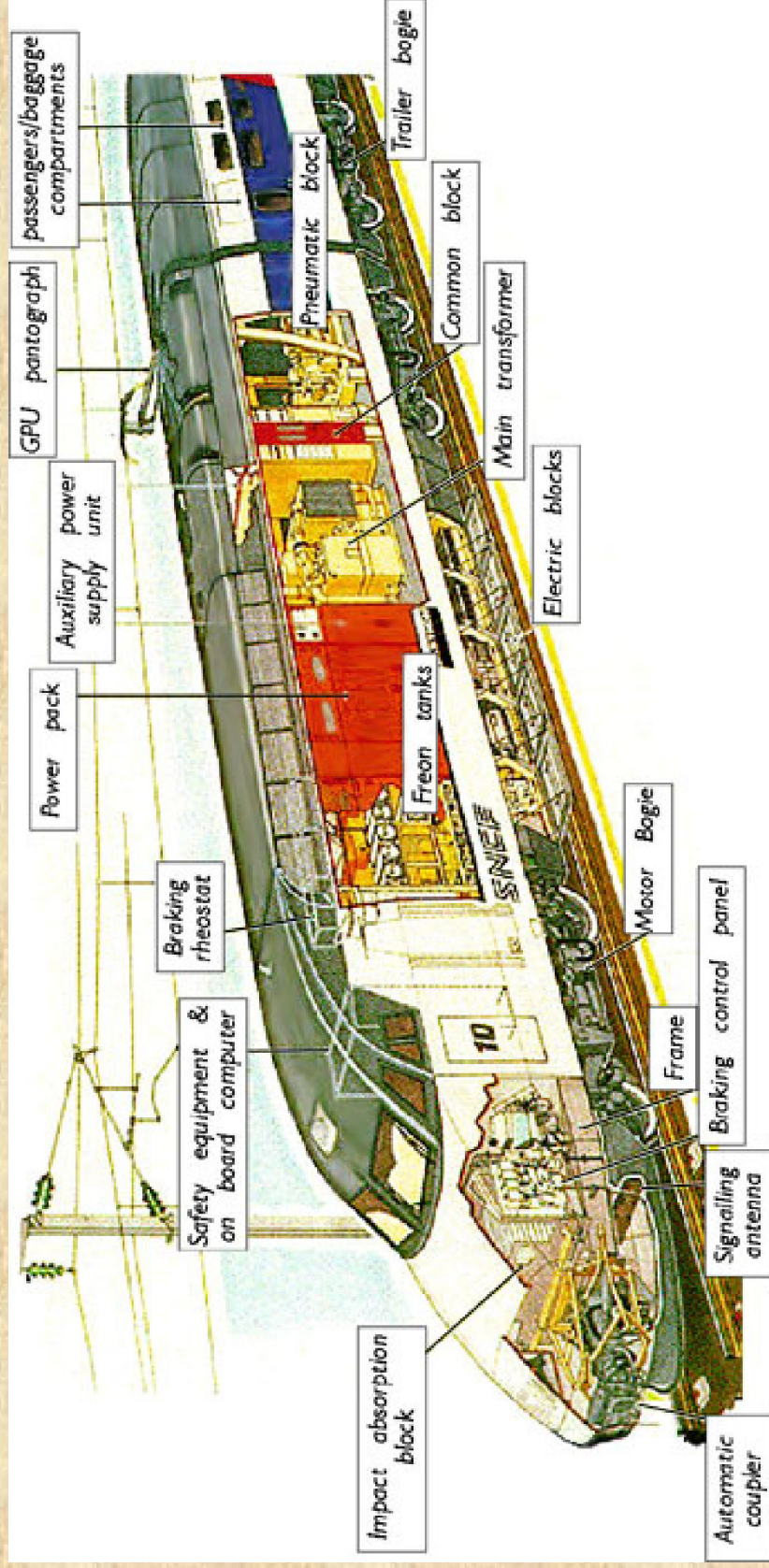


Sadržaj

- Uvod
- Istorijski pregled razvoja elektrovučnih sistema
- Istorijski pregled razvoja vučnih pretvarača
- Istorijat primene AM u električnoj vuči
- Asinhroni motor – konstrukcione i statičke karakteristike – pregled
- Frekventijski regulator - hardver
- Tehnike dobijanja PWM impulsa
- Upravljanje (regulacija) brzine AM pomoću frekventijskog regulatora
- Kočenje vučnog vozila sa AM

