

ZAKONITOSTI UPRAVLJANJA ASINHRONOG MOTORA PRI
PROMJENI FREKVENCIJE I NAPONA NAPAJANJA

Mr Mate Smajo
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu

SAŽETAK

U referatu su istraživane zakonitosti upravljanja naponom i frekvencijom asinhronog motora za linearne promjene napona i frekvencije statora, konstantni ulančeni tok statora i konstantni glavni magnetski tok u zračnom rasporu. Za ove slučajeve analizirane su statičke mehaničke karakteristike asinhronog motora.

PRINCIPLES GOVERNING THE CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTOR
AT FREQUENCY AND SUPPLY VOLTAGE CHANGE

In this paper are investigated the principles of frequency and voltage control of an asynchronous motor for linear voltage and frequency stator changes, constant stator flux linkages and constant main magnetic flux in air gap. The static mechanical characteristics of an asynchronous motor are analyzed under these three conditions.

UVOD

Promjenom napona i frekvencije napajanja statora asinhronog motora mogu se realizirati, u pravilu, takve statičke i dinamičke karakteristike koje zahtijeva većina suvremenih elektromotornih pogona.

U praksi se često susreću radni mehanizmi s momentom te-

reta koji je konstantan, ili ovisi o brzini vrtnje. Zahtjeve na takove pogone može ispuniti frekvencijom upravljani asinhroni motor ako se napon i frekvencija napajanja statora mijenjaju, kako se to najčešće i u praksi i u literaturi susreće, po zakonima: $U/f = \text{konst.}$ - pri konstantnom momentu tereta, $U/\sqrt{f} = \text{konst.}$ - pri teretu konstantne snage i $U/f^2 = \text{konst.}$ - pri ventilatorskom momentu tereta.

Ovdje ćemo se ograničiti na istraživanja karakteristika frekvencijom i naponom upravljanog asinhronog motora koje zahtijeva radni mehanizam s konstantnim momentom tereta. Analizirat ćemo one zakonitosti upravljanja asinhronog motora promjenom napona i frekvencije koje motoru osiguravaju ili konstantni ulančeni tok, odnosno struju statora ili konstantni glavni magnetski tok pri napajanju iz sinusoidalnog izvora promjenljivog napona i frekvencije.

Režim rada asinhronog motora jednoznačno je definiran pri određenoj frekvenciji napona napajanja, ako su u motoru ostvareni odgovarajući magnetski tok (ulančeni tok statora ili glavni magnetski tok u zračnom rasporu) i frekvencija rotora ili struja statora i frekvencija rotora. Odgovarajući magnetski tok u motoru možemo osigurati promjenom napona napajanja ili promjenom struje statora. Zbog ovog svojstva asinhronog motora željene elektromehaničke karakteristike motora možemo ostvariti na dva različita načina upravljanja promjenom frekvencije:

- upravljanje asinhronog motora kod kojeg su upravljačke funkcije frekvencija i napon napajanja statora,
- upravljanje asinhronog motora kod kojeg su upravljačke funkcije frekvencija napona napajanja i struja statora.

Budući da oba načina upravljanja mogu osigurati karakteristike asinhronog motora koje zahtijeva radni mehanizam pogona, svrsishodno ih je paralelno istraživati. Međutim, sva svojstva frekvencijom upravljanog asinhronog motora, koja dobijemo promjenom struje statora, tehnički je opravdano iskoristiti samo u zatvorenom krugu (regulacija struje statora), a nije opravdano u otvorenom krugu (upravljanjem struje statora) (L.3).

Da bismo dobili zakonitosti promjena napona ili struje

statora u funkciji frekvencije statora i frekvencije rotora potrebno je istražiti ovisnosti elektromehaničkih karakteristika asinhronog motora o ulančenom toku statora, magnetskom toku u zračnom rasporu ili o struji statora.

Pri izvodjenju potrebnih matematičkih izraza i pri računanju s numeričkim vrijednostima, upotrebit ćemo jednadžbe i fizikalne veličine u jediničnim vrijednostima. Proračune i analizu promatranih statičkih karakteristika provest ćemo na konkretnom asinhronom kliznokolutnom motoru s podacima prema (L.5).

ZAKONITOSTI UPRAVLJANJA PRI KONSTANTNOM ULANČENOM TOKU STATORA

Elektromagnetski moment motora možemo izraziti u ovisnosti o kvadratu ulančenog toka statora i o frekvenciji rotora (L.5).

$$M_{el} = \psi_s^2 \frac{k_s^2 T_r'}{L_r'} \frac{\omega_r}{1 + (\omega_r T_r')^2}, \quad (1)$$

gdje je ψ_s - ulančeni magnetski tok statora, k_s - faktor ulančenja statora, T_r' - tranzijentna vremenska konstanta rotora, L_r' - tranzijentni induktivitet rotora, ω_r - kružna frekvencija rotora.

