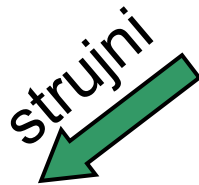


STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

AS napajan iz pretvarača frekvencije



MODEL AS-a napajanog
iz **strujnog** pretvarača
frekvencije



**SHEMA VEKTORSKOG
UPRAVLJANJA** AS-a sa
strujnim pretvaračem
frekvencije



MODEL AS-a napajanog
iz **naponskog** pretvarača
frekvencije



**SHEMA VEKTORSKOG
UPRAVLJANJA** AS-a sa
naponskim pretvaračem
frekvencije

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

Asinkroni motor napajan iz pretvarača frekvencije sa **strujnim međukrugom** (utisnutom strujom)

- Izrazi (1)-(7), izvedeni u predavanju *Pred_UEP_6*, pod oznakama (54)-(60), prikazuju model asinkronog stroja prilagođen vektorskom upravljanju realiziran u **zajedničkom koordinatnom sustavu koji se giba brzinom ω_k** .

$$\bar{u}_s = \bar{i}_s R_s + \frac{d\bar{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \bar{\psi}_s \quad (1)$$

$$0 = \bar{i}_r R_r + \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \bar{\psi}_r \quad (2)$$

$$\bar{\psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_m \bar{i}_r \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_r = L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r \quad (4)$$

$$\bar{m}_e = -\frac{3}{2} p L_m \bar{i}_s \times \bar{i}_r \quad (5)$$

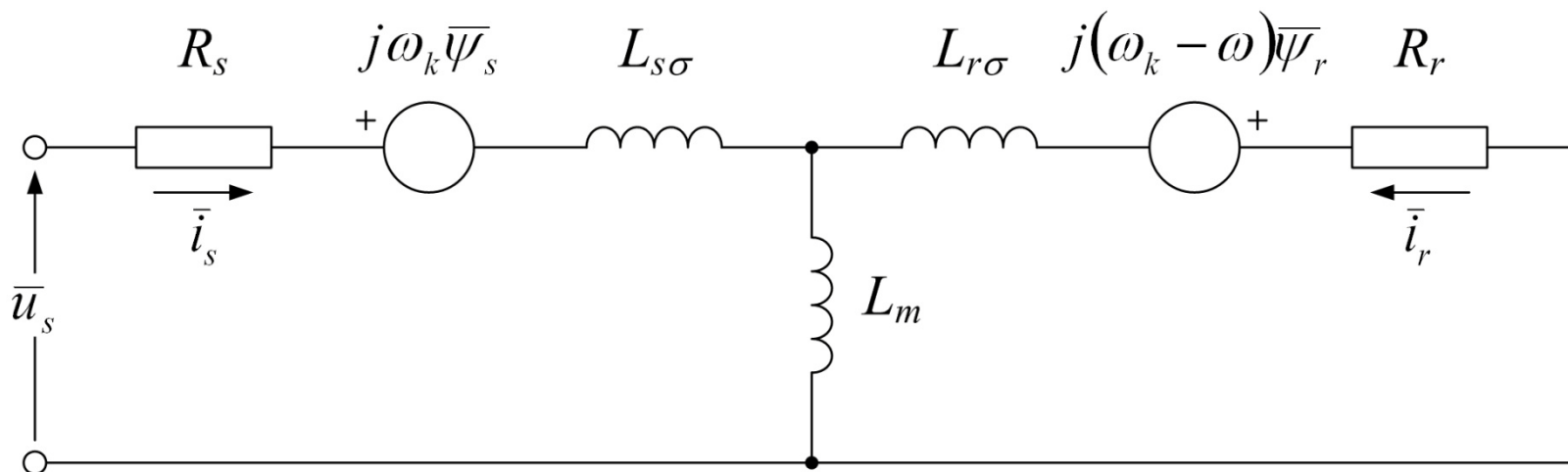
$$J \frac{d\omega}{dt} = m_e - m_t \quad (6)$$

$$\omega = p \omega_m \quad (7)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Na osnovi izraza (1) -(7) izvedena je električna nadomjesna shema asinkronog stroja u proizvoljno rotirajućem koordinatnom sustavu
- Matematički model asinkronog motora u **koordinatnom sustavu toka rotora** dobije se iz izraza (1) – (7) **zamjenom** proizvoljne brzine ω_k s **brzinom toka rotora** ω_{mr}
- Treba voditi računa da se svi vektori iz izraza (1) – (7) sada nalaze u **koordinatnom sustavu toka rotora**



Sl.1. Model asinkronog stroja u dvofaznom sustavu koji rotira brzinom ω_k

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

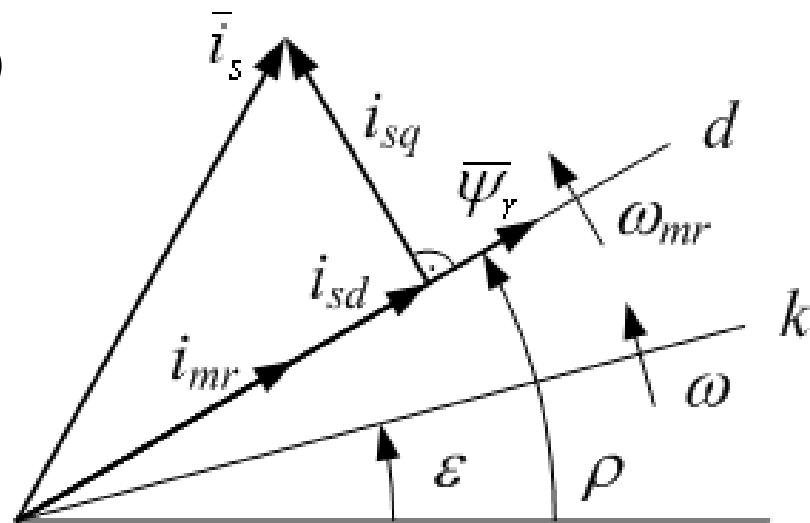
- Kod vektorskog upravljanja **orijentacijom rotorskog toka**, realna os d koordinatnog sustava toka rotora se postavlja u smjeru vektora toka rotora $\bar{\psi}_r$, pa se **tok rotora** može izraziti kao

$$\boxed{\bar{\psi}_r = \psi_{rd} + j0} \quad (8)$$

- Struja magnetiziranja** koja stvara **rotorski magnetski tok** definira se kao

$$\boxed{\bar{i}_{mr} = \frac{\bar{\psi}_r}{L_m} = i_{mr} + j0 = \frac{\psi_{rd}}{L_m}} \quad (9)$$

- Odnosi među vektorima su prikazani na slici sl.2.