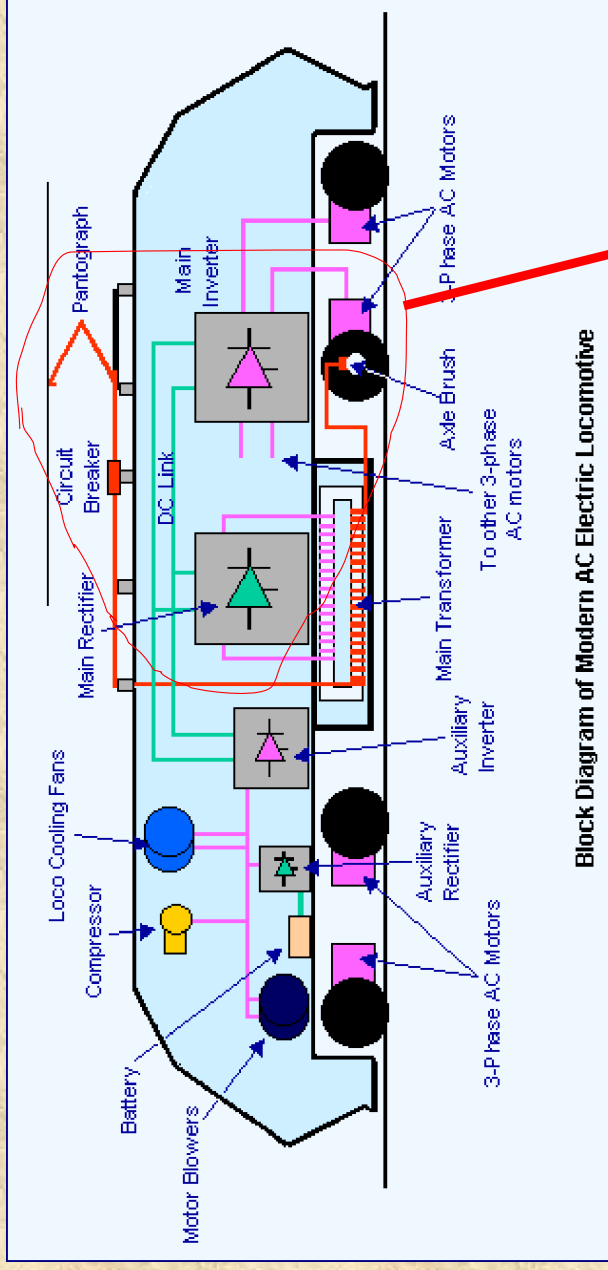
Uvod

Izgleđ i osnovni elementi električnog voza



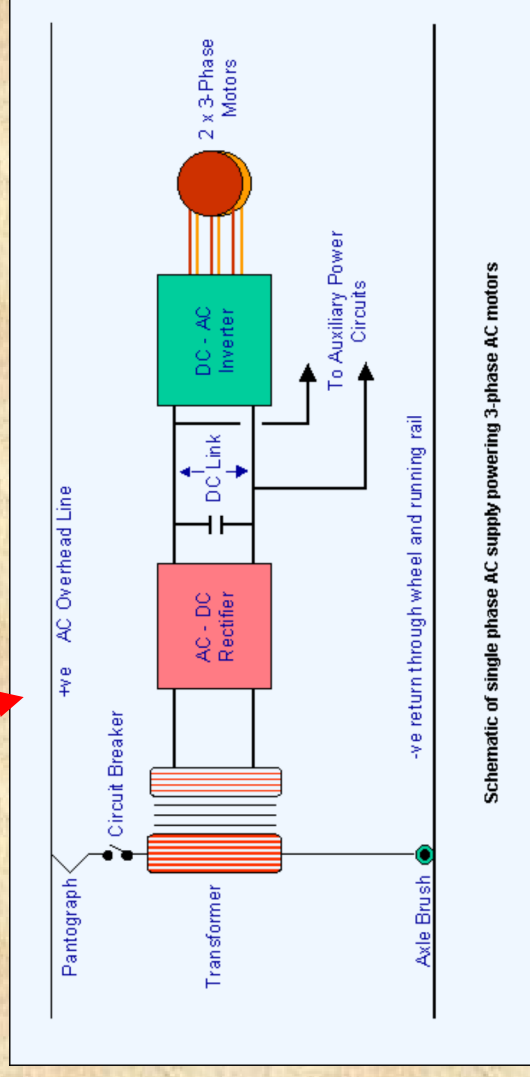
Uvod

Blok dijagram
moderne AC
lokomotive



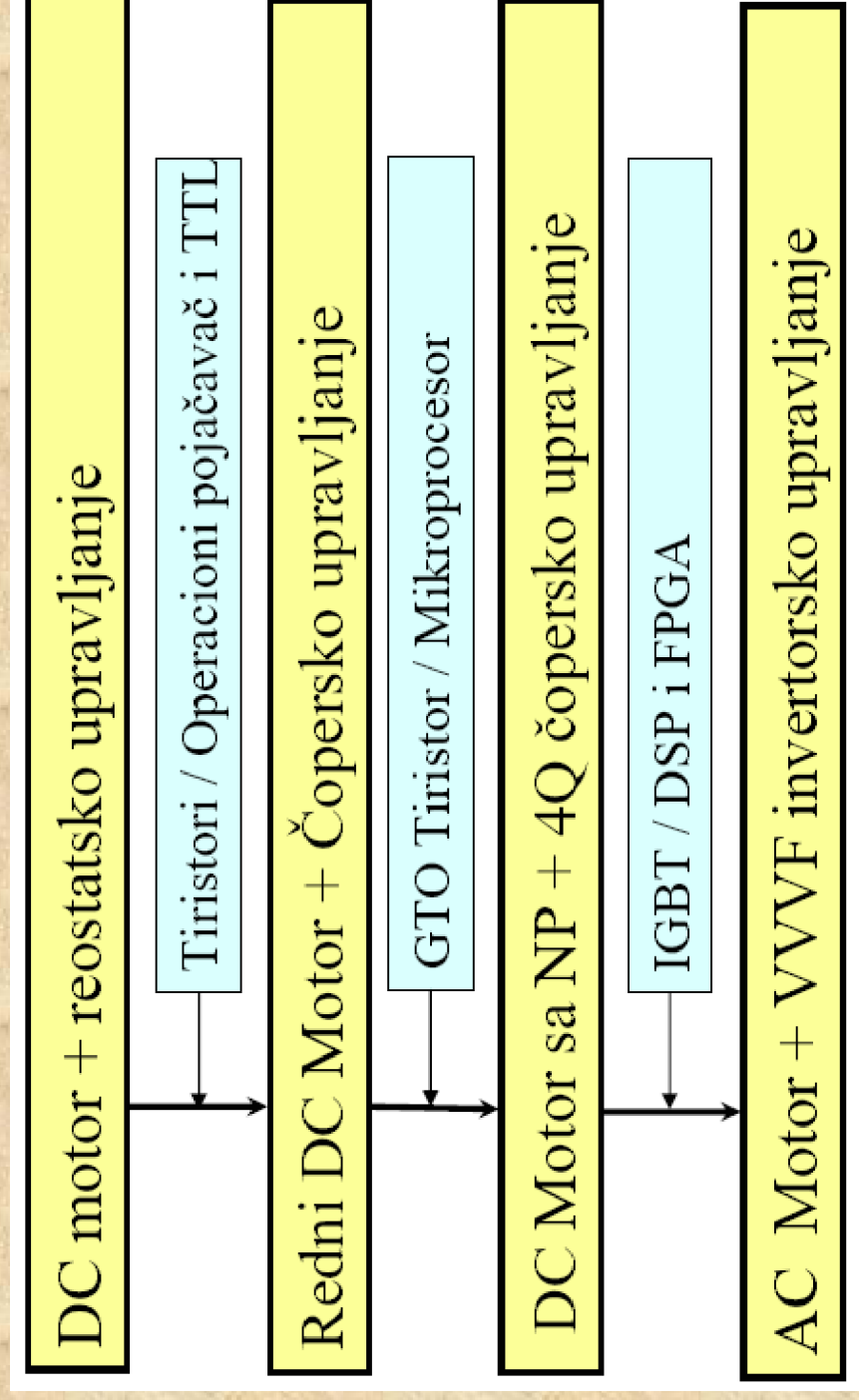
Block Diagram of Modern AC Electric Locomotive

Deo koji nas interesuje:
vučni sistem sa trofaznim
asinhronim motorom

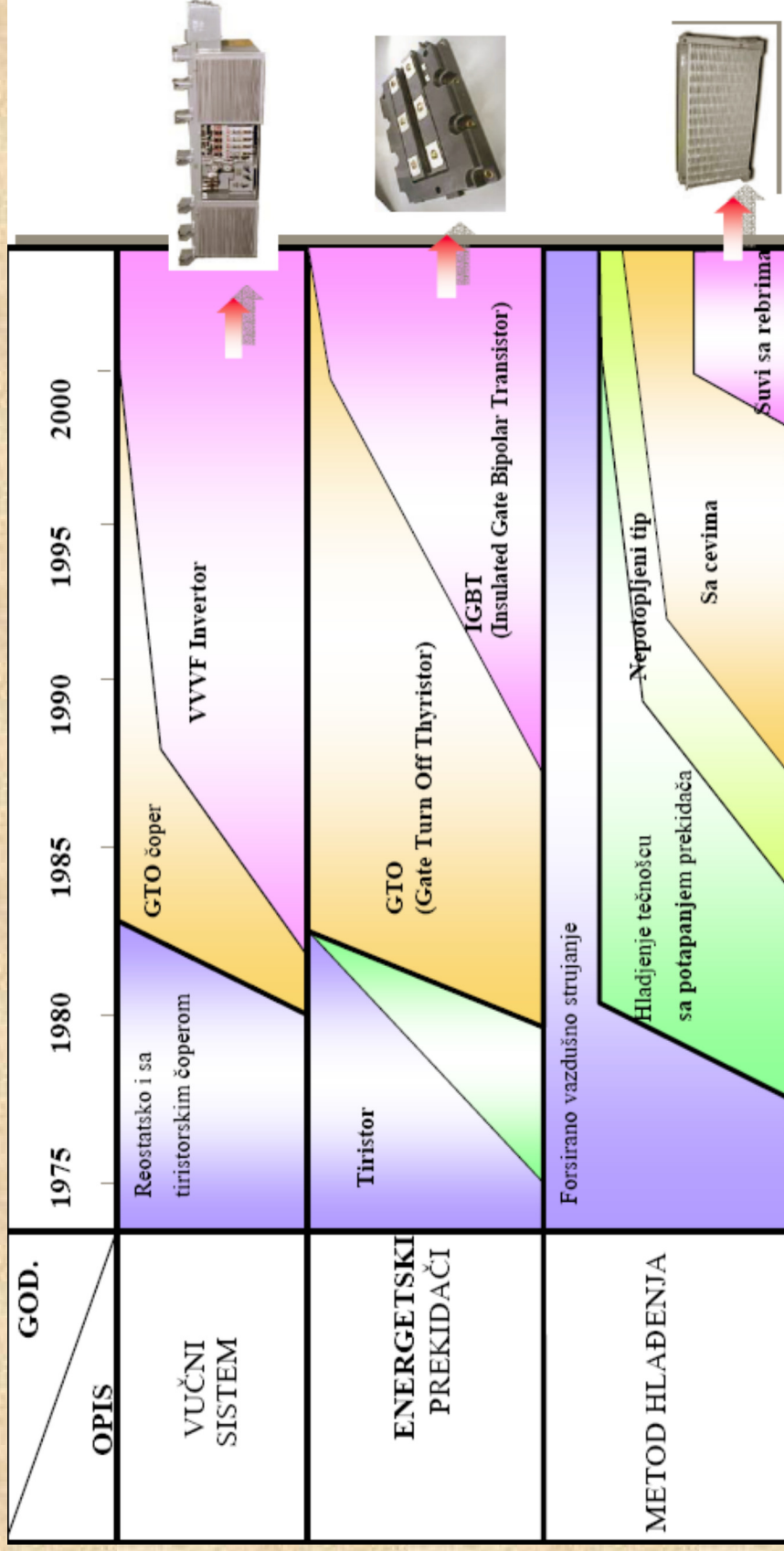


Schematic of single phase AC supply powering 3-phase AC motors

Istorijski pregled razvoja elektrovučnih sistema



Istorijski pregled razvoja vučnih pretvarača



Istorijat primene AM u električnoj vuči

- Prvi pokušaji 1902. godine – Valtellina (Italija) - $U_{\text{nom}}=3\text{kV}$
- Marienfeld-Zossen (Nemačka) - $I=23\text{ km}$, $U_{\text{nom}}=10\text{kV}$, $v_{\text{max}}=210\text{km/h}$. Problemi: regulacija brzine, faktor snage, problemi sa kontinuitetom i stabilnošću napajanja.
- Dugotrajna pauza (1930-1985)
- Francuska 1985. – lokomotiva B' B' 10.003 ($P_{\text{nom}}=5\text{MW}$, tiristorska regulacija)
- Prevagu odnosi lokomotiva B' B' 10.004 sa SM (lakši, veća spec. snaga, manja masa, lakše kočenje)
- 120 jedinica tipa BD 120 B₀' B₀' (Nemačka - 1987) - $P_{\text{nom}}=5,4\text{MW}$, $v_{\text{max}}=200\text{ km/h}$, namena ICE
- Višesistemski (25 kV AC, 25 kVAC spec., 3000 VDC, 750 V DC) elektromotorni voz TGV-Eutorstar (12 trofaznih AM, $P_{\text{nom}}=12,24\text{ MW}$). Linije: Pariz-Brisel, Pariz-London-Glazgov. Sastav: M-9P-9P-M, Osovinski pritisak: 17t, masa 717,5t, Broj mesta: 794.
- specifična težina savremenih vučnih AM: 1,7 kg/kw

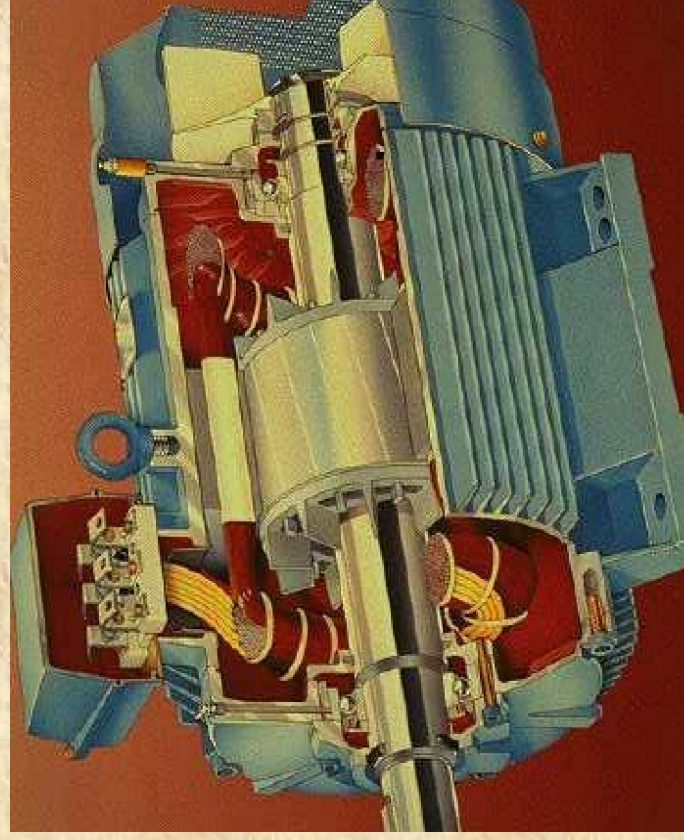
Asinhroni motor – konstrukcione -prednosti-

- Niska cena (u poređenju sa jednosmernim motorom)
- Jednostavno održavanje - nema četkica i komutatora
- Robusan i u teškim uslovima rada - eksplozivna atmosfera
- Mali moment inercije rotora
- Pogodan za servo aplikacije
- Rasprostranjena upotreba
- Primena u širokom opsegu brzina

