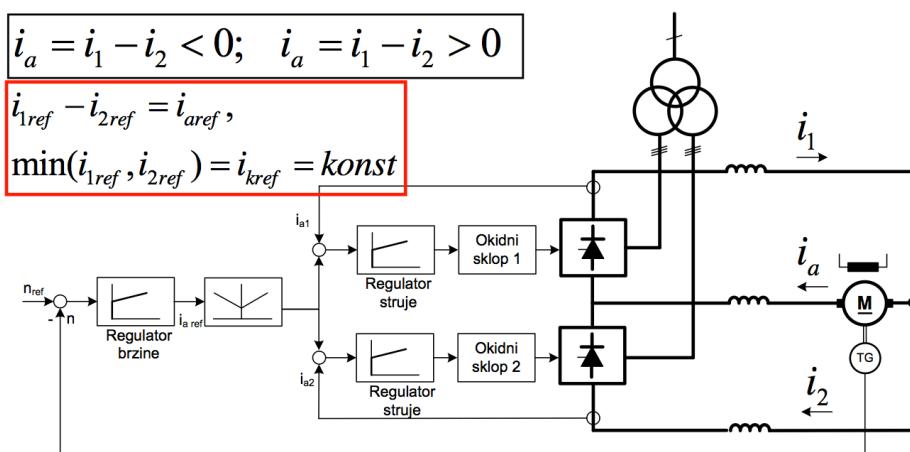


Priprema za Usmeni Ispit 2013/2014

1. CIKLUS

1. zadatak (5 bodova) (prof. Fetah)

Nacrtati strukturu sustava regulacije brzine vrtnje istosmjernog nezavisno uzbudjenog motora s dvosmjernim tiristorskim usmjerivačem s kružnom strujom u krugu armature, opisati funkciju prigušnica u armaturnom krugu motora, način upravljanja usmjerivačima, način određivanja referentnih vrijednosti struja (blok funkcijskog dijagrama). Navesti osnovnu prednost i nedostatak u odnosu na isti takav usmjerivač, ali bez kružnih struja.



Sl. 14. Sustav regulacije brzine vrtnje istosmjernog nezavisno uzbudjenog motora s dvosmjernim tiristorskim usmjerivačem s kružnom strujom u kruku armature

Ovaj sustav osim kruga regulacije brzine i kruga regulacije struje armature sadrži krugove regulacije struja tiristorskih usmjerivača. Ovisno o režimu rada stroja, jedan od usmjerivača radi u ispravljačkom, a drugi u izmjenjivačkom režimu rada. **Dvosmjerni tiristorski usmjerivač s kružnom strujom ne zahtijeva upravljačku jedinicu.** Jer oba dvokvadrantna usmjerivača rade istovremeno, što povlači za sobom dva razdvojena sekundarna namota (za trofazno napajanje). Iako je na prvi pogled za uvjet istovremenog rada oba usmjerivača dovoljna jednakost srednjih vrijednosti napona na usmjerivačima, ostaje problem **različitih trenutnih vrijednosti** napona na usmjerivaču. Zbog toga se koriste **prigušnice u armaturnom krugu** koje ograničavaju tzv. kružnu struju između dvaju usmjerivača, koja je upravo posljedica različitih trenutnih vrijednosti napona.

Kao što se vidi iz slike , **struja armature ia** može biti različitog smjera . **Manja od** struja i1 i i2 predstavlja tzv. kružnu struju, koja je posljedica različitih trenutnih vrijednosti napona koja daju usmjerivači. Ta struja "premošćuje" armaturu motora, tj. **ona se zatvara izravno preko usmjerivača.** Usmjerivači

se **upravljuju simetrično**, što znači da je kut upravljanja usmjerivača u **ispravljačkom načinu** rada α jednak kutu upravljanja usmjerivača u **izmjenjivačkom načinu** rada β , odnosno:

$$\alpha = 180 - \beta$$

Kružna struja se mora održavati na **što manjoj vrijednosti** da bi se smanjili gubici radne, a posebno jalove snage (zbog prigušnica za ograničenje kružne struje). Preporučljiva maksimalna vrijednost kružne struje iznosi **10% nazivne struje**. Prigušnice se moraju projektirati na (minimalno) nazivnu vrijednost struje armature.

Ako su ispunjeni uvjeti **jednakosti srednje vrijednosti napona usmjerivača i malog iznosa kružne struje** koja je prigušnicama dovoljno "filtrirana", preuzimanje struje armature svakog pretvarača će biti brzo i **bez skokovitog prijelaza (engl. bumpless)**.

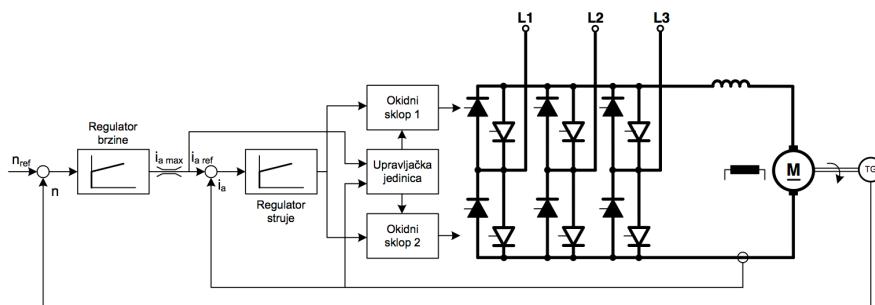
Nije dovoljno da se održavanjem uvjeta za alfa i betu osigura kontrola kružne struje, a razlog je u tome što uvijek postoji **različitost u karakteristikama upravljačkih (okidnih) sklopova** te što postoji i strujna ovisnost padova napona na sklopkama. To može rezultirati **povećanom kružnom strujom**, ali i **isprekidanom kružnom strujom** što onda utječe na dinamiku sustava (spor odziv) kod reverziranja.