Dakle, pri zadanoj frekvenciji rotora možemo održati konstantni moment motora u cijelom području promjena brzine vrtnje ako smo održali konstantni ulančeni tok statora. Karakteristika momenta motora u funkciji frekvencije rotora dobivena s pomoću jednadžbe (1), uz konstantni nazivni tok statora $\psi_{sn} = 0,98$, prikazana je na slici 1.

Ako jednadžbu (1) koja opisuje ovisnost momenta motora o frekvenciji rotora deriviramo i izjednačimo s nulom dobit ćemo prekretnu frekvenciju rotora:

$$\omega_{r_{pr\psi}} = \pm \frac{1}{T_r'} = \pm 0,23, \quad (2)$$

odnosno prekretni moment motora:

$$M_{pr\psi} = \pm \frac{1}{2} \frac{L_m^2}{L_s^2 L_r'} \psi_s^2, \quad (3)$$

gdje je L_s - induktivitet namota statora, L_m - medjuinduktivitet namota statora i rotora.

Uz nazivni ulančeni tok statora $\Psi_{sn}=0,98$ prekretni moment motora, u našem primjeru, jest $M_{pr}=3,21$ za sve frekvencije napona napajanja. Predznak plus u jednadžbama (2) i (3) odnosi se na motorski a predznak minus na generatorski režim rada. I prema slici 1. i prema jednadžbi (1) vidimo da je karakteristika momenta motora uz konstantni ulančeni tok statora simetrična za motorski i generatorski režim rada.

Izraz za moment motora u funkciji napona napajanja statora U_s , frekvencije statora ω_s i frekvencije rotora ω_r glasi (L.5):

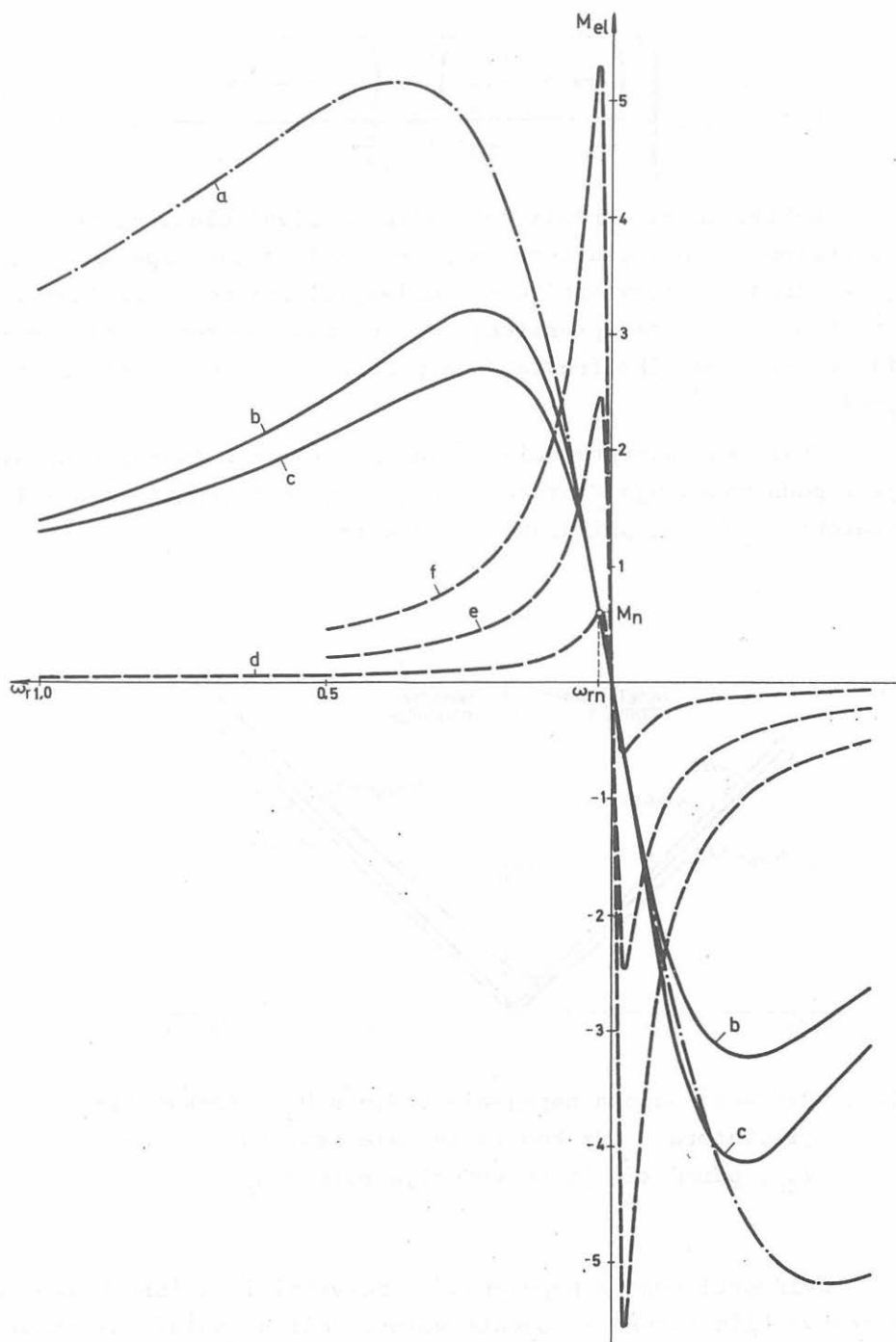
$$M_{el} = \frac{U_s^2}{\omega_s^2} \frac{k_s^2}{L_r T_r} \frac{\omega_r}{\left(\frac{1}{T_r} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s} \right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s T_r} \right)^2} \quad (4)$$