Asinhroni motor – konstrukcione -mane-

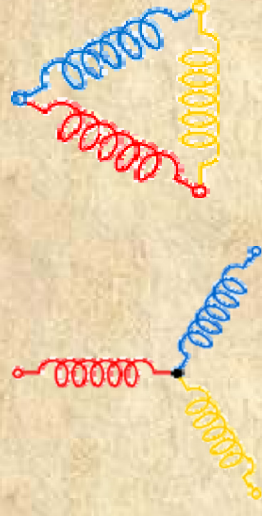
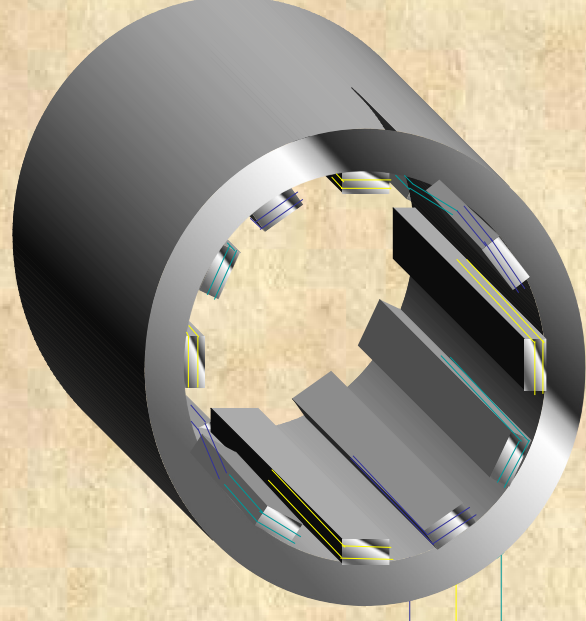
- Složena promene brzine rotora
- Nelinearna zavisnost momenta od brzine -
mehanička karakteristika motora
- Kontrola momenta i fluksa nije razdvojena
prirodom samog asinhronog motora

