AKTUATORI

- **ELEKTRIČNI AKTUATORI**
  - **MOTOR NAIZMENIČNE STRUJE**
  - **КОРАЧНИ (СТЕП) МОТОРИ**

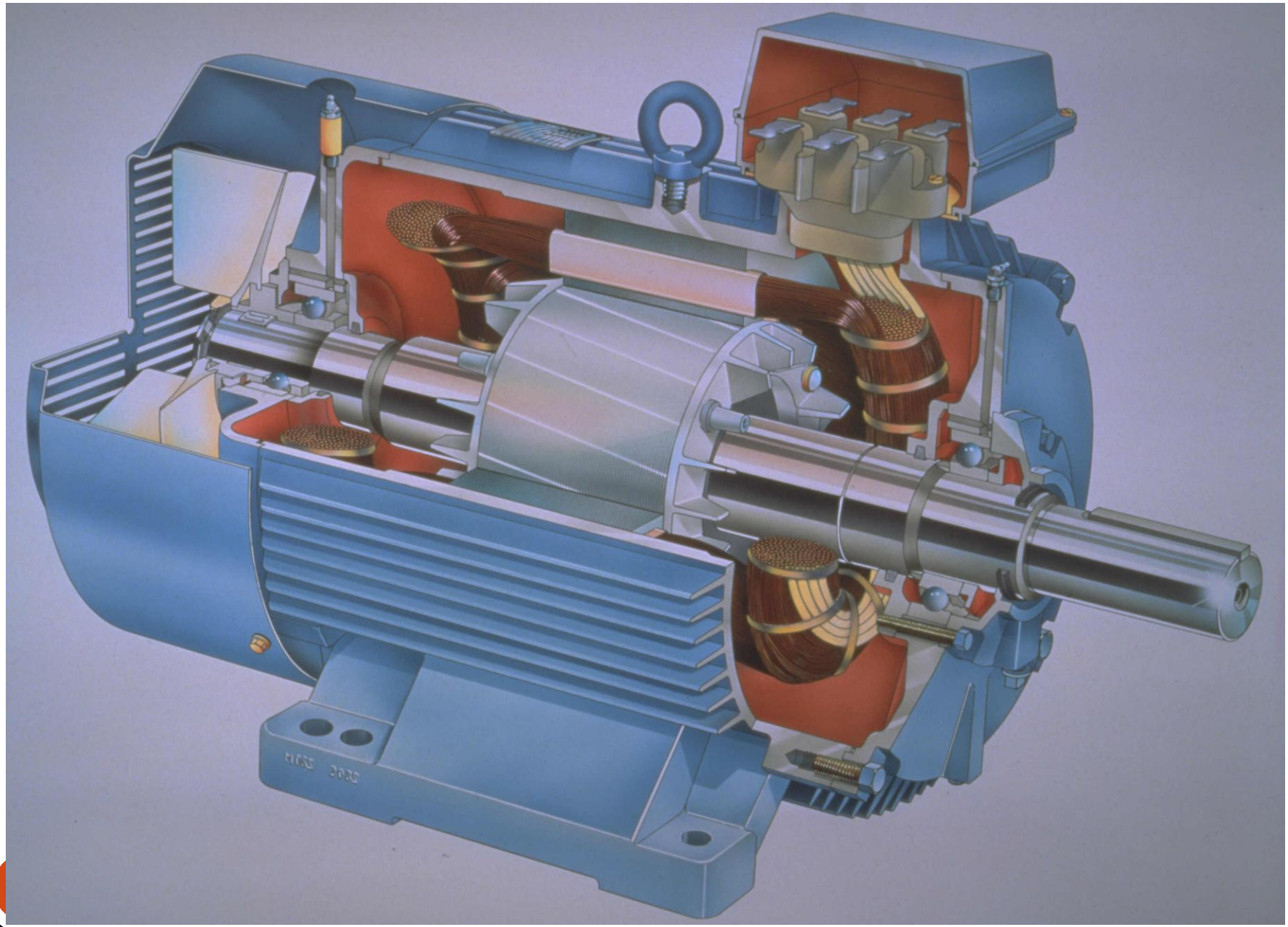
MOTOR NAIZMENIČNE STRUJE
(AC MOTORI)

