

# ELEKTROMOTORNI POGONI

## Elektromehaničke karakteristike

- osnovni parametri
- snaga
  - moment okretanja
  - brzina vrtnje ili broj okretaja u jedinici vremena

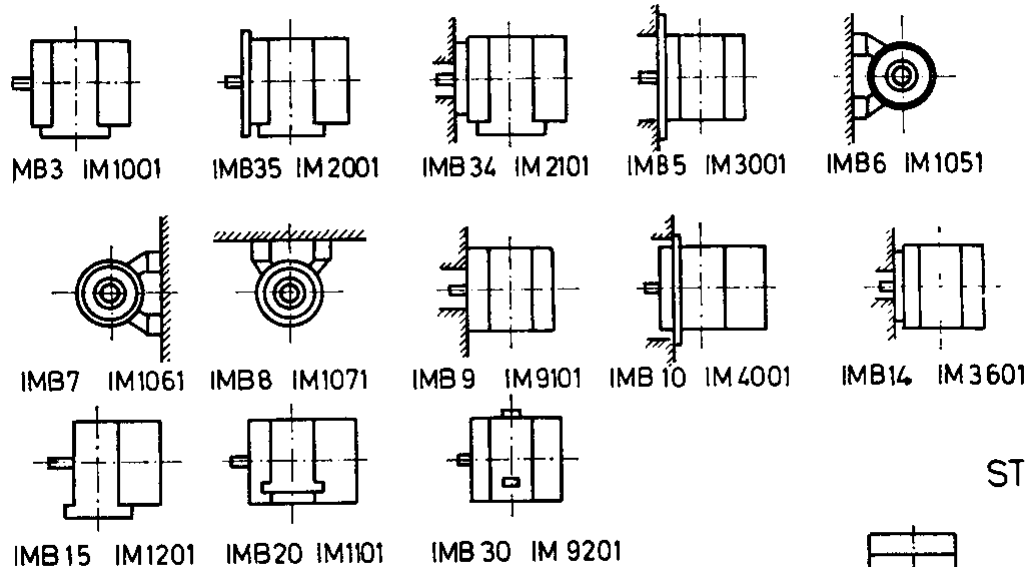
- uvjeti rada
- startni uvjeti ili pokretanje
  - nazivni uvjeti
  - granični uvjeti

- električna energija
- korisna energija na osovini motora koju predaje gonjenom stroju
  - gubitci (mehanički rotacijska masa motora; električni u stroju)

$$\eta = \frac{\text{korisna predana meh. snaga}}{\text{privedena elektr. snaga}}$$

- startni uvjeti
- početna snaga ili struja pokretanja motora, odnosno EMP
  - početni moment vrtnje
  - vrijeme za postizanje nazivnog broja okretaja ili vrijeme zaleta EMP

## STROJEVI S HORIZONTALNOM OSOVINOM



### Oblici i izvedbe kućišta motora

0 - 6 (zaštita od ulaska stranih tijela)

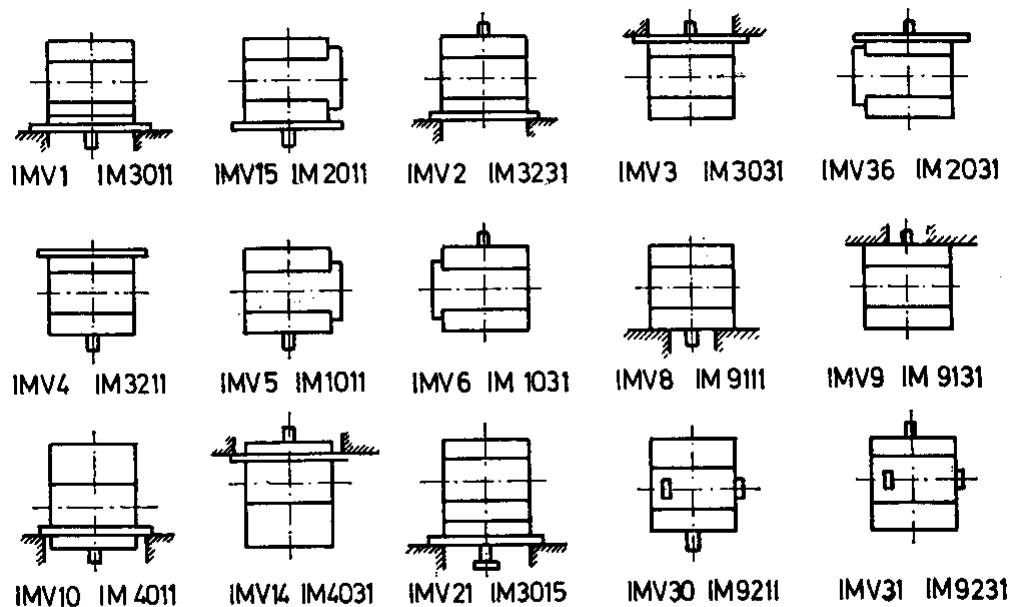
IP 45

0 - 8 (zaštita od ulaska vode)

statičko balansiranje  
dinamičko balansiranje  
buka

## Oblici i mehaničke osobine

## STROJEVI S VERTIKALNOM OSOVINOM



### Oblici i izvedbe kućišta motora

## Dinamika elektromotornih pogona

### POKRETANJE

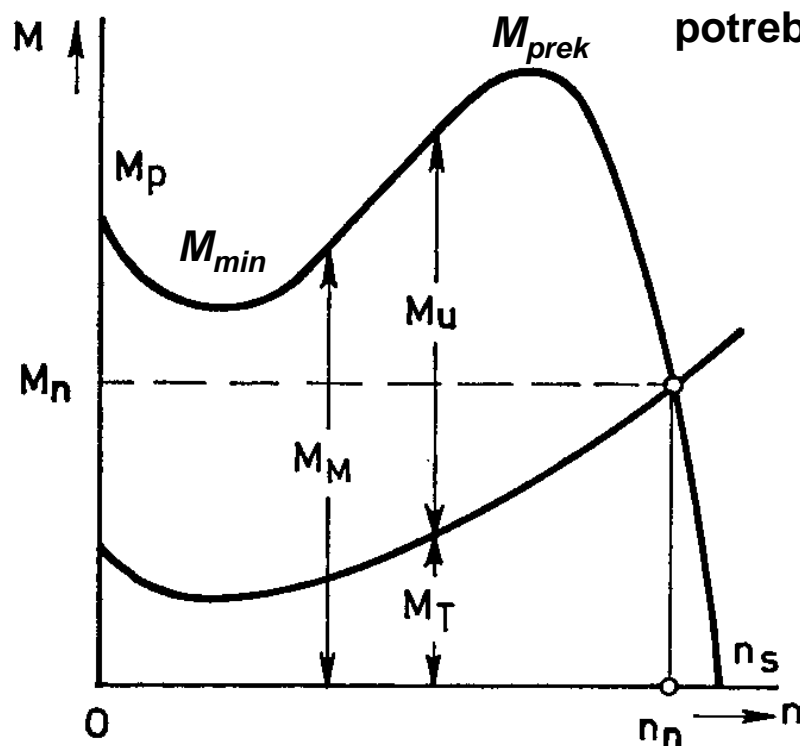
sila za pokretanja mase  $F = F_s + F_d$  (N)      odnosno moment  $M = M_s + M_d$  (Nm)

$F_s$ -sila statičkog otpora (N)

$M_s$ -statički moment (Nm)

$F_d$ -sila dinamičkog otpora (N)

$M_d$ -dinamički moment (Nm)



potreban moment motora  $M_M = M_T + M_u$  (Nm)

$M_T$ - moment tereta (Nm)

$M_u$ - moment ubrzanja (Nm)

uz  $M_u = M_M - M_T$  (Nm)

$$t_u = \frac{m \cdot D^2}{38,2} \cdot \frac{n}{M_M - M_T} \quad (\text{s}) \text{ vrijeme ubrzanja do } n$$