Asinhroni motor – konstrukcione -konstrukcija-

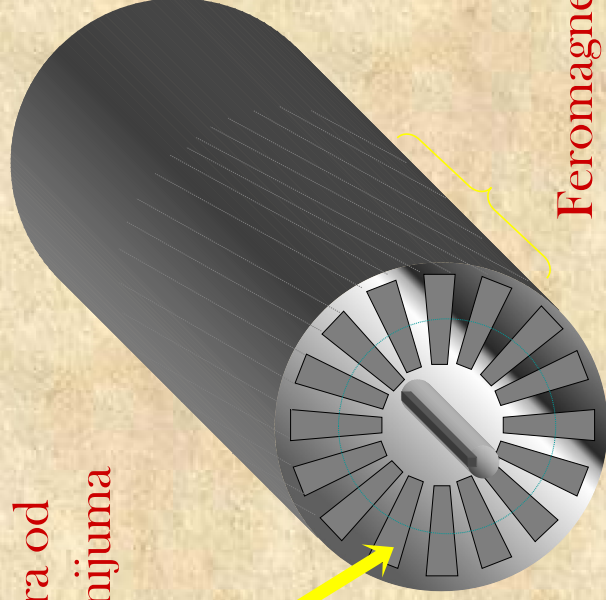


Asinhroni motor – konstrukcione

-stator i rotor-



Namotaj rotora od
livenog aluminijuma

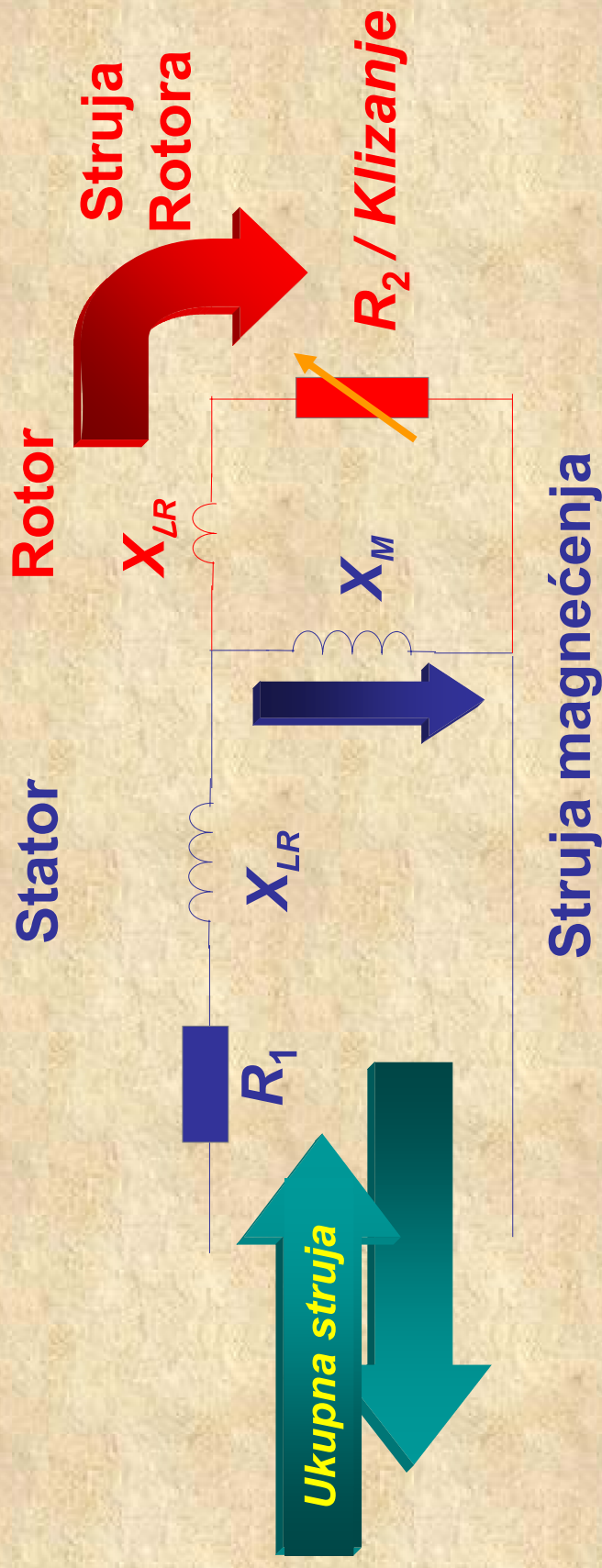


Feromagnetno jezgro
od paketa limova

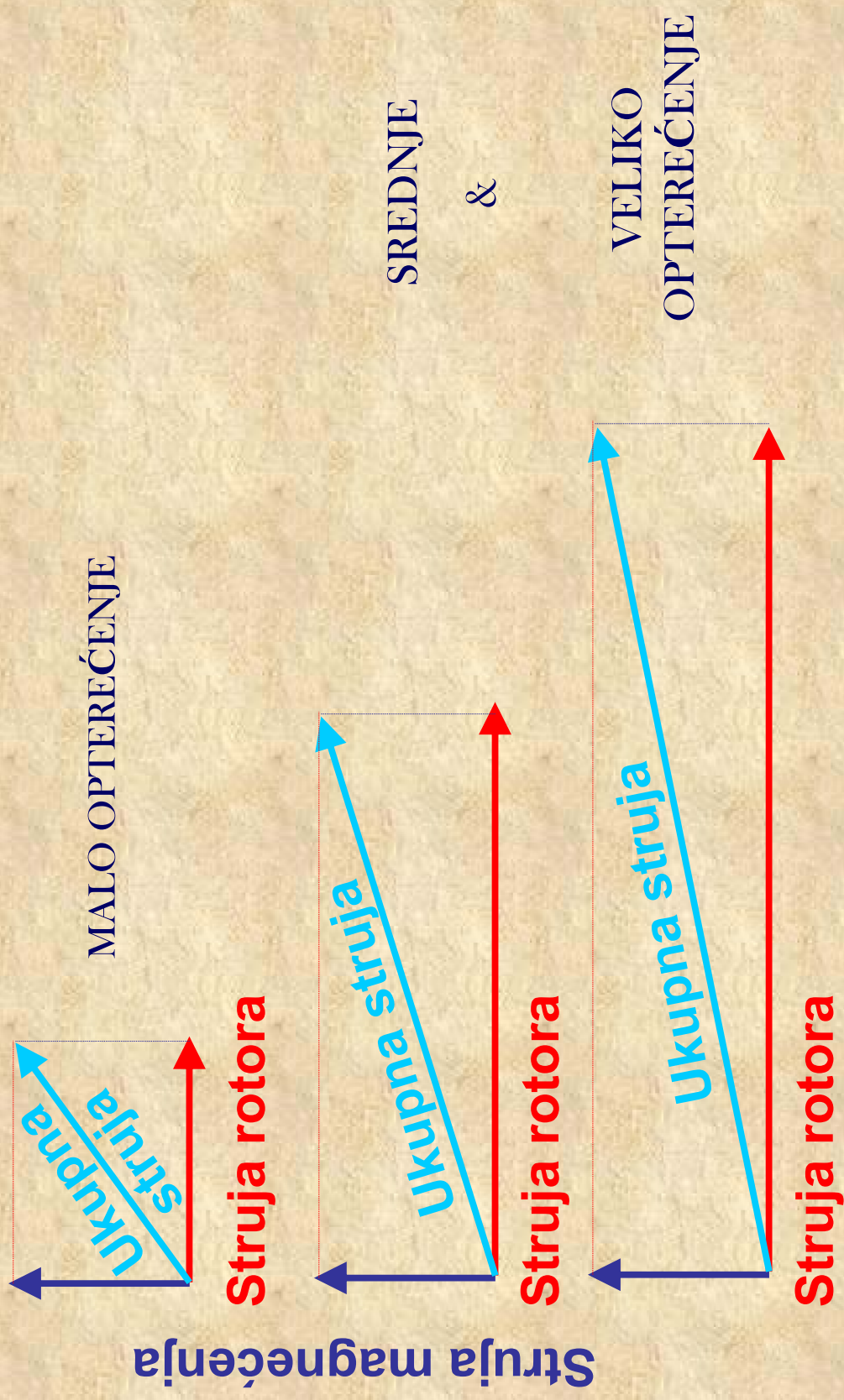
Asinhroni motor – konstrukcione

-zamenska šema-

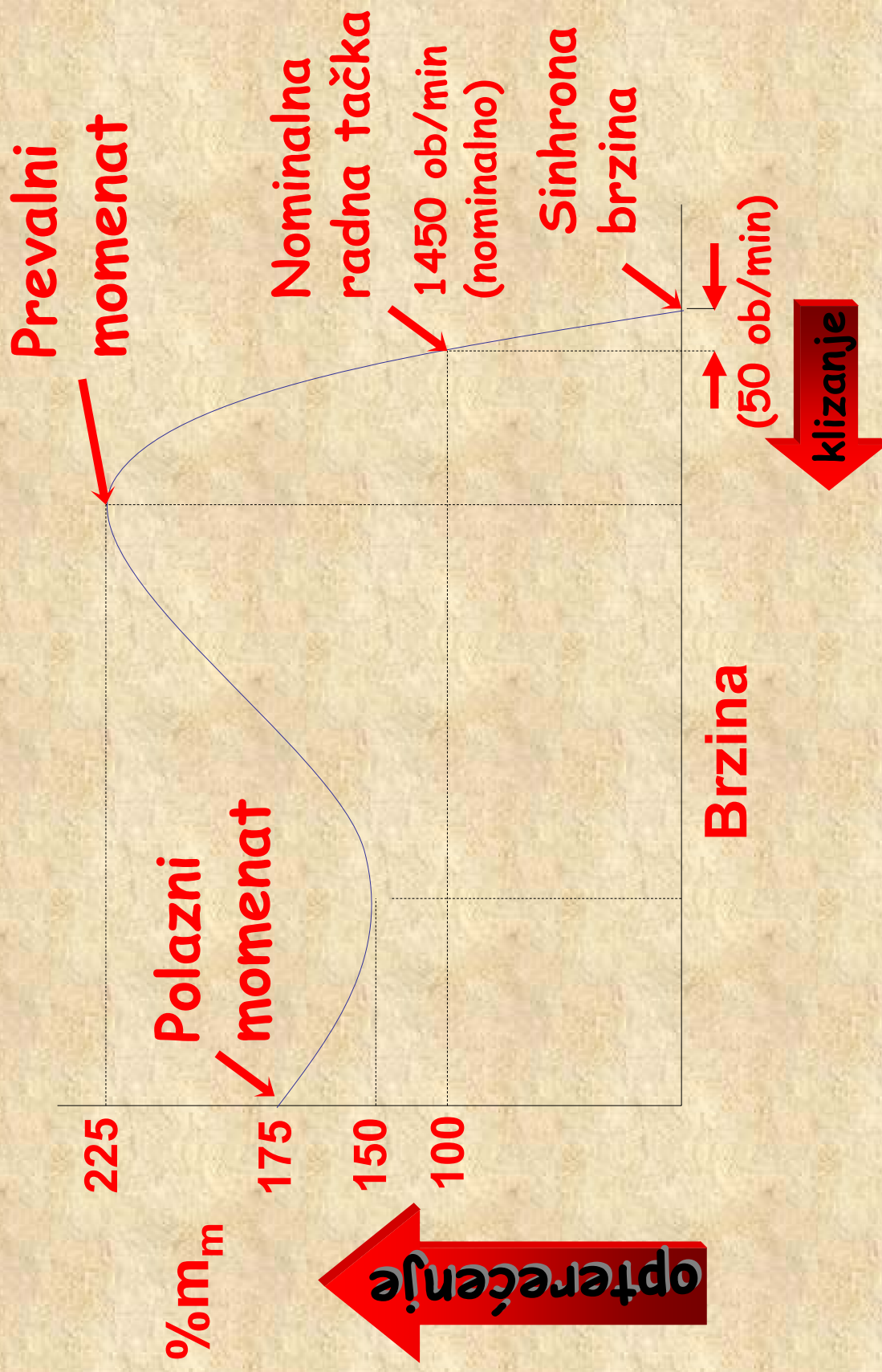
Mada ne postoji fizička veza između rotora i statora, usled magnetne sprege asinhroni motor se može prikazati pomoću ekvivalentne zamenske šeme za stacionarna stanja.



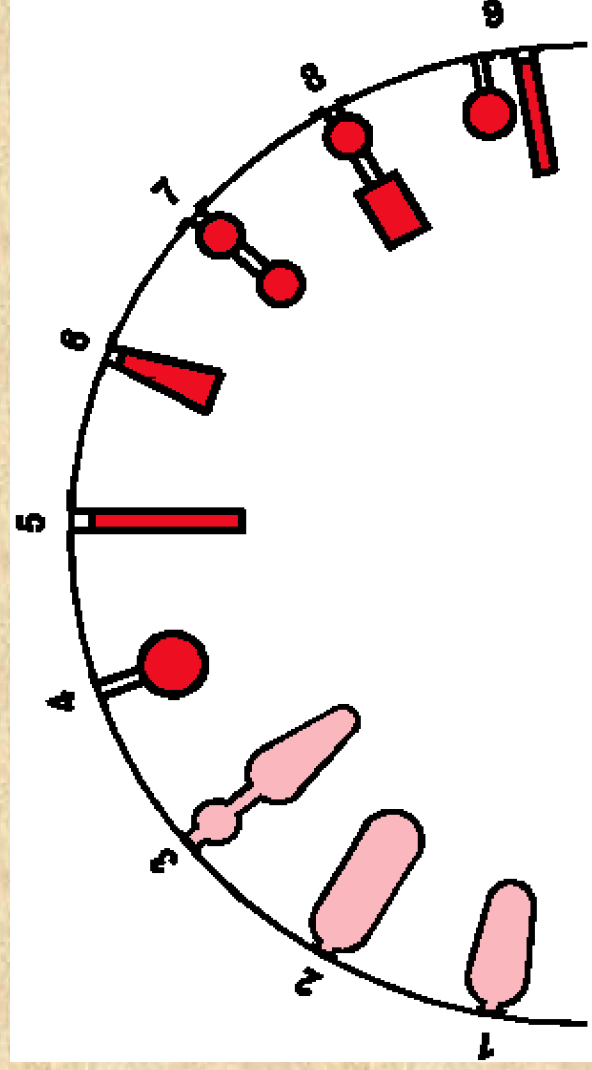
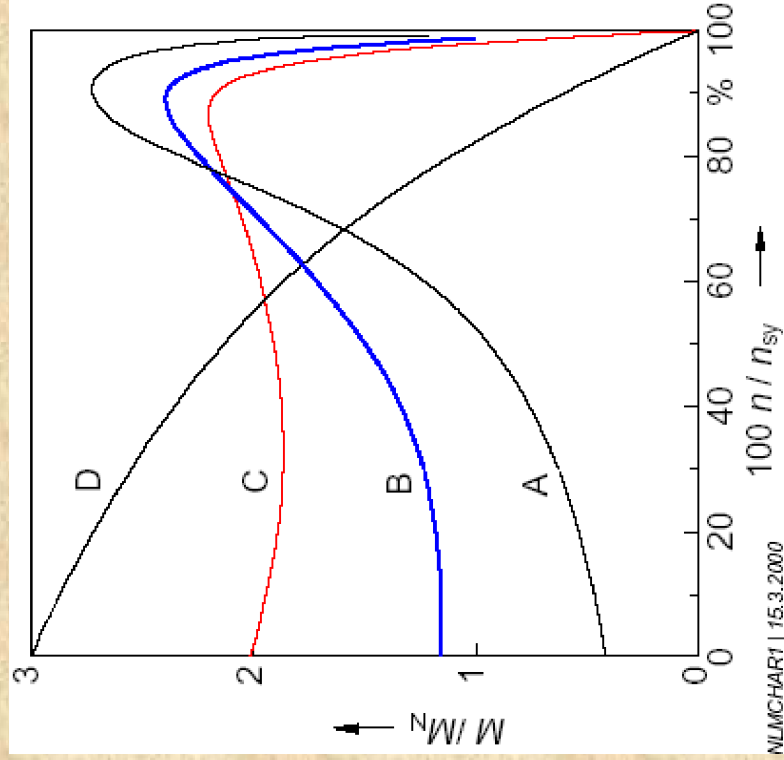
Struje asinhronog motora i uticaj momenta opterećenja



Asinhroni motor - konstrukcione mehanička karakteristika



Oblici žlebova rotora i statičke karakteristike



- A - round bar (4)
- B - wedge bar (6), deep bar (5), pear-shaped slot (1)
- C - double slot (3), double cage (7, 8, 9)
- D - high resistance rotor (e.g. brass, bronze, silumin)

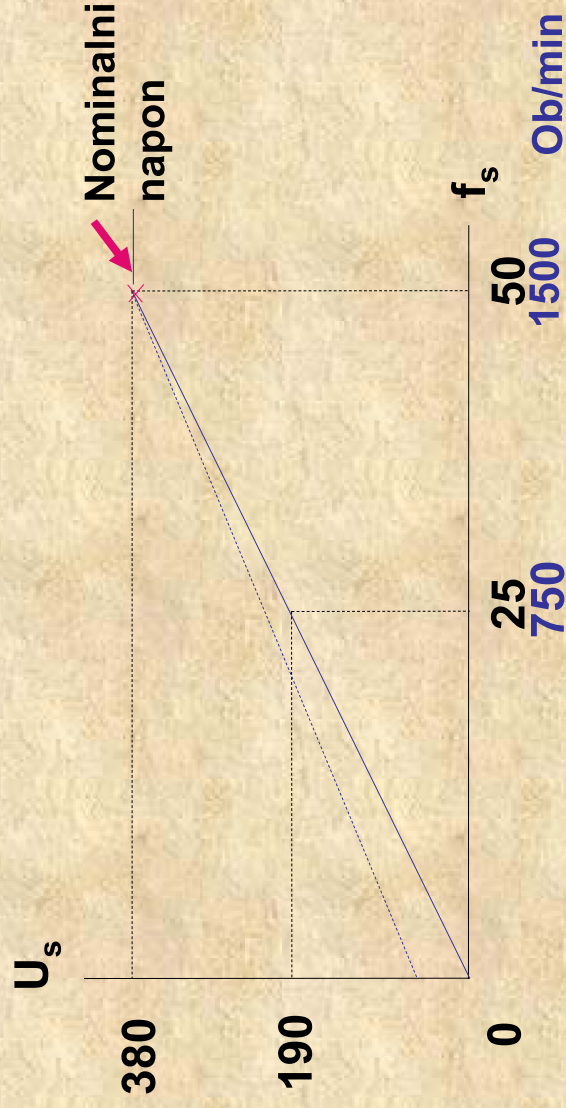
Asinhroni motor – konstrukcione

Familije statičkih karakteristika

Ako se naponom i učestanošću statora upravlja tako da je njihov odnos stalan:

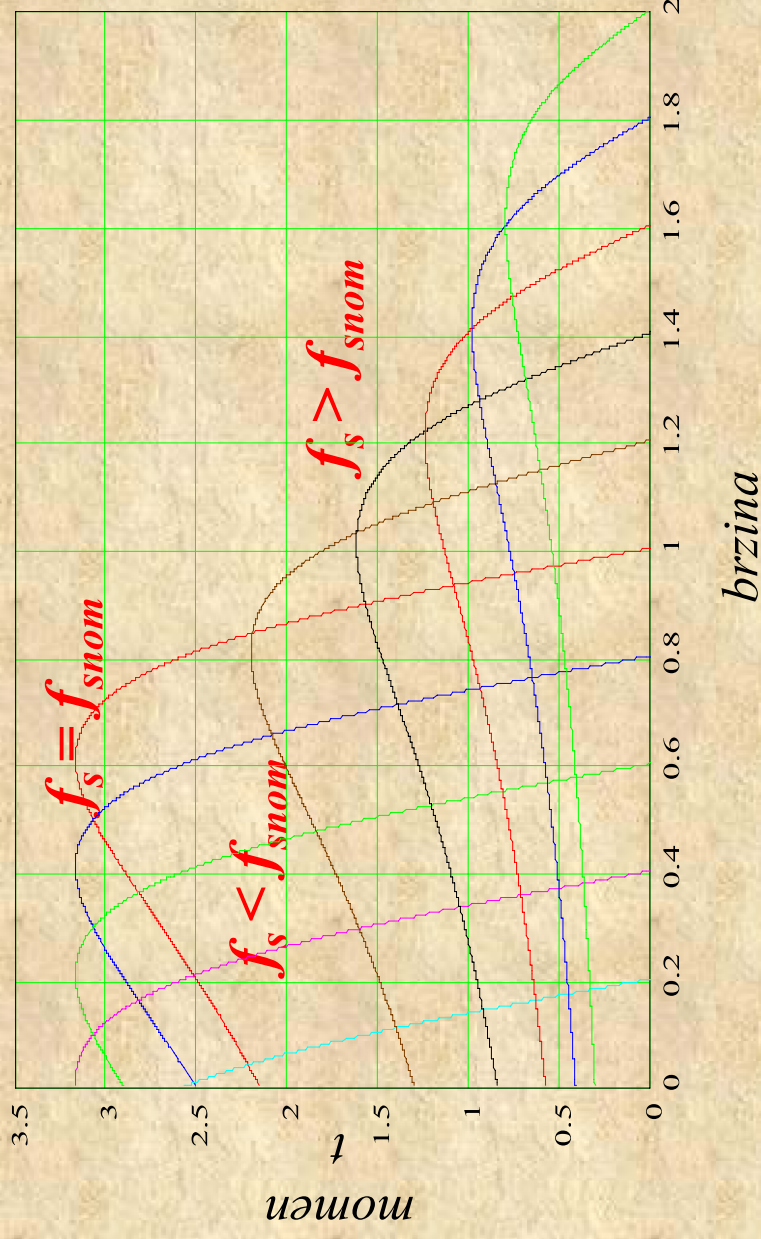
$$U_s/f_s = U_{\text{snom}}/f_{\text{snom}}$$

Tada se postiže da je fluks u mašini približno nominalan. Ovo je poznato kao U/f upravljanje. Kod učestanosti većih od nominalne napon **MORA** da bude $U_s = U_{\text{nom}} = \text{const.}$, što se naravno odražava na smanjenje prevalnog momenta!

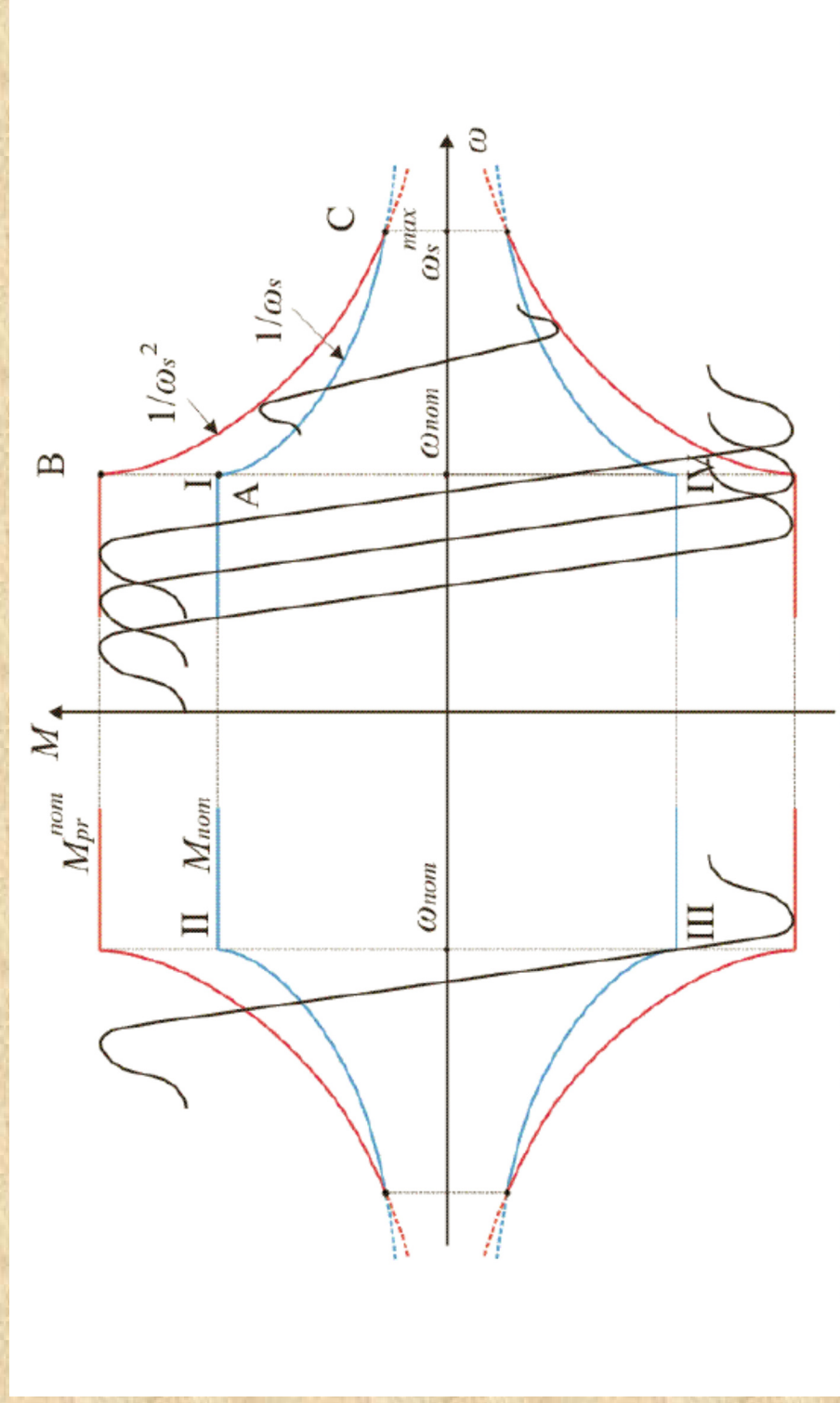


Familije statičkih karakteristika

- Iznad sinhronne brzine, trajno dozvoljeni momenat opada.
- Prevalni momenat opada.
- Klizanje motora raste za dati moment.

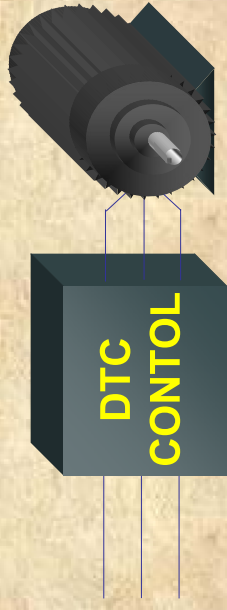
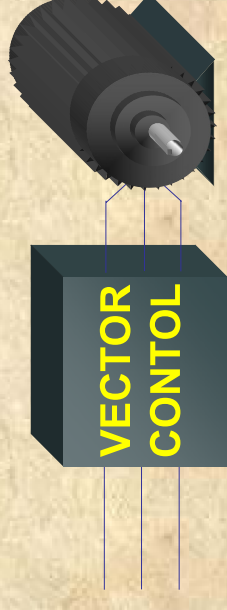
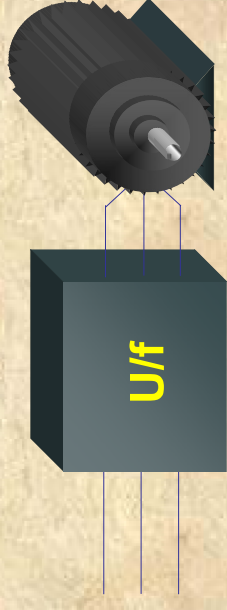