Sl.2. Odnosi među vektorima u modelu AS-a u **koordinatnom sustavu toka rotora**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- kut između **statorskog** i **zajedničkog koordinatnog sustava** iznosi ρ .
- kut između **rotorskog** i **zajedničkog koordinatnog sustava** iznosi $(\rho - \varepsilon)$.
- kut između **statorskog** i **rotorskog koordinatnog sustava** iznosi ε
- os **rotora** k
- os **zajedničkog** koordinatnog sustava = os **rotorskog polja** = d-os
- Ako se asinkroni motor napaja iz pretvarača frekvencije s **strujnim međukrugom (ulazom)**, nije potrebno razmatrati statorsku naponsku jednadžbu
- Iz izraza za tok rotora (57, [4], $\bar{\psi}_r = L_m \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r$), moguće je izraziti vektor

$$\boxed{\bar{i}_r = \frac{1}{L_r} \bar{\psi}_r - \frac{L_m}{L_r} \bar{i}_s} \quad (10)$$

- Uvrštavanjem izraza (10) u (1) dobije se

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

$$0 = \frac{R_r}{L_r} \bar{\psi}_r - \frac{L_m}{L_r} R_r \bar{i}_s + \frac{d\bar{\psi}_r}{dt} + j(\omega_{mr} - \omega) \bar{\psi}_r \quad (11)$$

- Rastavljanjem struje statora iz (11) na **realni** i **imaginarni** dio koordinatnog sustava toka rotora i uvrštavanjem izraza (8) dobije se

$$0 = \frac{R_r}{L_r} \psi_{rd} - L_m \frac{R_r}{L_r} (i_{sd} + j i_{sq}) + \frac{d\psi_{rd}}{dt} + j(\omega_{mr} - \omega) \psi_{rd} \quad (12)$$

- Izjednačavanjem realnog i imaginarnog dijela i uvođenjem vremenske konstante rotora $T_r = L_r / R_r$ dobivaju se slijedeći izrazi:

$$\frac{1}{T_r} \psi_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} \quad (13)$$

$$(\omega_{mr} - \omega) \psi_{rd} = \frac{L_m}{T_r} i_{sq} \quad (14)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Uvođenjem izraza za **rotorski tok** u izraze (13) i (14), izrazi poprimaju oblik

$$i_{mr} + T_r \frac{di_{mr}}{dt} = i_{sd} \quad (15)$$

$$\omega_{mr} = \omega + \frac{i_{sq}}{T_r i_{mr}} \quad (16)$$

- Primjenom Laplaceove transformacije na izraz (15), odnos između struje i_{mr} i i_{sd} može se zapisati kao

$$\frac{i_{mr}(s)}{i_{sd}(s)} = \frac{1}{1 + sT_r} \quad (17)$$

- Elektromagnetski moment stroja dan je izrazom

$$\bar{m} = -\frac{3}{2} p L_m \bar{i}_s \times \frac{\bar{\psi}_r}{L_r} \quad (18)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Raspisivanjem vektorskog umnoška dobije se

$$\bar{i}_s \times \bar{\psi}_r = \begin{bmatrix} \bar{h} & \bar{j} & \bar{k} \\ i_{sd} & i_{sq} & 0 \\ \psi_{rd} & 0 & 0 \end{bmatrix} = -\bar{k} i_{sq} \psi_{rd} \quad (19)$$

- Ako se izraz (19) uvrsti u izraz (18) dobiva se izraz za apsolutnu vrijednost momenta

$$m_e = \frac{3}{2} p L_m \frac{\psi_{rd}}{L_r} i_{sq} \quad (20)$$

- Ako se u jednadžbu (20) uvrsti **tok rotora** ψ_d iz jednadžbe (9) dobije se

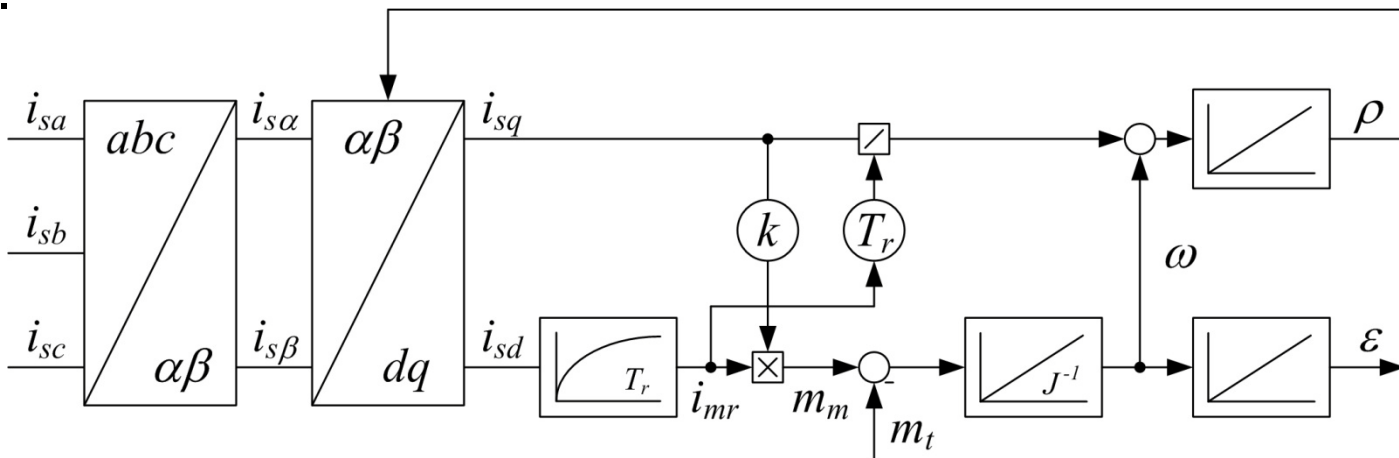
$$m_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} i_{sq} = k_m i_{mr} i_{sq} \quad (21)$$

Vektorsko upravljanje orijentacijom rotorskog toka

- Ovaj izraz je **ključan za vektorsko upravljanje** asinkronog stroja.
- Jednadžba gibanja (6) nakon što se u nju uvrsti izraz za moment motora (21) poprima oblik

$$J \frac{d\omega}{dt} = k_m i_{mr} i_{sq} - m_t \quad (22)$$

- Model asinkronog stroja u koordinatnom sustavu vektora rotorskog toka određen izrazima prikazan je strukturnom blokovskom shemom na sl.3.