$mD^2$  - zamašna masa sustava

$n$  - nazivni broj okretaja

$$M_{Mp} > M_{Tp} \quad \text{ili} \quad \frac{M_{Mp}}{M_{Tp}} > 1$$

osnovni uvjet pokretanja  
elektromotornih pogona

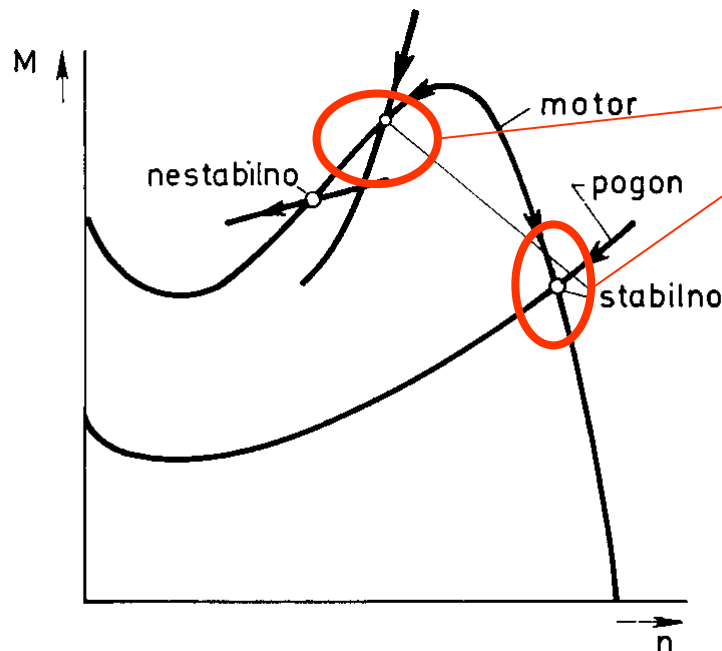
**Momenti okretanja u odnosu na brzine vrtnje**

## KOČENJE

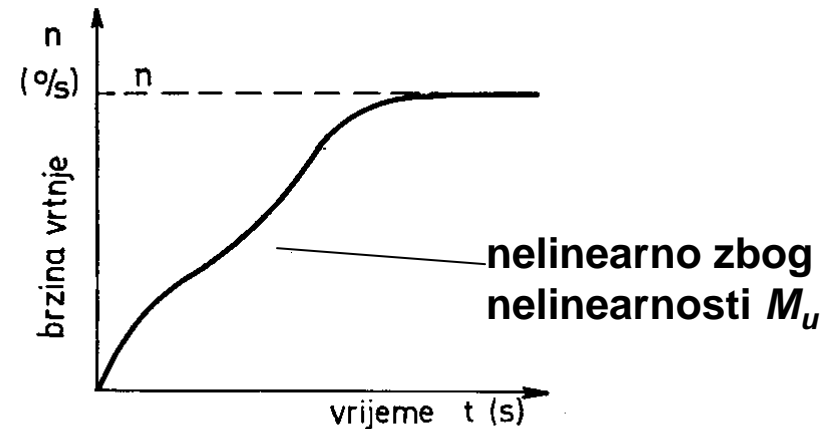
$M_k = M_0$  kočenje praznim hodom  $t_{z0} = \frac{\sum mD^2 \cdot n}{38,2 \cdot M_0}$  (s) vrijeme zaustavljanja uz stalni  $M_0$

$M_k = M_T$  kočenje teretom pogona  $t_{zT} = \frac{\sum mD^2 \cdot n}{38,2 \cdot M_T}$  (s) vrijeme zaustavljanja uz stalni  $M_T$

$M_k = M_T + M_{dk}$  kočenje teretom i dodatnom kočnicom (momentom)  $t_{zK} = \frac{\sum mD^2 \cdot n}{38,2 \cdot M_K}$  (s) vrijeme zaustavljanja uz stalni  $M_k$