Rješenje je regulacijska struktura na slici. Na osnovi i_{1ref} , koja dolazi od nadređenog regulatora, određuju se referentne struje i_{1ref} i i_{2ref} tako da vrijedi.

$$i_{1ref} - i_{2ref} = i_{aref},$$

$$\min(i_{1ref}, i_{2ref}) = i_{kref} = \text{konst}$$

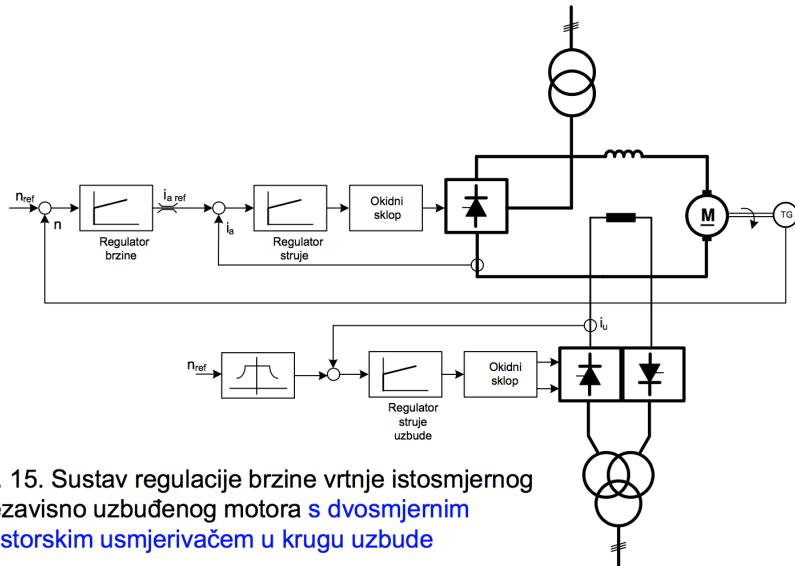
Upravo **funkcijski generator** na sljedećoj slici u grani referentne vrijednosti struje armature osigurava kontrolu kružne struje, tako da ona nikad ne može pasti na nižu vrijednost od i_{kref} određene s gornjim izrazom .



Sl.13. Sustav regulacije brzine vrtnje istosmjernog nezavisno uzbudjenog motora za četverokvadrantni rad

2q je bez bjelih tiristora i bez okidnog sklopa 2 i upravljačke jedinice

Bez kružnih struja, promjena struje toka



Smjer brzine vrtnje istosmjernog motora može se mijenjati i **promjenom smjera uzbudne struje** pomoću dvosmjernog tiristorskog usmjerivača za napajanje kruga uzbude. U krugu armature je dvokvadrantni usmjerivač dakle, polaritet napona se može promijeniti, ali smjer struje se ne može promijeniti. Regulator struje uzbude upravlja usmjerivačima u uzbudi na sličan način kao i regulator struje armature pri upravljanju usmjerivačima u armaturi. Pri tome se kod reverziranja struje uzbude mora "blokirati" usmjerivač u armaturi stroja, budući da se struja uzbude pri reverziranju mijenja od nula do nazivne struje (u jednu i drugu stranu).

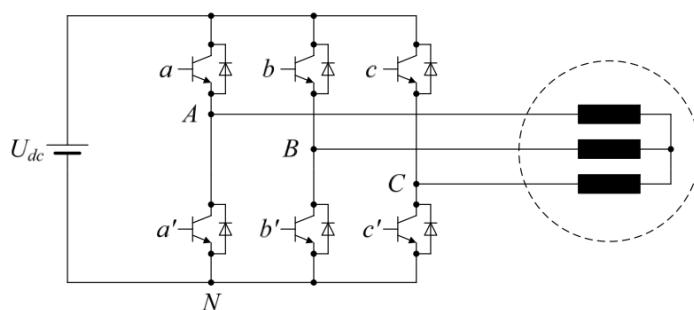
Karakteristike ovakvog sustava su da mu je **dinamika lošija od dinamike kod upravljanja u krugu armature.**

Prednosti ovakvog upravljanja je u **jeftinijem rješenju** jer se u **uzbudi upravlja vrlo malom snagom**, pa su usmjerivači malih snaga. Ovakva koncepcija upravljanja se koristi samo onda ako zahtjevi za **dinamikom u 4q pogonu nisu visoki**.

2. zadatak (5 bodova) (prof. Sumina)

Objasniti načelo rada vektorske modulacije za upravljanje izmjenjivačem s naponskim ulazom (skicirati izmjenjivač), skicirati aktivne i pasivne vektore u kompleksnoj ravnini te proizvoljno odabranu aproksimaciju referentnog vektora napona.

Cilj je oblikovanje trofaznog izlaznog napona izmjenjivača te njegovo upravljanje kako po amplitudi tako i po frekvenciji. Oblik napona na izlazu iz pretvarača određuju upravljački signalia a' , b' , c i c' . Kada je **gornji tranzistor u grani uključen** (a , b ili c je 1), **donji tranzistor u grani je isključen** (a' , b' ili c' je 0).



Sl.2. Izmjenjivač s naponskim ulazom (utisnuti napon)

Trofazni izmjenjivač ima **osam mogućih sklopnih stanja gornjih tranzistora u granama** (donji tranzistori su komplementarni gornjima): **šest aktivnih i dva nulta skloplna stanja**.