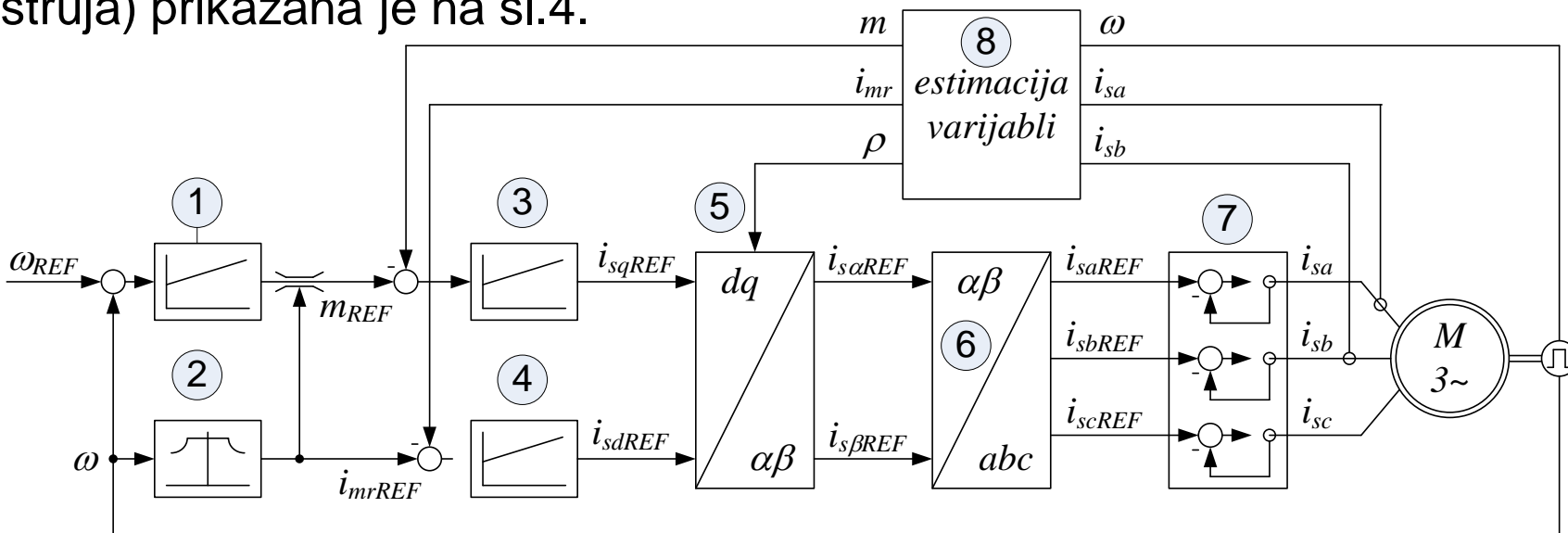


Sl.3. Strukturna blokovska shema **modela asinkronog stroja** napajanog iz pretvarača frekvencije **sa strujnim međukrugom**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- **PITANJA:**
- Za što se prema blokovskoj shemi na sl.3. koristi kut ρ ?
- Uz pretpostavku da su izračunate **komponente struje statora u osi toka rotora**, izvedite izraz za dobijanje kuta ρ . **ODGOVORITE!**
- Funkcijska blok shema **vektorskog upravljanja asinkronog stroja napajanog iz pretvarača frekvencije sa strujnim međukrugom** (utisnuta struja) prikazana je na sl.4.



Sl.4. Funkcijska blok **shema vektorskog upravljanja** asinkronog stroja s pretvaračem frekvencije **sa strujnim međukrugom**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Radi se o sustavu **kombinirane vektorske regulacije** – regulacija u području **konstantnog momenta** i **konstantne snage** (slično kao i kod **istosmjernog stroja**), sl.4.
- Glavna regulacijska grana je **regulacija brzine vrtnje** (blok 1), s **podređenom regulacijskom petljom po momentu stroja** (blok 3)
- Sve dok je **stvarna vrijednost brzine vrtnje** ispod nazivne, nelinearni blok 2 osigurava **konstantnu referentnu vrijednost d komponente struje statora, tj. magnetiziranja rotora** (uzbuda!)
- U tom području regulator brzine preko podređenog regulatora momenta upravlja sustavom **preko q komponente (komponente momenta) struje statora**
- Kada se regulatoru brzine vrtnje **zada referentna vrijednost veća od nazivne, povećanjem stvarne brzine** stroja iznad nazivne, preko bloka 2 se **smanji referentna vrijednost struje magnetiziranja rotora i_{mrREF}** .
- Istovremeno se preko bloka 2 **smanjuje referentna vrijednost momenta stroja m_{REF}** , da bi se osiguralo da snaga stroja (**$m \cdot \omega = p$**) ne pređe nazivnu snagu (područje **konstantne snage**).

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Regulator struje magnetiziranja rotora (blok 4) preko d komponente struje statora osigurava željeni tok rotora
- Blokovi 5 i 6 izvršavaju inverznu Parkovu i Clarkeovu transformaciju; informaciju o potrebnom kutu ρ za Parkovu transformaciju se dobije iz estimacijskog bloka 8.
- Estimacijski blok određuje slijedeće fizikalne veličine: elektromagnetski moment m_e , struju magnetiziranja i_{mr} , (komponentu toka) i q komponentu statorske struje i_{sg} (komponentu momenta).
- Blok 6 zajedno s blokom 7 određeni su izborom izmjenjivača i pripadne modulacijske metode. Npr, za ovaj slučaj bi prikladna metoda mogla biti modulacija izvedena regulacijom statorske struje (histerezni regulator struje),

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

Asinkroni stroj napajan iz pretvarača frekvencije
s naponskim međukrugom (utisnutim naponom)

- Ako se asinkroni stroj napaja iz pretvarača frekvencije s utisnutim naponom, tokom i momentom se upravlja preko komponenti napona statora.
- Izraz za struju rotora (10) uvodi se u izraz za tok statora (3), pa slijedi

$$\boxed{\bar{\psi}_s = L_s \bar{i}_s + L_m \left(\frac{1}{L_r} \bar{\psi}_r - \frac{L_m}{L_r} \bar{i}_s \right)} \quad (23)$$

- Naponska jednačba statora (1) nakon uvrštenja izraza za tok statora (23) poprima oblik

(24)

$$\boxed{\bar{u}_s = \bar{i}_s R_s + \frac{d}{dt} \left[L_s \bar{i}_s + L_m \left(\frac{1}{L_r} \bar{\psi}_r - \frac{L_m}{L_r} \bar{i}_s \right) \right] + j\omega_{mr} \left[L_s \bar{i}_s + L_m \left(\frac{1}{L_r} \bar{\psi}_r - \frac{L_m}{L_r} \bar{i}_s \right) \right]}$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Uvođenjem izraza za rotorski tok $\bar{\psi}_r = \psi_{rd} = L_m i_{mr}$ u izraz (24) slijedi

$$\bar{u}_s = \bar{i}_s R_s + L_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s} \right) + j\omega_{mr} L_s \bar{i}_s \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s} \right) + \frac{L_m^2}{L_r} \frac{di_{mr}}{dt} + j\omega_{mr} \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} \quad (25)$$

- Uvođenjem di_{mr}/dt iz izraza (15), **vremenske konstante rotora** $T_r = L_r/R_r$ i koeficijenta rasipanja $\sigma = 1 - (L_m^2/L_r L_s)$, dobije se za statorski napon

$$\bar{u}_s = \bar{i}_s R_s + \sigma L_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} + j\omega_{mr} \sigma L_s \bar{i}_s + \frac{L_m^2}{L_r} \frac{i_{sd} - i_{mr}}{T_r} + j\omega_{mr} \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} \quad (26)$$

- Rastavljanjem jednadžbe (26) na realni i imaginarni dio i izjednačavanjem realnih i imaginarnih dijelova dobivaju se **komponente vektora napona** u_{sd} i u_{sq}

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

$$u_{sd} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r \right) i_{sd} + \sigma L_s \frac{di_{sd}}{dt} - \frac{1}{T_r} \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} - \omega_{mr} \sigma L_s i_{sq} \quad (27)$$

$$u_{sq} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r \right) i_{sq} + \sigma L_s \frac{di_{sq}}{dt} + \omega \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} + \omega_{mr} \sigma L_s i_{sd} \quad (28)$$

- Iz izraza (27) i (28) vidi se da d i q koordinate **nisu u potpunosti raspregnute**, tj. da postoji međusobna ovisnost d komponenta napona i q komponenta struja i obratno. Zbog toga se uvode slijedeći izrazi

$$\Delta u_{sd} = \frac{1}{T_r} \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} + \omega_{mr} \sigma L_s i_{sq} \quad (29)$$

$$\Delta u_{sq} = -\omega \frac{L_m^2}{L_r} i_{mr} - \omega_{mr} \sigma L_s i_{sd} \quad (30)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

- Dodavanjem izraza (29) izrazu (27), te izraza (30) izrazu (28) dobivaju se izrazi koji su u potpunosti raspregnuti