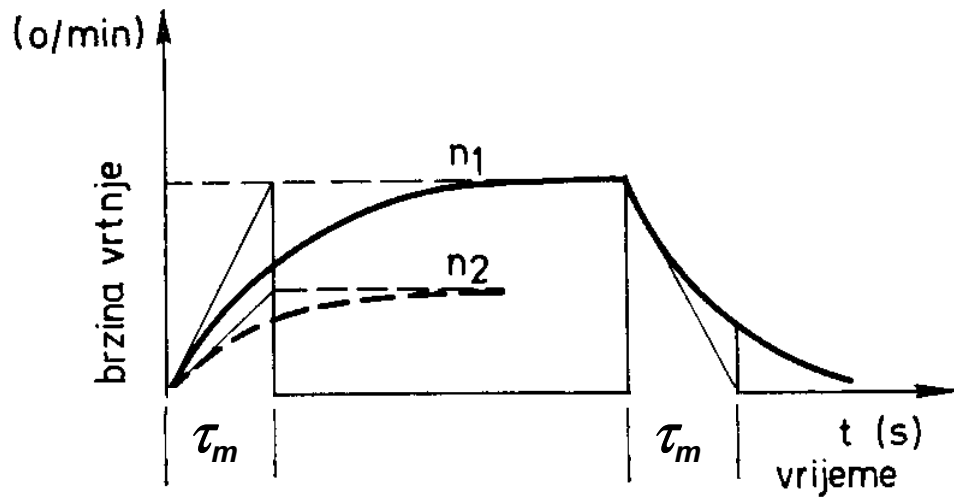


uvjet stabilnog rada

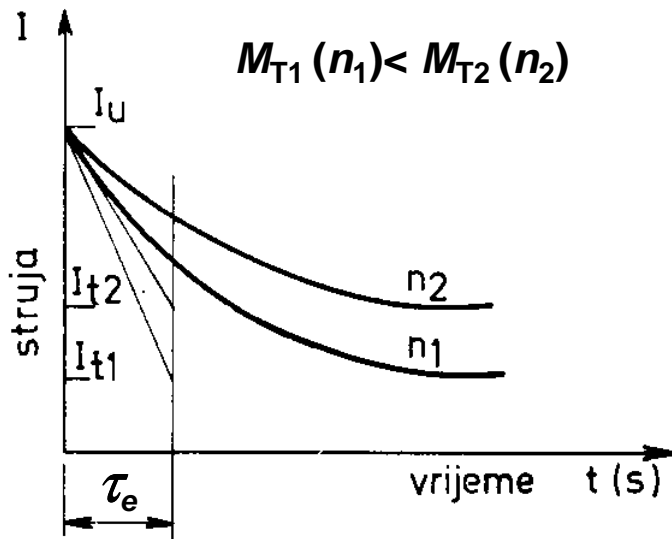


Odnosi momenata motora i tereta za stabilnost elektromotornog pogona

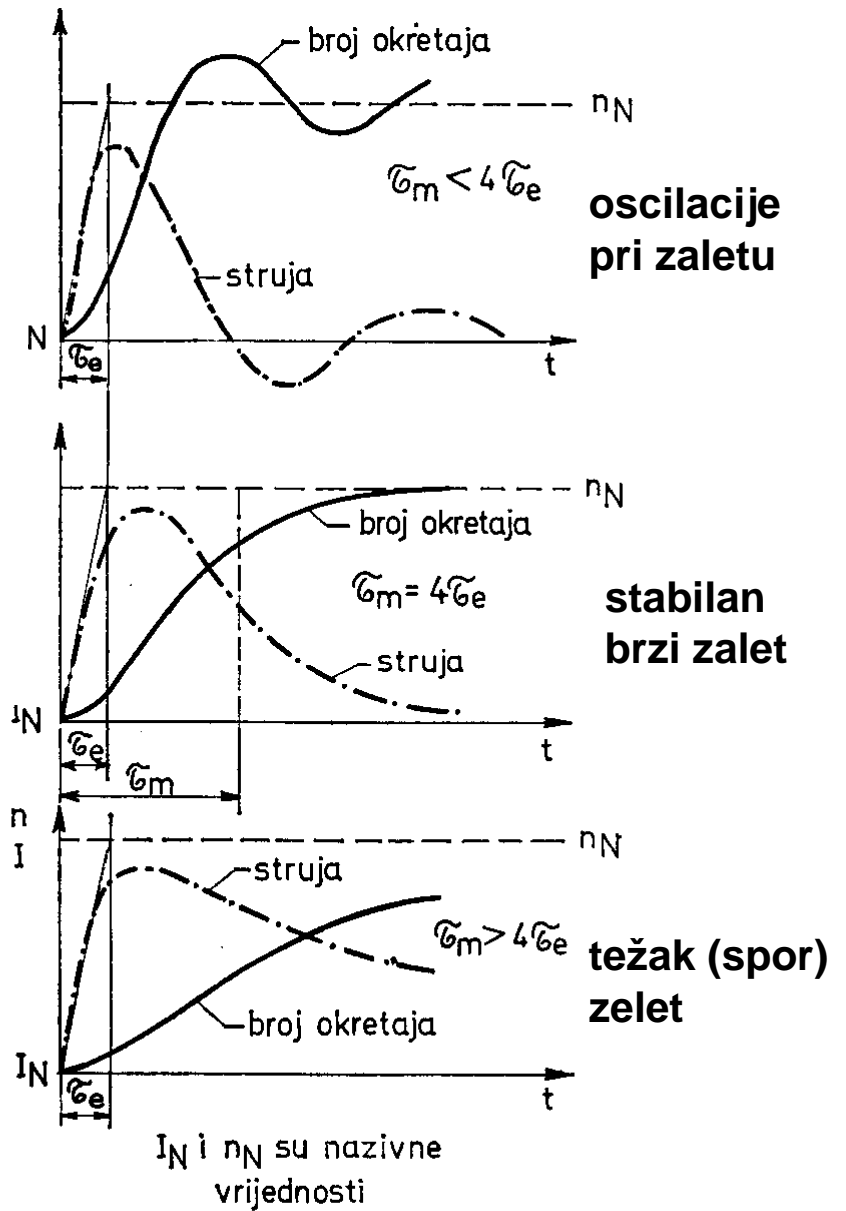
Prosječno ubrzanje asinhronog motora



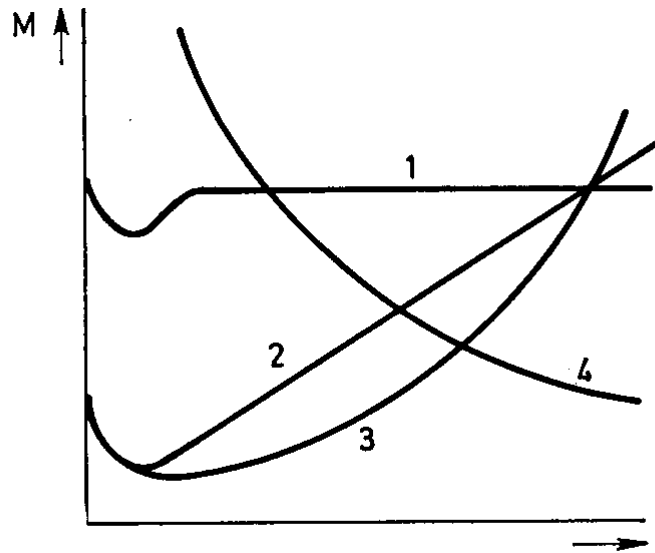
**Prijelazna pojava kod zaleta i zaustavljanja elektromotornog pogona**



**Struja zaleta kod elektromotornog pogona**



**Zalet i struja upuštanja elektromotornih pogona kod raznih odnosa električkih i elektromehaničkih konstanti pogona**



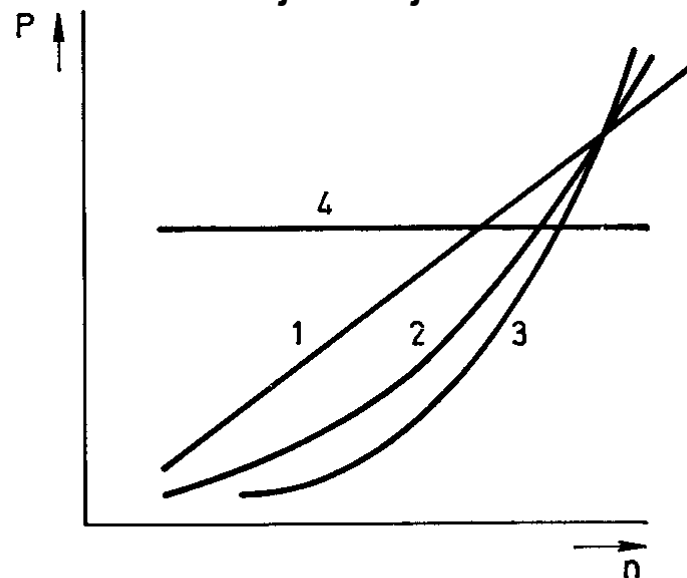
1 -  $M$  konstantan,  $P$  linearno  $\uparrow$  s  $n$   
dizanje tereta, klipne crpke, transportne trake

2 -  $M \uparrow$  linearno s  $n$ ,  $P \uparrow$  s  $n^2$   
proizvodnja papira (namatanje)

3 -  $M \uparrow$  s  $n^2$ ,  $P \uparrow$  s  $n^3$   
centrifugalne crpke i ventilatori

4 -  $M \downarrow$  s  $\uparrow$   $n$ ,  $P$  konstantan  
kolni transport, regulirani pogoni

Krivulje momenta i broj okretaja elektromotornog pogona



Krivulje snage za različite krivulje momenata

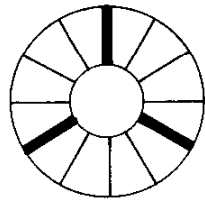
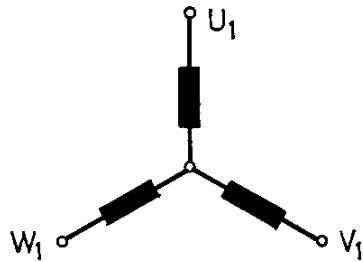
## Vrste elektromotornih pogona obzirom na elektromotor

neregulirani pogoni	asinkroni	regulirani pogoni	(sinkroni)
	sinkroni		asinkroni
	istosmjerni		istosmjerni

izbor i ocjena prema

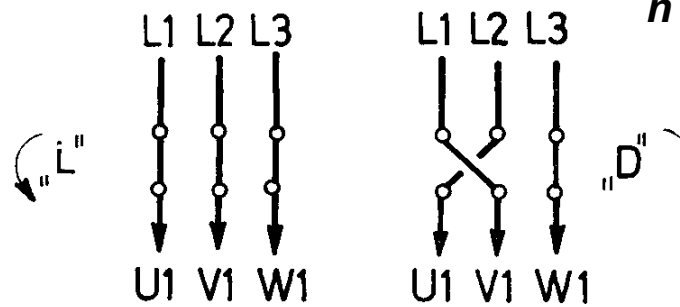
- promjeni smjera vrtnje
- karakteristika  $n$  obzirom na  $M$  ili opterećenje
- $M$  okretanja obzirom na  $n$  ili opterećenje
- način pokretanja motora