Konstrukcija

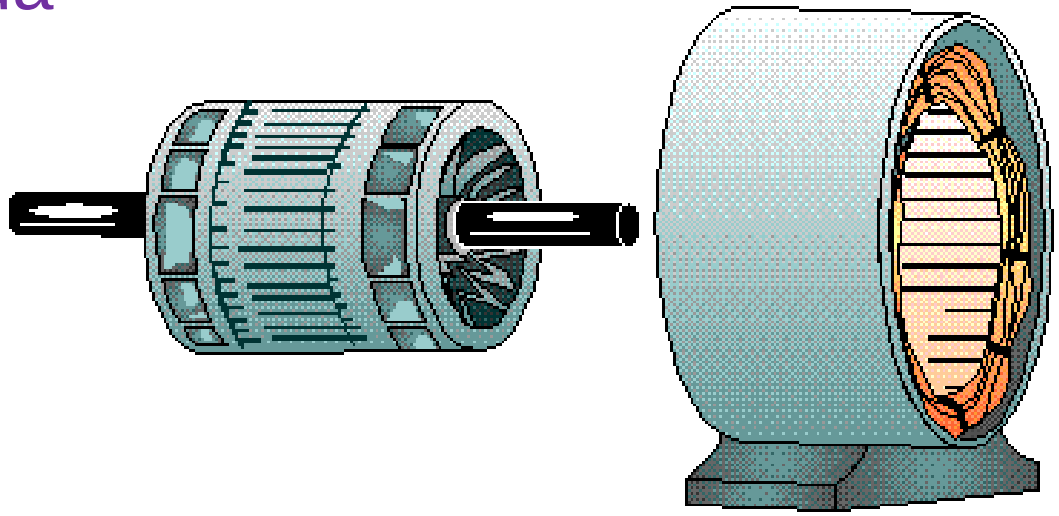
Namotani rotor

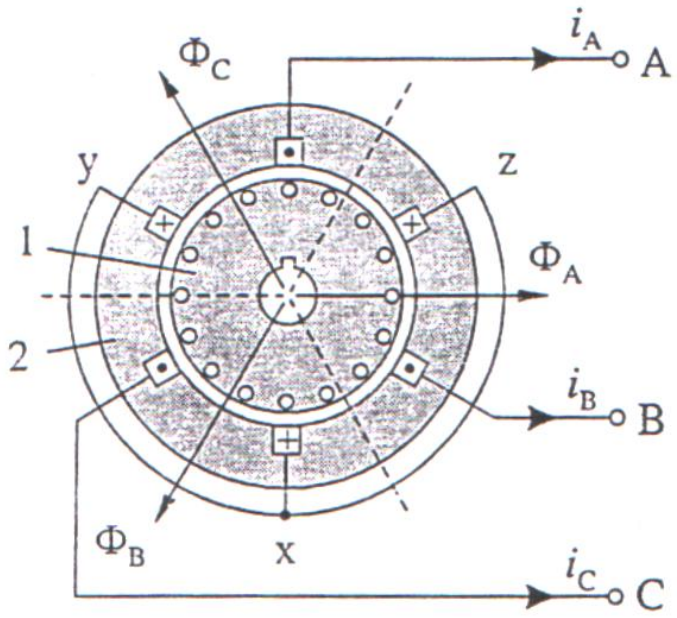
Kavezni rotor sa bakarnim šipkama

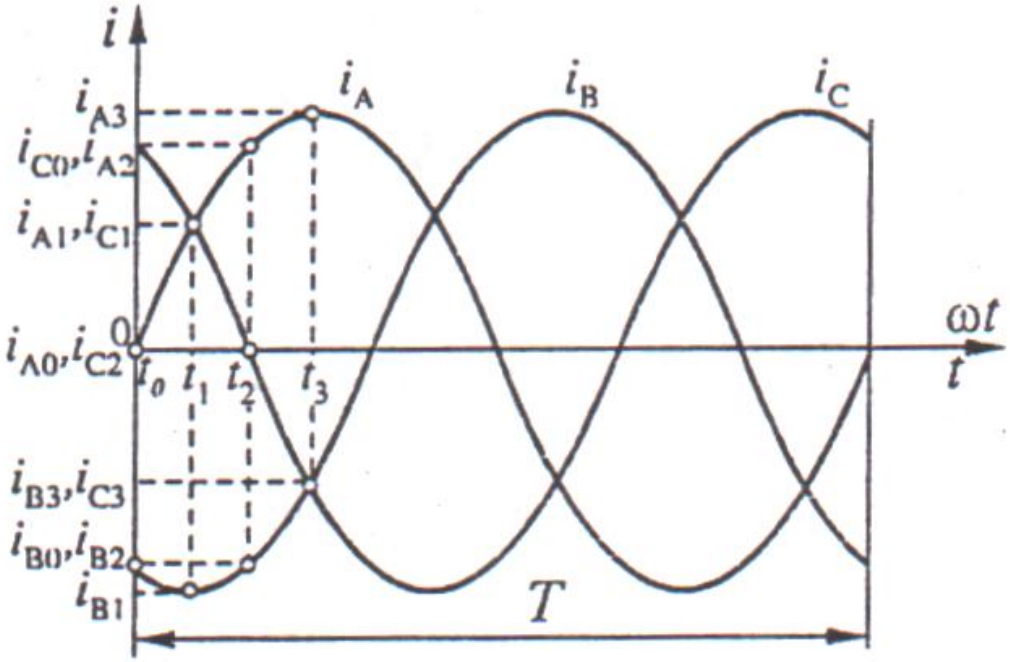
Poprečni presek asinhronog motora



Princip rada







$$I_A = I_m \sin\omega t$$

$$I_B = I_m \sin\omega t\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$I_C = I_m \sin\omega t\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

U trenutku $t_0 = 0$ struje i_{A0}, i_{B0} i i_{C0} imaju sledeće vrednosti:

$$i_{A0} = 0$$

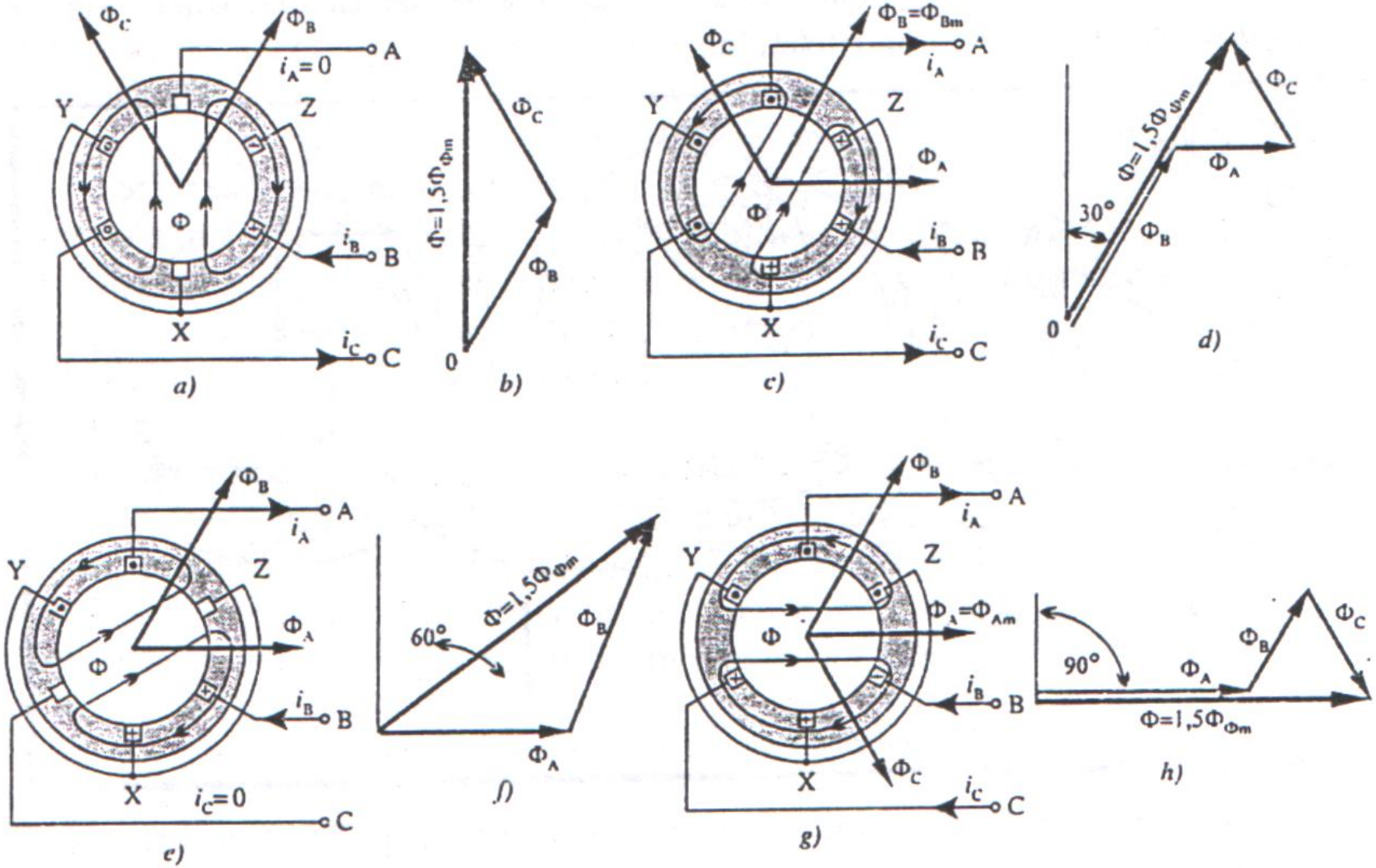
$$i_{B0} = -\frac{\sqrt{3}}{2} I_m$$

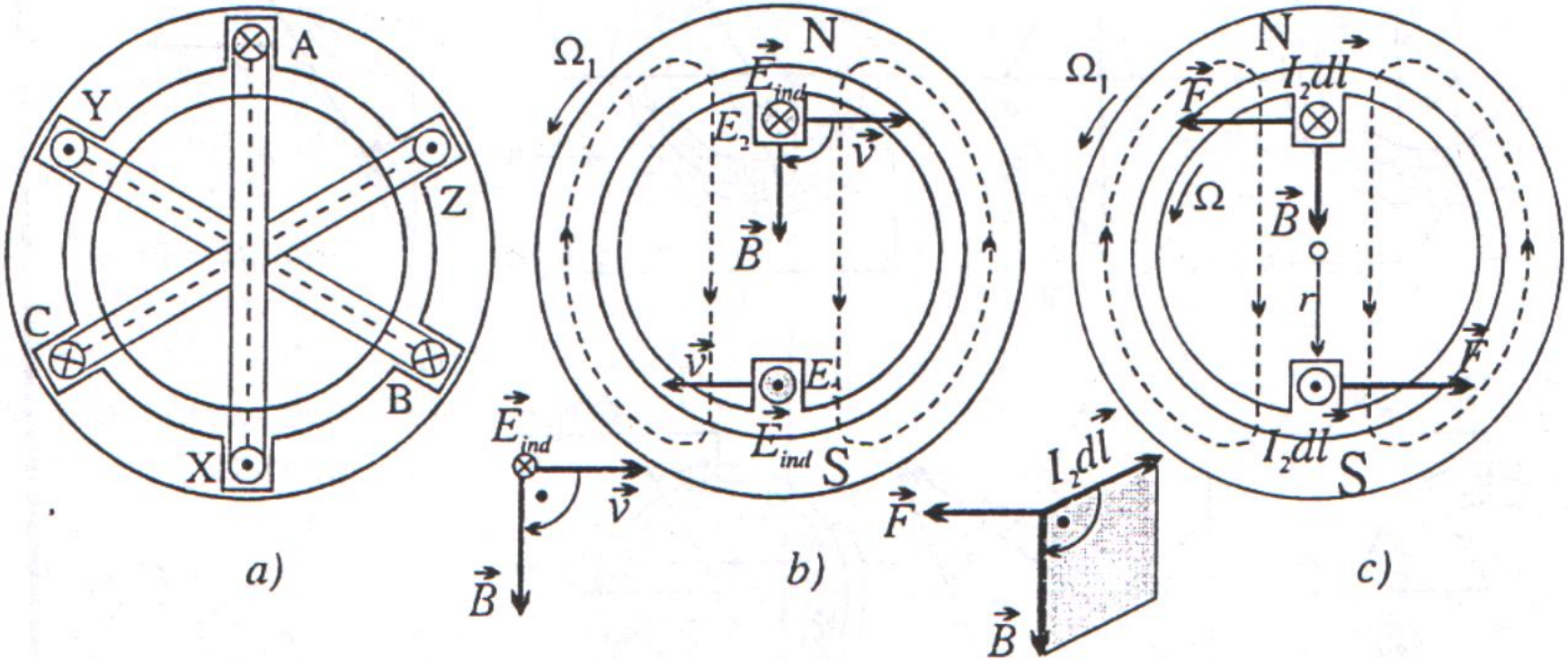
$$i_{C0} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_m$$