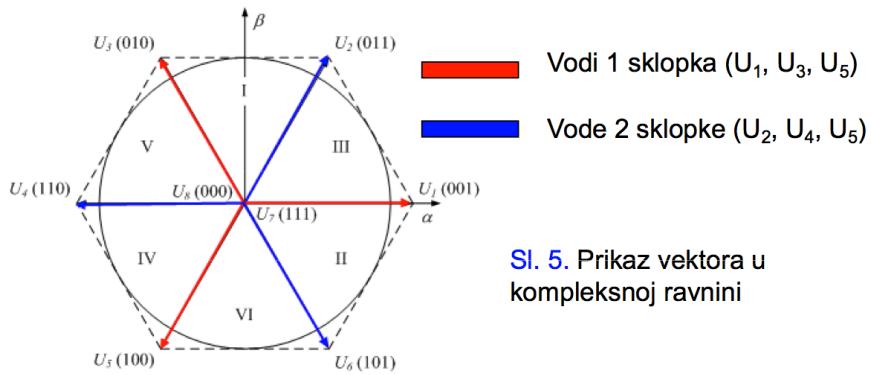
Vektorska modulacija temelji se na **prikazu faznih napona UAN, UBN i UCN pomoću rezultirajućeg vektora u dvofaznom alfa-beta sustavu**.

Transformacija vektora napona iz trofaznog a-b-c sustava u dvofazni alfa- beta ostvaruje se pomoću slijedećih izraza, Clarke transformacija

$$U_\alpha = U_a \quad U_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(U_b - U_c)$$

Svako sklopno stanje moguće je predstaviti s odgovarajućim vektorom u alfa - beta koordinatnom sustavu (**šest aktivnih vektora i dva nul -vektora**) . Šest aktivnih vektora dijele alfa - beta koordinatni sustav na **šest sektora** .

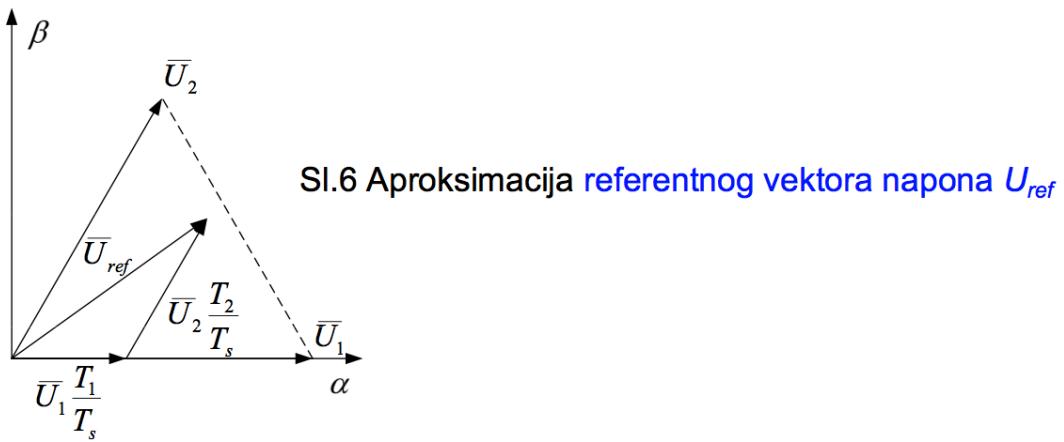
$$i_{sd} = i_{s\alpha} * \cos \rho + i_{s\beta} * \sin \rho \quad i_{sq} = -i_{s\alpha} * \sin \rho + i_{s\beta} * \cos \rho$$



Sl. 5. Prikaz vektora u kompleksnoj ravnini

Vrhovi aktivnih vektora tvore pravilni šesterokut sa stranicama duljine $2U_{dc}/3$, dok su nul-vektori smješteni u ishodištu tog šesterokuta.

Zadatak vektorske modulacije je da **aproksimira referentni vektor napona U_{ref}** odgovarajućom kombinacijom dva susjedna aktivna vektora i nul- vektora.



Za svaki kratki period T_s **srednja vrijednost na izlazu** iz izmjenjivača treba biti jednaka **srednjoj vrijednosti referentnog vektora napona U_{ref}** .

T_1 i T_2 predstavljaju **vrijeme trajanja aktivnog vektora U_1 i U_2** , pri čemu mora biti zadovoljen uvjet $T_1 + T_2 \leq T_s$

$$U_{ref} = U_1 \frac{T_1}{T_s} + U_2 \frac{T_2}{T_s}$$

$$U_\alpha = \frac{2}{3} U_{dc} \frac{T_1}{T_s} + \frac{1}{3} U_{dc} \frac{T_2}{T_s} \quad (10)$$