gdje je T_s - tranzijentna vremenska konstanta statora, σ - koeficijent rasipanja.

Karakteristika momenta motora dobivena uz nazivni napon U_{sn} i frekvenciju statora $f_s=50\text{Hz}$ prikazana je na slici 1. Tada su prekretna frekvencije rotora jednake $\omega_{rpr}=\pm 0,22$, a različiti su iznosi prekretnih momenata motora u motorskom $M_{pr}=2,69$ i generatorskom režimu rada $M_{pr}=-4,11$.

Sa slike 1. vidimo da se dobije povoljnija momentna karakteristika motora uz konstantni ulančeni tok statora Ψ_{sn} (koja je zajednička za sve frekvencije napona napajanja $\omega_s < 1$) od one uz nazivni napon i nazivnu frekvenciju statora. Ako održavamo konstantni ulančeni tok statora (a to znači da kompenziramo utjecaj pada napona na otporu statora) onda su pri nižim frekvencijama napona napajanja prekretni momenti konstantni i u motorskom i u generatorskom režimu rada.

Zakon promjene napona napajanja statora uz konstantni ulančeni tok statora u funkciji frekvencije statora i frekvencije rotora glasi:

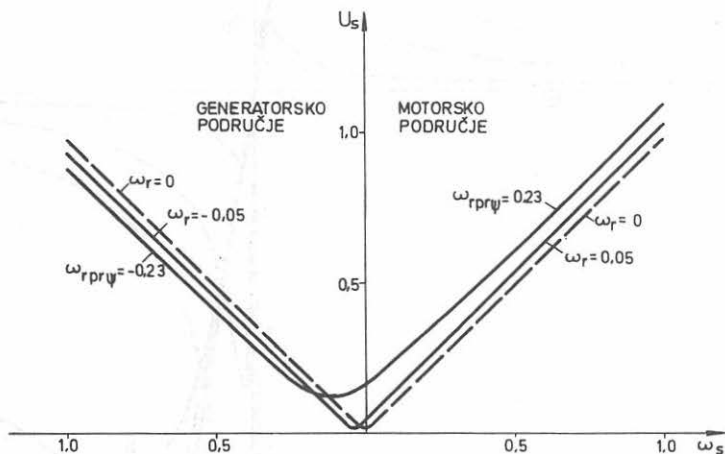


Sl. 1. Karakteristike momenta motora M_{el} u funkciji frekvencije rotora ω_r :
 a) $\phi = \phi_n$, b) $\psi_s = \psi_{sn}$, c) $U_s = U_{sn}$, $f_s = f_{sn}$,
 d) $I_s = I_{sn}$, e) $I_s = 2I_{sn}$, f) $I_s = 3I_{sn}$

$$U_s = \Psi_{sn} \omega_s \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{T_r} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s}\right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s T_r}\right)^2}{\omega_r^2 + \frac{1}{T_r^2}}} \quad (5)$$

Dakle, da bi održali konstantni nazivni ulančeni tok statora u praznom hodu i pod teretom potrebno je napon napajanja statora, za određenu frekvenciju ω_s , mijenjati ovisno o veličini tereta motora. Kao mjera opterećenja motora može se koristiti frekvencija rotora (razlika frekvencije statora i kutne brzine rotora $\omega_r = \omega_s - \omega$).

Grafička interpretacija jednadžbe (5) tj. funkcije upravljanja napona napajanja statora $U_s(\omega_s, \omega_r)$ uz konstantni ulančeni tok statora $\Psi_{sn} = 0,98$, prikazane su na slici 2.