$$\Phi_B = \Phi_C = -\frac{\sqrt{3}}{2}\Phi_m = 0.867\Phi_m$$

$$\Phi = 2\Phi_B \cos 30^\circ = 1.5\Phi_B$$

$$n_1 = 60\frac{f}{p}$$


Φ_C
Φ_B
A
i_A=0
Y
Z
Φ
i_B
B
X
i_C
C
a)
Φ=1,5Φ_Φm
Φ_C
Φ_B
0
b)
Φ_B=Φ_Bm
Φ_C
A
i_A
Y
Z
Φ_A
Φ
i_B
B
X
i_C
C
c)
Φ=1,5Φ_Φm
Φ_C
Φ_A
30°
Φ_B
0
d)
Φ_B
A
i_A
Y
Z
Φ_A
Φ
i_B
B
X
i_C=0
C
e)
Φ=1,5Φ_Φm
60°
Φ_B
Φ_A
f)
Φ_B
A
i_A
Y
Z
Φ_A=Φ_Am
Φ
i_B
B
X
Φ_C
i_C
C
g)
90°
Φ_A
Φ_B
Φ_C
Φ=1,5Φ_Φm
h)



$$E_2 = \int \vec{E}_{ind} \cdot d\vec{l} = \int \left(\vec{v} \times \vec{B}\right) \cdot d\vec{l}$$

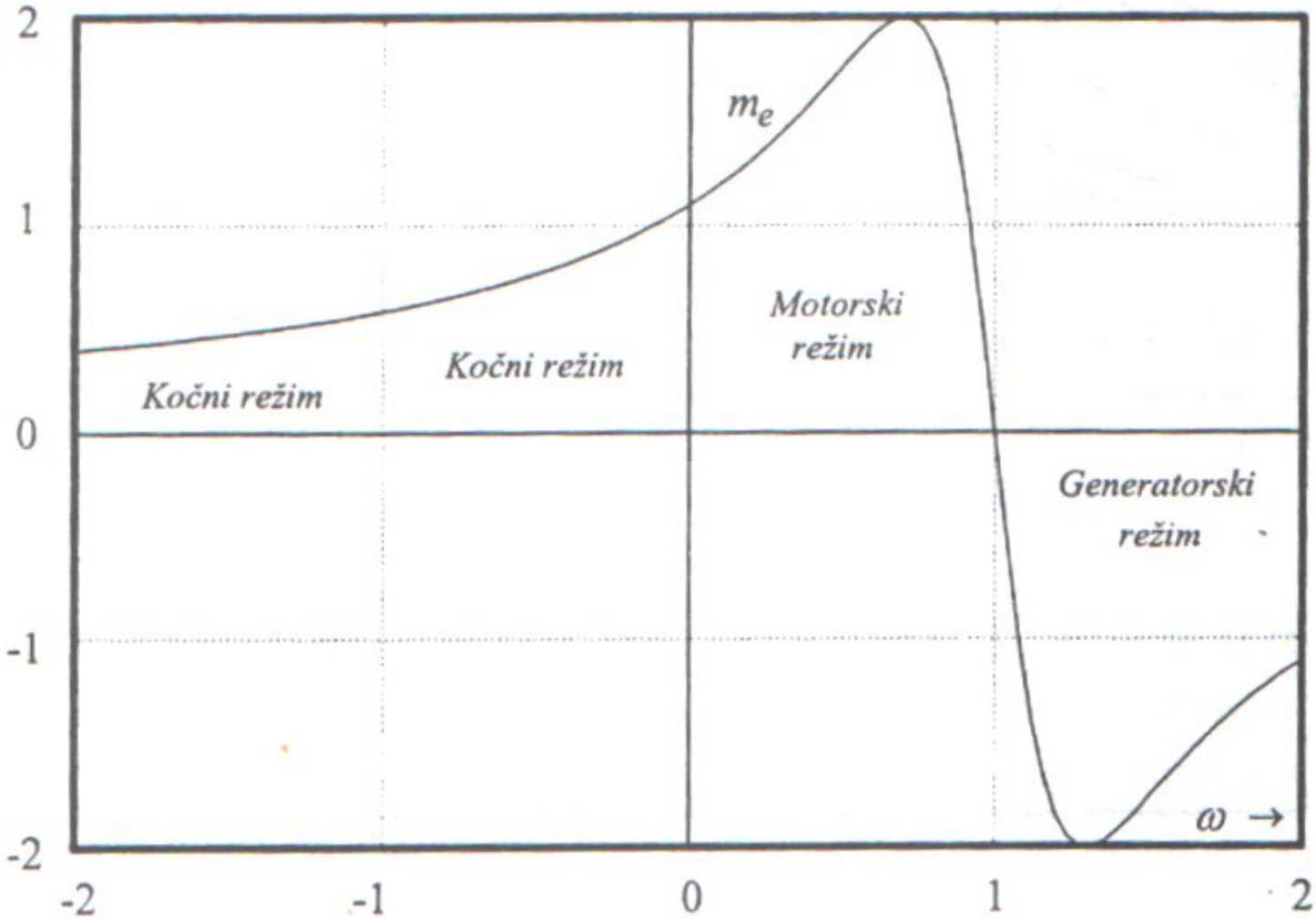
$$\vec{F} = \int I_2 d\vec{l} \times \vec{B}$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \qquad n_2 = n_1 - n$$

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{p(n_1 - n)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n}{n_1} = s \cdot f_1$$

Statička karakteristika
prema Klosovoj formuli

$$m_e(s) = m_p \frac{2}{\frac{s}{s_p} + \frac{s_p}{s}}$$



$$u_s = R_s i_s + \frac{d\psi_s}{dt} + j\omega_s \psi_s \qquad \text{(a)}$$

$$0 = R_r i_r + \frac{d\psi_r}{dt} + j(\omega_s - \omega)\psi_r \qquad \text{(b)}$$

