

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- **SKALARNO upravljanje** je zasnovano na statičkom modelu (stacionarno stanje). **Prijelazne pojave nisu uključene u postojeći model**, pa se u prijelaznim (**dinamičkim**) stanjima ne može dobiti u potpunosti konstantan tok, a s njim i moment stroja
- Za ostvarenje **boljih dinamičkih karakteristika** koje se traže za zahtjevnije servo-primjene, koriste se **druge metode upravljanja temeljene na analogiji s istosmjernim strojem**
- Te metode koriste tehniku **neovisnog upravljanja tokom i momentom** kao što je inherentno kod istosmjernih strojeva s nezavisnom uzбудom
- Algoritmi upravljanja koji se pri tome koriste zovu se algoritmi **VEKTORSKOG upravljanja**, zahtijevaju brzo izvođenje računskih (matematičkih) operacija, pa su u upravljačkom smislu zasnovane na brzim procesorom za obradu signala, tzv. **DSP-om** (engl. *Digital Signal Processor*)

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

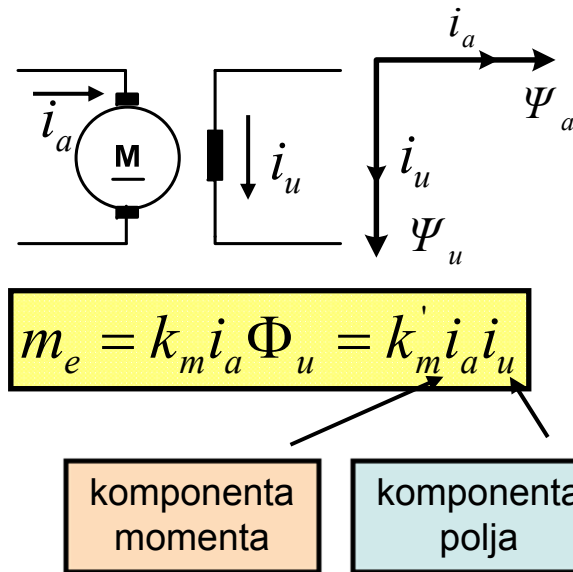
- Uzrok lošim dinamičkim karakteristikama sustava skalarnog upravljanja je u promjenama magnetskog toka u zračnom rasporu stroja.
- Te promjene su ne samo po iznosu već i po faznom pomaku (u odnosu na neku referentnu os).
- Ako se matematički dinamički model istosmjernog stroja usporedi s dinamičkim modelom asinkronog stroja u [1] (bit će također izveden i u ovom poglavlju) da se primijetiti da je ovaj zadnji znatno složeniji.
- Poznato je da su magnetski tok i struja armature u prostoru nepomični i mogu se direktno i neovisno upravljati, za razliku od izmjeničnog stroja gdje te veličine utječu jedna na drugu (neraspregnute su), i u odnosu na statorsku i rotorsku os mijenjaju svoj položaj.
- Općenito uzevši, izmjenični stroj je izrazito nelinearan i više-varijabilan proces

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Za razliku od skalarnog upravljanja, vektorsko upravljanje nudi puno kvalitetnija rješenja upravljanja u sustavima koji su visokih zahtjeva i ne toleriraju nikakve oscilacije u magnetskom toku stroja
- Zbog čega su sustavi vektorskog upravljanja superiorniji u odnosu na sustave skalarnog upravljanja? Vrijedi ponoviti još jednom, magnetski tok i moment kod skalarnog upravljanja nisu raspregnuti, tj. i jedna i druga veličina ovise o frekvenciji i naponu (struji) pa se s njima ne može odvojeno upravljati (nisu raspregnuti, engl. *decoupled*)
- Vektorsko upravljanje upravo osigurava odvojeno (raspregnuto) upravljanje magnetskim tokom i momentom
- Treba proučiti (ponoviti) znanja vezana za upravljanje istosmjernim strojem, jer postoji velika sličnost u načinu upravljanja s magnetskim tokom i momentom (strujom armature) istosmjernog stroja s vektorskim upravljanjem asinkronog stroja

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Istosmjerni stroj ima stacionarno (prostorno mirujuće) magnetsko polje realizirano permanentnim (stalnim) magnetima ili uzбудnim namotom i rotirajući armaturni namot napajan preko sustava kolektor-četkica



Sl.2. Nadomjesna shema istosmjernog stroja

- Magnetski tok Φ_u proizveden uzbuđnom strujom i_u je okomit na tok Φ_a proizveden armaturnom strujom i_a . Razvijeni elektromagnetski moment se može izraziti kao

$$m_e = k \cdot \Phi_u \cdot \Phi_a = k \cdot i_u \cdot i_a \quad (1)$$

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- VAŽAN ZAKLJUČAK: Budući da su magnetski tokovi stvoreni protjecanjem (strujom) armature i uzbuđe **okomiti**, oni su RASPREGNUTI!
- To znači da uzbudna struja i_u utječe **samo** na uzbudni tok Φ_u a armaturna struja **samo** na tok Φ_a
- Opisani sustav s navedenim karakteristikama **može se u potpunosti dobiti i sa izmjeničnim strojem**. KAKO??
- Ako se rad izmjeničnog stroja promatra u **koordinatnom sustavu d-q koji rotira sinkronom brzinom vrtnje Ω_s** i ako se u tom sustavu **promatraju sinusne varijable asinkronog stroja**, onda “zbunjeni promatrač” koji sjedi u tom rotirajućem koordinatnom sustavu **sinusne veličine VIDI kao ISTOSMJERNE !!!**
- Ako komponente statorske struje i_s označimo s i_{ds} i i_{qs} , (**uzdužna (d) i poprečna (q) komponenta statorske struje**) i promatramo ih kao reprezentante izmjenične komponente sinusne struje magnetiziranja (toka) i izmjenične sinusne komponente struje momenta, dobije se slijedeća ekvivalencija prikazana u Tablici2.

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

AS  IS

Tablica 1.

i_{ds} (Asinkroni stroj, AS, uzdužna d komponenta, komponenta statorske struje magnetiziranja, komponenta toka)	i_u (Istosmjerni stroj, IS, struja uzbude , reprezentant uzbuđenog toka stroja, komponenta toka)
i_{qs} (Asinkroni stroj, poprečna q komponenta, komponenta statorske struje momenta, komponenta momenta)	i_a (Istosmjerni stroj, struja armature , reprezentant momenta stroja, komponenta momenta)