Sl. 2. Ovisnost napona napajanja statora U_s o frekvenciji statora ω_s uz konstantni ulančeni tok statora Ψ_{sn} ; parametar je frekvencija rotora ω_r

Ovisnosti napona napajanja o frekvenciji statora prikazane su za frekvencije rotora i momente motora koji se nalaze na stabilnom dijelu momentne karakteristike za: prazni hod ($\omega_r = 0$ i $M_{el} = 0$), prekretno frekvencije u motorskom i generatorskom režimu rada

$\omega_{r\text{pr}\Psi} = \pm 0,23$ ($M_{\text{pr}\Psi} = \pm 3,21$), te pri frekvenciji rotora $\omega_r = \pm 0,05$, kojoj odgovara moment motora $M_{el} = \pm 1,33$. Budući da održavanje konstantnog ulančenog toka statora zahtijeva kompenzaciju pada napona na otporu statora, potrebno je povećati napon napajanja u motorskom režimu rada a odgovarajuće smanjiti napon u generatorskom režimu rada u odnosu na zahtijevani napon napajanja statora u praznom hodu (slika 2.). Dalje zapažamo da upravljačke funkcije napona napajanja u praznom hodu i pod opterećenjem motora možemo dosta dobro aproksimirati pravcima. Ova aproksimacija je bolja što je manje opterećenje motora, odnosno što je manja frekvencija rotora, te veća frekvencija statora. Odstupanja su posebno velika pri nižim frekvencijama napona napajanja statora.

Ovisnost struje statora o frekvenciji rotora uz konstantni ulančeni tok statora glasi:

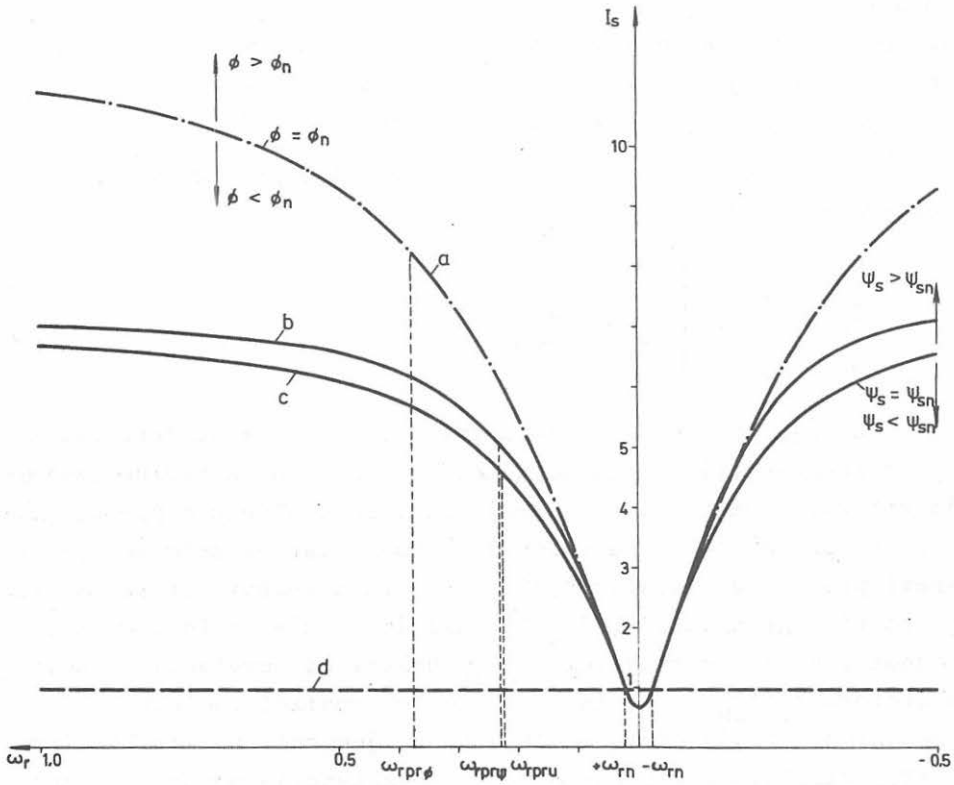
$$I_s = \Psi_{sn} \frac{1}{L_s} \sqrt{\frac{\omega_r^2 + \frac{\sigma^2}{T_r^2}}{\omega_r^2 + \frac{1}{T_r^2}}} \quad (6)$$

Struja statora uz konstantni ulančeni tok statora nezavisna je o frekvenciji napona napajanja i funkcija je jedino frekvencije rotora. Karakteristika struje statora dobivena s pomoću jednadžbe (6) prikazana je na slici 3. Struja statora može se aproksimirati pravcem u području $0,8 < I_s < 2,5$; tada moment motora poprima vrijednosti u granicama $0,5 < M_{el} < 2$. Ako je struja statora veća od vrijednosti na karakteristici $\Psi_s = \Psi_{sn}$ dolazi do povećanja ulančenog toka statora $\Psi_s > \Psi_{sn}$, a to znači da će tok postići zasićenje. Ako je, međjutim, struja statora manja od vrijednosti na karakteristici $\Psi_s < \Psi_{sn}$ zadržava se linearnost, tj. reaktancije motora su konstantne. Zato se pri upravljanju asinhronog motora promjenom frekvencije napona napajanja uz konstantnu struju statora $I_s = I_{sn}$ (slika 3.) motor nalazi u zasićenju u širokom području frekvencija rotora $-\omega_{rn} < \omega_r < \omega_{rn}$.