### Pogoni s asinkronim motorima



kratkospojni motor  
rotor s kavezom

Trofazni asinhroni  
motor s kaveznim rotorom



smjer vrtnje

Promjena smjera vrtnje  
trofaznih motora

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

brzina vrtnje

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

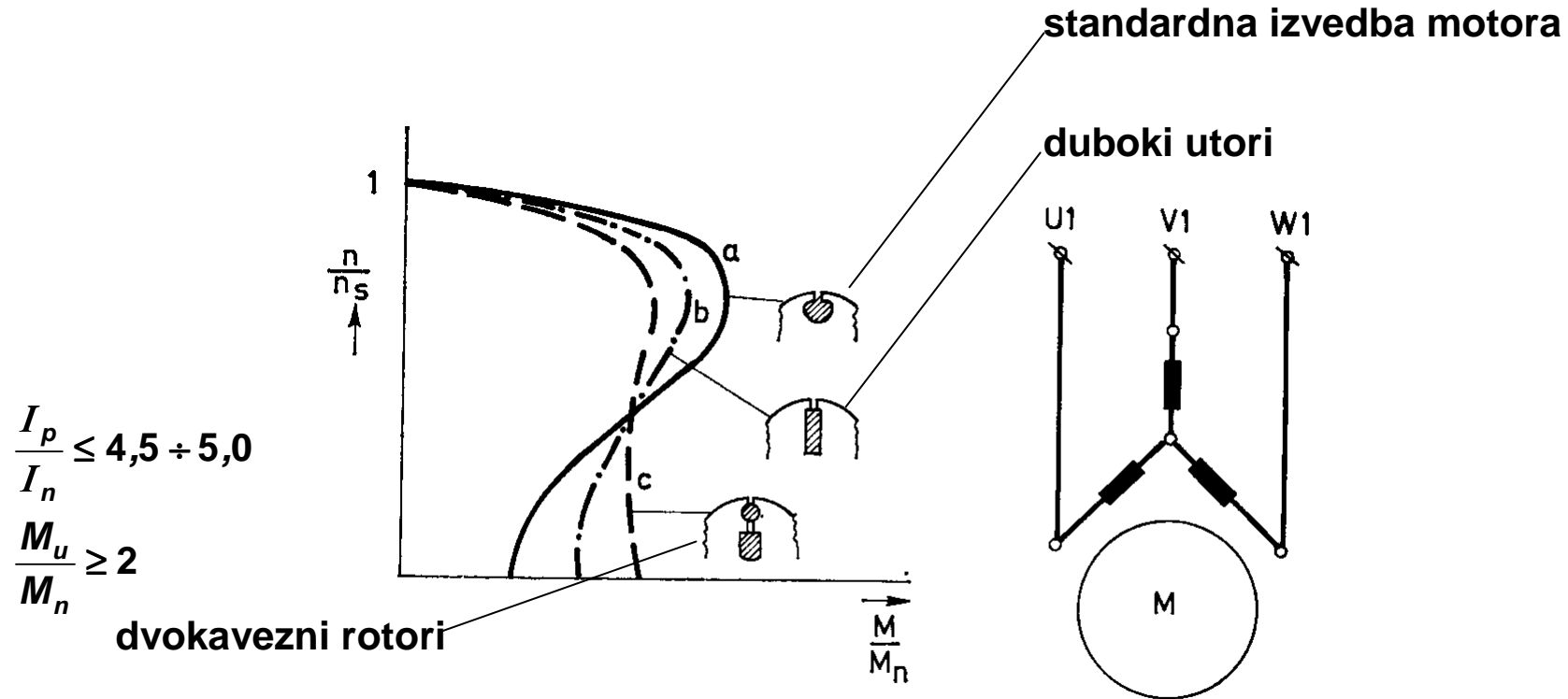
klizanje

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

sinkrona brzina

# POKRETANJE

$$\frac{I_p}{I_n} \geq 4 \div 8$$



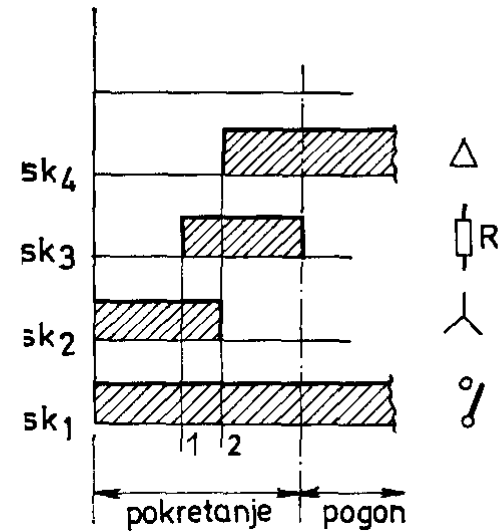
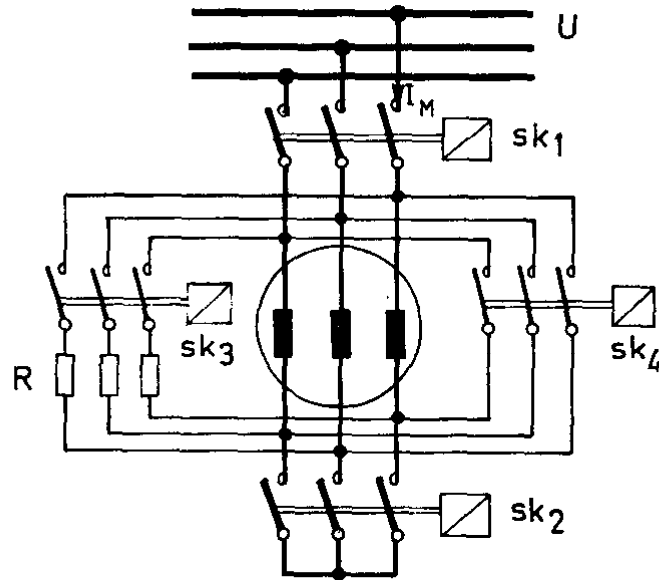
Karakteristike momenata u odnosu na brzinu vrtnje kavezni<sup>h</sup> asinhronih motora

još mekše pokretanje (iznad ~ 20kW)