$$\psi_s = L_s i_s + M i_r \qquad \text{(c)}$$

$$\psi_r = M i_s + L_r i_r \qquad \text{(d)}$$

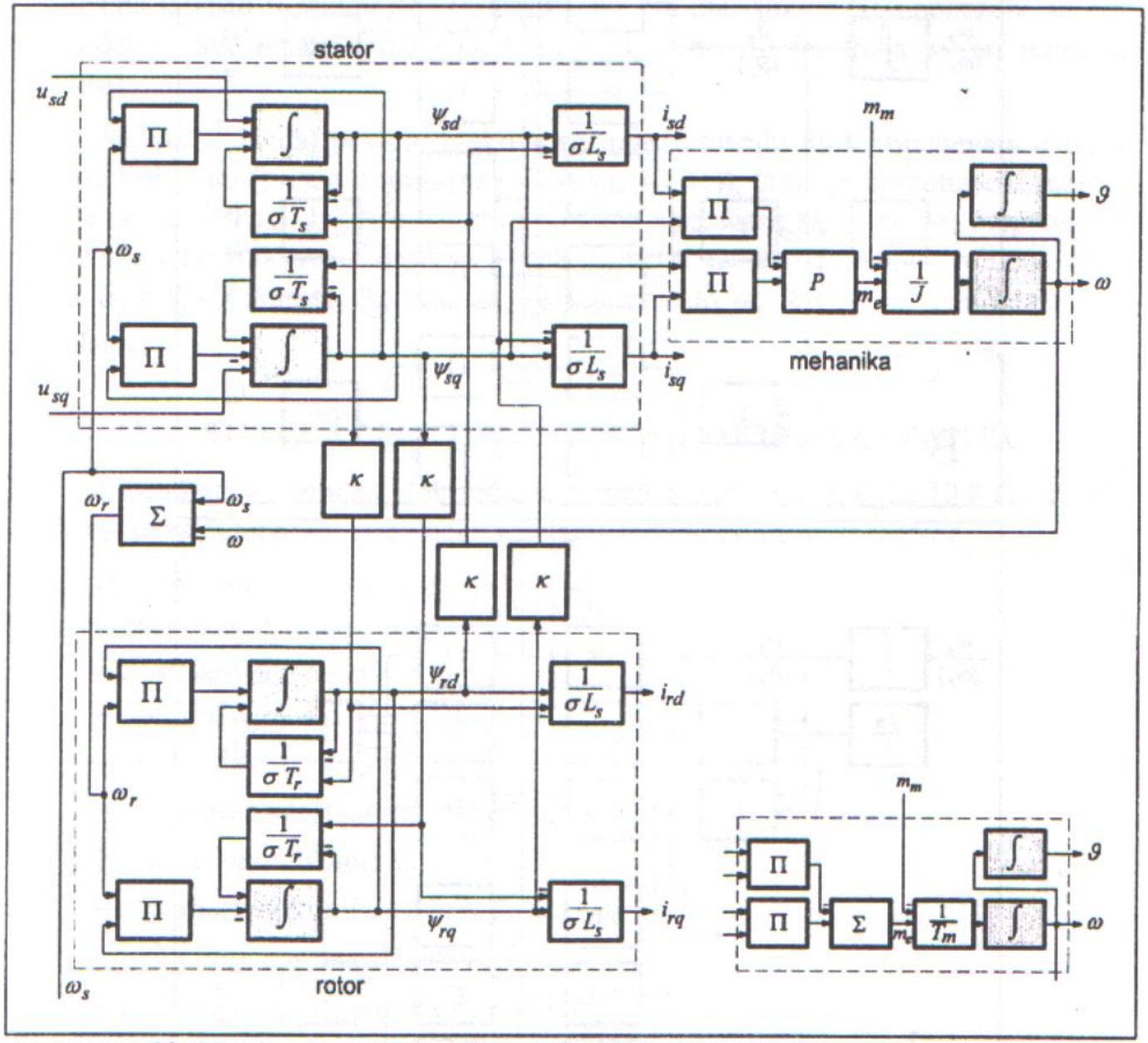
$$J\frac{d\omega}{dt} = Pm - m_m \qquad \text{(e)}$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \omega \qquad \text{(f)}$$

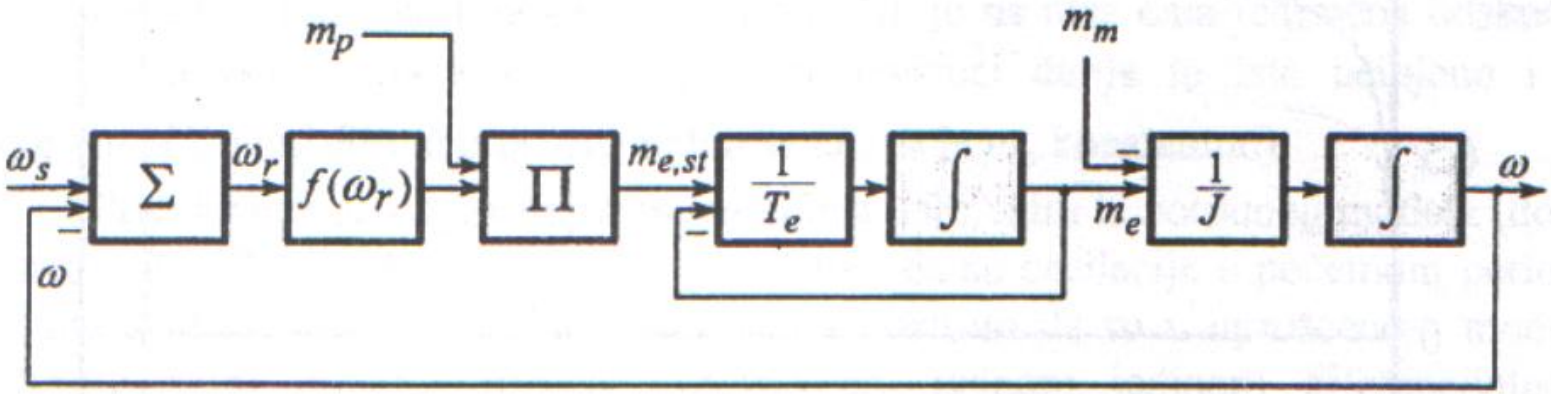
$$m = j\frac{M}{L_r}(\bar{i}_s \psi_r - i_s \bar{\psi}_r) \qquad \text{(g)}$$

$$= j M(\bar{i}_s i_r - i_s \bar{i}_r) \qquad \text{(h)}$$

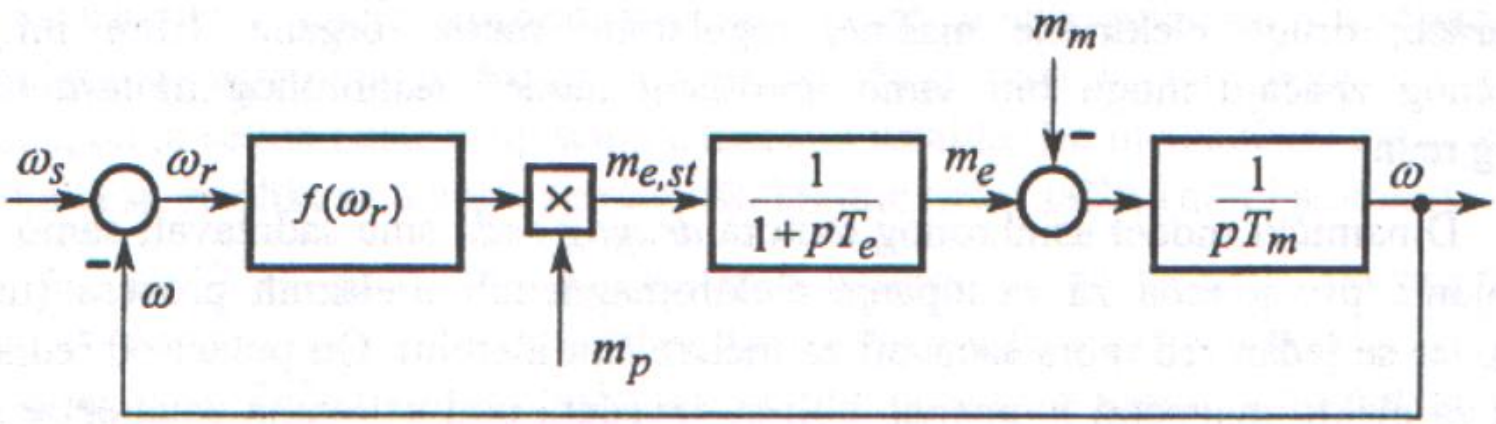
$$= j(\bar{i}_s \psi_s - i_s \bar{\psi}_s) \qquad \text{(i)}$$