Poznata pojednostavljena Klossova formula za režime rada motora s konstantnim ulančenim tokom statora glasi:

$$\frac{M_{el}}{M_{pr\psi}} = \frac{2}{\frac{\omega_r}{\omega_{rpr\psi}} + \frac{\omega_{rpr\psi}}{\omega_r}} \left(\frac{\psi_s}{\psi_{sn}} \right)^2, \quad (7)$$

gdje je $\omega_{rpr\psi}$ - prekretna frekvencija rotora.



Sl. 3. Ovisnost struje statora I_s o frekvenciji rotora

- ω_r : a) $\phi = \phi_n$, b) $\psi_s = \psi_{sn}$, c) $U_s = U_{sn}$, $f_s = f_{sn}$,
d) $I_s = I_{sn}$.

ZAKONITOSTI UPRAVLJANJA PRI KONSTANTNOM GLAVNOM
MAGNETSKOM TOKU

Da bi se istražila zakonitost promjene napona napajanja pri konstantnom glavnom magnetskom toku potrebno je odrediti izraze za struju magnetiziranja, glavni magnetski tok i za moment motora.

Poznato je da se korisni tj. glavni magnetski tok u zračnom rasporu asinhronog motora može izraziti kao funkcija medjuinduktiviteta L_m i struje magnetiziranja I_m :

$$\Phi = L_m I_m \quad (8)$$

Struja magnetiziranja u stacionarnom stanju uz narinuti napon U_s kružne frekvencije ω_s i frekvenciju rotora ω_r jest (L.5):

$$I_m = \frac{U_s}{\omega_s L_s} \sqrt{\frac{\omega_r^2 (1 - k_r)^2 + \frac{\sigma^2}{T_r'^2}}{\left(\frac{1}{T_r'} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s'}\right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s' T_r'}\right)^2}} \quad (9)$$

gdje je k_r - faktor ulančenja rotora.

Glavni magnetski tok u zračnom rasporu možemo, takodjer, izraziti kao funkciju napona napajanja, frekvencije statora i frekvencije rotora (L.5):

$$\Phi = \frac{U_s}{\omega_s} \frac{L_m}{L_s} \sqrt{\frac{\omega_r^2 (1 - k_r)^2 + \frac{\sigma^2}{T_r'^2}}{\left(\frac{1}{T_r'} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s'}\right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s' T_r'}\right)^2}} \quad (10)$$

Ako izraz za napon napajanja statora, koji se dobije iz jednadžbe (10) uvrstimo u jednadžbu (4) dobit ćemo izraz za moment motora u funkciji magnetskog toka u zračnom rasporu i frekvencije rotora:

$$M_{el} = \Phi^2 \frac{\sigma^2 T_r'}{L_r'} \frac{\omega_r}{\sigma^2 + [\omega_r T_r' (1 - k_r)]^2} \quad (11)$$

Dakle, moment motora i uz konstantni glavni magnetski tok funkcija je samo frekvencije rotora, tj. moment motora ne zavisi o

frekvenciji napona napajanja statora.

Karakteristika momenta motora dobivena s pomoću jednadžbe (11) uz $\phi_n = 0,94$, takodjer je prikazana na slici 1. Prekretna frekvencija rotora za koju dobivamo maksimalni moment motora jest:

$$\omega_{r_{pr\Phi}} = \pm \frac{\sigma}{T_r' (1 - k_r)} = \pm 0,37 \quad (12)$$

Prekretni moment motora izražen u funkciji glavnog magnetskog toka i rasipnog induktiviteta namota rotora jest:

$$M_{pr\Phi} = \pm \frac{1}{2} \frac{1}{L_{r\ell}} \phi^2 \quad (13)$$

a prekretni moment u primjeru proračuna uz $\Phi = \phi_n$ jest: $M_{pr\Phi} = \pm 5,16$.

Dakle, da bi održali visoke vrijednosti momenata, odnosno visoke prekretno momente motora u cijelom području promjena brzine vrtnje potrebno je ostvariti nazivni glavni magnetski tok u zračnom rasporu i osigurati što manje ukupno rasipanje s namotom rotora.

Zakon promjene napona napajanja statora uz konstantni glavni magnetski tok u funkciji frekvencije statora i frekvencije rotora jest:

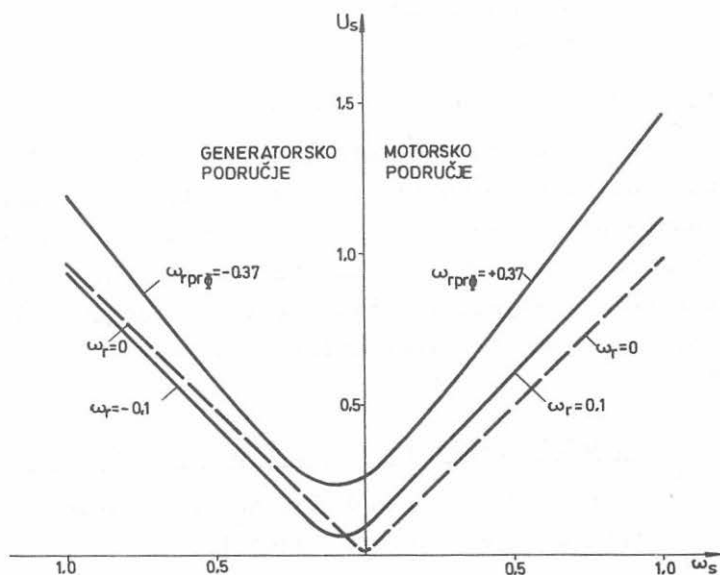
$$U_s = \phi \omega_s \frac{L_s'}{L_m} \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{T_r'} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s'}\right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s' T_r'}\right)^2}{\omega_r^2 (1 - k_r)^2 + \frac{\sigma^2}{T_r'^2}}} \quad (14)$$

Da bi se održao konstantni glavni magnetski tok u zračnom rasporu motora potrebno je kompenzirati pad napona na impedanciji statora $I_s Z_s$, gdje je:

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + (\omega_s L_{s\ell})^2} \quad (15)$$

Funkcije upravljanja napona napajanja statora $U_s(\omega_s, \omega_r)$ pri upravljanju asinhronog motora promjenom frekvencije uz nazivni glavni magnetski tok prikazane su na slici 4. Na slici su prikazane ovisnosti napona napajanja statora o frekvenciji statora u praznom hodu (za $\omega_r = 0$ i $M_{e1} = 0$), u točkama prekretno frekvencije rotora motorskog i generatoranskog režima rada $\omega_{r_{pr\Phi}} = \pm 0,37$ ($M_{pr\Phi} = \pm 5,16$),

te pri proizvoljno odabranoj frekvenciji rotora $\omega_r = \pm 0,1$ kojoj odgovara moment motora $M_{el} = \pm 2,59$.



Sl. 4. Ovisnost napona napajanja statora U_s o frekvenciji statora ω_s uz konstantni glavni magnetski tok Φ_n ; parametar je frekvencija rotora ω_r

Zakon promjene struje statora u ovisnosti o frekvenciji rotora uz konstantni glavni magnetski tok glasi:

$$I_s = \Phi \frac{1}{L_m} \sqrt{\frac{\omega_r^2 + \frac{\sigma^2}{T_r^2}}{\omega_r^2 (1-k_r)^2 + \frac{\sigma^2}{T_r^2}}} \quad (16)$$

Ova ovisnost struje statora o frekvenciji rotora uz konstantni glavni magnetski tok prikazana je na slici 3.

Kad se održava konstantan tok u zračnom rasporu asinhronog motora onda odnos momenta motora (jednadžba 11) i prekretnog

momenta motora uz nazivni tok (jednadžba 13) jest:

$$\frac{M_{el}}{M_{pr\phi}} = \frac{2}{\frac{\omega_r}{\omega_{r_{pr\phi}}} + \frac{\omega_{r_{pr\phi}}}{\omega_r}} \left(\frac{\phi}{\phi_n} \right)^2, \quad (17)$$

gdje je $\omega_{r_{pr\phi}}$ - prekretna frekvencija rotora.

U praksi se ne mogu iskoristiti ovako visoki prekretni momenti motora, koje bi dobili uz nazivni tok, zbog prevelikih mehaničkih naprezanja i velikih struja statora, odnosno rotora. Prema zahtjevima pogona na moment motora i s obzirom na dozvoljene gubitke u bakru u željezu motora, izabire se odgovarajuća radna točka u blizini momentne karakteristike za nazivni tok u zračnom rasporu ϕ_n (L.1).

ZAKONITOSTI UPRAVLJANJA PRI KONSTANTNOJ STRUJI STATORA

Struja statora I_s u funkciji napona statora U_s funkcije statora ω_s i frekvencije rotora ω_r jest (L.5):

$$I_s = \frac{U_s}{\omega_s L_s} \frac{\sqrt{\omega_r^2 + \frac{\sigma^2}{T_r^2}}}{\sqrt{\left(\frac{1}{T_r} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s} \right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s T_r} \right)^2}}. \quad (18)$$

Ovisnost struje statora o frekvenciji rotora uz konstantni nazivni napon napajanja $U_s = U_{sn}$ i konstantnu frekvenciju statora $\omega_s = \omega_{sn}$ prikazana je na slici 3. Ako usporedimo struje statora uz konstantni moment opterećenja, a za režime koji su prikazani na slici 3., možemo zaključiti slijedeće: jednake momente motora (u motorskom režimu rada) uz nazivne ϕ_n , odnosno ψ_{sn} moguće je postići samo uz različite ω_r (slika 1.), a to znači, prema slici 3., i uz manje struje statora od onih koje su potrebne da se postigne ista vrijednost momenta uz nazivni napon napajanja. Tako npr. momentu motora $M_{el}=2,5$ pridružene su za U_{sn} , ψ_{sn} , ϕ_n respektivno slijedeće vrijednosti frekvencija rotora: 0,145, 0,11, 0,097 (slika 1.). Za ove frekvencije rotora dobivaju se sa slike 3. slijedeće vrijednosti za struju statora: 3,55, 3,14 i 2,9. Medjutim, postižu se veće struje statora ako se napon napajanja mijenja po za-

konu $U_s/\omega_s = \text{konst.}$, od struja koje daje nazivni napon uz konstantni moment opterećenja (L.5).