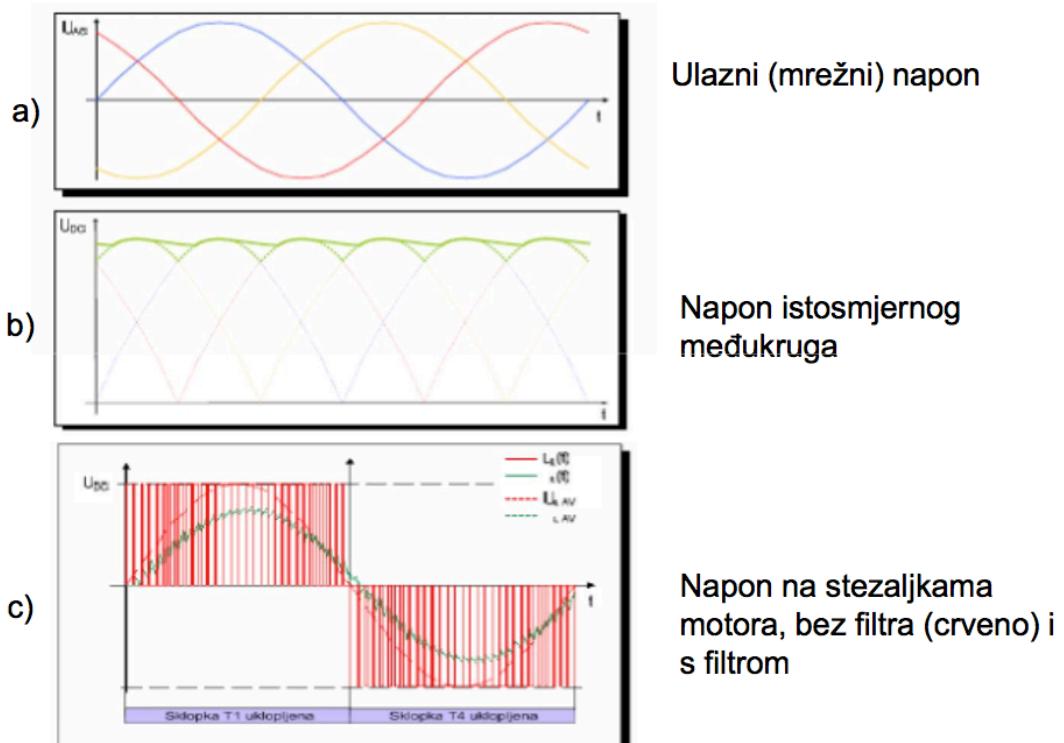
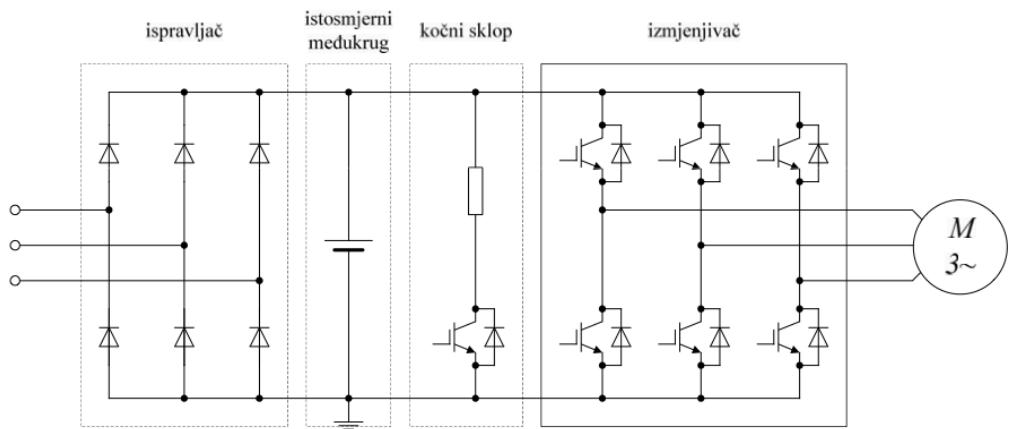
$$U_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{dc} \frac{T_2}{T_s} \quad (11)$$

$$T_1 = T_s \frac{\sqrt{3}}{U_{dc}} \frac{1}{2} (\sqrt{3} U_\alpha - U_\beta) \quad (12)$$

$$T_2 = T_s \frac{\sqrt{3}}{U_{dc}} U_\beta \quad (13)$$

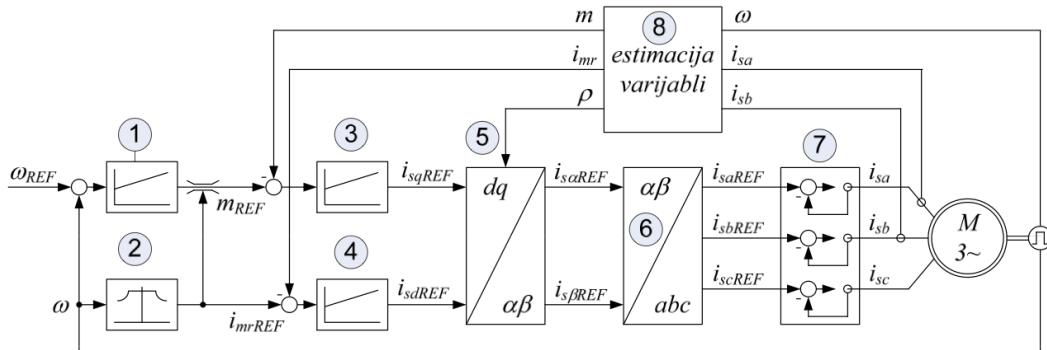
3. zadatak (5 bodova) (prof. Sumina)

Nacrtati električnu shemu neizravnog AC/AC pretvarača s utisnutim naponom i označiti sastavne dijelove. Nacrtati trofazni ulazni napon, napon istosmjernog međukruga, napon na stezaljkama motora i struju motora te označiti karakteristične vrijednosti.



4. Asinkroni motor napajan iz pretvarača frekvencije sa strujnim međukrugom (s utisnutom strujom) (prof. Fetah)

Svi vektori se nalaze u koordinatnom sustavu toka rotora .



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

Radi se o sustavu **kombinirane vektorske regulacije** – regulacija u području **konstantnog momenta i konstantne snage** (slično kao i kod istosmjernog stroja).

Glavna regulacijska grana je regulacija brzine vrtnje (**blok1**) ,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 do nazivne**, preko **bloka 2** se **smanji referentna vrijednost struje magnetiziranja rotora imrREF** .

Istovremeno se preko **bloka2** smanjuje **referentna vrijednost momenta stroja mREF**, da bi se osiguralo da snaga stroja ($m^*w=p$) ne pređe nazivnu snagu (područje konstantne snage).

Regulator struje magnetiziranja rotora (**blok4**) preko d komponente struje statora osigurava **željeni tok rotora**.

Blokovi 5 i 6 izvršavaju **inverznu Parkovu i Clarkeovu transformaciju**; informaciju o potrebnom kutu **ro** za Parkovu transformaciju se dobije iz estimacijskog **bloka 8**.

Estimacijski blok određuje sljedeće fizikalne veličine : **elektromagnetski moment me, struju magnetiziranja imr,(komponentu toka) i q komponentu statorske struje isg** (komponentu momenta).