Sl. 12-10. - *Razrađena dinamička blok-šema asinhronog motora*



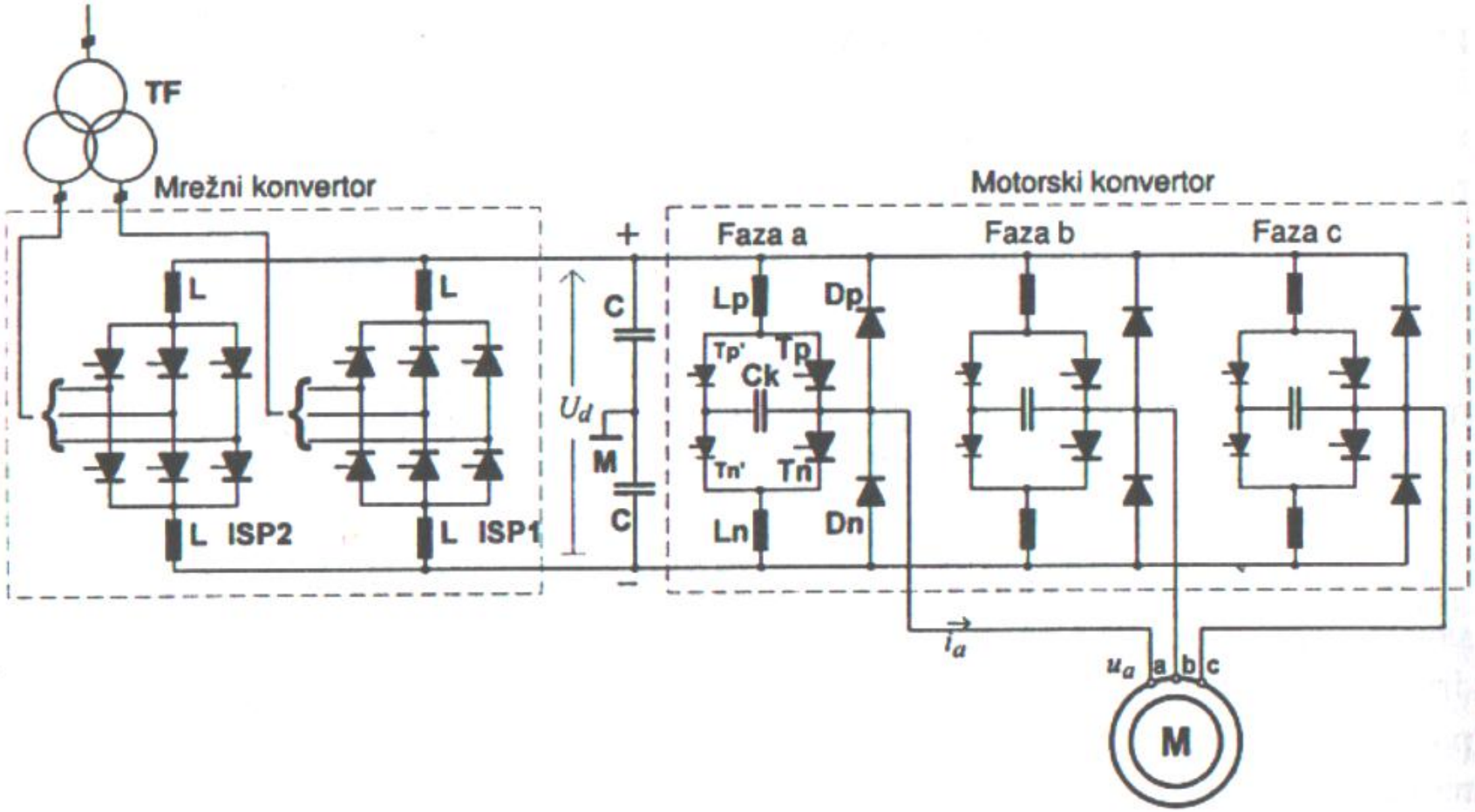
Sl. 12-15. - *Dinamička blok-šema drugog reda*



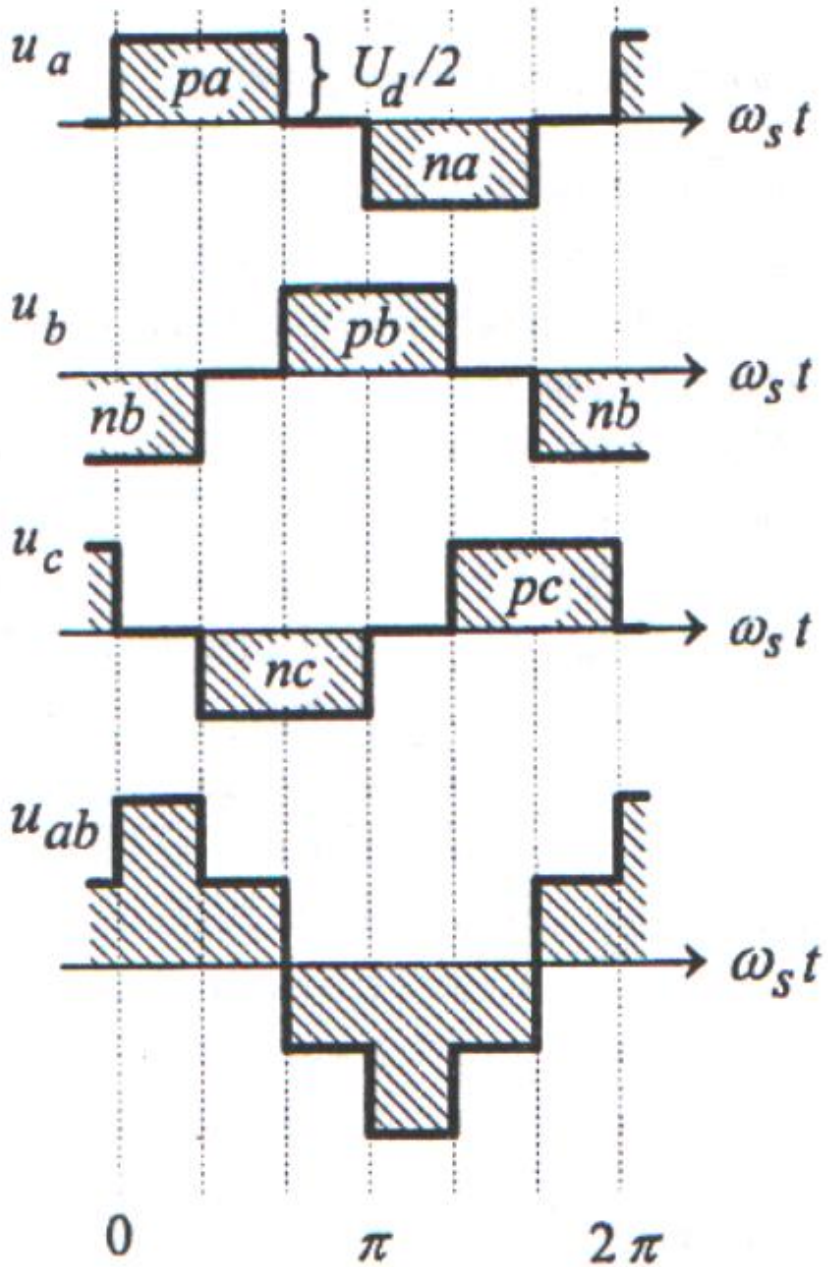
Sl. 12-16. - *Dinamička blok-šema drugog reda prilagođena za analize regulacionih sistema*

UPRAVLJANJE AC MOTOPA

Tipične šeme

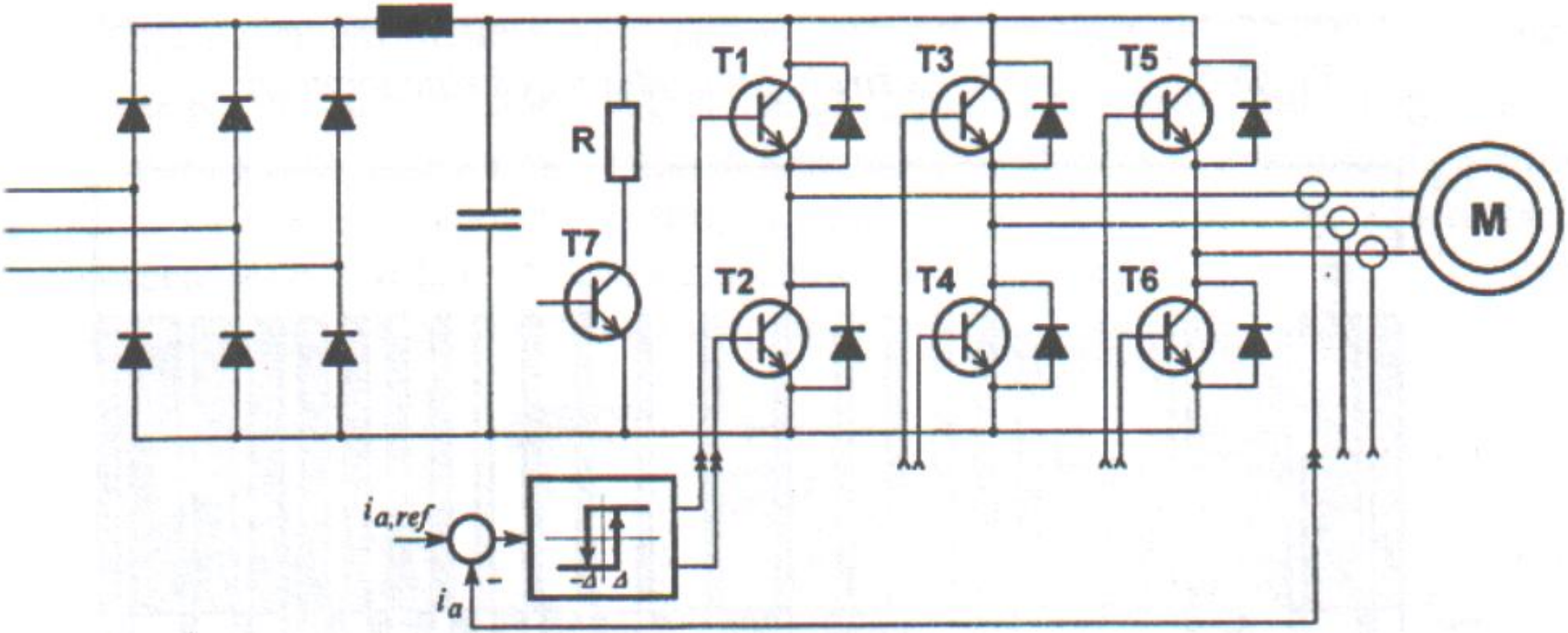


Sl. 13-1. - *Motor za naizmeničnu struju sa tiristorskim naponskim invertorom i bipolarnim ispravljačem (pogon u četiri kvadranta)*