Moment motora u funkciji struje statora i frekvencije rotora glasi:

$$M_{el} = I_s^2 \frac{k_s^2 L_s'^2}{L_r} \frac{\omega_r T_r'}{\sigma^2 + (\omega_r T_r')^2} \quad (19)$$

Dakle, da bi asinhroni motor u cijelom području brzine vrtnje stvarao konstantan moment dovoljno je osigurati konstantnu struju statora i konstantnu frekvenciju rotora; to je važan zaključak za istraživanje karakteristika asinhronog motora pri upravljanju promjenom frekvencije. U tom slučaju asinhroni motor ima vanjsku karakteristiku sličnu onoj kod istosmjernog motora.

Statička mehanička karakteristika momenta motora u funkciji frekvencije rotora uz nazivnu struju statora $I_{sn} = 0,94$ prikazana je na slici 1. Prekretne vrijednosti frekvencije rotora za moment motora prema jednadžbi (19) jesu:

$$\omega_{rprI} = \pm \frac{\sigma}{T_r'} = \pm \frac{R_r}{L_r} = \pm 0,02 \quad , \quad (20)$$

a prekretni moment motora:

$$M_{prI} = \pm \frac{1}{2} \frac{L_m^2}{L_r} I_s^2 \quad . \quad (21)$$

Momenti motora u funkciji frekvencije rotora i struja statora $I_s = I_{sn}$, $2I_{sn}$ i $3I_{sn}$ također su prikazani na slici 1. U ovom slučaju prekretna frekvencija rotora ostaje konstantna, a prekretni moment motora povećao se četiri, odnosno devet puta ako se struja statora povećala dva, odnosno tri puta.

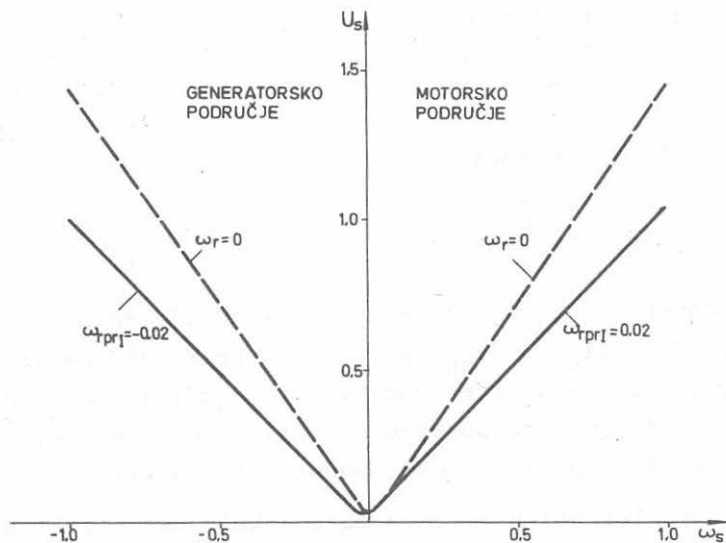
Karakteristike momenta motora koje smo dobili uz Φ_n , Ψ_{sn} , I_{sn} i U_{sn} sijeku se u nazivnoj radnoj točki za moment $M_n = 0,614$ i frekvenciju rotora $\omega_{rn} = 0,022$.

Zakon promjene napona napajanja statora kojeg moramo osigurati u režimu rada s konstantnom strujom statora funkcija je frekvencija statora i rotora:

$$U_s = I_s \omega_s L_s \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{T_r} + \frac{\omega_r}{\omega_s T_s}\right)^2 + \left(\omega_r - \frac{\sigma}{\omega_s T_s T_r}\right)^2}{\omega_r^2 + \frac{\sigma^2}{T_r^2}}} \quad (22)$$

Grafička interpretacija jednadžbe (22) uz nazivnu struju statora I_{SN} za prazni hod ($\omega_r=0$) i za prekretnu frekvenciju rotora $\omega_{r_{prI}} = 0,02$ prikazana je na slici 5. Interesantno je uočiti da se struja $I_s = I_{SN}$ može osigurati i u praznom hodu (što nije tehnički opravdano) ako je potrebnii napon na stezaljkama motora veći od onog koji je potreban pod opterećenjem motora, npr. uz frekvenciju $\omega_{r_{prI}} = 0,02$.