kolutni motor, hidrauličko kvačilo, frekvencijski pretvarači



## Pokretanje uz prespajanje zvijezda trokut

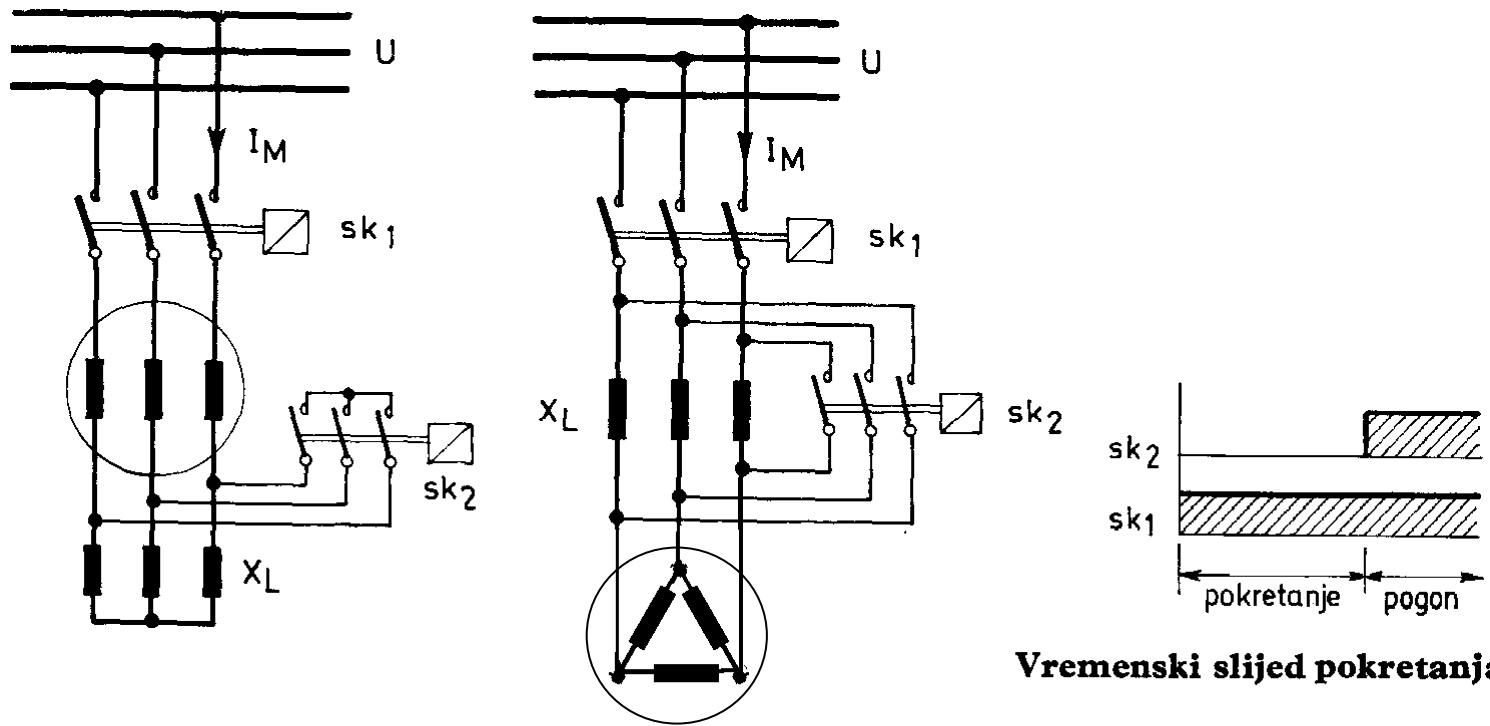


Vremenski slijed upuštanja

Upuštanje trofaznih motora preklapanjem zvijezda — trokut pomoću sklopnika

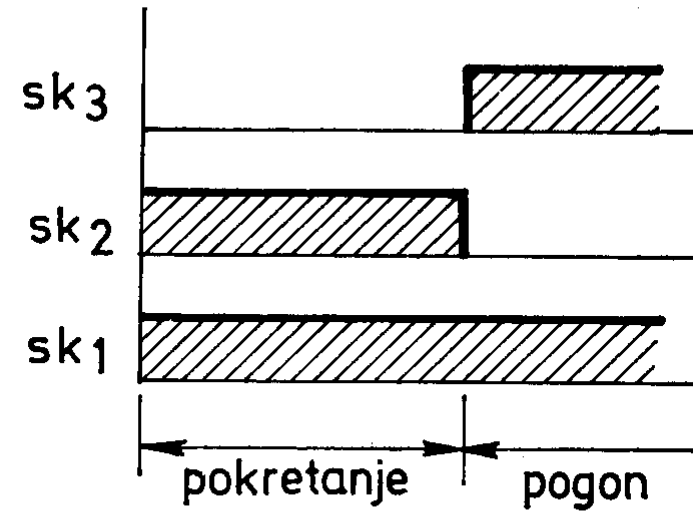
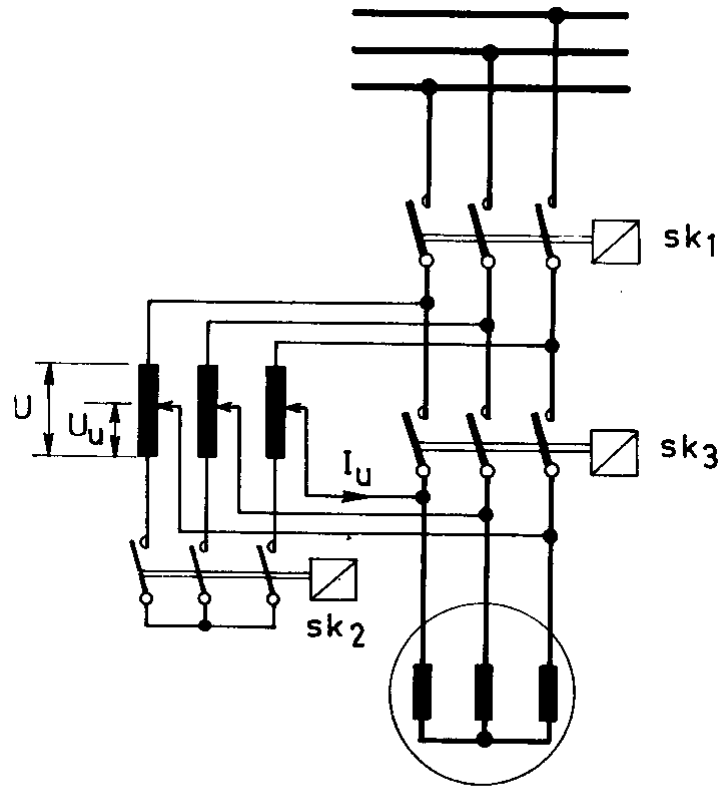
snaga u  $\Delta$  3x snaga u YC

## Pokretanje pomoću prigušnice



## Pokretanje trofaznih motora pomoću prigušnice

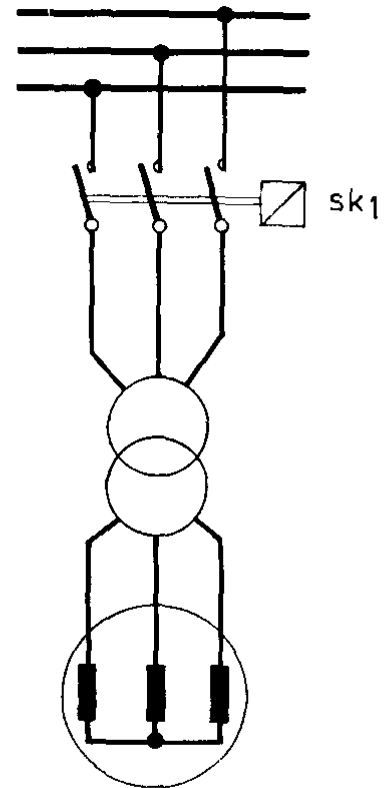
## Pokretanje pomoću autotransformatora



Vremenski slijed pokretanja

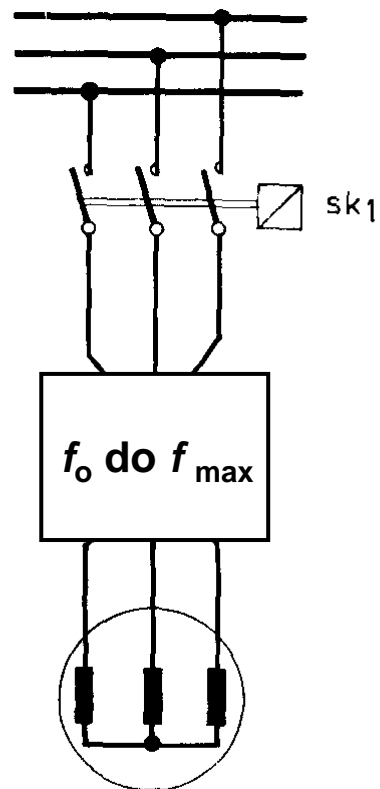
## Pokretanje trofaznih motora autotransformatorom

## Pokretanje pomoću blok transformatora



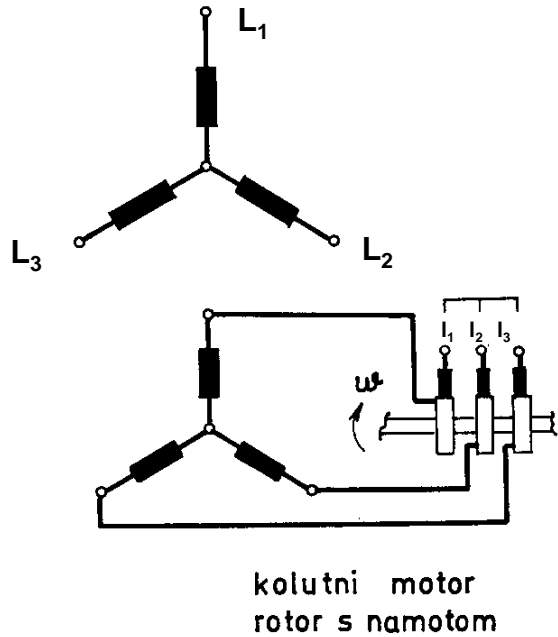
**Pokretanje i pogon trofaznih motora  
preko blok transformatora**