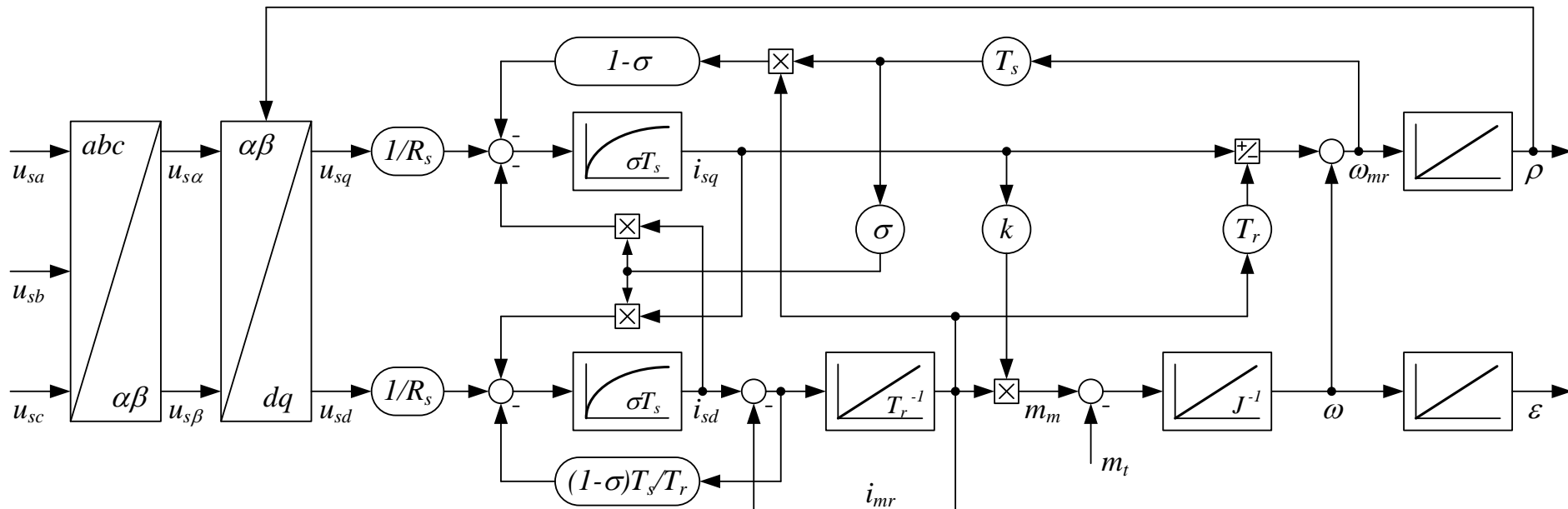
$$u_{sd} + \Delta u_{sd} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r \right) i_{sd} + \sigma L_s \frac{di_{sd}}{dt} \quad (31)$$

$$u_{sq} + \Delta u_{sq} = \left(R_s + \frac{L_m^2}{L_r^2} R_r \right) i_{sq} + \sigma L_s \frac{di_{sq}}{dt} \quad (32)$$

- Kao što se vidi u izrazu (31), postoje **samo funkcionalne ovisnosti između d komponenata struje i napona**; analogno vrijedi i za izraz (32) gdje postoji samo veza među q komponentama struje i napona
- Izrazi (27) i (28) zajedno s izrazima (15), (16) i (18) tvore **potpuni matematički model asinkronog stroja u koordinatama toka rotora napajanog iz naponskog pretvarača frekvencije, prikazanog na sl.5.**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

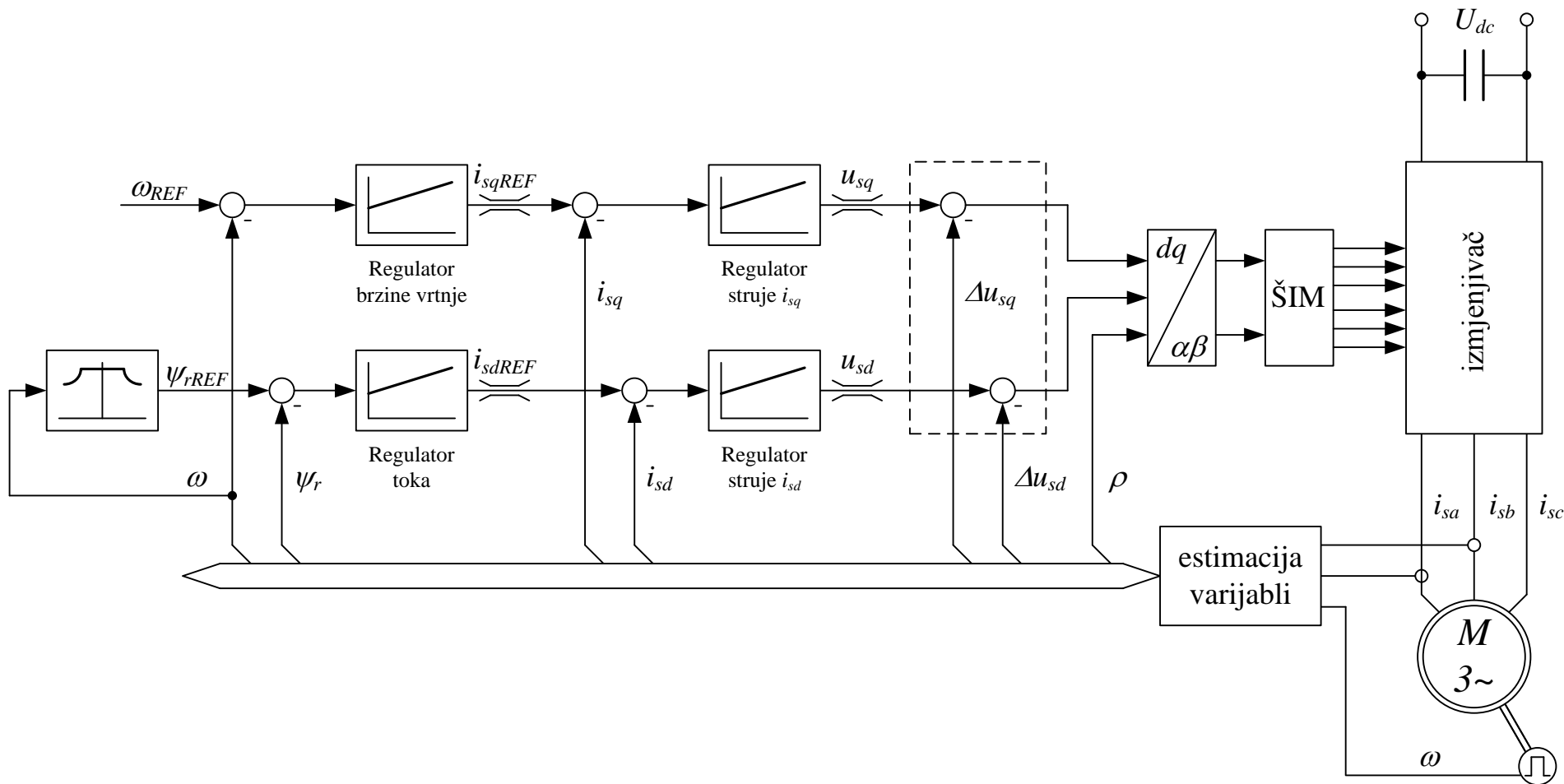
Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**



Sl.5. Strukturna blokovska shema **AS-a** napajanog pretvarača frekvencije **s utisnutim naponom**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**



