosi sa statora na rotor, jednaka je razlici dovedene (utrošene) snage P_1 , koju motor uzima iz mreže i ukupnih gubitaka u statoru, odnosno zbiru ukupne mehaničke snage rotora i električnih gubitaka u rotoru:

$$P_{em} = P_1 - P_{Cu1} - P_{Fe} = P_{meh} + P_{el2} ,$$

- gde je P_{meh} ukupna mehanička snaga rotora.
- Ukupna mehanička snaga jednaka je razlici dovedene snage P_1 i snage ukupnih gubitaka u gvožđu statora i namotajima statora i rotora, koji su u ekvivalentnoj šemi predstavljeni toplotom koja se razvija na otporima R_0 , R_1 i R_2 . Preostali, fiktivni otpor u ekvivalentnoj šemi $R_{2d} = R_2(1-s)/s$ upravo odgovara ukupnoj mehaničkoj snazi, iz čega sledi da je odnos ukupne mehaničke snage i električnih gubitaka u rotoru:

$$\frac{P_{meh}}{P_{el2}} = \frac{1-s}{s} .$$

Bilans aktivne snage

27

- Korisna (mehanička) snaga na vratilu mašine jednaka je razlici ukupne mehaničke snage i mehaničkih gubitaka usled trenja i ventilacije:

$$P_2 = P_{meh} - P_f$$

- Važno je uočiti da, kada se govori o *snazi motora*, podrazumeva se *korisna mehanička snaga na vratilu motora*.
- Korisni mehanički momenat se dobija iz jednačine:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{60}{2\pi} \frac{P_2}{n} = 9,55 \frac{P_2}{n}$$

Ekvivalentna šema asinhrona mašine

28

- Pošto je zakočena asinhrona mašina u biti transformator, analogno transformatoru i koristeći prethodne izraze za ekvivalentnu struju i ekvivalentni promenljivi rotorski otpor, imamo sledeću ekvivalentnu šemu.
- Fiktivni otpor $R_{2d} = R_2(1-s)/s$ je analogan prijemniku impedanse Z_2 koji je priključen na sekundar transformatora.
- Analogno transformatoru, sve veličine rotora svedene su na statorsku stranu, što je označeno gornjim zarezom. Pri svođenju se, osim o broju navojaka mora voditi računa i o ukupnom navojnom sačinioću.

Karakteristika momenta asinhronog motora

29

- Kod motornih pogona karakteristika opterećenja je gotovo uvek data karakteristikom momenta opterećenja (kočnog momenta) u zavisnosti od brzine obrtanja:

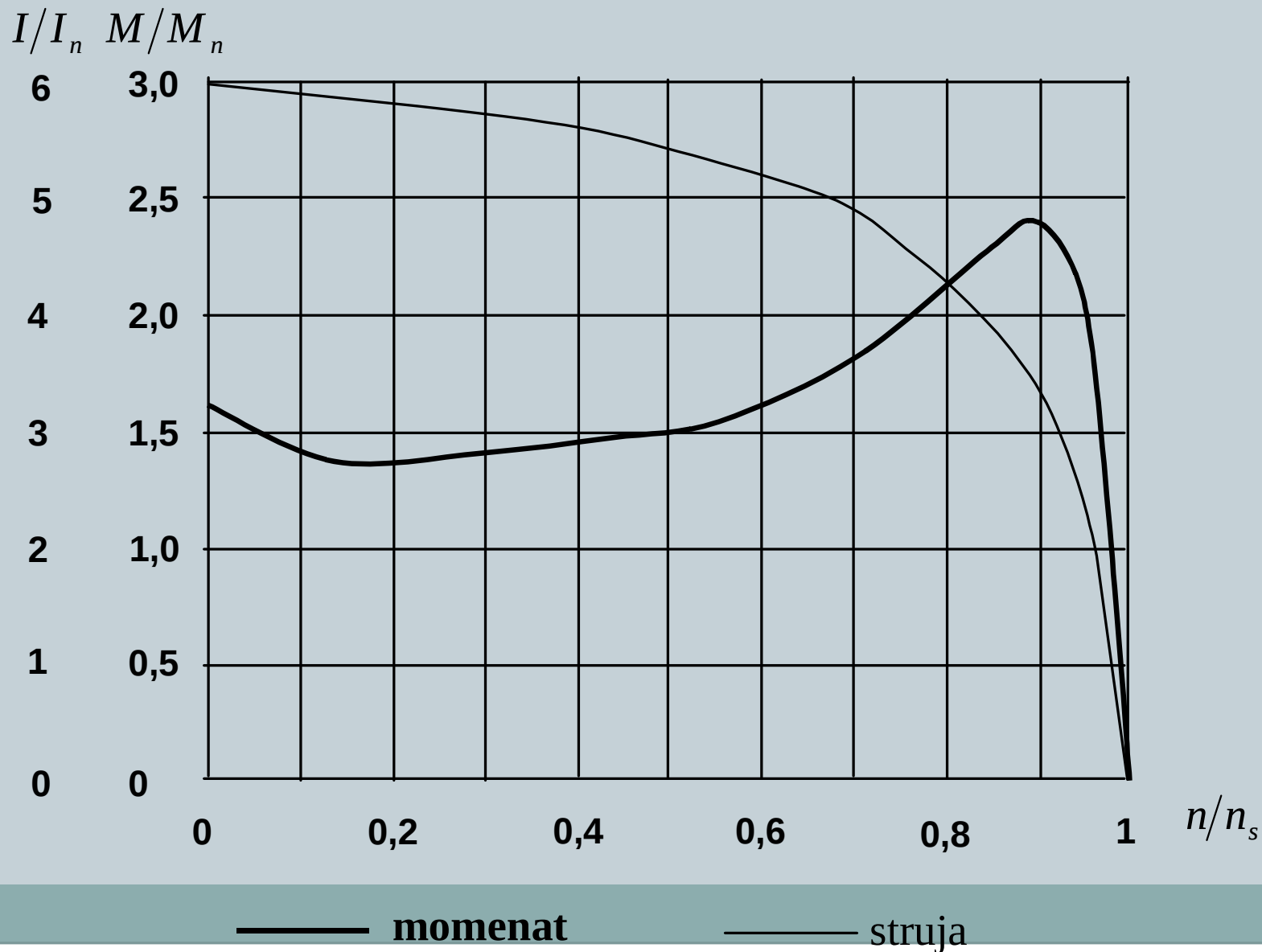
$$M_K = f(n)$$

- Za određivanje stacionarne radne tačke je vrlo važno da se i razvijeni momenat motora takođe prikaže u zavisnosti od brzine obrtanja, odnosno klizanja:

$$M = f(n) = g(s)$$

- Ovu krivu nazivamo karakteristikom momenta asinhronog motora.

Karakteristika momenta asinhronog motora



Karakteristika momenta asinhronog motora

31

- Karakteristične tačke, gledano preko momenata, su:
 - *polazni momenat*, M_{pol} , koji motor razvija pri pokretanju ($n=0$, odnosno $s=1$), i koji, da bi se mašina mogla pokrenuti, mora biti veći od otpornog momenta radne mašine,
 - *prevalni (maksimalni) momenat*, M_{max} , je najveća vrednost momenta,
 - *naznačeni (nominalni) momenat*, M_n , odgovara naznačenom režimu rada,
 - *momenat praznog hoda*, M_{ph} , koji pokriva mehaničke gubitke u praznom hodu,
 - *prazni hod (idealni)* $M=0$ ($n=n_s$, odnosno $s=0$).

Pokretanje asinhronih motora

32

- Pokretanje motora je proces koji započinje u trenutku u kojem je rotor u stanju mirovanja, a završava se onda kada se, pri odgovarajućoj brzini obrtanja, izjednače razvijeni momenat motora i otporni momenat radnog mehanizma.
- Polazne karakteristike određuju vrednosti polazne struje i momenta, sigurnost pokretanja, vreme trajanja puštanja kao i ekonomičnost, koja zavisi od cene potrebne opreme i gubitaka za vreme pokretanja.
- Vrednost polaznog momenta i struje su osnovne veličine od interesa pri pokretanju asinhronne mašine. U trenutku kada se motor priključuje na mrežu, njegov rotor je mehanički nepokretan, a električno je u kratkom spoju (bez obzira na tip asinhronne mašine), a uz maksimalnu indukovanu elektromotornu silu u namotaju rotora (obratno polje preseca provodnike sinhronom brzinom), to stanje je praćeno pojavom velikih struja.