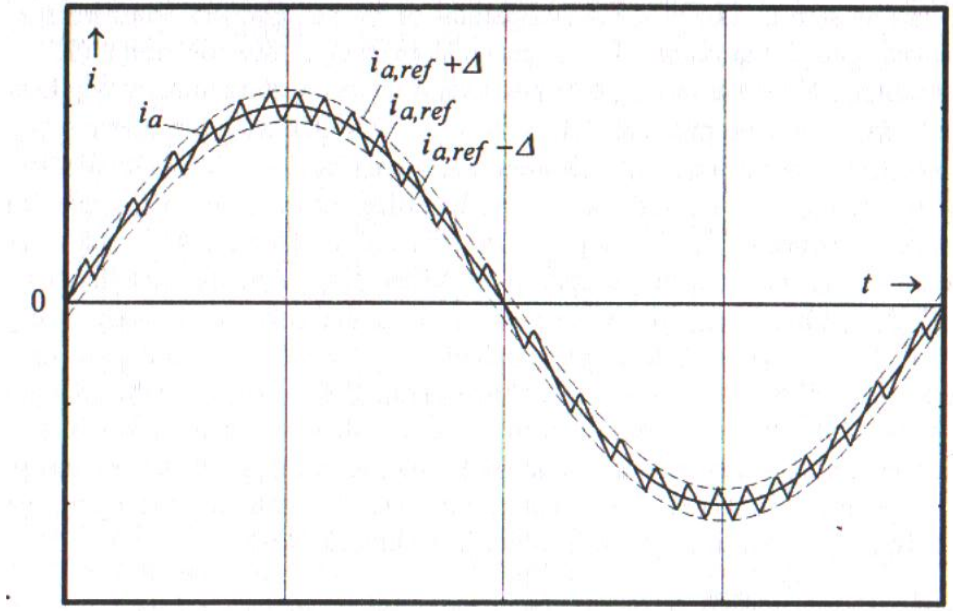

u_a
pa
$U_d/2$
na
$\omega_s t$
u_b
pb
nb
nb
$\omega_s t$
u_c
pc
nc
$\omega_s t$
u_{ab}
$\omega_s t$
0
π
2π

UPRAVLJANJE AC MOTOPA

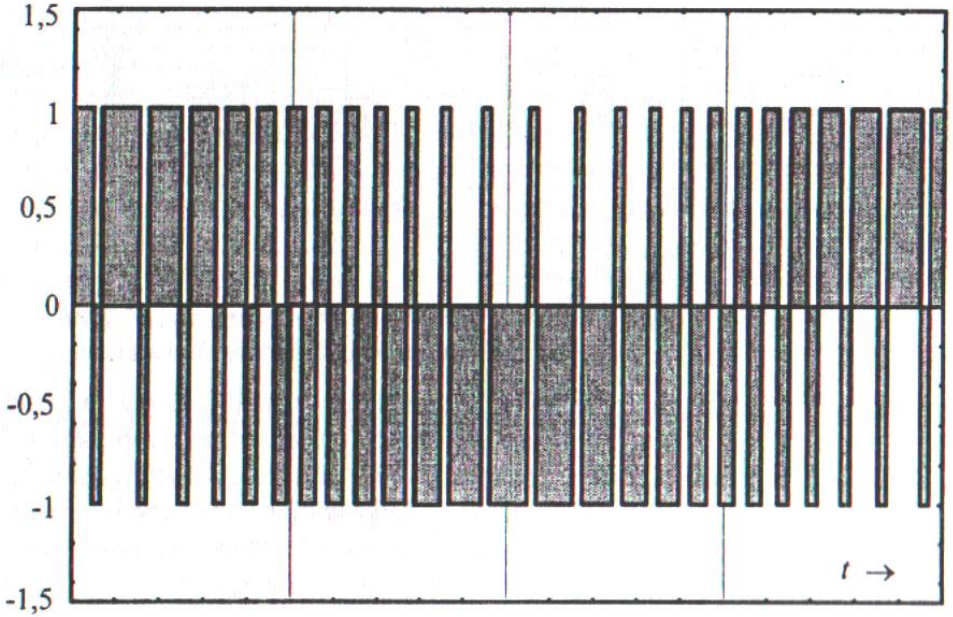
Tipične šeme



Sl. 13-4. - *Pogon sa strujno regulisanim tranzistorskim invertorom*



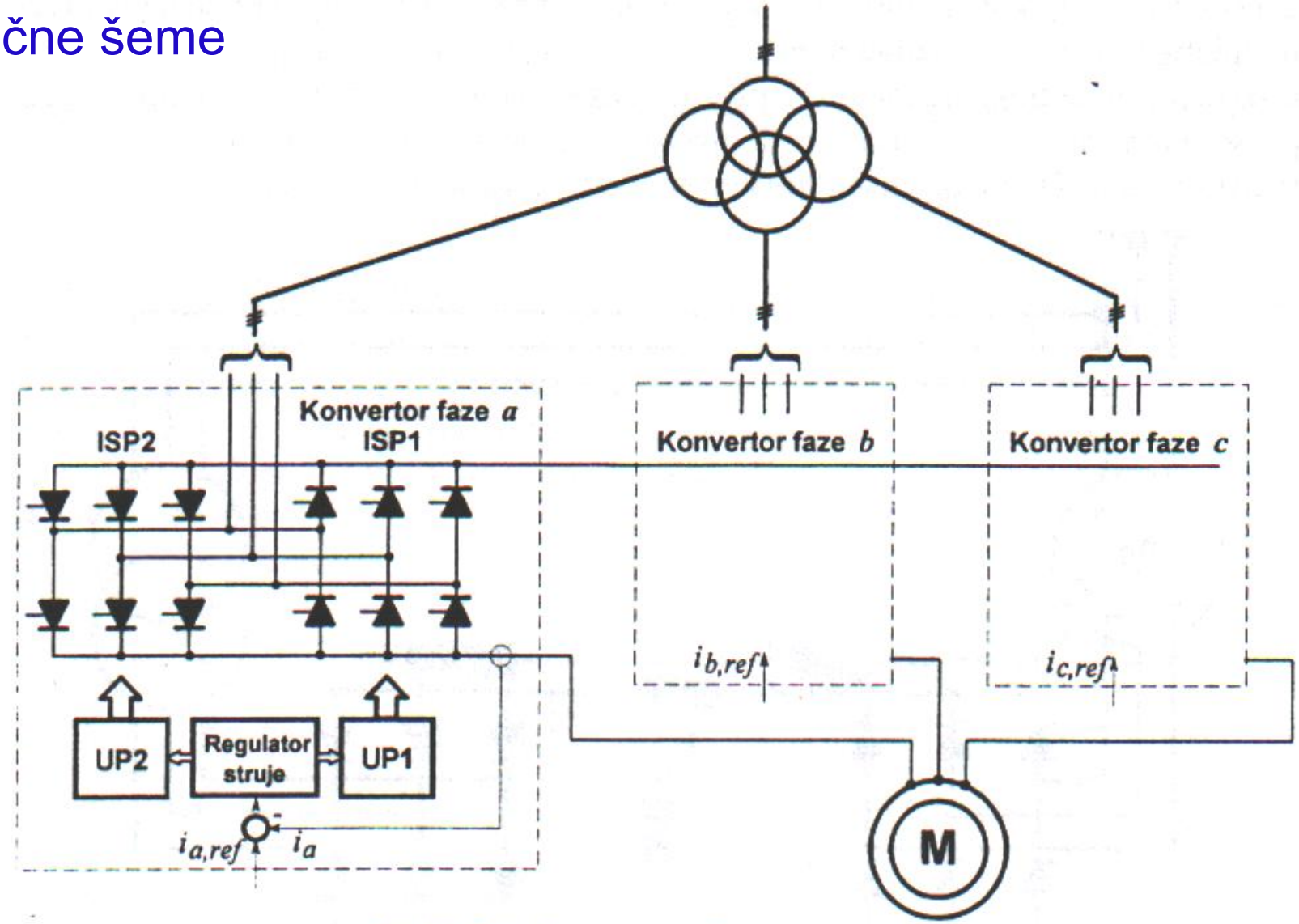
Sl. 13-5. - *Talasni oblik struje pri modulaciji širine impulsa*