## Pokretanje pomoću frekvencijskog pretvarača (soft start)

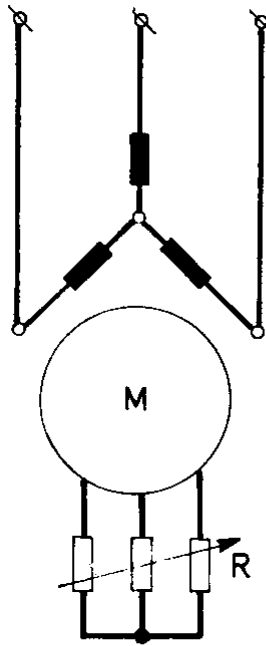


**Pokretanje i pogon trofaznih motora  
promjenjivom brzinom pomoću  
frekvencijskih pretvarača**

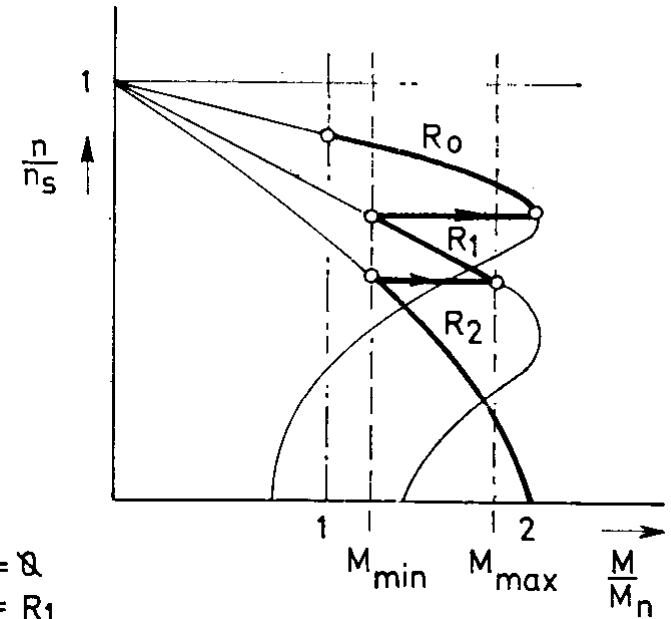
# Pokretanje kolutnih motora



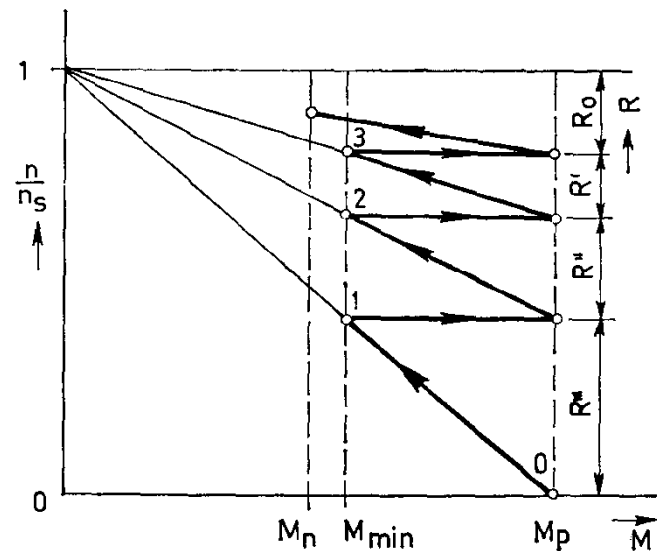
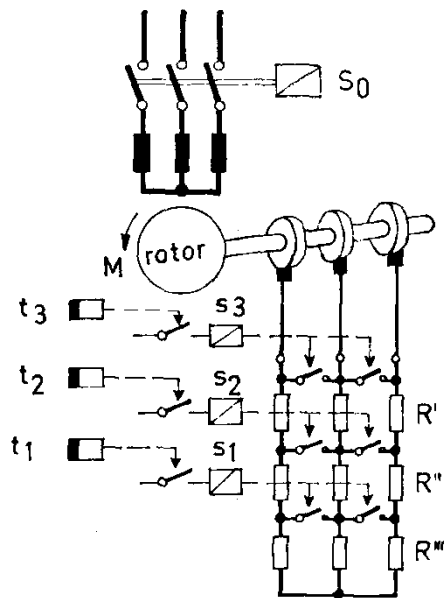
**Trofazni asinhroni kolutni motor**



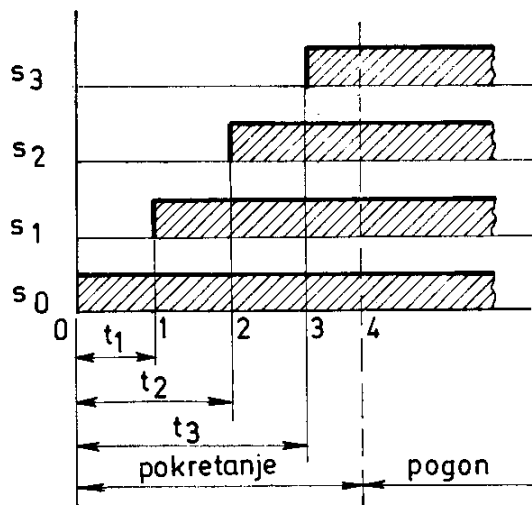
**Otproni uputnik motora (spojen na rotor) i promjena karakteristike momenta**



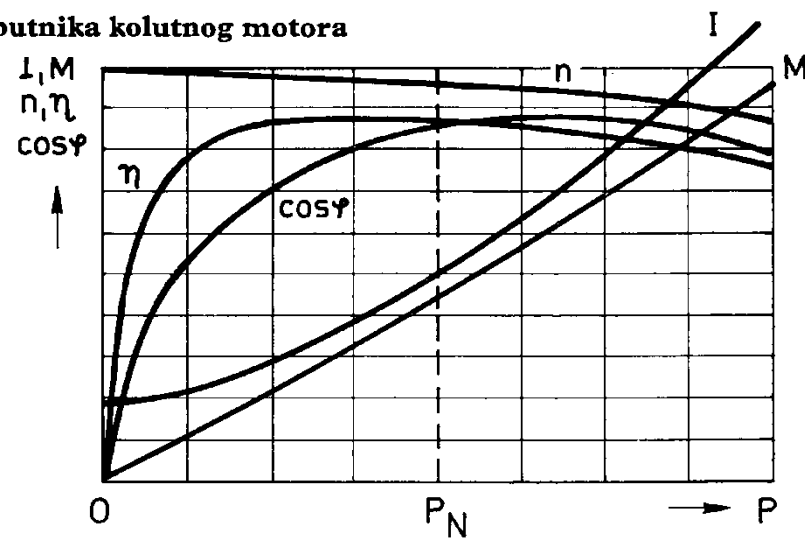
- $R_0 \rightarrow R = \emptyset$
- $R_1 \rightarrow R = R_1$
- $R_2 \rightarrow R = R_2 > R_1$