Pokretanje asinhronih motora

33

- Da bi rotor motora pri pokretanju mogao preći u obrtno kretanje, polazni momenat koji razvija motor mora biti veći od otpornog momenta koji na vratilu proizvodi radna mašina koju treba pokrenuti.
- Sa druge strane, vrednost struje pri pokretanju ne sme preći određene granice, jer bi to izazvalo velike padove napona i izazvalo negativne uticaje na druge prijemnike u mreži.
- Dakle, nastoji se da se poveća vrednost polaznog momenta i smanji vrednost polazne struje.
- Asinhronne mašine sa *namotanim rotorom* imaju dobre karakteristike s obzirom na pokretanje. Pomoću dodatnog otpora (*otpornik za puštanje u rad*) priključenog u rotorsko kolo omogućeno je razvijanje velikih polaznih momenata pri maloj polaznoj struji. Sa povećanjem brzine otpornici se postepeno isključuju, da bi se nakon zaletanja potpuno isključili, a prstenovi kratko spojili.

Pokretanje asinhronih motora

34

- Kod asinhronih mašina sa *kratkospojenim rotorom* nemamo neposrednu mogućnost uticaja na rotorsko strujno kolo, pa se kod pokretanja koriste sledeće metode:
 - *direktno uključivanje u mrežu*, koje je povezano sa manjim ili većim stujnim udarima. U zavisnosti od kvaliteta i snage svoje mreže, elektrodistribucije propisuju najveće snage asinhronih mašina sa kratkospojenim rotorom koje se mogu na ovaj način puštati u rad.
 - *primena dodatnih uređaja koji se priključuju u strujno kolo statora (na red između mreže i priključaka namotaja statora)*. Osnovna ideja ovde je ograničenje struje pokretanja putem sniženja primarnog napona. Međutim, mora se voditi računa o tome da je polazni momenat srazmeran sa kvadratom priključenog primarnog napona, tako da ovaj način pokretanja dolazi u obzir kada se ne zahteva veliki polazni momenat u samom početku radnog ciklusa.

Pokretanje asinhronih motora

35

- Uređaji koji se koriste su prigušnice, autotransformatori i prebacač zvezda-trougao (za motore čiji je stator spregnut u trougao – polazna struja je pri sprezi zvezda tri puta manja nego pri sprezi trougao, međutim i polazni momenat je tri puta manji) ili se, pak, napajanje vrši preko blok transformatora ili regulisanjem napona primenom uređaja energetske elektronike.
- *primena specijalne izvedbe rotora i njegovih namotaja*, koja se sastoji u konstrukciji rotora sa dubokim i dvostrukim žlebovima. Ovakvom konstrukcijom se poboljšavaju polazne karakteristike, jer se postiže povećanje omskog otpora i smanjenje faznog pomeraja između ems i struje prilikom pokretanja. Međutim, ovakva konstrukcija ima za posledicu izvesno pogoršanje radnih karakteristika u odnosu na standardne motore sa kratkospojenim rotorom.

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

36

- Mogućnost kontinualne promene brzine u širokim granicama i rad pri različitim brzinama je imperativ za savremene električne pogone.
- Zbog tvrde mehaničke karakteristike, regulisanje brzine obrtanja asinhronih motora nije ni lako ni efikasno, u odnosu na mašine jednosmerne struje.
- Međutim, usled razvoja i pada cene mikroprocesora i komponenti energetske elektronike, asinhroni motori se sve više sreću i u regulisanim pogonima sa promenljivom brzinom obrtanja.
- Veličine pomoću kojih možemo da regulišemo brzinu obrtanja najlakše se vide iz osnovne jednačine koja opisuje brzinu obrtanja asinhronne mašine:

$$n = n_s (1 - s) = \frac{60 f}{p} \cdot (1 - s) .$$

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

37

- Regulisanje brzine obrtanja se možemo izvršiti:
 - *promenom frekvencije mreže (izvora),*
 - *promenom broja pari polova i*
 - *promenom klizanja, a klizanje promenom napona napajanja i promenom otpora u kolu rotora (za mašine sa namotanim rotorom),*
 - *primenom kaskadnih spojeva,*
 - *vektorskim upravljanjem.*

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

38

- Regulisanje brzine *promenom napona napajanja* vrši se smanjenjem napona, najčešće pomoću regulacionog transformatora.
- Nedostaci vezani za ovaj način regulacije su povećani gubici i smanjenje maksimalnog momenta, pošto je on srazmeran sa kvadratom napona napajanja.