Asinhroni motor – konstrukcione četvorokvadrantni rad

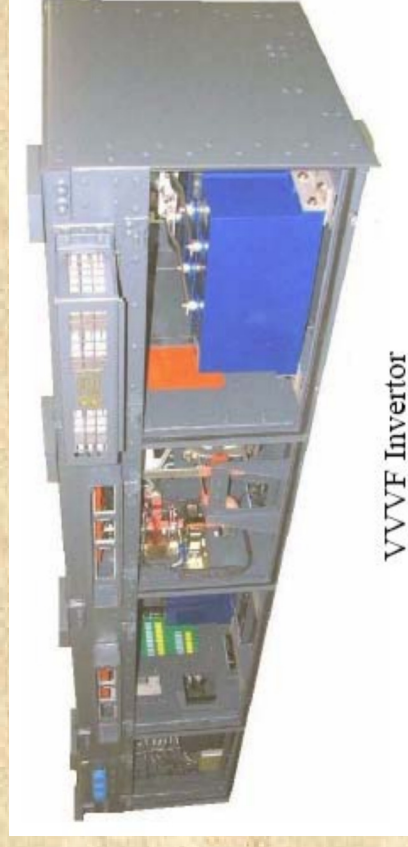


Frekvencijski regulator - hardver

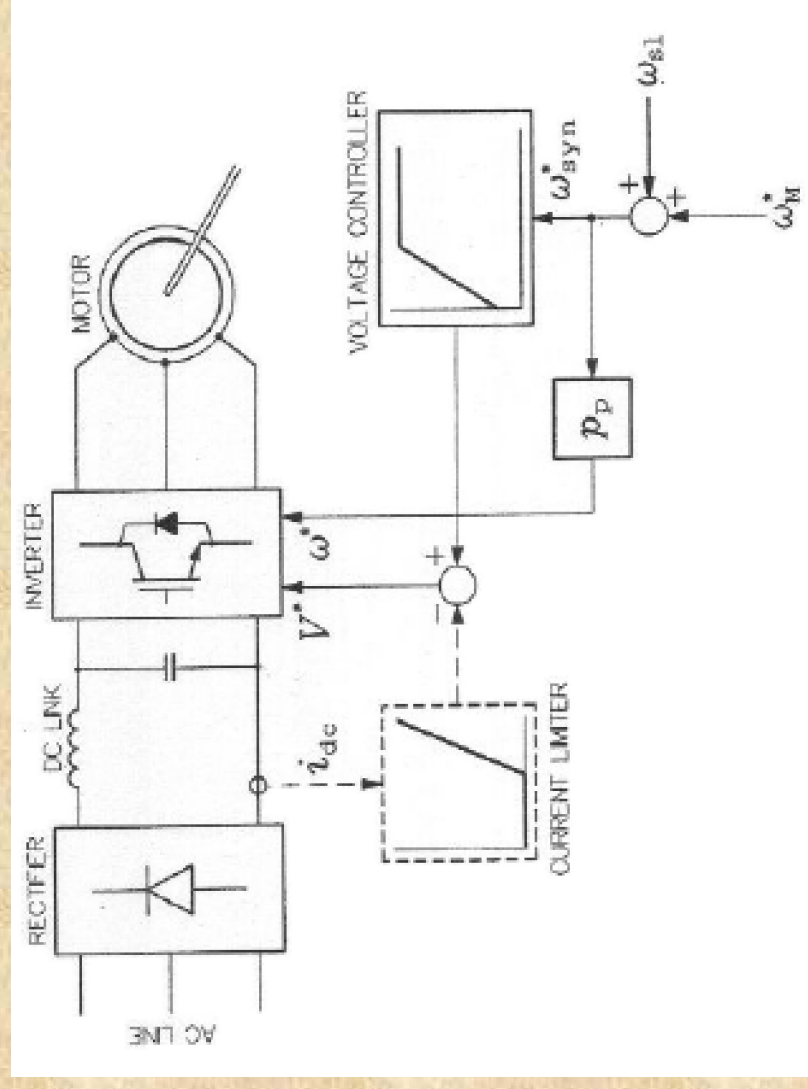
- “U/f” pogon.
 - Otvorena povratna petlja po brzini sa ili bez kompenzacije klizanja.
 - Zatvorena povratna petlja po brzini.
- Pogon sa “Vektorskom regulacijom”
 - sa davačem pozicije ili bez (*sensorless*)
 - direktna ili indirektna vektorska regulacija (DVC ili IVC)
- Pogon sa “Direktnom kontrolom momenta - DTC”



Naše interesovanje je usmereno na U/f pogone.

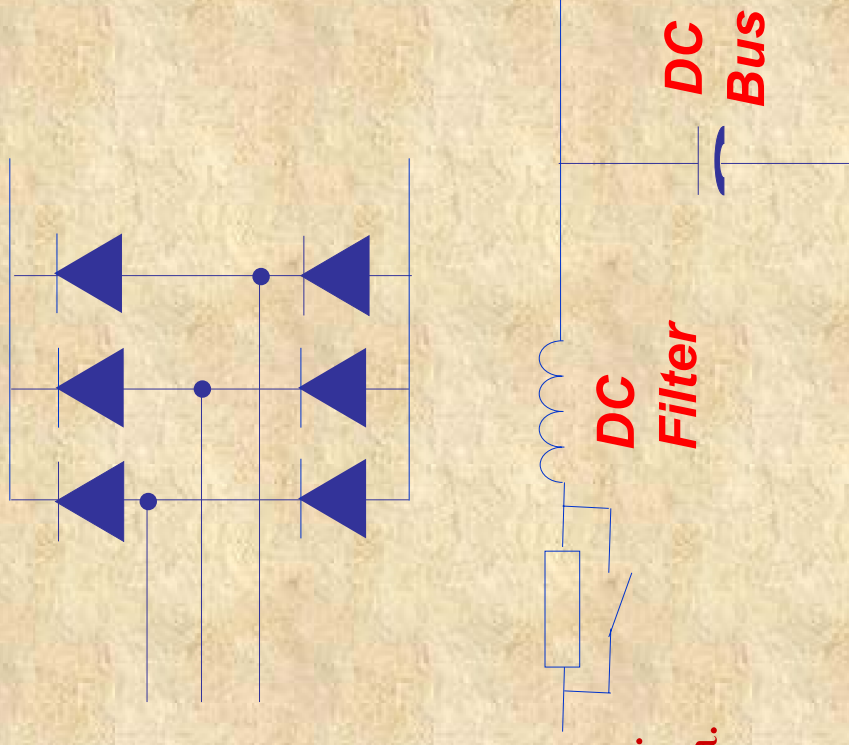


Frekvencijski regulator - hardver prikaz energetskeg i upravljačkog dela



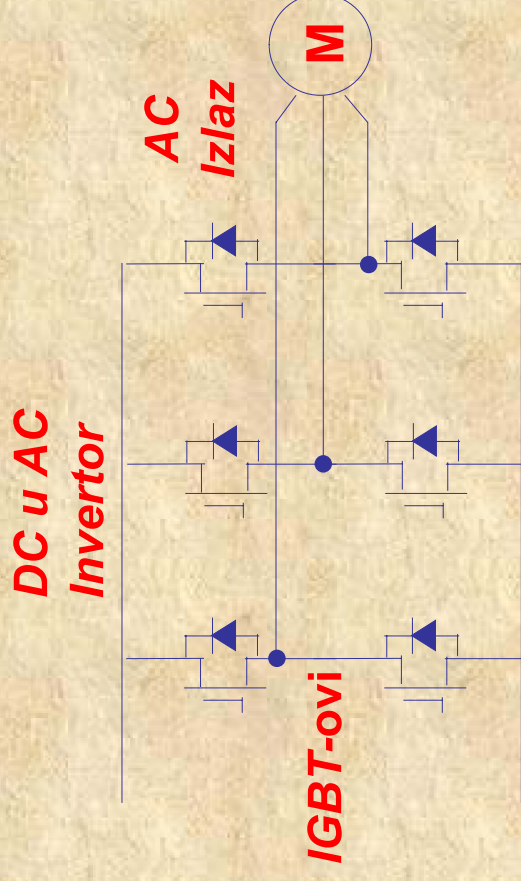
Frekventijski regulator - hardver ispravljač i DC bus

- Pretvara naizmjenični napon u jednosmerni.
- Uobičajena konfiguracija je trofazni diodni most.
- Za veće snage obično se koriste polupravljivi mostovi.
- U kondenzatoru je akumulirana energije.
- Filtriranje jednosmernog napona iz ispravljača.
- Napajanje kontrolne ploče i perifernih uređaja.
- Kolo za punjenje kondenzatora.

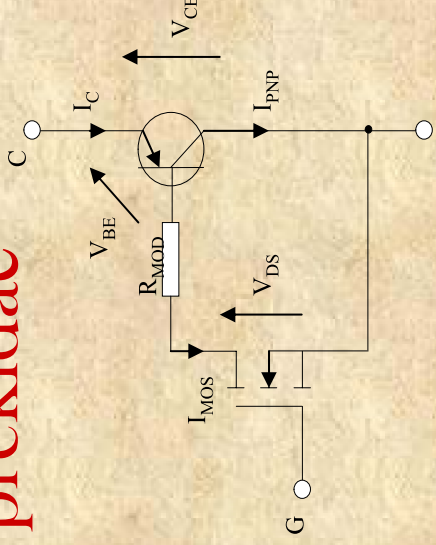
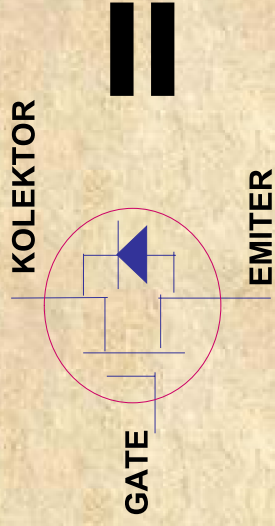


Frekvencijski regulator - hardver inverter

- Transformiše DC napon u AC promenljive učestanosti i amplitude.
- Strategija je PWM (Pulse Width Modulation - Impulsna Širinska Modulacija)
- Upotrebljeni energetski uređaj je IGBT (najčešće).



Frekvencijski regulator - hardver IGBT prekidač



IGBT Energetski Modul

- Integrirano drajversko kolo gejta
- Prekostrujna zaštita i zaštita od kratkog spoja
- Izlazni signal greške
- Izbor IGBT-a za upotrebu u vuči

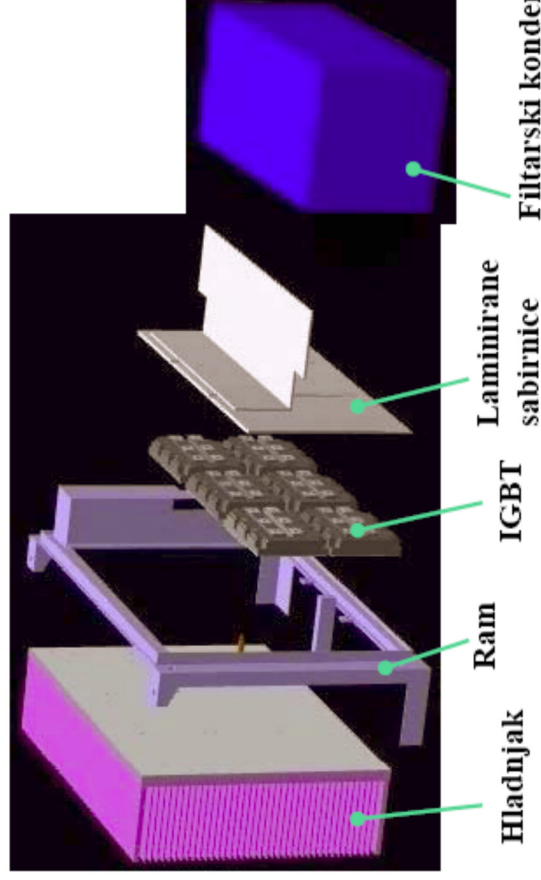
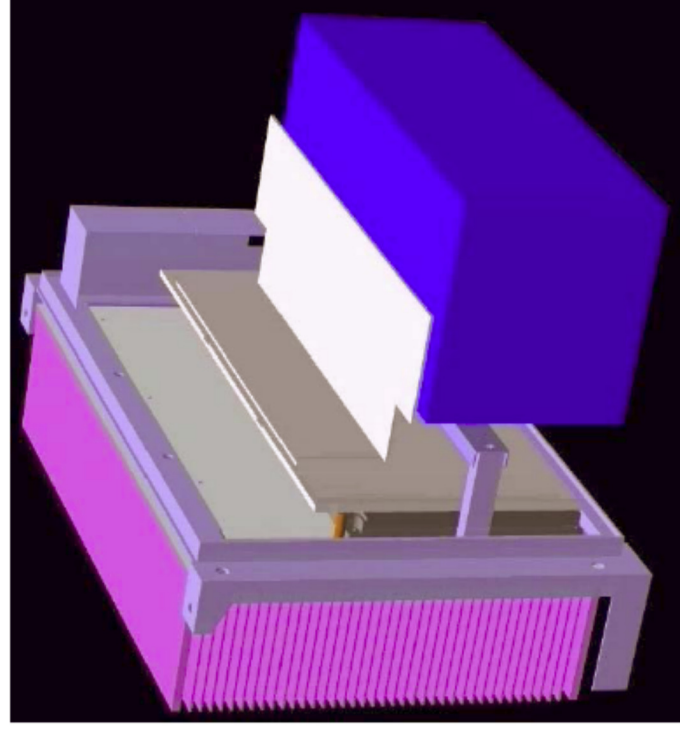