Određivanje stupnja otpora rotorskog uputnika kolturnog motora



Vremenski slijed uklopa pojedinih stupnja otpora



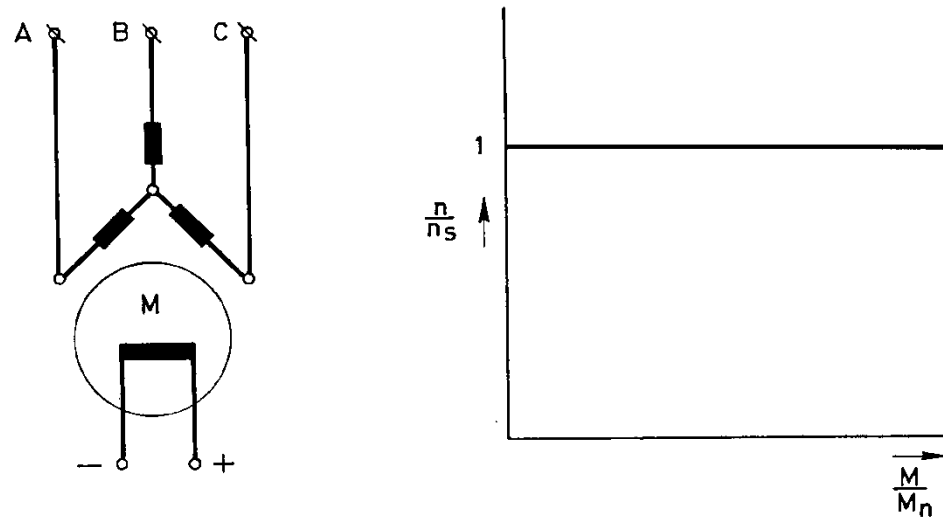
$P_N$  = nazivna snaga

Opća karakteristika trofaznih asinhronih motora

## Pogoni sa sinkronim motorima

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ (o/min)}$$

$f$  — frekvencija mreže  
 $p$  — broj polova stroja

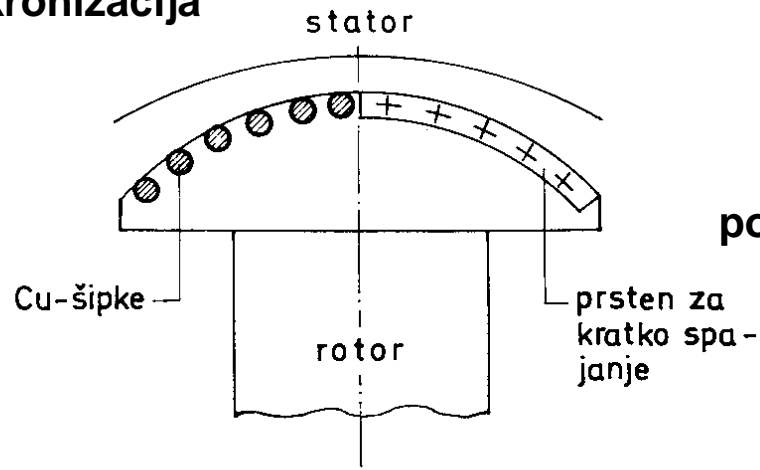
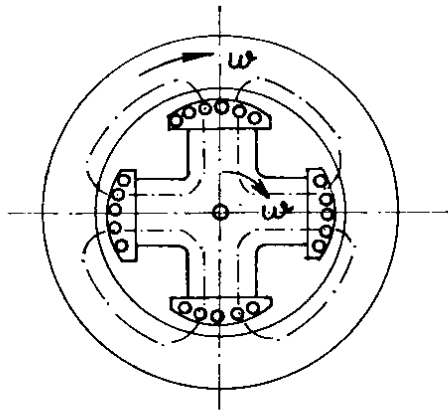


**Trofazni sinhroni motor**

snaga motora  $P = P_{\max} \cdot \sin \alpha$     moment motora  $M = \frac{P}{\omega} = \frac{P_{\max}}{\omega} \cdot \sin \alpha$

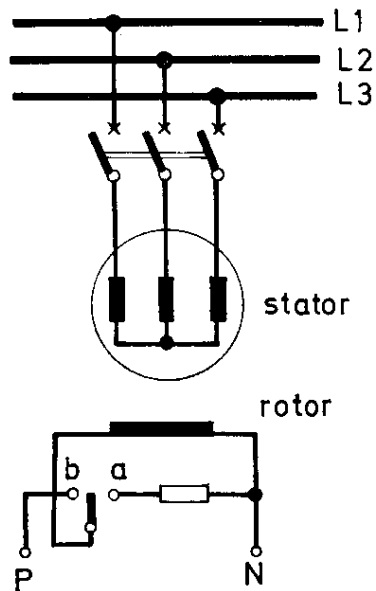


## Pokretanje i sinkronizacija

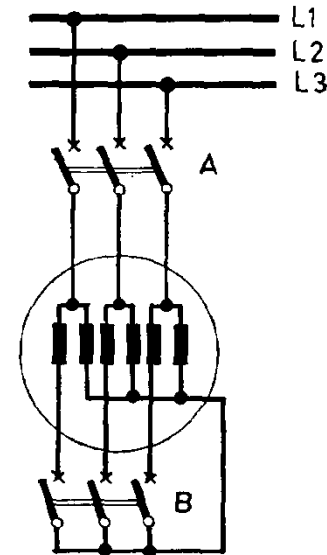


- pokretanje**
- $Y\Delta$
  - prigušnicom
  - autotrafom
  - blok trafom

## Pokretanje sinhronog motora kao asinhronog s kavezom u polovima

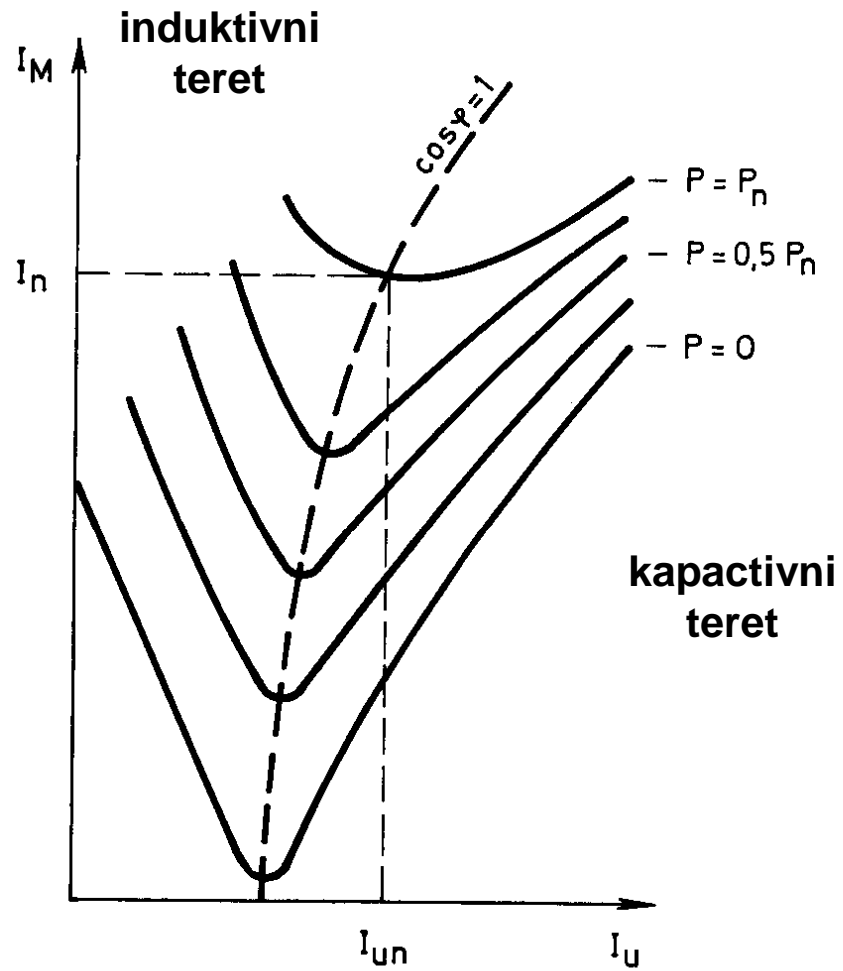


**Pokretanje sinhronog motora s premoštenim uzбудnim namotom preko otpora**



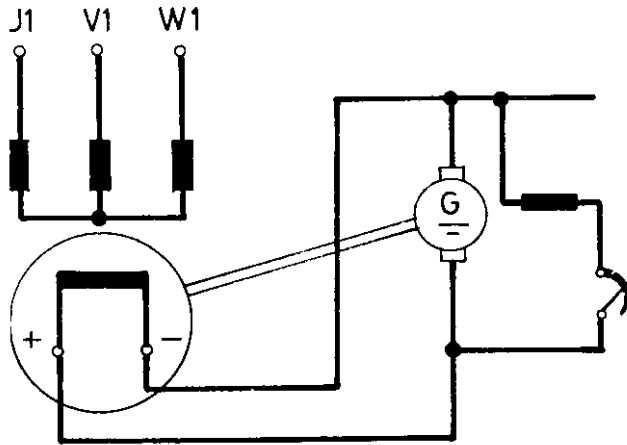
**Pomoćni namot sinhronog motora za pokretanje kao asinhroni motor**