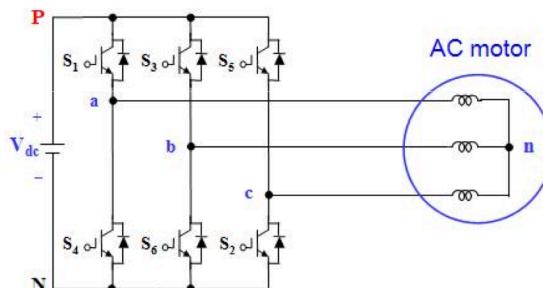
Blok 6 zajedno s **blokom 7** određeni su **izborom izmjenjivača** i pripadne **modulacijske metode**. Npr, za ovaj slučaj bi prikladna metoda mogla biti modulacija **izvedena regulacijom statorske struje (histerezni regulator struje)**.

Metoda 6 koraka

Kočenje elektromotornog pogona provodi se pomoću **upravlјivog otpornika** (upravljanog tranzistorom) uključenog u istosmjerni međukrug. Energija kočenja motora **ne vraća se u mrežu**, nego se **disipira na otporniku**. Za kočenje s **vraćanjem energije u mrežu potrebno je na mrežnoj strani antiparalelno dograditi tiristorski usmjerivač**. Upravljanje izmjenjivačem se postiže na više načina. Sve metode se svode na **sklapanje poluvodičkih sklopki** s ciljem da se na izlazu izmjenjivača dobije izmjenični trofazni napon. **Najjednostavnija metoda** formiranja trofaznog simetričnog napona je **metoda šest koraka** (eng. Six-Step Method), kojom se na izlazu pretvarača (izmjenjivača) dobije **pravokutni napon frekvencije** određene taktom upravljanja poluvodičkih sklopki , sl.14.

Karakteristike :

- Jednostavno upravljanje
- Mali gubici sklapanja
- Loš harmonički sadržaj u izlaznom naponu – **značajan utjecaj harmonika nižeg reda**, velika distorzija valnog oblika struje
- Prednost je na strani PWM modulacije sklopki izmjenjivača

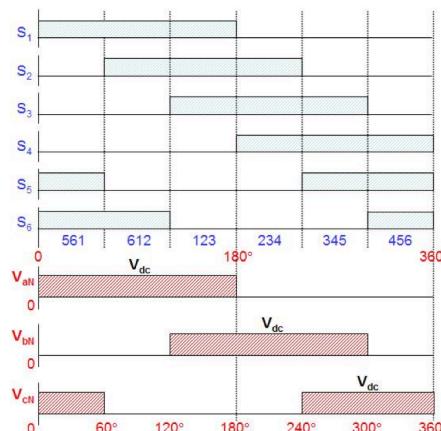


Sl.14. Priključak izmjenjivača na statorski namot

Da bi se dobio trofazni simetričan oblik napona na izlazu izmjenjivača, potrebno je upravljati sklopkama izmjenjivača [na sl.14.](#) prema prikazanoj slici

U svakom trenutku **uključene su tri poluvodičke sklopke**

Unutar jednog od 6 sektora, samo jedna sklopka mijenja svoje stanje, prema slici

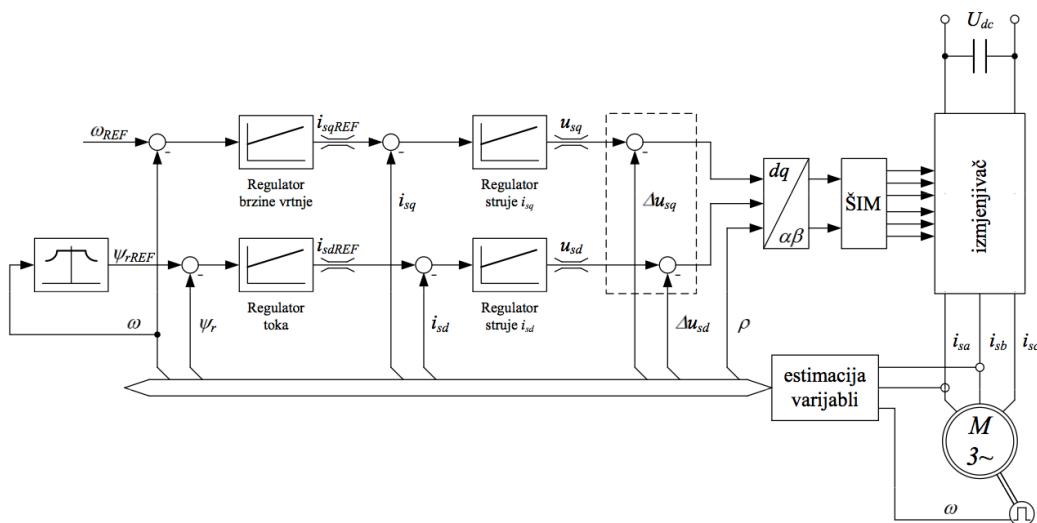


5. Asinkroni stroj napajan iz pretvarača frekvencije s naponskim međukrugom (utisnutim naponom) (prof. Fetah)

Ako se asinkroni stroj napaja iz pretvarača frekvencije s **utisnutim naponom**, tokom i momentom se upravlja preko komponenata **napon statora**.

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

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



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

Na sl.6. prikazana je jedna od struktura vektorskog upravljanjas 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).

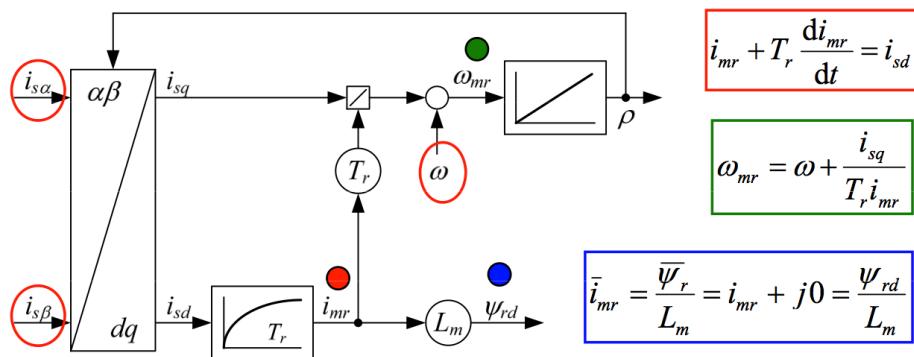
Referentne vrijednosti statorske struje (**i_{sq}REF** i **i_{sd}REF**) izlazi regulatora **brzine i toka** upravljuju s **d i g komponentama** napona, koji nakon transformacije u **alfa-beta KS** određuju **sklopna stanja sklopki izmjenjivača**.