Sl.6. Funkcijska blokovska shema **vektorskog upravljanja AS-a** s pretvaračem frekvencije **s utisnutim naponom**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka

- Na sl.6. prikazana je jedna od struktura **vektorskog upravljanja s AS-om napajanog iz naponskog izmjenjivača**.
- Radi se o sustavu **regulacije brzine vrtnje** u području **konstantnog momenta** (magnetski tok se održava konstantnim) i u području **konstantne snage** (magnetski tok se smanjuje)
- **Referentna vrijednost brzine** vrtnje upravlja **q komponentom statorske struje** (komponenta momenta) a **referentna vrijednost toka** određuje **d komponentu statorske struje** (komponenta magnetskog toka)
- Referentne vrijednosti statorske struje (i_{sqREF} i i_{sdREF} , izlazi regulatora brzine i toka) upravljaју s **d i g komponentama napona**, koji nakon transformacije u $\alpha\text{-}\beta$ KS određuju sklopna stanja sklopki izmjenjivača
- **Raspregnutost upravljanja tokom i momentom** se osigurava korekcijskim signalima Δ_{usd} i Δ_{sq} .

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

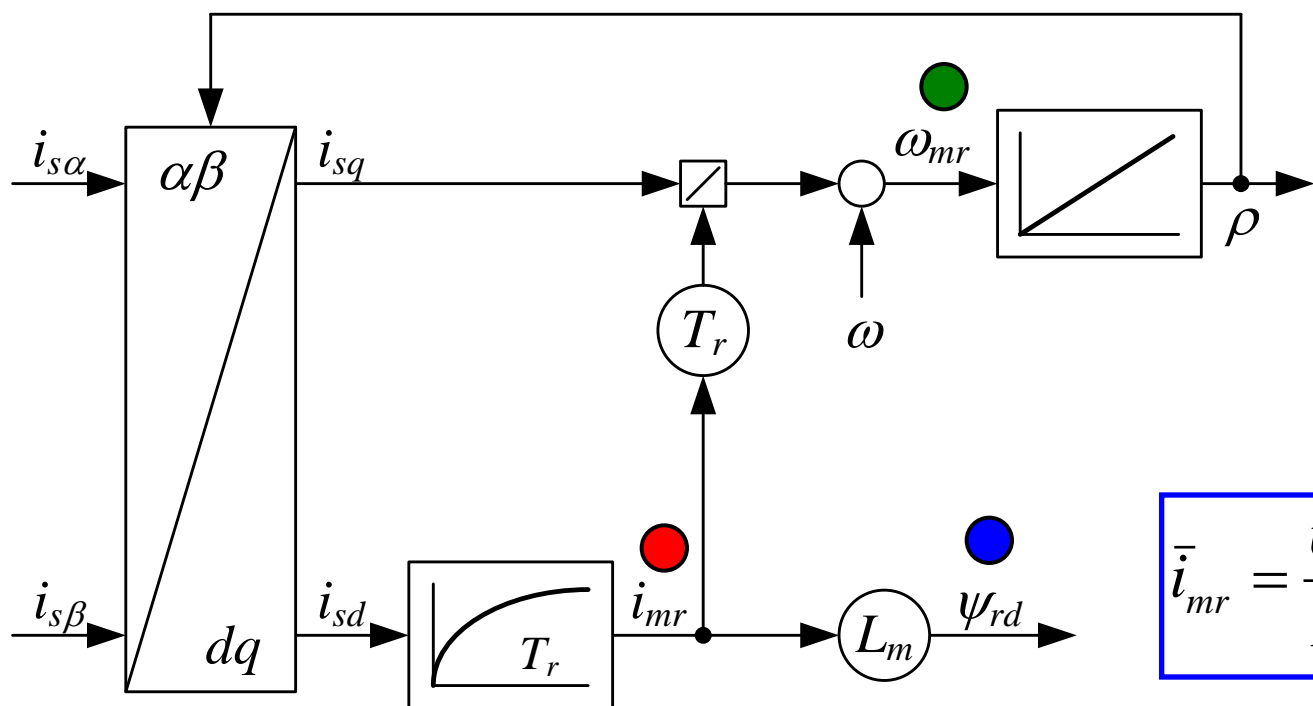
Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka

- Posebno značenje za vektorsko upravljanje AS-a u koordinatama rotorskog toka ima određivanje iznosa i kuta vektora toka rotora (ρ), tj. vektora struje magnetiziranja i_{mr} .
- Ako kut vektora toka rotora nije točno određen, iščezava neovisnost upravljanja u d i q osi.
- To konkretno znači da djelovanje u jednoj osi (unutar regulacijskih krugova) stroj osjeća kao djelovanje u obje osi.
- Tok rotora (struju magnetiziranja i_{mr}) moguće je rekonstruirati pomoću modela prikazanog na sl.7, a temelji se na izrazima (9), (15) i (16).
- Vrijednosti rekonstruiranog toka rotora i kuta vektora toka rotora (Ψ_{rd} i ρ) su prikazani kao izlazi iz estimatora na sl.5. i 6.

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka



$$i_{mr} + T_r \frac{di_{mr}}{dt} = i_{sd}$$

$$\omega_{mr} = \omega + \frac{i_{sq}}{T_r i_{mr}}$$

$$\bar{i}_{mr} = \frac{\bar{\psi}_r}{L_m} = i_{mr} + j0 = \frac{\psi_{rd}}{L_m}$$

Sl.7. Strukturna blok shema modela rekonstrukcije toka rotora

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA s AS-om

Vektorsko upravljanje **orijentacijom rotorskog toka**

Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka

- **Iznos i položaj vektora struje magnetiziranja** računa se pomoću mjerenih struja statora i brzine vrtnje motora
- **Odstupanje vektora koji se rekonstruira modelom** od stvarnog kompleksnog vektora rotorskog toka **posljedica je zagrijavanja stroja, odnosno promjene magnetskog stanja stroja, te točnosti mjerenja ulaznih veličina modela.**
- U praktičnoj realizaciji pogona nužno je u **stvarnom vremenu prepoznati promjenu pojedinog parametra te je potom kompenzirati**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