Sl. 13-6. - *Talasni oblik napona pri modulaciji širine impulsa*

UPRAVLJANJE AC MOTOPA

Tipične šeme



Sl. 13-9. - *Pogon sa ciklokonvertorom*

UPRAVLJANJE AC MOTOPA

VEKTORSKO UPRAVLJANE

Osnovna ideja

Upravljanje pobudnim fluksom ψ_f preko napona u_f na <u>*induktoru*</u> i momentom m preko struje <u>*indukta*</u> (i_a) je međusobno nezavisno.

Prvo upravljanje je doduše sporo zbog velike magnetne inercije, ali se delovanjem na struju indukta (i_a) momentom upravlja direktno i bez ikakvog zaostajanja.

Kod asinhronog motora ne postoje takve dve direktno pristupačne upravljačke veličine, već se normalno upravlja učestanošću ω_s i amplitudom višefaznih statorskih veličina (npr. strojom I_s). Upravljanje je **spregnuto**.

$$|\psi_r| = f_1(I_s, \omega_s)$$

$$m = f_2(I_s, \omega_s)$$

VEKTORSKO UPRAVLJANE

Osnovna ideja

Poznato je da kod asinhrone mašine samo ona komponenta polifazora struje (i_{sq}) koja je upravna na polifazor fluksa (ψ_r) utiče na momenat i to trenutno i proporcionalno prema jednačini:

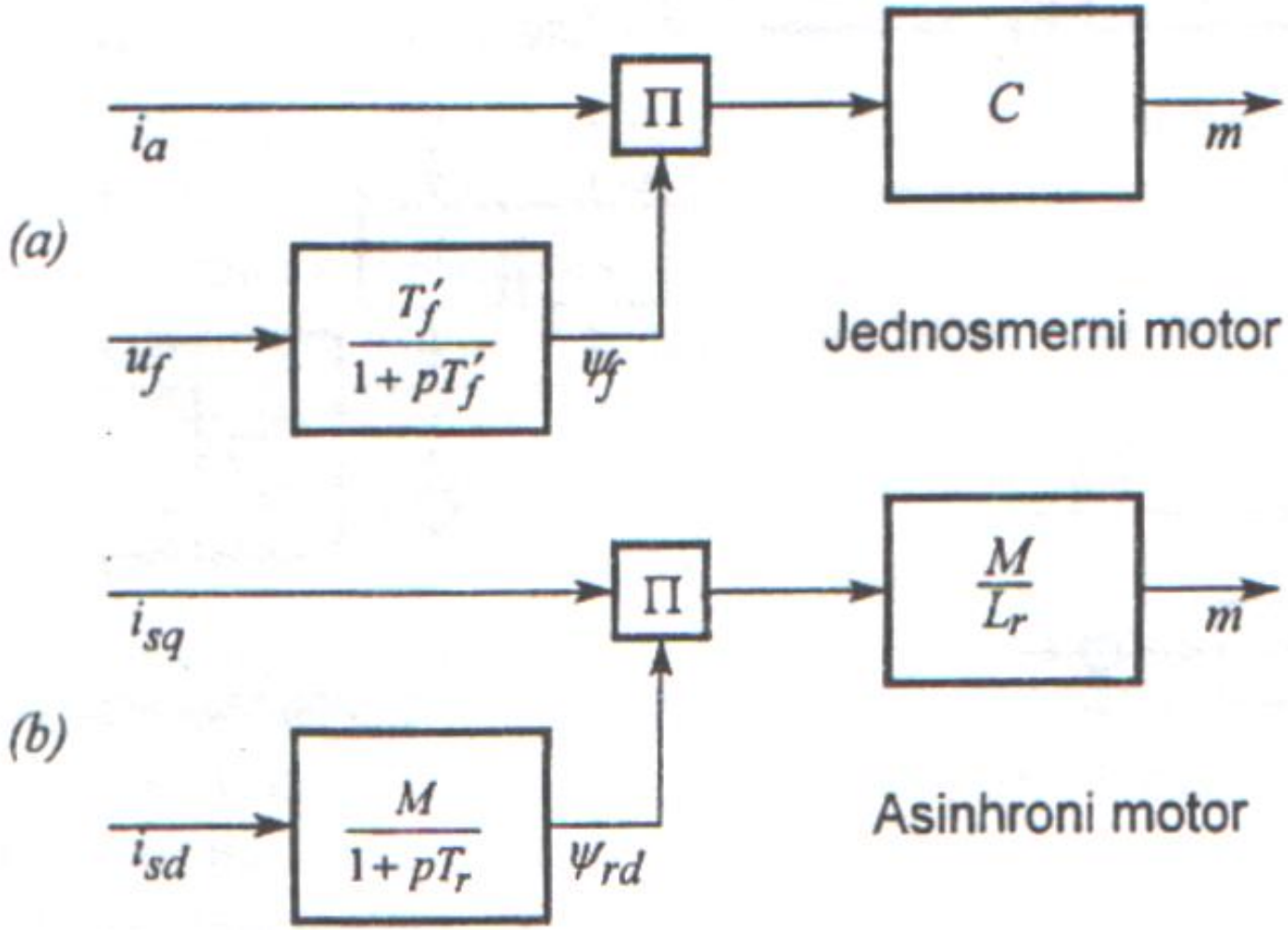
$$m = \frac{M}{L_r} i_{sq} \psi_{rd}$$

Dakle, na sličan način kao struja indukta i_a kod DC mašine.

Iz ovog sledi da je za direktno i nezavisno upravljanje momentom asinhrone mašine potrebno pre svega u svakom trenutku poznavati amplitudu i položaj polifazora rotorskog fluksa ψ_r (tzv. ***orijentaciju polja***) u odnosu na statorski koordinatni sistem.

Problem određivanja orijentacije polja kod AC motora rešavan je u toku razvoja vektorskog upravljanja na više načina.

VEKTORSKO UPRAVLJANE



Sl. 13-14. - *Nezavisno upravljanje fluksom i momentom kod jednosmernog motora (a) postiže se i kod asinhronog motora, ali tek uz upotrebu transformisanih veličina (b)*