Raspregnutost upravljanja tokom i momentom se osigurava **korekcijskim signalima deltausd i deltausq**.

6. Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka (prof. Sumina)

Određuje se iznos **kuta vektora toka rotora (ro)**, tj. vektora struje **magnetiziranja imr**. 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 imr) moguće je rekonstruirati pomoću modela. **Vrijednosti rekonstruiranog toka rotora i kuta vektora toka rotora (psird i ro) su prikazani kao izlazi iz estimatora.**

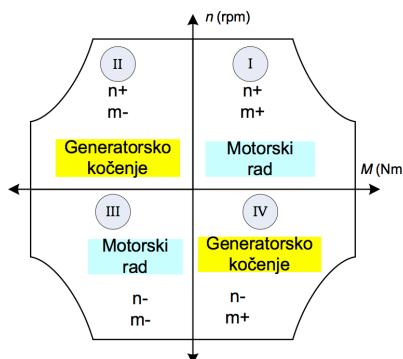
Estimacija toka rotora uz pomoć modela toka

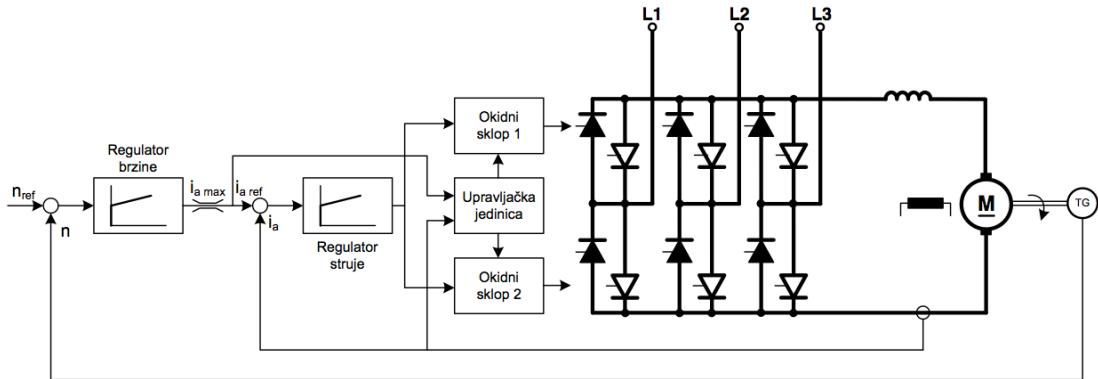


Sl.7. Strukturna blok shema modela rekonstrukcije toka rotora

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 mjerjenja ulaznih veličina modela. Upraktičnoj realizaciji pogona **nužno je u stvarnom vremenu prepoznati promjenu pojedinog parametra te je potom kompenzirati**.

7. Četverokvadrantno upravljanje DC motorom (kružne struje i prigušnice) (prof. Fetah)





Sl.13. Sustav regulacije brzine vrtnje istosmjernog nezavisno uzbudjenog motora za četverokvadrantni rad

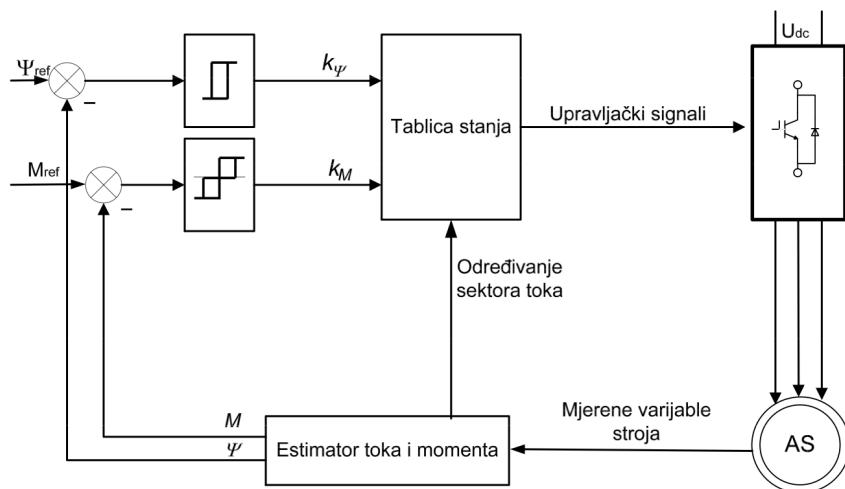
Ovaj sustav ima **dva antiparalelno spojena tiristorska mosta**, što omogućava **promjenu smjera struje i promjenu polariteta napona**. Sustav zahtijeva upravljačku jedinicu za svaki most. Postoji logika za upravljanje mostova, koja osigurava vremensku pauzu kod izmjene mostova!

Da bi se izbjegao **kratki spoj** na priključnoj (mrežnoj) strani, mora se osigurati da **SAMO JEDAN usmjerivač mora biti aktiviran u svakom trenutku**.

Prednost ove izvedbe usmjerivača je što samo **jedan tiristor u paru stvara gubitke, što znači da se kompletan tiristorski PAR može staviti na jedan hladnjak**.

8. Izravno upravljanje momentom i tokom ili DTC (Engl. Direct Torque Control)(prof. Fetah)

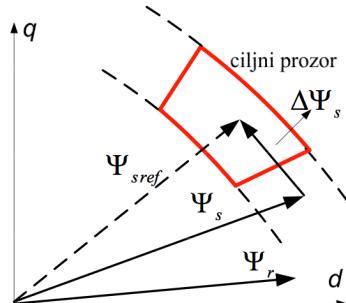
Razvoja pogona bez mjernog člana brzine vrtnje ili pozicije.