Nominalni napon 3.3kV
Nominalna struja 1.2kA

Mrežni napon	IGBT (nominalno)
750 V	1.7kV – 1.8kA
1500 V	3.3kV – 1.2kA
3000V	6.5kV – 0.6kA

Frekvencijski regulator - hardver Struktura, montaža i spoljni izgled energetskeg bloka

Energetski blok



Frekvencijski regulator - hardver

Tendencije u razvoju

Cilji:

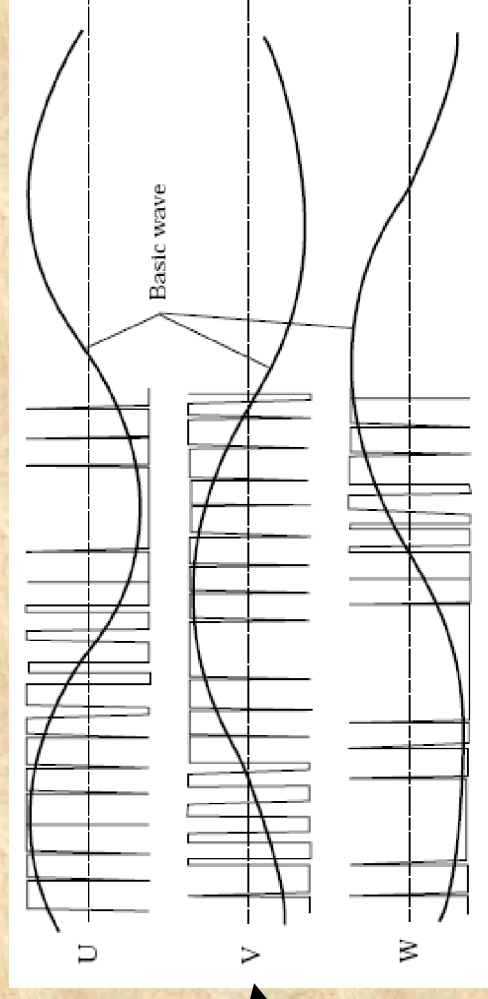
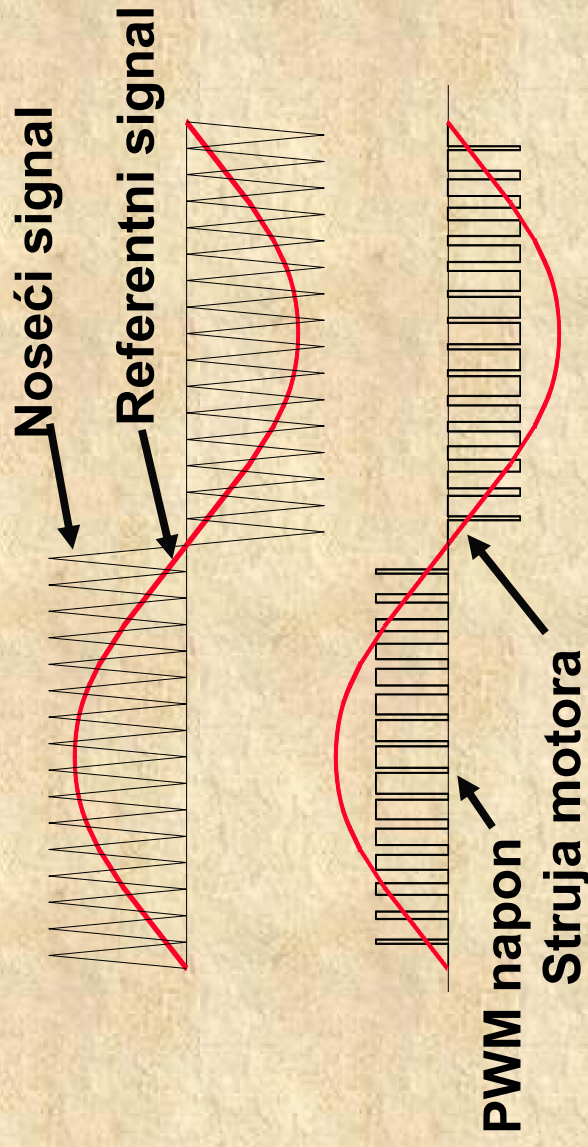
- Visoka pouzdanost
- Lako i jeftino državanje
- Mali, lak i kompaktan regulator
- Nizak nivo šuma

Metod:

- Integrisani dizajn IGBT modula, filteraskog kondenzatora i drajverskog kola u jednu celinu
- Laminirane sabirnice jednosmernog napona
- Redukovanje parazitnih induktivnosti kola u cilju eliminisanja snabera.
- Primena hladnjaka sa rebrima koji ne koriste tečnost
- Eliminisanje elektrolitičkih kondenzatora
- Optička konekcija izlaza drajverskog kola i gejta

Osnovne tehnike dobijanja PWM impulsa

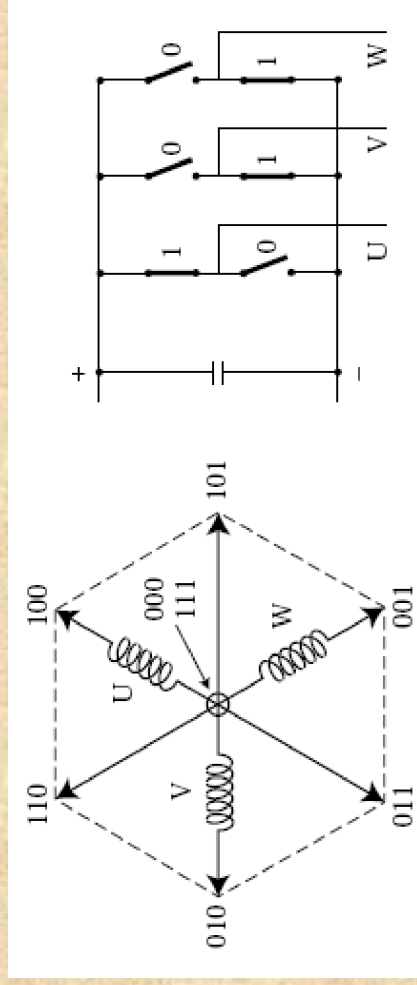
a) Sinusoidalna PWM



Vremenska sekvenca kontrolnih signala za tri invertorske faze

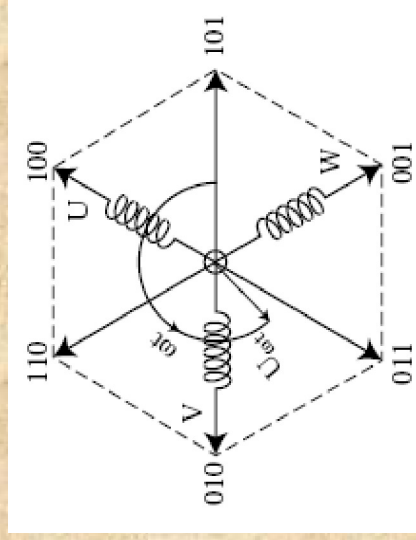
Osnovne tehnike dobijanja PWM impulsa

b) PWM sa prostornim vektorima (SVPWM)