Komponente vezane za magnetsko **polje, tok**



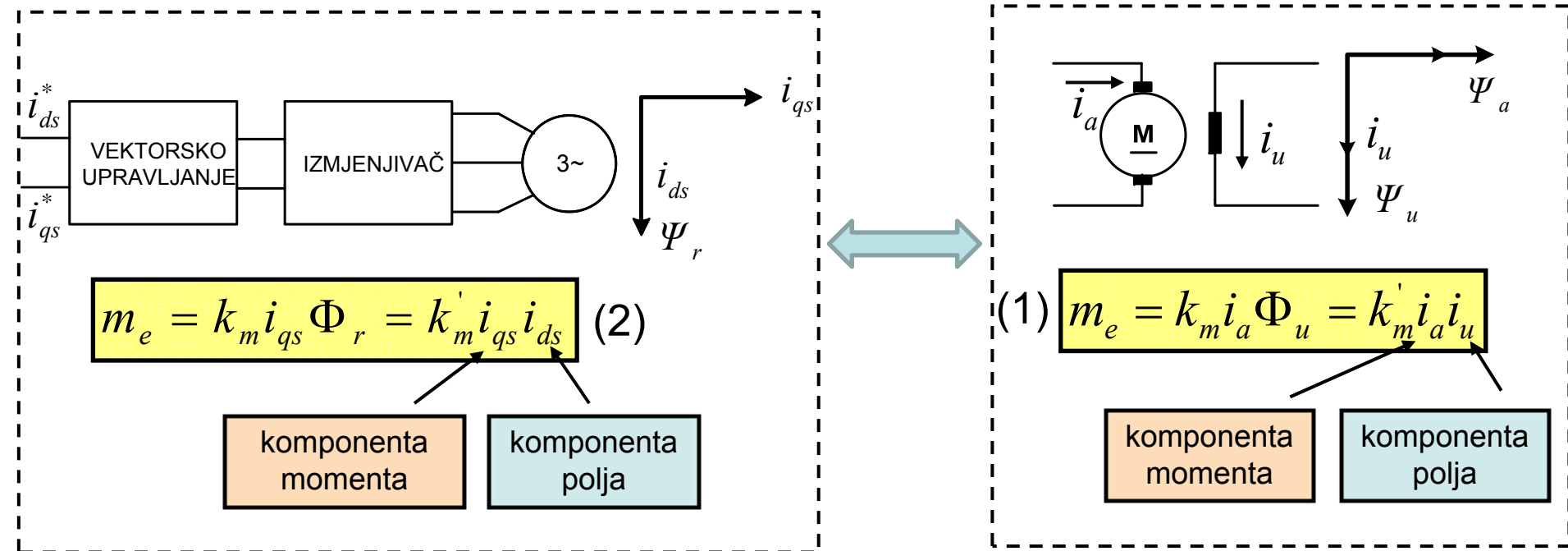
Komponente vezane za **moment stroja**

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Može se zaključiti da vrijedi ekvivalencija između d i q komponenata statorskih struja i_{ds} i i_{qs} (engl. *direct, quadrature component*) vektorski upravljanog asinkronog stroja i struja uzbude i_u i armature i_a istosmjernog stroja
- Izraz (2) za moment asinkronog) stroja vrijedi onda kada komponenta i_{qs}^* (i_{ds}^*) upravlja samo s i_{qs} (i_{ds}) i ne utječe na tok Ψ_r , što znači da su i_{qs} i i_{ds} okomiti vektori u svim radnim točkama (u cijelom radnom području)
- Samo uz takve uvjete će sustav vektorskog upravljanja osigurati ispravnu orijentaciju vektora u prostoru, bez pogreške između željene i stvarne vrijednosti struje

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

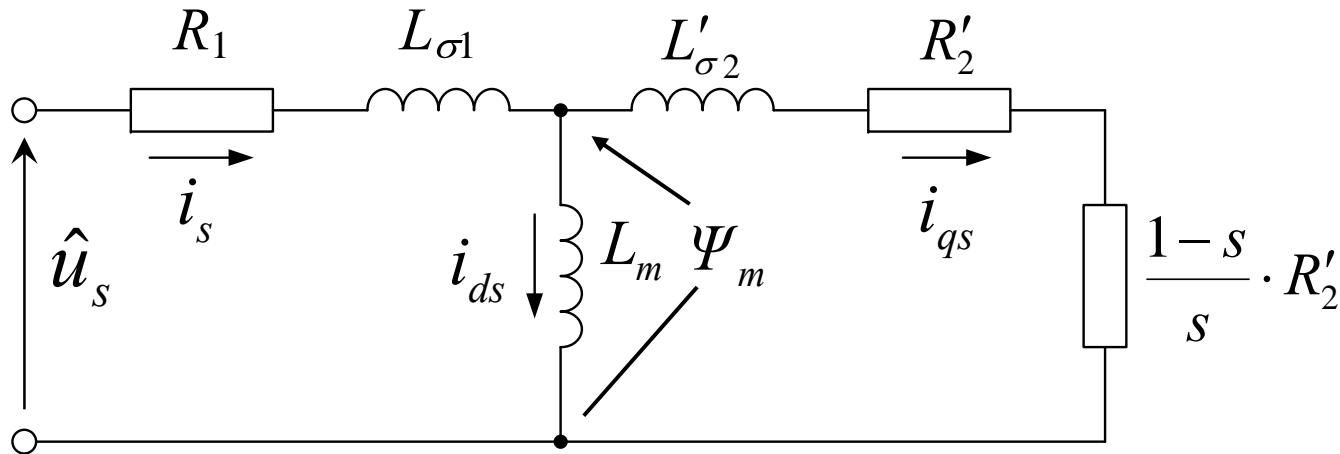
- VAŽAN ZAKLJUČAK: Budući da su **magnetski tokovi** stvoreni protjecanjem (**strujom**) **armature i uzbude okomiti**, oni su **RASPREGNUTI!**



Sl.2. Analogija vektorski upravljanoj asinkronoj mašini u d-q rotirajućem sustavu s istosmjernom mašinom

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Budući da je u Tablici 1. utvrđena **ekvivalencija** između **d** i **q** komponenata statorske struje i_{ds} i i_{qs} vektorski upravljanoj asinkronog stroja i struja uzbuje i_u i armature i_a istosmjernog stroja, može se po analogiji izvesti i ekvivalentna nadomjesna shema asinkronog stroja u rotirajućem **d-q** sustavu



Sl.3. Nadomjesna shema vektorski upravljanoj asinkronog stroja u d-q (rotirajućem) koordinatnom sustavu)

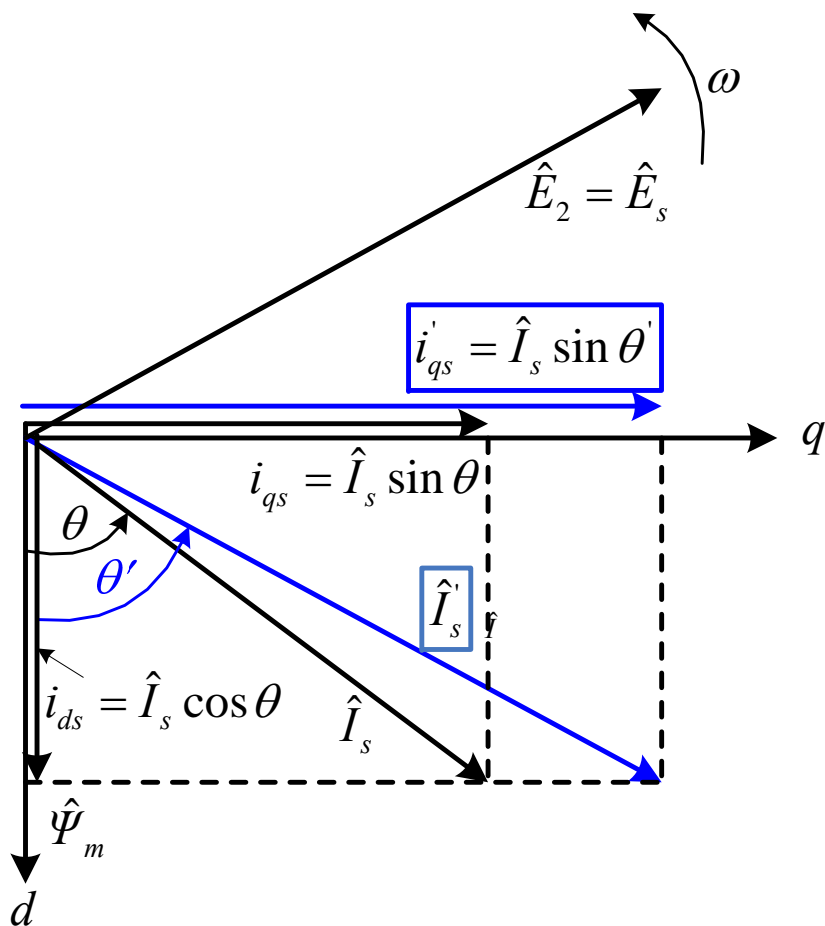
SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Ako se na sl.3. **zanemari rasipni induktivitet rotora $L_{\sigma 2}$** , onda je glavni magnetski tok jednak je rotorskom toku (nema rasipnog toka rotora), tj. **$\Psi_m = \Psi_r$ (radi se o maksimalnim vrijednostima, NE o efektivnim vrijednostima)**
- Vektor statorske struje **i_s** je zbroj vektora **i_{ds}** i **i_{qs}** . Amplituda (iznos) statorske struje je