Slika 2. Shema Izravnog upravljanja tokom i momentom – DTC

Tehnikom **izravnog upravljanja momentom (DTC)** moguće je izravno upravljati **statorskim tokom i momentom** izborom **odgovarajućih stanja naponskog izmjenjivača**.

Izborom kombinacije sklopki izmjenjivača, tj. postavljanjem odabranog naponskog vektora na namot stroja, pozicionira se vektor statorskog toka u ciljni prozor, koji je definiran širinom histereznog regulatora toka.



Slika 3. Osnovno načelo izravnog upravljanja momentom (DTC)

Pojavljuje se kao **alternativa vektorskom načinu upravljanja**. Izravno upravljanje momentom i tokom nudi dobre karakteristike upravljanja uz **jednostavnu strukturu upravljanja**.

Tehnikom izravnog upravljanja momentom moguće je izravno **upravljati statorskim tokom i momentom** izborom odgovarajućih **stanja naponskog izmjenjivača**.

Osnovne prednosti DTC-a su:

- **Raspregnuto upravljanje** momentom i tokom (okomiti vektori, nisu vezani).
- Iznimno **brza dinamika** momenta stroja s minimalnim vremenom odziva
- **Inherentno (svojstveno) upravljanje bez mehaničkog mjernog člana** brzine vrtnje stroja budući da za upravljanje momentom **nije potrebna nadređena petlja** brzine vrtnje, pa samim tim **niti mehanički mjerni član brzine vrtnje**
- **Nije potrebna transformacija koordinata** kao kod vektorskog upravljanja, što znači **brzo vrijeme izvođenja** potrebnih matematičkih operacija (**manja složenost algoritma upravljanja**)
- **Nije potreban modulator napona** kao ni **regulatori struja** (koji se inače koriste u vektorskem upravljanju)
- Za **puštanje u pogon** (engl. commissioning), elektromotorni pogoni s DTC-om zahtijevaju također jedino **vrijednost statorskog otpora**. To značajno pojednostavljuje i sam postupak puštanja u pogon (vrijeme je novac !!).
- Za estimaciju toka i momenta **jedini potreban parametar je iznos otpora statorskog namota** (robustnost s obzirom na promjenu parametara rotorskog kruga).

Nedostaci DTC-a su:

- Mogući **problemi prilikom starta**, pri **malim brzinama vrtnje** i kod promjena referentne vrijednosti momenta.
- Potreba za **estimacijom toka i momenta** stroja što implicira **identifikaciju parametara stroja** (kao i za vektorsko upravljanje, gdje se **estimirani tok i moment koriste kao mjerene veličine regulacijskih krugova toka i momenta**).

- **Promjenljiva frekvencija sklapanja** kao posljedica histereznih regulatora momenta i toka .
- **Buka kao rezultat promjenljive frekvencije sklapanja** sklopki izmjenjivača (može biti posebno izražena kod malih brzina vrtnje)
- Oscilatori valni oblik i toka i momenta
- **Propadi u valnim oblicima toka i struje** kao rezultat promjene sektora položaja toka
- **Veća harmonička distorzija** u valnim oblicima statorske struje i napona u usporedbi s vektorskim upravljanjem.

Tehnike za prevazilaženje nedostataka DTC-a:

- DTC s vektorskim upravljanjem
- **Uvođenje modulacije između** aktivnih vektora odabranih iz tablice vektora (engl. look-up table) i nultih vektora
- Korištenje tehnika **umjetne inteligencije** (neuronske mreže,ne izrazita logika) u kombinaciji s vektorskim upravljanjem

Ove metode rezultiraju izvjesnim poboljšanjima kao što je **reduciranje oscilacija u valnom obliku momenta** (približavanje fiksnoj frekvenciji sklapanja sklopki izmjenjivača), međutim **složenost upravljačkog algoritma značajno raste**.

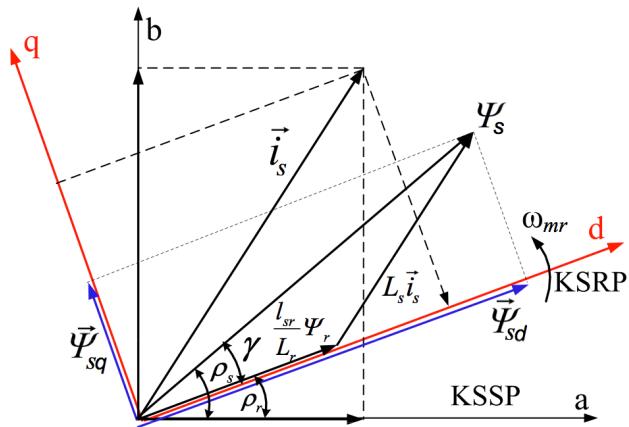
Osnovno načelo izravnog upravljanja momentom

U objašnjenu tehnike izravnog upravljanja momentom i tokom, polazi se od jednadžbe razvijenog **elektromagnetskog momenta M_e** . Pri tome su **L_s i L_r samo induktiviteti statora i rotora** (ukupni induktiviteti statora i rotora) , a **I_{sr} je reprezentant međuinduktivne veze** između statorskih i rotorskih namota.

Iznos (modul) momenta je:

$$M_e = \frac{3}{2} p \frac{l_{sr}}{\sigma L_s L_r} \psi_s \psi_r \sin(\rho_s - \rho_r) = \frac{3}{2} p \frac{l_{sr}}{\sigma L_s L_r} \psi_s \psi_r \sin \gamma$$

, gdje je **ρ_s** kut koji vektor toka statora zatvara s realnom ($a=\alpha$) osi statorskog koordinatnog sustava, a kut **ρ_r** kut koji vektor toka rotora zatvara s realnom osi statorskog koordinatnog sustava. Kut **γ** predstavlja kut između **vektora toka statora Ψ_s i vektora toka rotora Ψ_r** .