VEKTORSKO UPRAVLJANE

Direktno vektorsko upravljanje

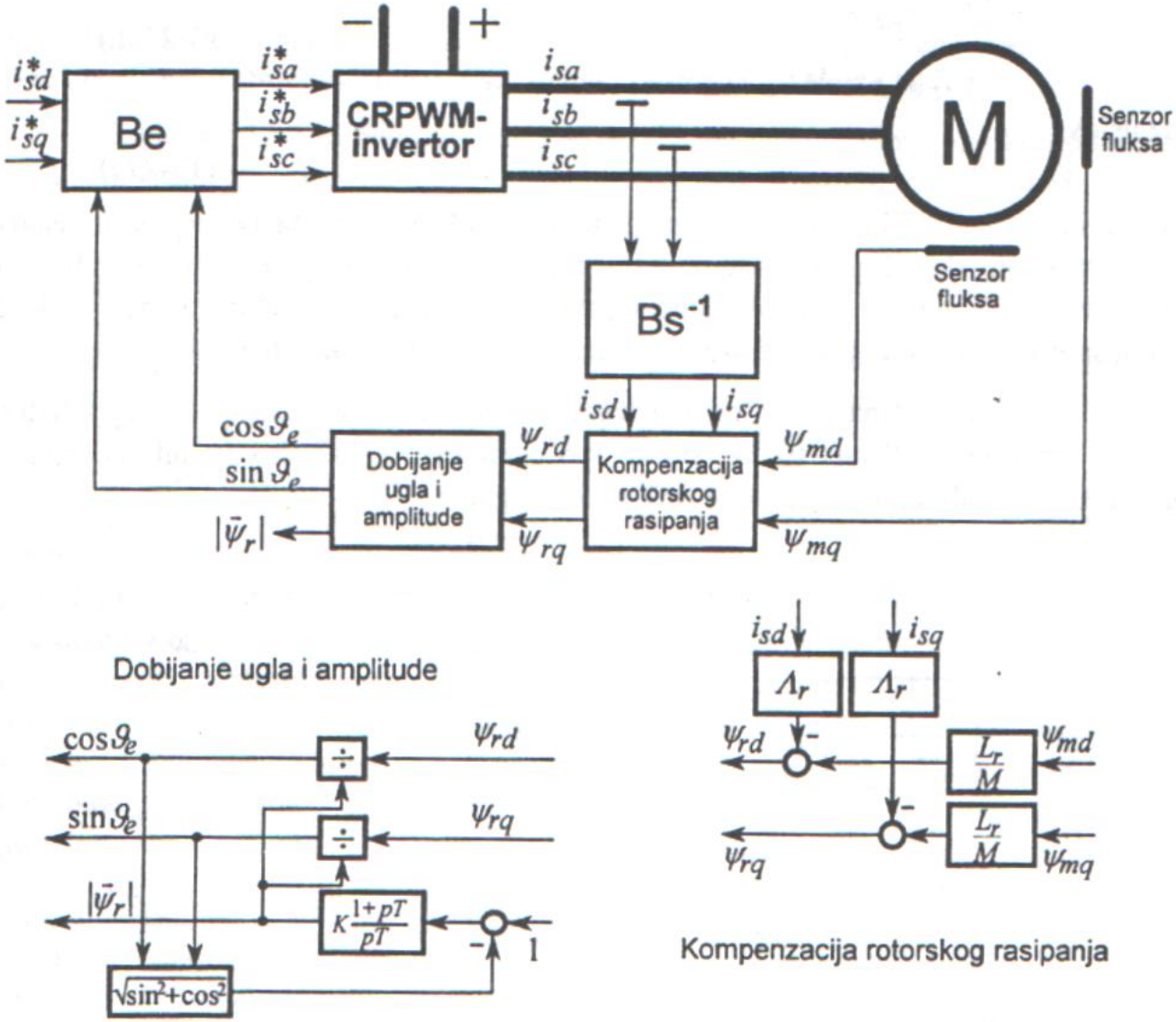
U početku svoje primene orijentacija polja je određivana na osnovu merenja fluksa u mašini (tzv. *direktno vektorsko upravljanje*).

Ovo merenje izvodilo se ugrađivanjem posebnih senzora magnetne indukcije (na bazi Holovog efekta).

Dobijanje ugla i amplitude rotorskog fluksa prikazano je na slici u posebnom bloku koji u stvari vrši pretvaranje pravouglih koordinata u polarne prema obrascima:

$$|\vec{\psi}_r| = \sqrt{\psi_{rd}^2 + \psi_{rq}^2} \qquad \cos\vartheta_e = \frac{\psi_{rd}}{|\vec{\psi}_r|} \qquad \sin\vartheta_e = \frac{\psi_{rq}}{|\vec{\psi}_r|}$$

VEKTORSKO UPRAVLJANE - direktno vektorsko upravljanje



Sl. 13-15. - *Primer realizacije direktnog vektorskog upravljanja*

Direktno vektorsko upravljanje

Direktno vektorsko upravljanje ima niz nedostataka koji su ograničavali njegovu primenu u širim razmerama.

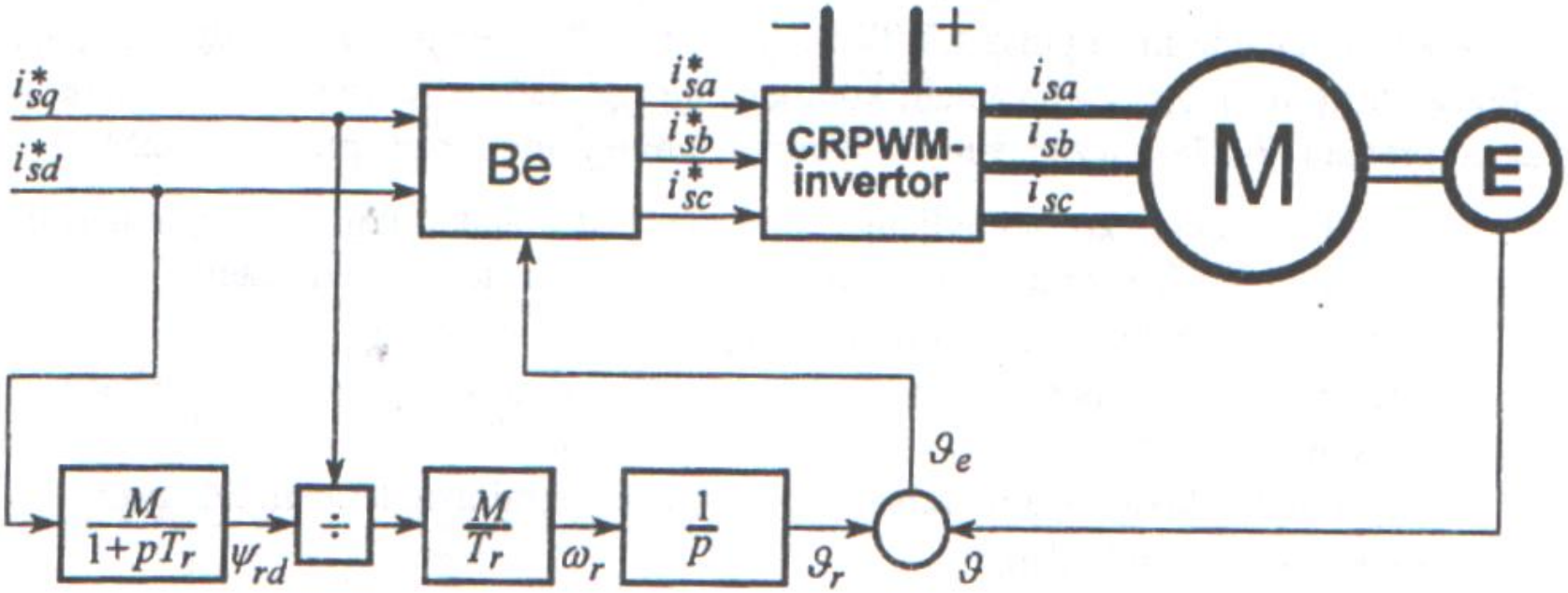
Između ostalog to su sledeći nedostaci:

- Termička i mehanička osetljivost senzora (Holovih sondi),
- Smetnje usled viših prostornih harmonika fluksa, koji potiču od zubaca, a imaju promenljivu učestanost,
- Merenje je lokalno, a potreban je prostorni integral magnetne indukcije, i
- Motor nije standardan.

VEKTORSKO UPRAVLJANE-Indirektno vektorsko upravljanje

Kod indirektnog vektorskog upravljanja problem određivanja trenutnog položaja polifazora fluksa se rešava bez merenja bilo koje električne ili magnetne veličine, već merenjem položaja rotora i obračunavanjem efekta klizanja.

Položaj rotora se meri inkrementalnim enkoderom koji je najčešće i inače potreban radi regulacije brzine.



VEKTORSKO UPRAVLJANE

Indirektno vektorsko upravljanje

Za kvalitetno izvođenje indirektnog vektorskog upravljanja potrebna je visoka tačnost proračunavanja sa nelinearnim funkcijama, pa ga nije moguće izvesti analognim sredstvima. S obzirom da se mora izvoditi relativno velika količina računskih operacija u veoma kratkim vremenskim intervalima, ovo rešenje je u praksi prihvaćeno u širim razmerama tek sa uvođenjem brzih šesnaestobitnih mikrokompjutera na tržište.

Glavni nedostatak indirektnog vektorskog upravljanja je u direktnoj zavisnosti od parametara motora.

U tom pogledu je posebno kritična rotorska vremenska konstanta T_r čija je vrednost podložna velikim promenama pod promenljivim uslovima rada motora.