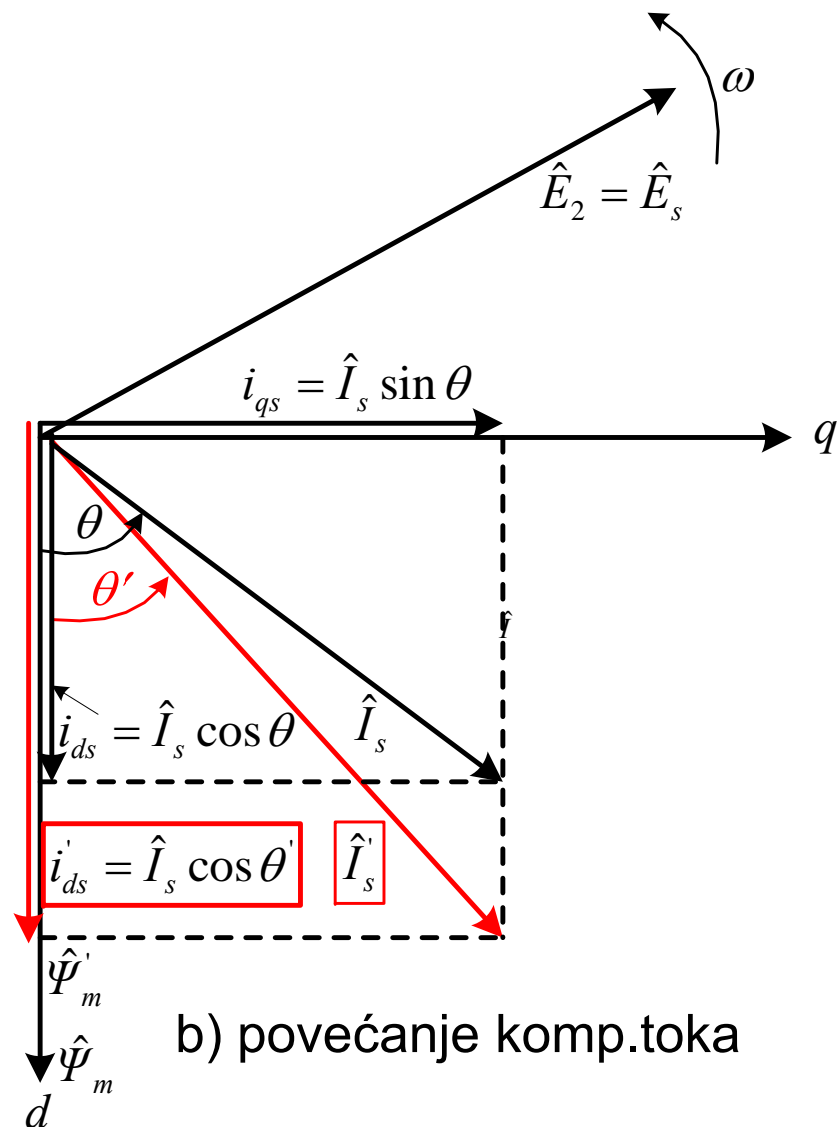
$$\hat{I}_s = \sqrt{i_{ds}^2 + i_{qs}^2} \quad (3)$$

- Uz zanemarenje **rasipnog induktiviteta rotora $L_{\sigma 2}$** , vrijedi da je **$\Psi_m = \Psi_r (= \Psi_2)$** . **Rotorski tok** je postavljen u smjeru **d**-osi (inducirana elektromotorna sila **E_2** u skladu s tim bi bila postavljena u **q**-os, **$E_2 = d\Psi_2/dt$**)
- Važno! Struja **i_{qs}** je prema sl.3 **ekvivalent momenta (radne snage)** dok je struja **i_{ds}** **ekvivalent reaktivne (jalove) snage** koja je utrošena za stvaranje magnetskog toka