Slika 4. Položaj vektora toka statora, vektora toka rotora i struje statora u Koordinatnom Sustavu Statorskog Polja(KSSP) i Koordinatnom Sustavu Rotorskog Polja (KSRP, d-q sustav koji rotira sinkronom brzinom)

Moment stroja se može mijenjati **promjenom relativnog kuta** između vektora statorskog i rotorskog toka. **Promjena statorskog toka je izravno proporcionalna narinutom statorskom naponu.** Kut između vektora toka statora i toka rotora određuje iznos elektromagnetskog momenta stroja.

U odnosu na vektorsko upravljanje gdje se tokom i elektromagnetskim momentom upravlja preko d i q komponente struje statora, pri izravnom upravljanju momentom izravno se upravlja **momentom i tokom statora**.

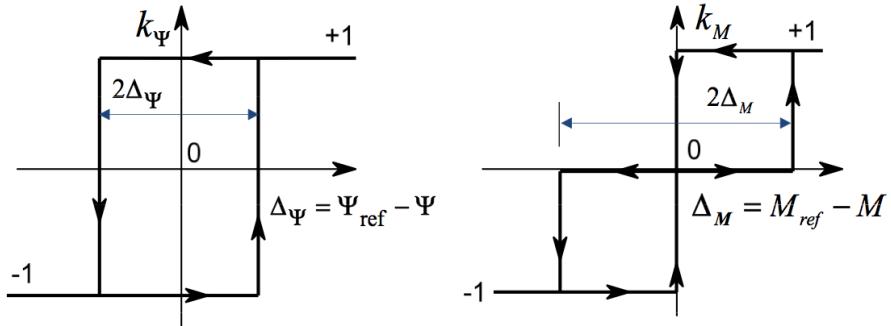
$$\psi_s \sin \gamma = \psi_{sq}$$

Q komponenta vektora toka statora određuje iznos elektromagnetskog momenta (pri konstantnom iznosu toka rotora), dok je **d komponenta kolinearna s vektorom toka rotora** te određuje iznos magnetskog toka.

Kod standardnih kaveznih asinkronih **strojeva vremenska konstanta rotora veća od statorske**, rotorski tok se mijenja sporije od statorskog toka.

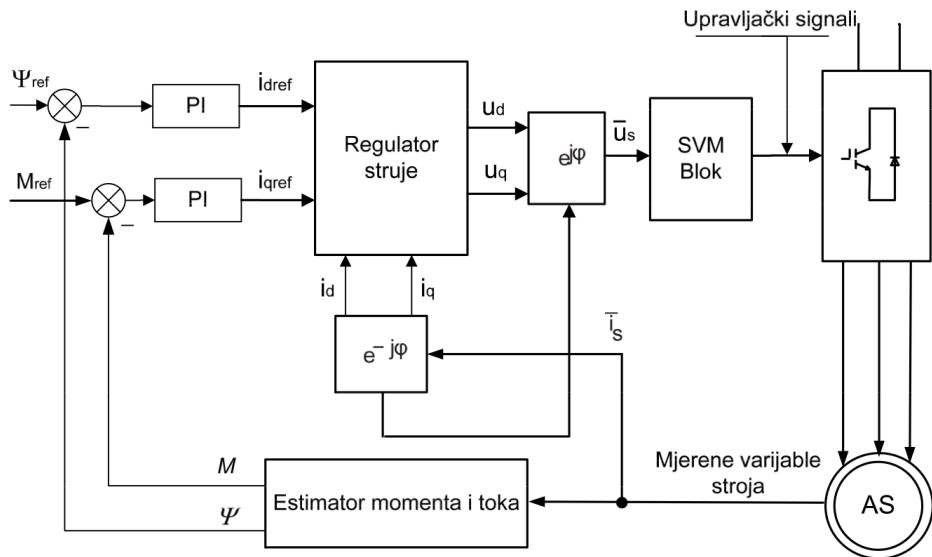
Tijekom kratke prijelazne pojave **tok rotora je gotovo nepromijenjen**, pa se brza promjena elektromagnetskog momenta ostvaruje zakretanjem vektora toka statora (brzom promjenom položaja vektora statorskog toka kao posljedica promjene statorskog napona na motoru).

Tokom statora upravlja **dvorazinski histerezni regulator**, dok **elektromagnetskim momentom upravlja trorazinski histerezni regulator**, slika 2.



Slika 6. Histerezni regulatori toka i momenta (korišteni u shemi na [slici 2](#)).

Usporedba vektorskog i DTC-a



Slika 1. Shema [klasičnog vektorskog upravljanja](#) (NEizravno upravljanje tokom i momentom)

Referentna vrijednost toka statora uspoređuje se sa **trenutnom vrijednosti** toka statora, te se dobivena razlika dovodi na ulaz **dvorazinskog histerezognog regulatora toka**.

Na isti način se i referentna vrijednost **elektromagnetskog momenta** uspoređuje sa **stvarnom vrijednosti elektromagnetskog momenta** te se pogreška dovodi na **ulaz trorazinskog histerezognog regulatora momenta**.

Vrijednosti toka statora i elektromagnetskog momenta dobivaju se **estimacijom**. Izlazi iz regulatora toka i momenta, zajedno s **podatkom o sektoru u kojem se vektor toka statora nalazi**, koriste se za odabir optimalnog sklopnog stanja (prema tablici za odabir optimalnog vektora napona statora). Odabir **širine histereze** unutar kojega se žele držati vrijednosti toka statora i elektromagnetskog momenta ima značajan utjecaj. **Pre uska histereza može rezultirati nestabilnošću**, npr. vektor toka statora može izlaziti iz zadanog područja.

Širina histereze regulatora toka statora **uglavnom utječe na izobličenje struje** statora (harmonike niske frekvencije), dok širina histereze regulatora elektromagnetskog momenta **utječe na frekvenciju sklapanja i sklopne gubitke.**