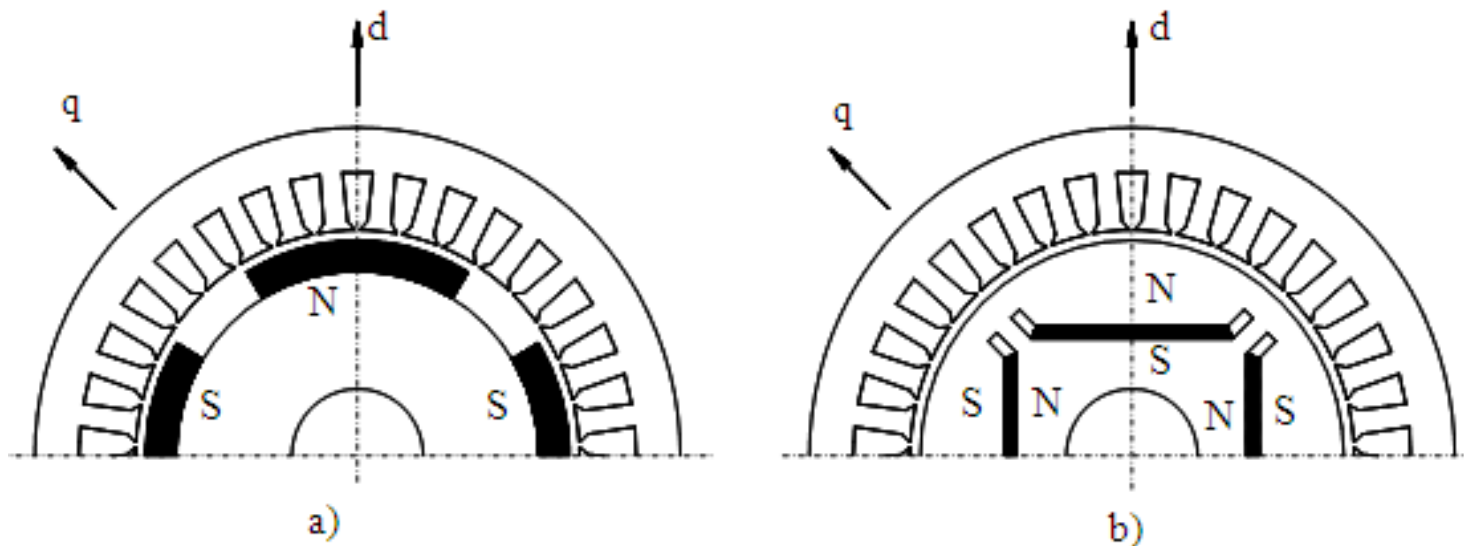
- Obavezno ponoviti dio gradiva iz tematike vidljive iz naslova, koji je predavan u okviru predmeta *Elektromehanički sustavi* na preddiplomskom dijelu studija, modul Automatika
- Pri tome se može koristiti [5], (predavanje *Pred_ELESUS_9_BIM i 4Q pogoni*).
- Posebnu pažnju posvetiti sinkronim strojevima sa sinusnim strujama i sinusnom indukcijom (poljem) u zračnom rasporu.
- Podsjetiti se na različitost smještaja magneta na rotoru, što direktno utječe na rad u području konstantne snage.

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Sinkroni motor s permanentnim magnetima je sinkroni stroj s višefaznim (uglavnom trofaznim) namotom na statoru i permanentnim magnetima na rotoru
- Statorski namot je praktički **identičan namotu asinkronog stroja**
- Glavna karakteristika SMPM-a je da ima **približno sinusnu raspodjelu magnetskog toka u zračnom rasporu**, dok su **sinusno prostorno raspodijeljeni vodiči statorskog namota** protjecani **sinusnim strujama**
- Položaj rotora se određuje **rezolverom**
- Važan način generiranja vodećih vrijednosti **referentnih sinusnih struja**
- Signal povratne veze po brzini i kutu (položaju) generira mjerni član pozicije (rezolver) preko posebnog sučelja, R/D, (engl. ***Resolver to Digital***) koji **vrši pretvorbu naponskih signala s ulaza** (tzv. rezolverski format) u **analogni podatak brzine vrtnje i digitalni podatak pozicije (kuta) osovine stroja**
- **Sinusne veličine** (struja, indukcija, inducirani napon) **omogućuju modeliranje ovog motora u vektorskom obliku** pa se i upravljački krug oslanja na **vektorski koncept upravljanja**

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Permanentni magneti na rotoru se prema vanjskom magnetskom polju ponašaju se kao zrak (relativna permeabilnost μ_r između 1.02-1.20).
- Konačan efekt je da ovakvi sinkroni strojevi imaju relativno veliki zračni raspor
- Zbog male relativne permeabilnosti, reaktancije u d i q osi su praktički jednake



Sl.9. Poprečni presjek SMPM-a s površinskim a) i unutarnjim b) magnetima

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Za izvedbu stroja prema sl.9.b. reaktancija u d osi je veća od reaktancije u q osi, za razliku od motora s elektromagnetskom uzбудom i istaknutim polovima gdje je reaktancija u d osi manja od reaktancije u q osi.
- Zbog smanjene efektivne duljine zračnog raspora, reakcija armature je izraženija, te ovaj stroj ima znatno bolja svojstva u području slabljenja toka (području konstantne snage) nego SMPM s površinskim magnetima.
- Slabljenje magnetskog toka permanentnih magneta inače nije izvedivo.
- Da bi stroj mogao raditi u području konstantne snage u cilju proširenja upravljanja brzinom vrtnje, slabljenje polja u zračnom rasporu provodi se reakcijom armature
- SMPM-i s unutarnjim magnetima se koriste u primjenama gdje se zahtijeva visoka radna brzina vrtnje motora. Zračni raspor nije jednolik, pa ni reaktancije u d i q osima nisu jednake

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Za projektiranje upravljačkog algoritma sustava sa SMPM-om, potrebno je odrediti matematički model. On se određuje uz sljedeće pretpostavke
 - ✓ stroj je geometrijski i električki simetričan u sve tri faze
 - ✓ raspodjela magnetskog toka u zračnom rasporu je sinusna
 - ✓ zasićenje i gubici u željezu se zanemaruju
 - ✓ na rotoru nema prigušnog kaveza
 - ✓ magnetski tok rotora, te otpori i induktivitet statora imaju konstantnu vrijednost
 - ✓ efektivna duljina zračnog raspora po obodu stroja je konstantna
 - ✓ magnetske reaktancije su jednake u **d** i **g** osi (površinski magneti)
- Dinamički model SMPM-a se zbog jednostavnosti, preglednosti te mogućnosti transformiranja u drugi koordinatni sustav, **uglavnom prikazuje u vektorskom obliku**
- U **mirujućem koordinatnom sustavu statora**, dinamičko ponašanje SMPM-a se može prikazati sljedećim jednadžbama

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

$$\bar{u}_s = R_s \bar{i}_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} \quad (33)$$

$$\bar{\Psi}_s = L_s \bar{i}_{\sigma s} + \bar{\Psi}_r \quad (34)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = m - m_t = \frac{3}{2} p \operatorname{Im} \left[i_s \hat{\bar{\Psi}}_r \right] - m_t \quad (35)$$

- U koordinatnom sustavu rotora vrijede jednačbe

$$\bar{u}_s^r = R_s \bar{i}_s^r + \frac{d\bar{\Psi}_s^r}{dt} + j\omega \bar{\Psi}_s^r \quad (36)$$

$$\bar{\Psi}_s^r = L_{\sigma s} \bar{i}_s^r + \bar{\Psi}_r \quad (37)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = m - m_t = \frac{3}{2} p \Psi_r \operatorname{Im}(\bar{i}_s^r) - m_t \quad (38)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Razdvajanjem pojedinog vektora na **realnu d** i **imaginarnu q** komponentu dobije se dinamički model u **koordinatnom sustavu rotora** u **skalarnom obliku**

$$u_d = R_s i_d + L_s \frac{di_d}{dt} - \omega \Psi_q \quad (39)$$

$$u_q = R_s i_q + L_s \frac{di_q}{dt} - \omega \Psi_d \quad (40)$$

$$\Psi_d = L_s i_d + \Psi_r \quad (41)$$

$$\Psi_q = L_s i_q \quad (42)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = m - m_t = \frac{3}{2} p \Psi_r i_q - m_t \quad (43)$$