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



a) povećanje komp.momenta



b) povećanje komp.toka

Sl.4 Fazorski dijagram AS u stacionarnom stanju u d-q (rotirajućem) sustavu

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

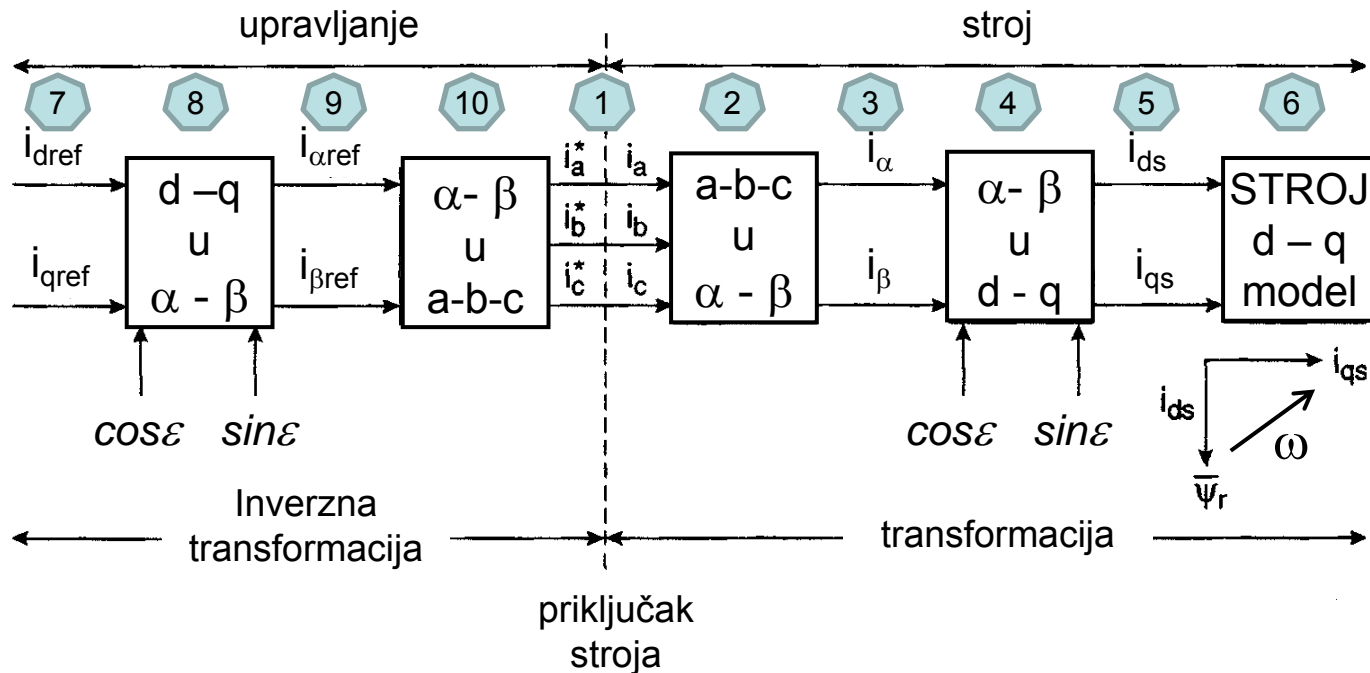
- Na sl.4. je prikazan fazorski (vektorski) dijagram AS-a. Jednostavnosti radi, **rotorska rasipna reaktancija je zanemarena**
- Fazor (vektor) ulančenog toka $\Psi_r (= \Psi_2 = \Psi_m)$
- Statorska struja I_s kasni za naponom E_2 (induktivni krug!) s kutem $90^\circ - \theta$.
- Poprečna komponenta statorske struje i_{qs} je u istoj (q) osi kao i inducirani napon E_2 .
- Komponenta statorske struje **momenta**, struja i_{qs} je **aktivna komponenta statorske struje**, jer doprinosi prijenosu djelatne (aktivne) snage preko zračnog rasporeda stroja ($P = E_2 i_{qs}$)
- Komponenta statorske struje **toka**, struja i_{ds} je **reaktivna komponenta statorske struje**, jer je odgovorna za stvaranje magnetskog toka u zračnom rasporu Ψ_m **doprinosi prijenosu reaktivne (jalove) snage** preko zračnog rasporeda ($Q = E_2 i_{ds}$)
- U izrazu (2) je definiran **elektromagnetski moment stroja**, pri čemu su d i q komponente statorske struje prikazane na fazorskom dijagramu na sl.4.

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Sl.4.a i b daju objašnjenje kako se s **d** i **q** komponentama struje statora i_{ds} i i_{qs} može realizirati **sustav vektorskog upravljanja** izmjeničnim strojem
- Fazorski dijagram na slici 4.a) pokazuje da se **povećanjem q komponente statorske struje momenta i_{qs}** , povećava iznos statorske struje I_s , ali se **d komponenta toka i_{ds}** ne mijenja! ZAKLJUČAK: promjena struje i_{qs} ne utječe na **d** komponentu toka i_{ds} AS-a.
- Sl. 4.b) pokazuje da se **povećanjem d komponente statorske struje toka i_{ds}** , povećava iznos statorske struje I_s , ali se **q komponenta momenta i_{qs}** ne mijenja! ZAKLJUČAK: promjena struje i_{ds} ne utječe na q komponentu momenta i_{qs} AS-a.
- U normalnom radu, primjerice kod **IS-a**, struja i_{ds} (**struja uzbude, magnetski tok**) se drži konstantnim, a **moment se mijenja promjenom struje i_{qs}** (armaturne struje)

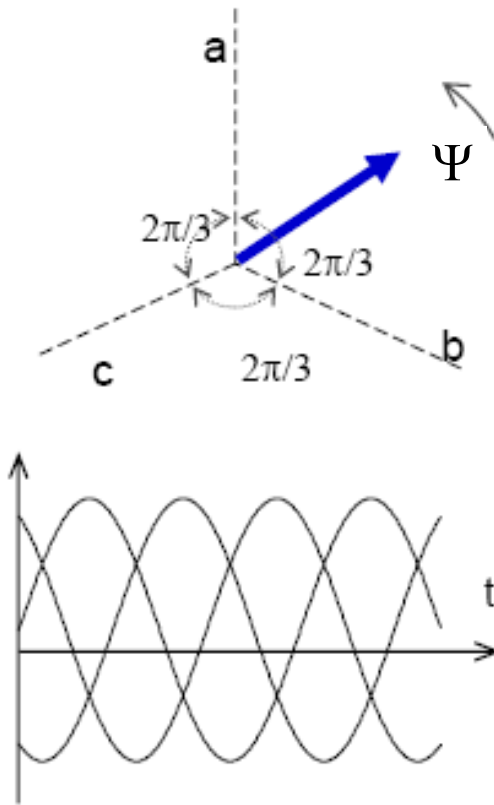
SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Postavlja se pitanje: Na koji **način** se može upravljati sa strujama i_{qs} i i_{ds} ? **komponentama struje i_s neovisno i sa željenom orijentacijom tih struja?**
- Osnovni koncept primjene vektorskog upravljanja je prikazan na sl.5

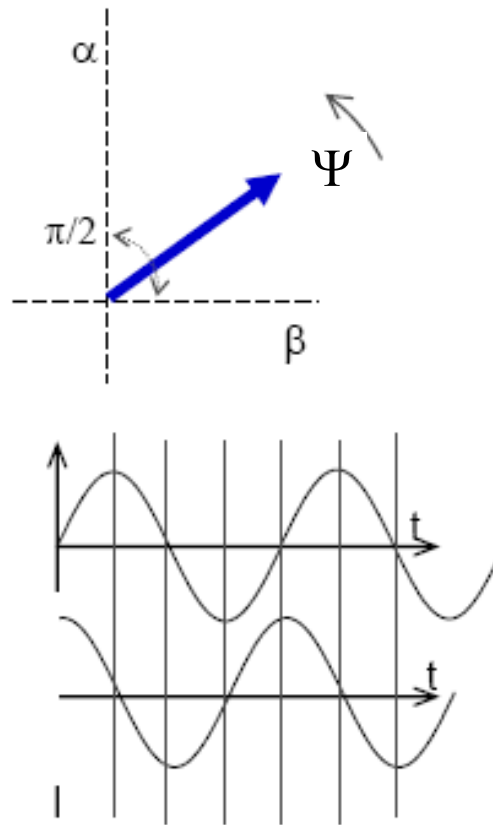


Sl.5. Osnovni koncept vektorskog upravljanja AS-a u **d-q** koordinatnom sustavu (pretvarač je izostavljen, ne razmatra se)

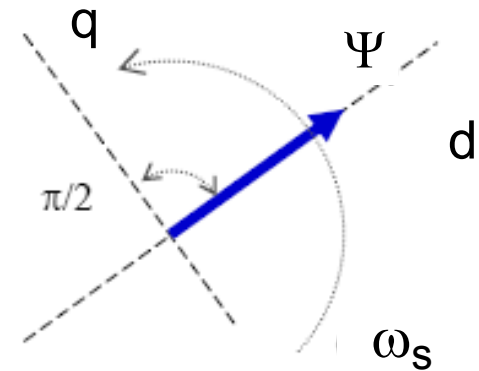
SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