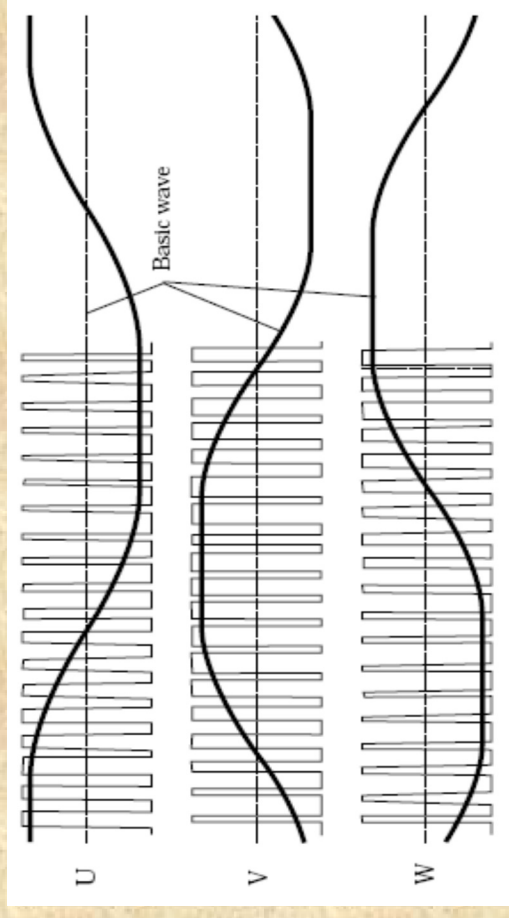


Definicija
prostornih
vektora

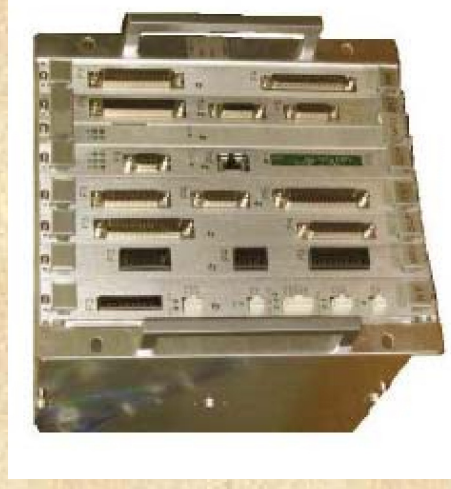
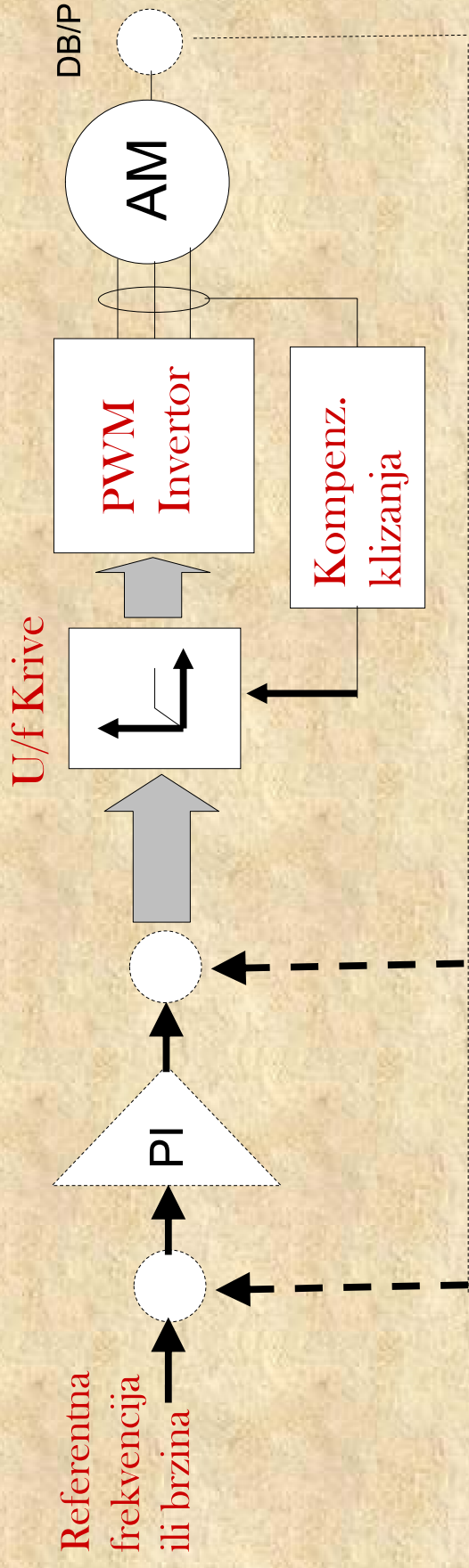
Generisanje idealnog naponskog vektora uz pomoć susednih prostornih vektora



Vremenska sekvenca kontrolnih
signalaza tri invertorske faze

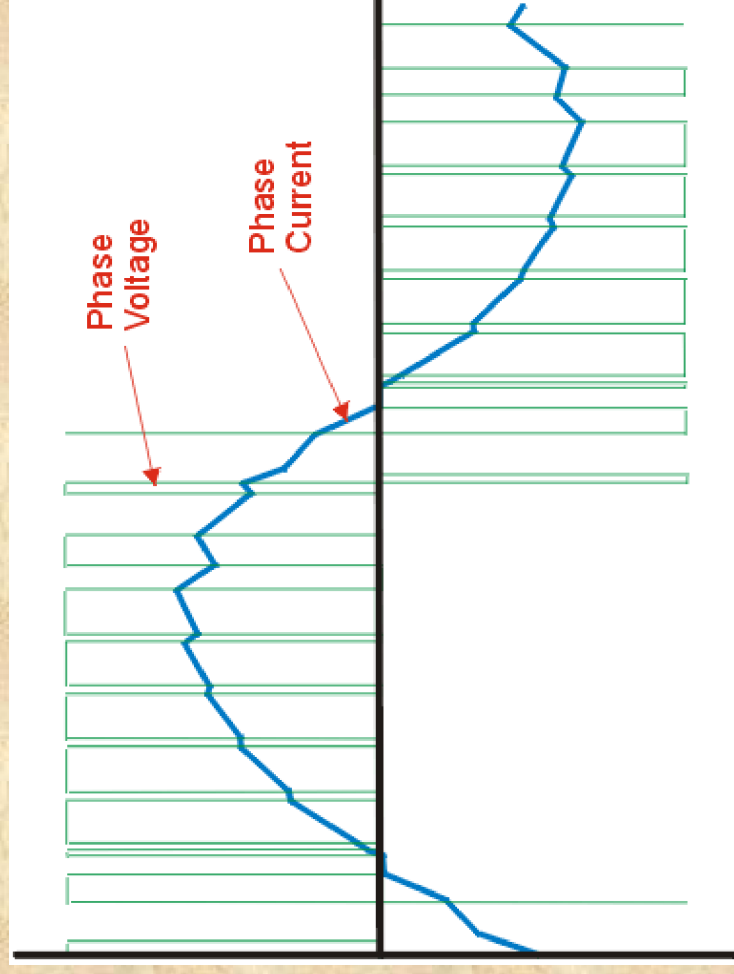


Upravljanje (regulacija) brzine AM pomoću frekvencijskog regulatora



Izgled upravljačke jedinice vučnog
pretvarača bazirana na 32-bitnoj DSP i
FPGA tehnologiji.

Talasni oblik statorske struje



- Javlja se ripl statorske struje sa dominantnom komponentnom na prekidačkoj učestanosti
- Amplituda ripl je direktno proporcionalna napon jednosmernog međukola, a obrnuto proporcionalna rasipnoj induktivnosti motora i prekidačkoj učestanosti

Kočenje vučnog vozila sa AM

a) Rekuperativno

Pokazano je da asinhroni motor radi kao asinhroni generator (razvija negativan momenat) kada je brzina obrtanja veća od sinhronne brzine ($\omega > \omega_s$), odnosno kada je klizanje negativno ($s < 0$). U režimu asinhronog generatora mehanička energija koja se pretvara u električnu predaje (“vraća”) se izvoru napajanja, ako ovaj može da primi. U opisani režim kočenja može se u principu doći na dva načina:

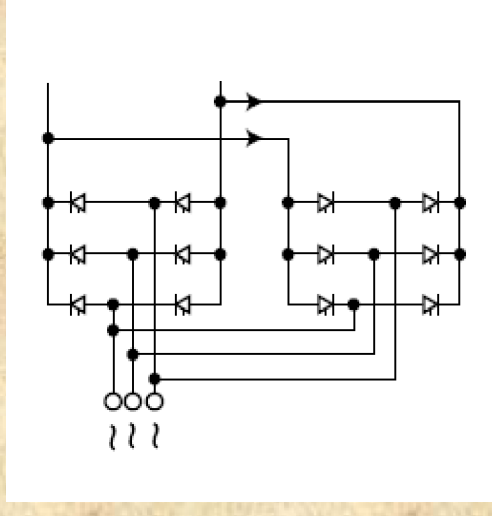
a) Ako se brzina motora poveća iznad sinhronne.

Tipičan primer su kolica sa asinhronim pogonom na nizbrdici.

b) Ako se sinhrona brzina smanji ispod trenutne brzine.

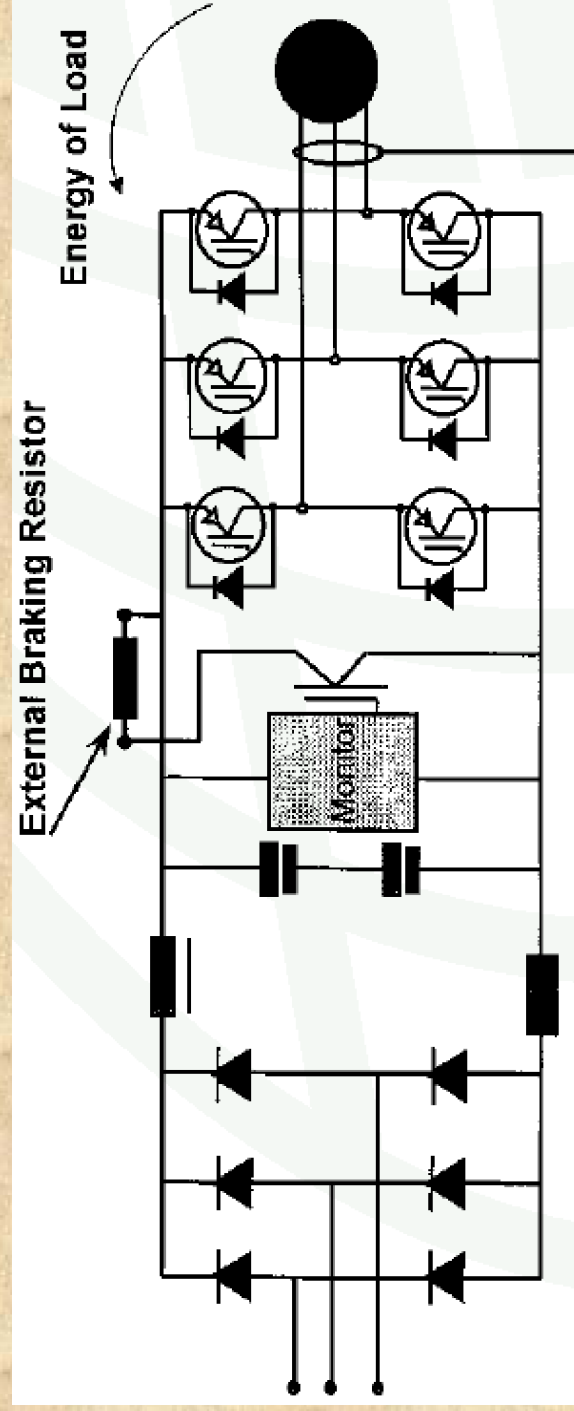
Primeri su smanjene učestanosti napajanja, ili povećanje broja polova.

Za realizaciju ovog kočenja, potrebno je da umesto diodnog ispravljača na ulazu vučnog pretvarača bude dvosmerna pretvaračka struktura. Na primer, dva invertora vezana u antiparaleli (IGBT ili tiristori):



Kočenje vučnog vozila sa AM

b) Otporničko



Regulacija U/f. prednosti

- Jednostavno za realizaciju.
- Niska cena.
- Lako za podešavanje.
- Nije potreban dodatni hardver.
- Moguće je povezati više motora na jedan frekvenzijski regulator.

Regulacija U/f mane

- Loše dinamičke karakteristike.
- Loša tačnost regulacije brzine.
- Nije moguće nezavisno kontrolisati fluks i momenat motora.
- Neoptimalno upravljanje, zbog čega su gubici veći i faktor snage lošiji

Položaj električne opreme u tipičnom elektromotornom vozu sa motorima naizmjenične struje