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

39

- Regulisanje brzine *promenom otpora u kolu rotora* se može koristiti kod asinhronih mašina sa namotanim rotorom.
- Uključenjem rotorskog otpornika u strujno kolo rotora povećava se, pri nepromenjenom prevalnom momentu, prevalno klizanje i time smanjuje radna brzina motora, odnosno povećava područje stabilnog rada.
- Međutim, takva regulacija je vezana s gubicima energije i kao takva ne može biti osnova za trajni pogon, već samo za kratkotrajna prelazna stanja, npr. pokretanje ili zaustavljanje nekog pogona, ali ne velike snage.

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

40

- Regulisanje brzine *promenom broja pari polova* ne može obezbediti kontinualnu promenu brzine, već diskretnu, i to dve, najviše tri različite brzine.
- Ostvaraju se na dva načina: stavljanjem nekoliko nezavisnih namotaja statora sa različitim brojem pari polova, ili postavljanjem jednog namotaja čiji se odvojcji izvode do prebacača.
- Ovaj način regulisanja može da se primeni samo kod motora sa kratkospojenim rotorom, jer se kratkospojeni rotor prilagođava svakom broju polova namotaja statora.
- U slučaju namotanog rotora bilo bi neophodno, sa promenom pari polova na statoru, izvršiti istu operaciju na rotorskom namotaju, što usložnjava konstrukciju, a time i cenu izrade takvog namotaja.
- Dalje, treba imati u vidu da se promenom broja pari polova menjaju i sve karakterisitike motora.

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

41

- Regulacija brzine *promenom učestanosti* je, sa razvojem energetske elektronike, postala najznačajnija, pri čemu se, kako se ne bi promenilo magnetno zasićenje mašine, često izvodi sa istovremenom promenom napona napajanja (tzv. U/f regulacija, $U/f=F=\text{const}$).
- Prednosti ovog načina regulisanja brzine sadržane su u veoma dobrim tehničkim osobinama: zadržava se vrednost maksimalnog momenta, promena brzine je kontinualna i u širokom opsegu, koristi se standardni motor sa kratkospojenim rotorom.
- Međutim, potreban je dodatni uređaj za obezbeđenje promenljive učestanosti i napona napajanja.
- Osim ovih načina regulisanja brzine obrtanja, postoje i načini vezani za *kaskadne veze* asinhronog motora sa drugim uređajima (asinhronim motorom, uređajima energetske elektronike).

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

42

- *Vektorsko upravljanje* ima veliki značaj u savremenim elektromotornim pogonima.
- Kod asinhronog motora ne postoje direktno pristupačne upravljačke veličine, kao kod mašina jednosmerne struje, već se normalno upravlja učestanošću i amplitudom (odnosno efektivnom vrednošću) višefaznih statorskih veličina (npr. strujom statora), od kojih svaka deluje i na magnetno stanje i na momenat mašine, pa je upravljanje spregnuto.
- Analizom se može pokazati da je i kod asinhronog motora moguće raspregnuto upravljanje kao kod jednosmernog motora preko odgovarajućih pristupačnih faznih veličina.
- Za direktno i nezavisno upravljanje momentnom asinhronne mašine potrebno je u svakom trenutku poznavati amplitudu i položaj polifazora rotorskog fluksa (tzv. orijentaciju polja) u odnosu na statorski koordinatni sistem.

Regulacija brzine obrtanja asinhronih motora

43

- Kod rešavanja problema određivanja orijentacije polja kod asinhronog motora se, u početku, primenjivalo tzv. *direktno vektorsko upravljanje* koje se baziralo na merenju fluksa u mašini (npr. Halove sonde).
- Kasnije je kod *indirektnog vektorskog upravljanja* problem rešavan merenjem položaja rotora pomoću inkrementalnog enkodera i obračunavanjem efekta klizanja.

Literatura

44

- M. Milanković, D. Perić, I. Vlajić-Naumovska, *“Osnovi elektroenergetike”*, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2016.