3f koordinatni (mirujući)sustav



2f ortogonalni (mirujući) sustav



d-q ortogonalni rotirajući sustav

Sl.6. Sinusne veličine prikazane u različitim koordinatnim sustavima

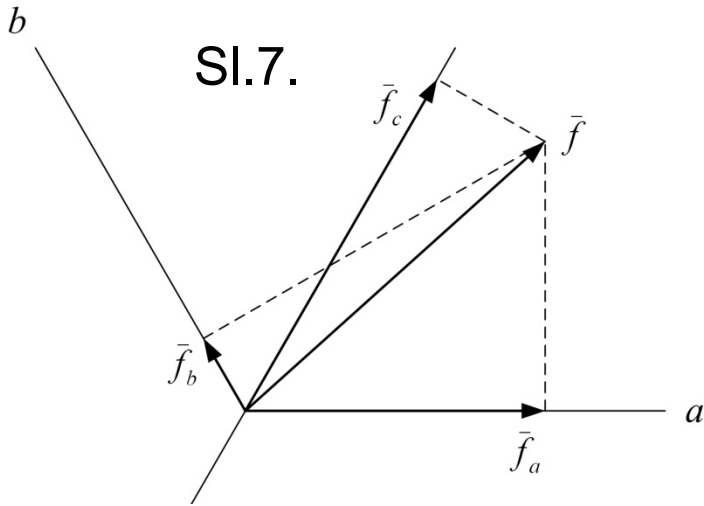
SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

Objašnjenje dijelova upravljačke sheme vektorskog upravljanja sa sl.5.

- 1 a) Pretpostavlja se da je izmjenjivač idealan, što znači da na osnovi sinusnih referentnih vrijednosti statorskih struja a , b i c na izlazu upravljačkog bloka, modulacijom sklopki osigura stvarne sinusne struje u stroju.
 - 2 a) Na strani stroja se te struje mjere i iz trofaznog mirujućeg a-b-c sustava statora transformiraju u struje dvofaznog (dvoosnog) mirujućeg sustava α - β (d^s - q^s) koordinatnog sustava
 - b) Pri tome se primjenjuje tzv. Clarkeova transformacija
 - c) Za opis ove transformacije, promotrimo rezultirajući vektor 3f varijabli
- Skupu trofaznih varijabli f_a , f_b i f_c , koje mogu predstavljati trenutačne vrijednosti struja, napona i ulančanih tokova, može se pridružiti rezultirajući vektor f
 - Jedini uvjet je da projekcija vektora na pojedinu os trofaznog a-b-c sustava daje trenutačnu vrijednost fazne veličine u toj osi (sl.7.)

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

Sl.7.



- Vektori \bar{f}_a , \bar{f}_b i \bar{f}_c , predstavljaju orijentirane fazne veličine koje djeluju u osi pojedine faze, a modul im je jednak trenutnoj vrijednosti promatrane fazne veličine.
- Rezultirajući vektor \bar{f} definiran je izrazom

$$\bar{f} = \frac{2}{3}(\bar{f}_a + \bar{f}_b + \bar{f}_c) \quad (4)$$

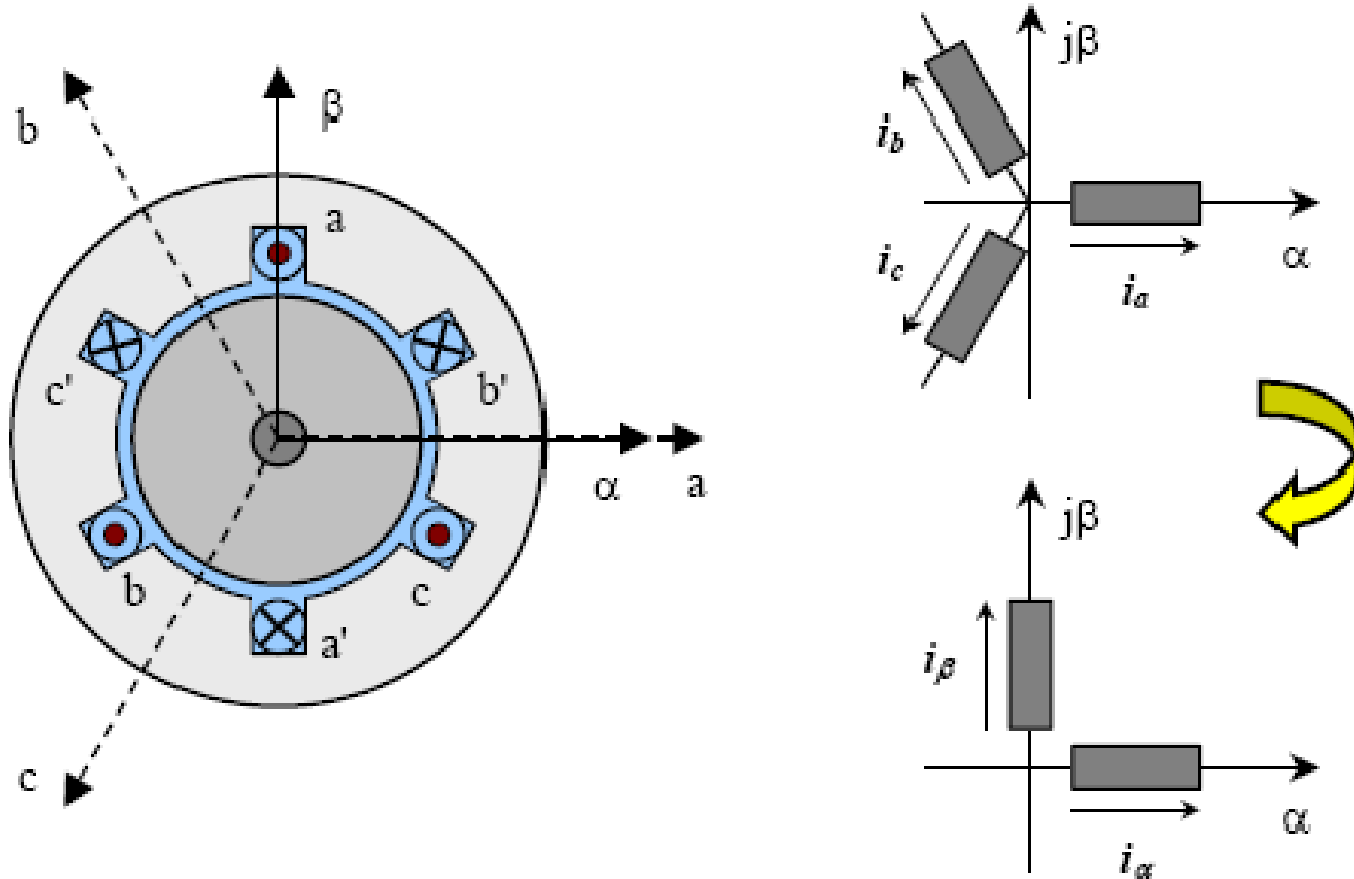
- Ako trofaznom a - b - c sustavu pridružimo kompleksnu ravninu tako da se njezina realna os poklapa s osi faze a , tada će biti

$$\boxed{\bar{f}_a = f_a} \quad \boxed{\bar{f}_b = \bar{a}f_b} \quad \boxed{\bar{f}_c = \bar{a}^2 f_c} \quad (5)$$

gdje je:

$$\boxed{\bar{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}} \quad \boxed{\bar{a}^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}} \quad (6)$$