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

- Iz izraza (43) slijedi da je **razvijeni moment motora** proporcionalan **q komponenti vektora struje statora**

$$m(t) = k_m i_q(t) \quad (44)$$

- Koeficijent proporcionalnosti ujedno i **konstanta momenta**

$$k_m = \frac{3}{2} p \Psi_r \quad (45)$$

- Iz izraza (44) se vidi da se upravljanje momentom motora može ostvariti **promjenom struje i_q** .
- Ako se motor koristi samo **u području konstantnog momenta**, **referentna vrijednost struje i_d^* (i_{dref})** drži se **jednakom nuli**.
- Ako se u **inverznu Parkovu transformaciju** uvrsti **$i_d=0$** , dobije se

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM

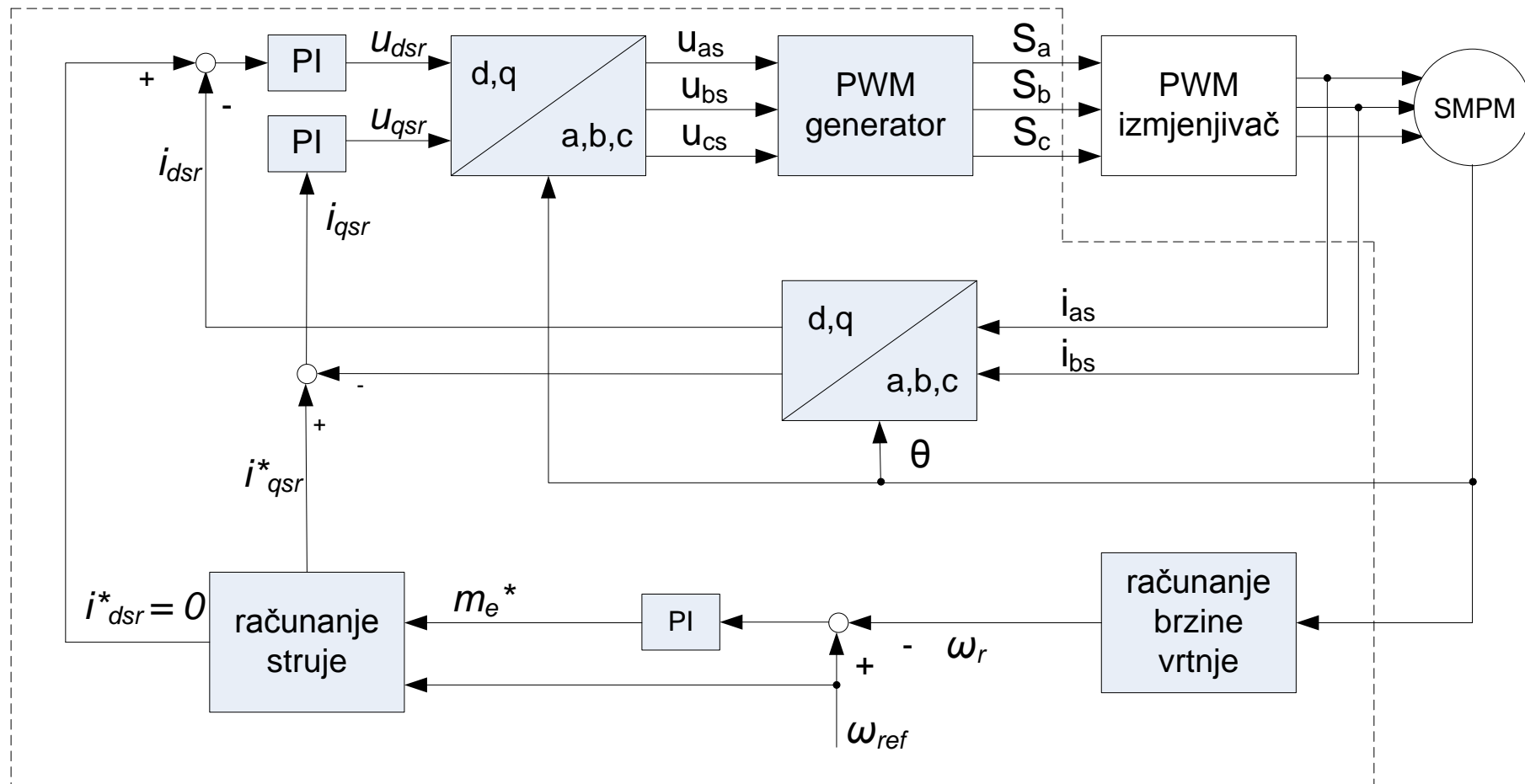
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_e & -\sin \varepsilon_e \\ \sin \varepsilon_e & \cos \varepsilon_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i_q \end{bmatrix} \quad (46)$$

Nakon sređivanja slijedi

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = i_q \begin{bmatrix} \sin(\varepsilon_e + 120^\circ) \\ \sin(\varepsilon_e + 60^\circ) \\ \sin(\varepsilon_e - 60^\circ) \end{bmatrix} = i_q \cdot \begin{bmatrix} i_{av}^* \\ i_{bv}^* \\ i_{cv}^* \end{bmatrix} \quad (47)$$

- Ovdje su i_{av}^* , i_{bv}^* i i_{cv}^* vodeći signali faznih struja (valni oblici referentnih vrijednosti faznih struja a ε_e električni kut rotora (treba uzeti u obzir broj pari polova, p))

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM – dinamički model



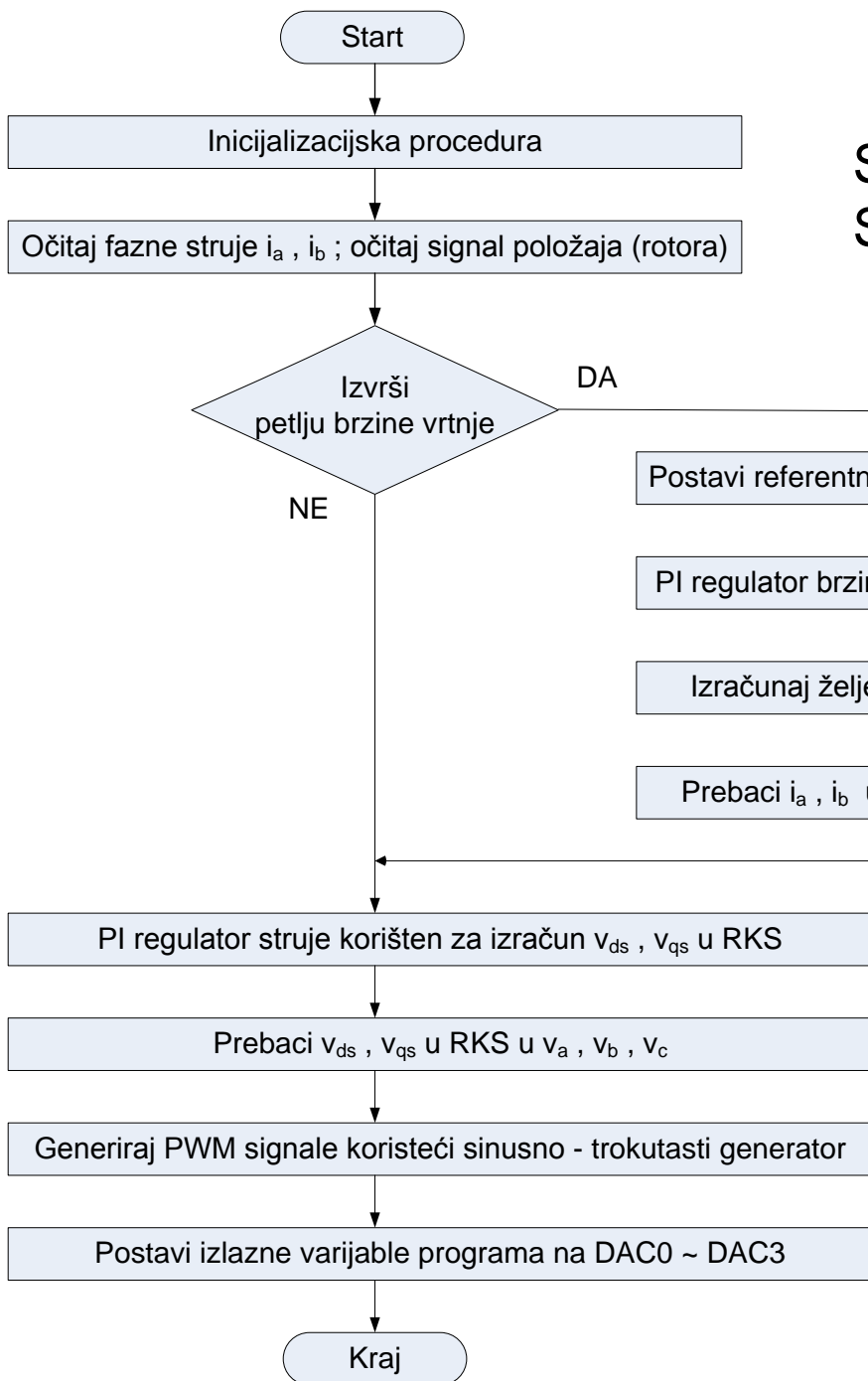
Sl.8. Blokovski dijagram vektorskog upravljanja SMPM-a