Za režim rada s konstantnom strujom statora odnosno momenta motora i prekretnog momenta uz nazivnu struju statora jest:



Sl. 5. Ovisnost napona napajanja statora U_s o frekvenciji statora ω_s uz konstantnu struju statora I_{SN} ; parametar je frekvencija rotora ω_r

$$\frac{M_{el}}{M_{prI}} = \frac{2}{\frac{\omega_r}{\omega_{rprI}} + \frac{\omega_r}{\omega_r}} \left(\frac{I_s}{I_{sn}} \right)^2, \quad (23)$$

gdje je ω_{rprI} - prekretna frekvencija rotora.

ZAKONITOSTI UPRAVLJANJA PRI KONSTANTNOM NAPONU NAPAJANJA

Režim rada uz konstantni napon napajanja statora interesantan je za brzine vrtnje veće od nazivne, odnosno za frekvencije $f_s > f_{sn}$. Povišenje frekvencije napona napajanja pri upravljanju asinhronog motora promjenom frekvencije odgovara slabljenju polja kod istosmjernog motora u području iznad nazivne brzine vrtnje.

Budući da pri višim frekvencijama napona napajanja slabi utjecaj otpora statora na elektromehaničke karakteristike motora (L.5), možemo u jednadžbi (4) zanemariti članove:

$$\frac{\omega_r}{\omega_{sT_s}} \rightarrow 0 \quad \text{i} \quad \frac{\sigma}{\omega_{sT_sT_r}} \rightarrow 0.$$

Tada odnos momenta motora prema prekretnom momentu uz nazivni napon U_{sn} i nazivnu frekvenciju f_{sn} , jest:

$$\frac{M_{el}}{M_{prU}} = \frac{2}{\frac{\omega_r}{\omega_{rprU}} + \frac{\omega_r}{\omega_r}} \left(\frac{U_s}{U_{sn}} \frac{\omega_{sn}}{\omega_s} \right)^2, \quad (24)$$

gdje je ω_{rprU} - prekretna frekvencija rotora uz nazivnu frekvenciju i nazivni napon napajanja statora.

Za frekvencije statora $f_s > f_{sn}$ narinuti napon na statoru drži se konstantnim ($U_s = U_{sn}$), a prekretni moment motora se mijenja približno po hiperboli.

ZAKLJUČAK

Efekt smanjenja prekretnog momenta u motorskom i povećanja u generatorskom režimu rada, dobiven pri promjeni napona napajanja po zakonu $U_s/\omega_s = \text{konst.}$, može se eliminirati kompenzacijom pada napona na otporu statora ($\psi_s = \text{konst.}$), odnosno na impedanciji

statora ($\Phi = \text{konst.}$) u praznom hodu i pod opterećenjem asinhronog motora. U tu svrhu potrebno je izvršiti povećanja napona napajanja u motorskom režimu rada, a smanjiti napon u generatorskom režimu rada opterećenog motora u odnosu na zahtjevani napon napajanja statora u praznom hodu.

Zakovitosti upravljanja naponom i frekvencijom statora za $U_s/\omega_s = \text{konst.}$, ulančeni tok statora $\psi_s = \text{konst.}$ i glavni magnetski tok u zračnom rasporu $\phi = \text{konst.}$, izražene su analitički i mogu se jednostavno realizirati elektroničkim sklopovima.

Upravljačke funkcije izvedene u ovom radu interesantne su za primjenu u reguliranim asinhronim elektromotornim pogonima. Iako su analizirane karakteristike asinhronog motora koji se napaja iz sinusoidalnog izvora promjenjivog napona i frekvencije, dobiveni rezultati mogu se koristiti i pri istraživanjima karakteristika motora napajanog iz statičkog pretvarača, jer osnovna ponašanja motora određuje, ipak, prvi harmonik napona statora.

LITERATURA

- (1) K. Heumann, K.Q. Jordan, Das Verhalten des Käfigläuermotors bei veränderlicher Speisefrequenz und Stromregelung, AEG Mitteilungen 54(1964)1/2.
- (2) B. Rajković, Metode upravljanja asinhronim motorima s pomoću poluvodičkih pretvarača, Automatika br. 1-2, Zagreb, 1976.
- (3) A.S. Sandler, S.R. Sarbatov, Avtomatičeskoe častotnoe upravljenie asinhronnimi dvigatelmi, Energija, Moskva, 1974.
- (4) A. Schönung, H. Stemmler, Geregelter Drehstrom-Umkehrantrieb mit gestenertem Umrichter nach dem Unterschwingungsverfahren, Brown Boveri Mitteilungen, August/September 1964.
- (5) M. Smajo, Statičke i dinamičke karakteristike naponom i frekvencijom upravljanog asinhronog kliznokolutnog motora napajanog iz sinusoidalnog izvora, Magistarski rad, Zagreb, 1977.