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



Sl.8. Trofazni namot u troosnom sustavu s ekvivalentnim mirujućim $\alpha\beta$ koordinatnim sustavom

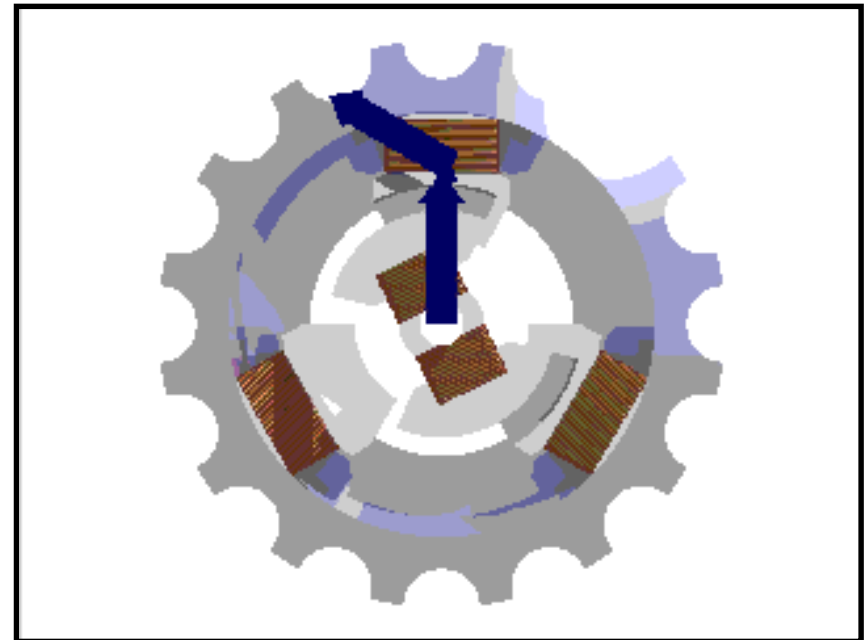
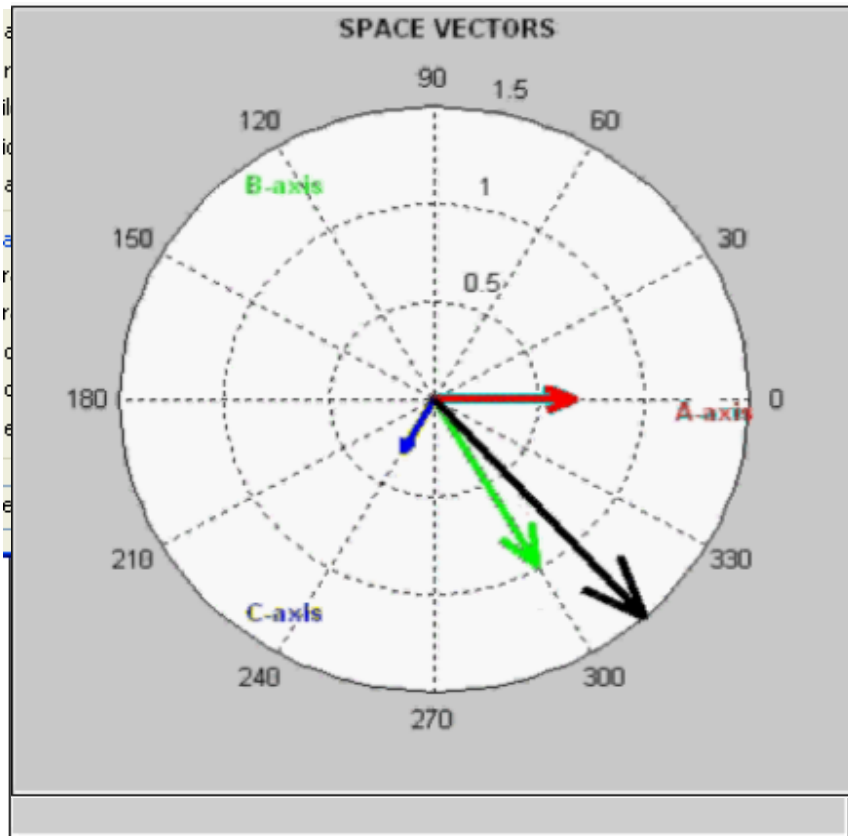
SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Kompleksni operatori \bar{a} i \bar{a}^2 imaju značenje **jediničnih vektora** u smjeru osi **b** odnosno **c**
- Veličine **f_a , f_b i f_c** su realni brojevi i množenjem tih veličina odgovarajućim jediničnim vektorom iz (5) **dobije se smisao njihove orijentacije u os dotične faze** (funkcija jediničnih vektora je zakret za određeni kut).
- Uvrštavanjem (5) u (4) dobije se **rezultirajući vektor kao funkcija trenutačnih vrijednosti faznih veličina**

$$\boxed{\bar{f} = \frac{2}{3} \left(f_a + \bar{a} f_b + \bar{a}^2 f_c \right)} \quad (7)$$

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

Primjer: Neka su f_a , f_b i f_c predstavljaju simetrične ulančene tokove



Simetrično okretno polje kao primjer rezultirajućeg vektora
(ANIMACIJA)

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- Transformacija vektora iz trofaznog $a-b-c$ sustava u dvofazni $\alpha-\beta$ sustav

Clarkeova transformacija

- Razmatra se uz pretpostavku da su ti sustavi međusobno nepomični. Ako se rezultirajući vektor \bar{f} izrazi pomoću dvofaznih $\alpha\beta$ i trofaznih abc varijabli, sl.6., izraz (7), može se napisati

$$\boxed{\bar{f} = f_{\alpha} + jf_{\beta} = \frac{2}{3}(f_a + \bar{a}f_b + \bar{a}^2 f_c)} \quad (8)$$

- Izjednačavanjem realnih i imaginarnih dijelova na lijevoj i desnoj strani izraza (8) dobiva se veza između dvofaznih i trofaznih varijabli

$$\boxed{f_{\alpha} = \frac{2}{3}\left[f_a - \frac{1}{2}(f_b + f_c)\right]} \quad (9a)$$

$$\boxed{f_{\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(f_b - f_c)} \quad (9b)$$

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

Uz pretpostavku da se radi o **strujama kao varijablama** (isto se može primijeniti na napone, tokove,...) vrijede relacije

$$\begin{aligned} i_{s\alpha} &= i_{s1} \\ i_{s\beta} &= \frac{i_{s2} - i_{s3}}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (10) \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \end{bmatrix} \quad (11)$$