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM – dinamički model

- Prikazan je sustav vektorskog upravljanja sa SMPM-om zasnovan na izloženom matematičkom modelu
- Radi se o SMPM sa površinskim magnetima (jednoliki zračni raspored i jednak magnetski otpor u d i q osi.)
- Vanjska regulacijska petlja je krug regulacije brzine vrtnje s podređenim krugom regulacije direktne i inverzne struje statora
- Budući da se radi o permanentnim magnetima na rotoru, željena vrijednost struje komponente toka struje statora i_{dsr} se postavlja na nulu ($i_{dsr} = 0$)
- Uzimajući u obzir ograničenje apsolutne vrijednosti struje statora, komponenta struje i_{qs} mora se održavati ispod granične vrijednosti tako da vrijedi

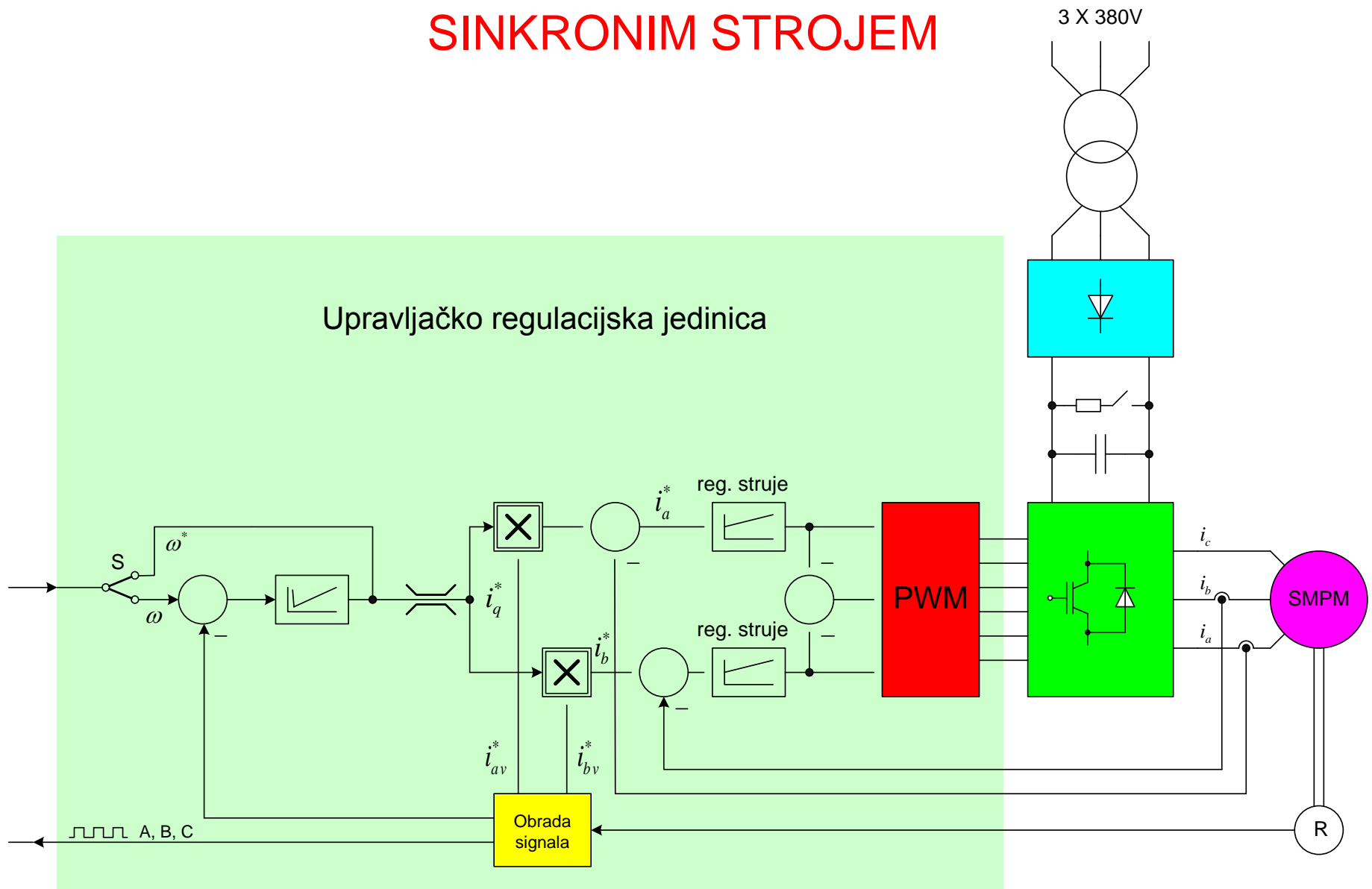
$$i_{qs} < \sqrt{I_{s\max}^2 - i_{ds}^2}$$

- gdje je $I_{s\max}$ maksimalna (trajna) dopuštena struja statora



Sl.9. Dijagram toka upravljačkog sustava SMPM-a (realizacija s DSP-om).

STRUKTURE VEKTORSKOG UPRAVLJANJA sa SINKRONIM STROJEM



Sl.10. Primjer ANALOGNOG vektorskog upravljanja SS-om

LITERATURA

- [1] N. Mohan, W. P. Robbins, and T. Undeland, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1995.
- [2] B.K.Bose, *Modern Power Electronics and AC Drives*, 2005.
- [3] R. Krishnan, *Electric Motor Drives, Modeling, Analysis and Control*, Prentice Hall, 2001.
- [4] F. Kolonić, *Pred_UEP_6*, predavanja iz kolegija Upravljanje elektromotornim pogonima, web stranice predmeta, 2008.
- [5] F.Kolonić , *predavanje Pred_ELESUS_9_BIM i 4Q pogoni*), predavanja iz kolegija Elektromehanički sustavi, web stranice predmeta, 2007.

KRAJ