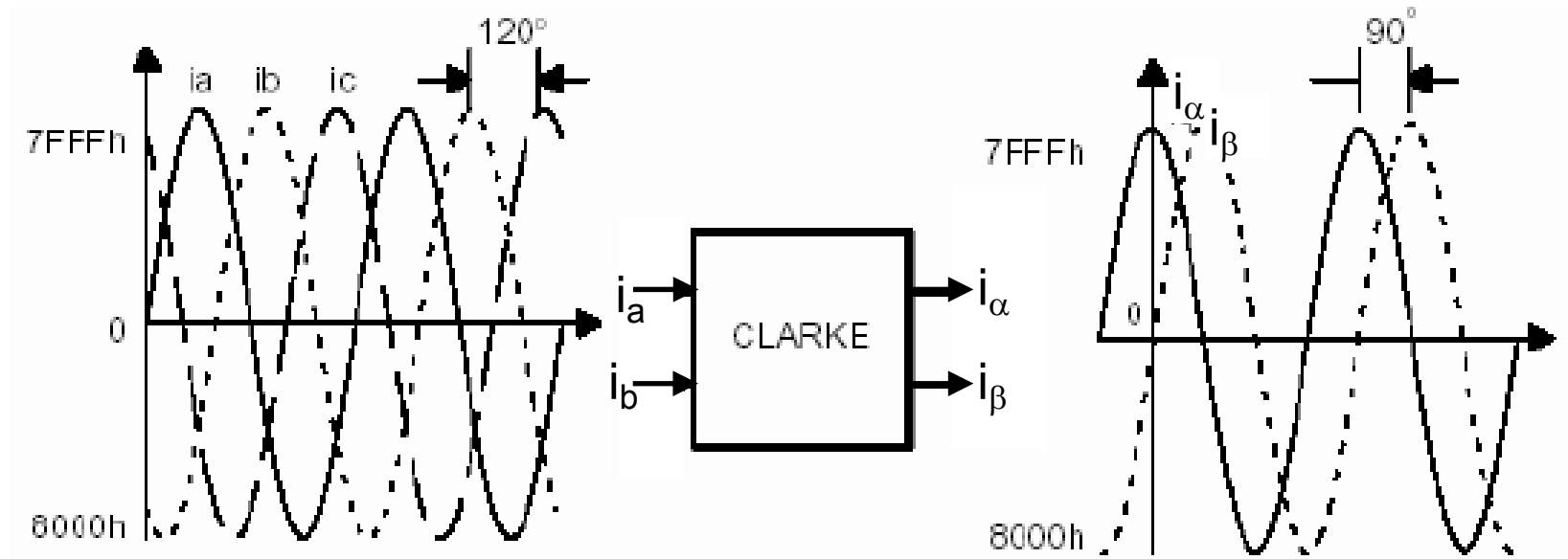
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix}_{\neq} = [3 \rightarrow 2]$$

(12)

Transformacijska matrica, T_{32}

Clarkeova transformacija

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



Sl.9. Clarkeova transformacija – struktura implementacije na DSP-u

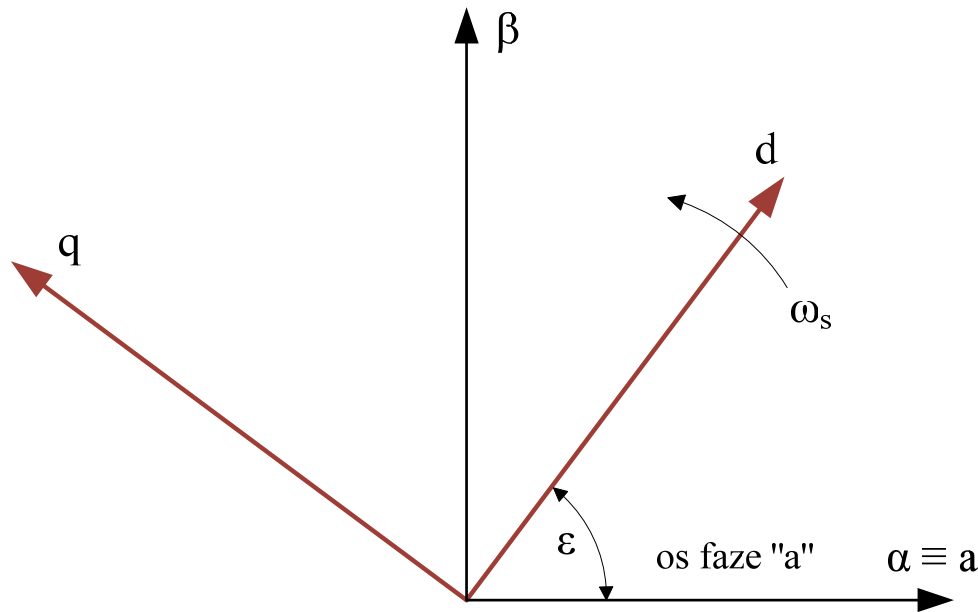
SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- 3 a) Na osnovi transformacije prikazane pod 2, konačan izraz (9), mogu se dobiti struje u mirujućem $\alpha\beta$ koordinatnom sustavu za struje i_α, i_β
- 4 a) Na ovom se mjestu obavlja transformacija varijabli iz mirujućeg $\alpha\beta$ u rotirajući $d-q$ koordinatni sustav koji rotira sinkronom brzinom vrtnje
- Transformacija vektora iz mirujućeg $\alpha\beta$ u $d-q$ rotirajući koordinatni sustav

Parkova transformacija

- Općenito gledano, radi se o transformaciji vektora između dvofaznih koordinatnih sustava s različitim brzinama rotacije (Parkova transformacija)
- U našem slučaju se iz općenitog oblika može doći tako da se mirujući $\alpha\beta$ sustav promatra kao da se giba brzinom=0, tj. miruje, sl.10.

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



Sl.10. Transformacija između **mirujućeg** α - β i **rotirajućeg** d - q dvoosnog sustava

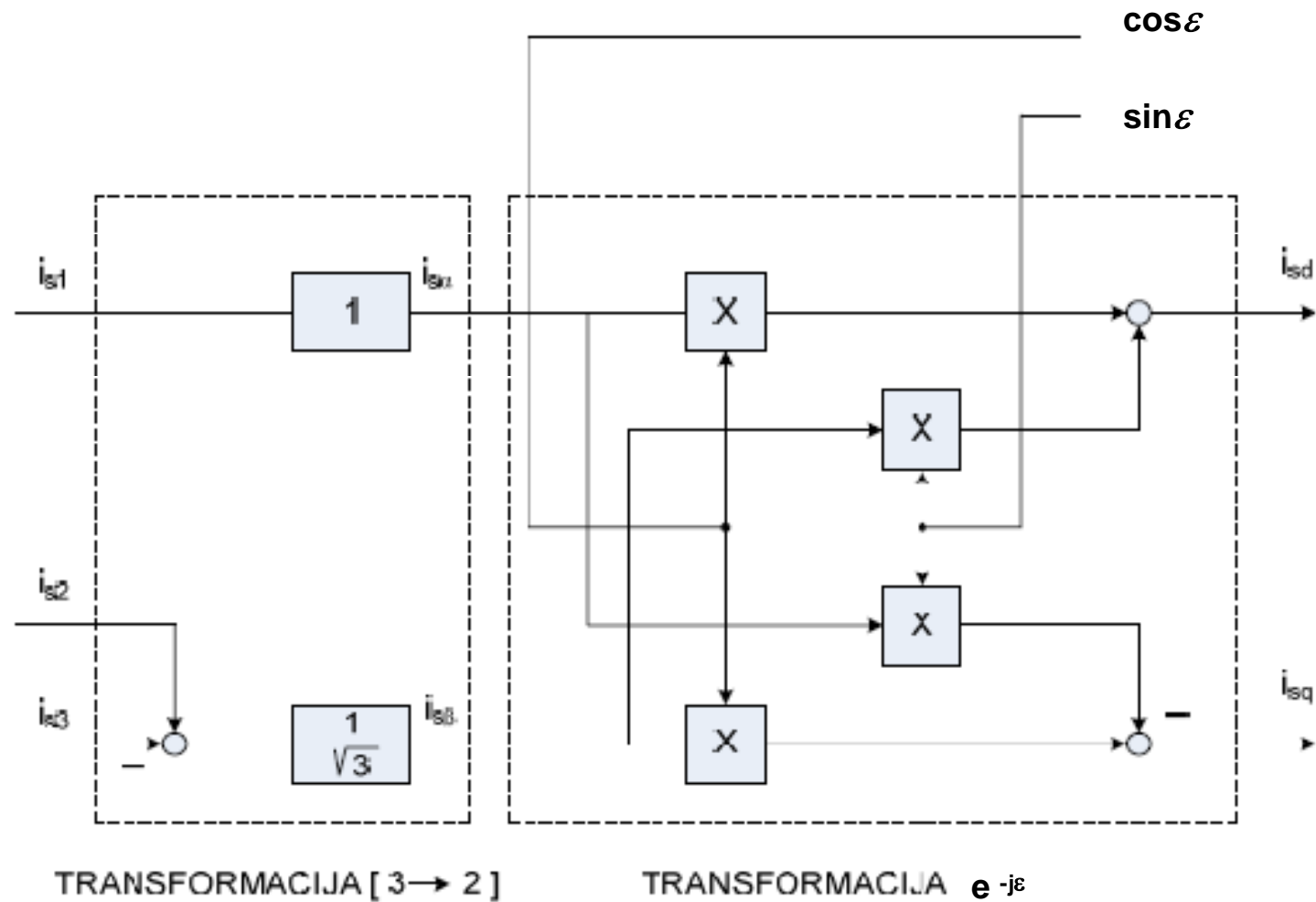
$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \epsilon & \sin \epsilon \\ -\sin \epsilon & \cos \epsilon \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} \quad (13)$$

Ovisnost faznih varijabli u **mirujućem** α - β i **rotirajućem** d - q sustavu

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- 5 a) Na osnovi transformacije prikazane pod 4, konačan izraz (13), mogu se dobiti struje u rotirajućem $d-q$ koordinatnom sustavu za struje i_d , i_q
- 6 a) U konačnici se dobije model stroja u rotirajućem $d-q$ koordinatnom sustavu, pogodan za sintezu sustava upravljanja (nadređene petlje), vidi sl.5.
 - b) Ako se pak radi o realnom stroju, d-q komponente struje statora treba dobiti (izmjeriti, izračunati) za potrebe nadređenog kruga upravljanja
 - c) To se postiže prema sl.11.

SUSTAVI VEKTORSKOG UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



Sl.11. Određivanje komponenti i_{sd} i i_{sq} komponenata vektora statorske struje na osnovi statorskih struja mirujućeg a-b-c koordinatnog sustava

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- 7 a) Ulazne veličine u regulator su referentne d-q komponente (i_{dref} , i_{qref}) struje statora označene na sl.5
- 8 a) Na ovom mjestu se inverznom Parkovom transformacijom varijable transformiraju u mirujući α - β mirujući sustav, vidi sl.5.

- Transformacija vektora iz rotirajućeg d-q u mirujući α - β koordinatni sustav

Inverzna Parkova transformacija

Potrebno je napraviti inverziju izraza (13), pa se jednostavno dobije

$$\begin{bmatrix} f_{\alpha} \\ f_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \end{bmatrix} \quad (14)$$

SUSTAVI **VEKTORSKO**G UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM

- 9 a) Nakon inverzne Parkove transformacije dobiju se α - β komponente referentne vrijednosti struje statora u mirujućem koordinatnom sustavu
 - 10 a) U zadnjoj fazi se obavlja transformacija u trofazni koordinatni sustav prema inverznoj Clarkeovoj transformaciji, vidi sl.5.
- Transformacija vektora iz mirujućeg α - β u mirujući a - b - c koordinatni sustav

Inverzna Clarkeova transformacija

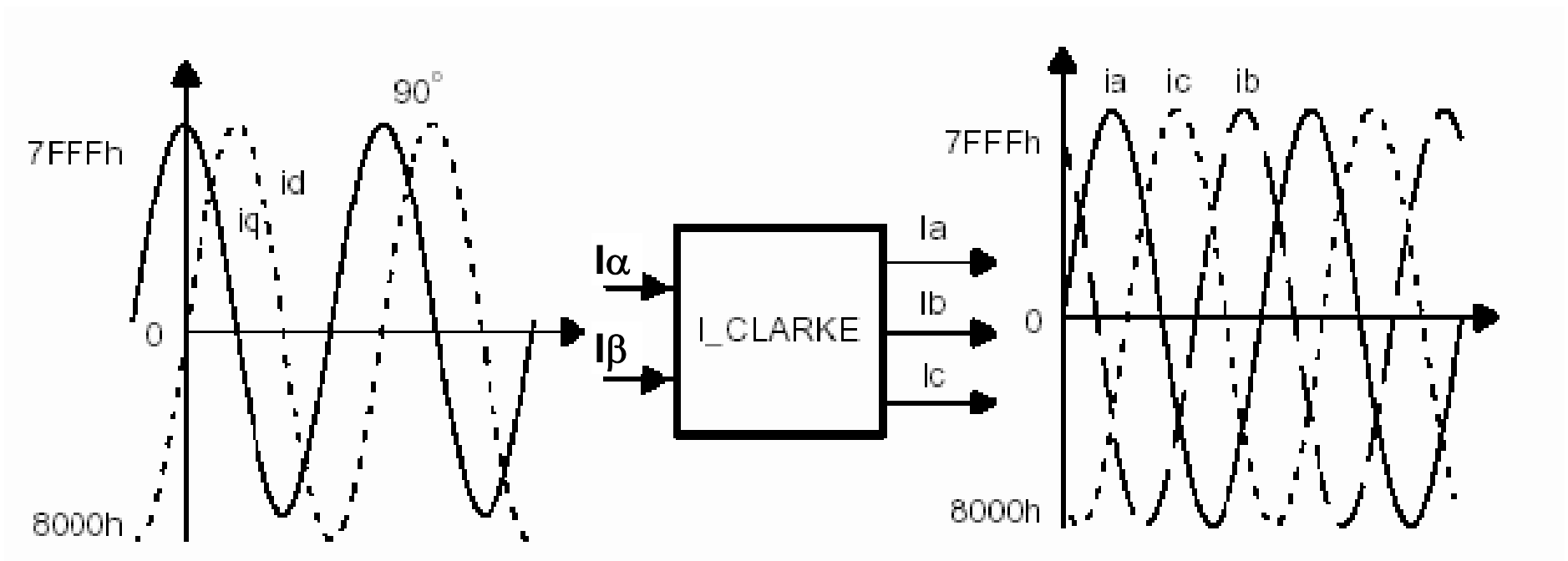
$$\begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Transformacija struja u 3f sustav

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} = [2 \rightarrow 3] \quad (16)$$

Transformacijska matrica T_{23}

SUSTAVI **VEKTORSKOG** UPRAVLJANJA S ASINKRONIM KAVEZNIM STROJEM



Sl.12. Inverzna Clarkeova transformacija – struktura implementacije na DSP-u

KRAJ