## Uzbuda i pogon sinkronih motora

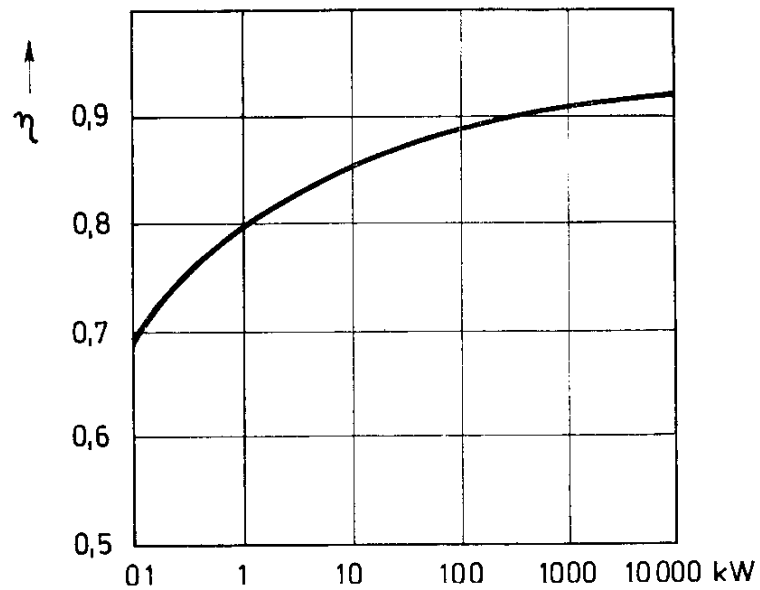


V-krivulje sinhronog motora; odnos struja opterećenja i uzbude

## pokretanje istosmjernim motorom

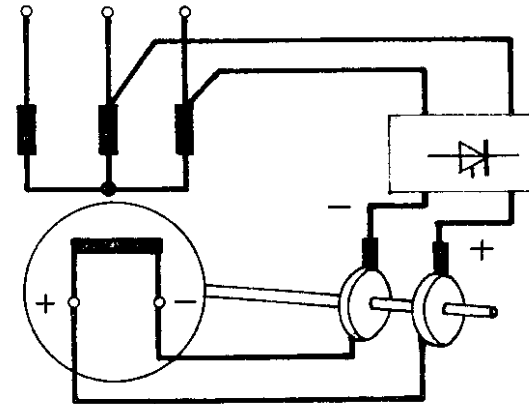


Uzbuda sinhronog motora napajana generatora iz posebnog pomoćnog na osnovi motora



Stupanj korisnog djelovanja sinhronih motora

## pokretanje kao asinkroni motor



Uzbuda sinhronog motora napajana preko upravljivog (reguliranog) tiristorskog usmjerivača

$\eta$  bolji nego kog asinkronih motora za snage veće od 1MW

## Pogoni s istosmjernim motorima

Inducirani napon u armaturi

$$E = k_1 \cdot \phi \cdot n$$

$\phi$  - magnetski tok uzbude  
 $n$  - broj okretaja stroja

$$M = k_2 \cdot \phi \cdot I$$

$\phi$  - magnetski tok uzbude  
 $I$  - struja armature

Moment motora

Pad napona na armaturi

$$\Delta U = I \cdot R$$

$R$ -ohmski otpor namota armature i  
s njom u seriju spojenih namota  
 $I$ -struja armature

Napon na priključnicama u ravnoteži je s  $E$  i  $\Delta U$        $U = E + \Delta U = E + I \cdot R$

$$n = \frac{U - I \cdot R}{k_1 \cdot \phi} \approx k_3 \cdot \frac{E}{\phi}$$

Broj okretaja

- **moment istosmjernog stroja** proporcionalan magnetskom toku uzbude i struji armature
- **broj okretaja stroja** obrnuto proporcionalan magnetskom toku uzbude

dva strujna kruga

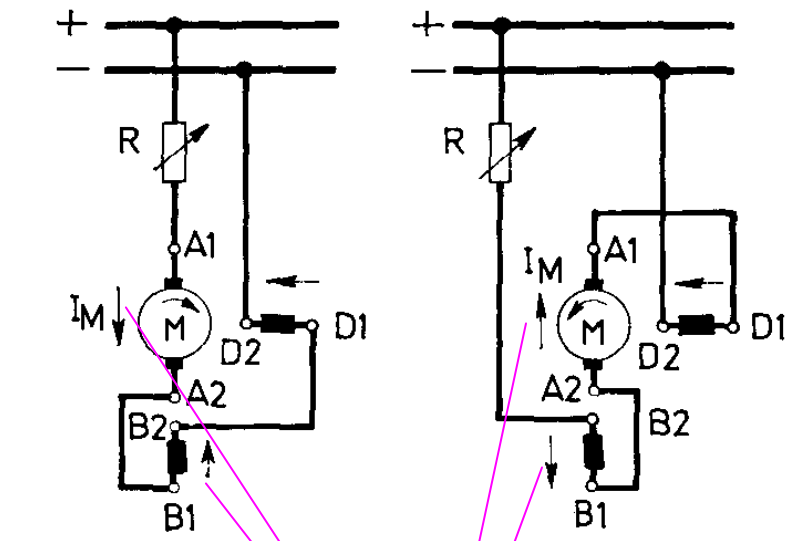
- strujni krug armature (namota rotora) i pomoćnih polova, odnosno kompenzacijskih namota
- strujni krug uzbude, koji čine namoti polova glavnog polja

serijski

poredni

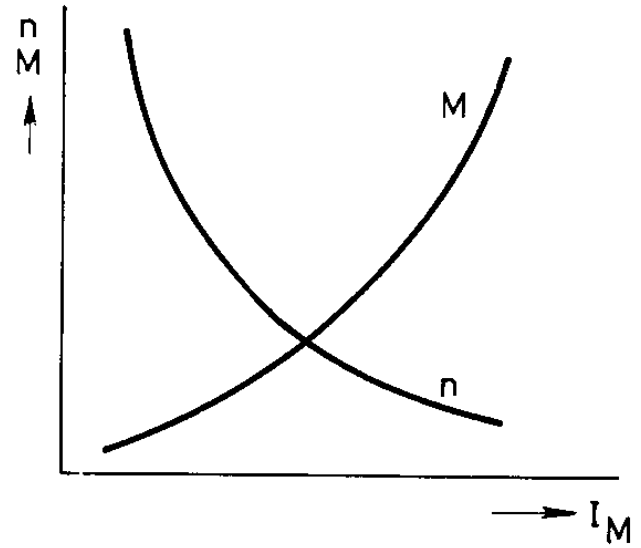
kompaudni

**Pogoni sa serijskim istosmjernim motorima**

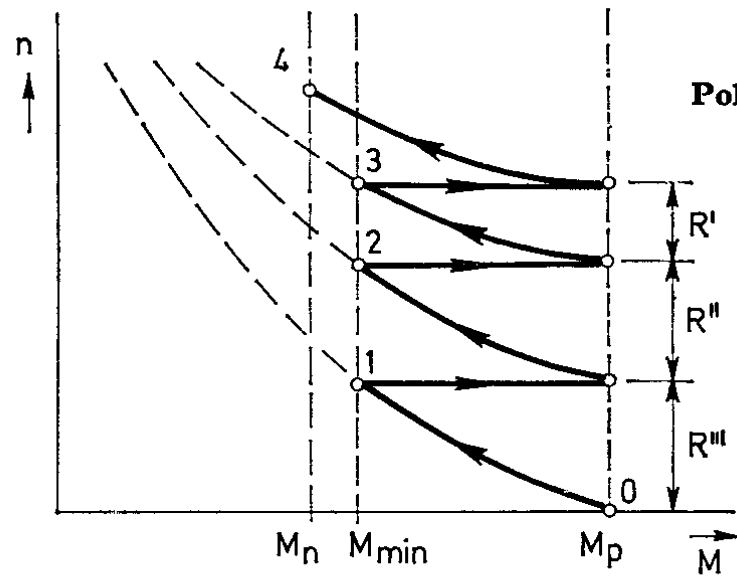
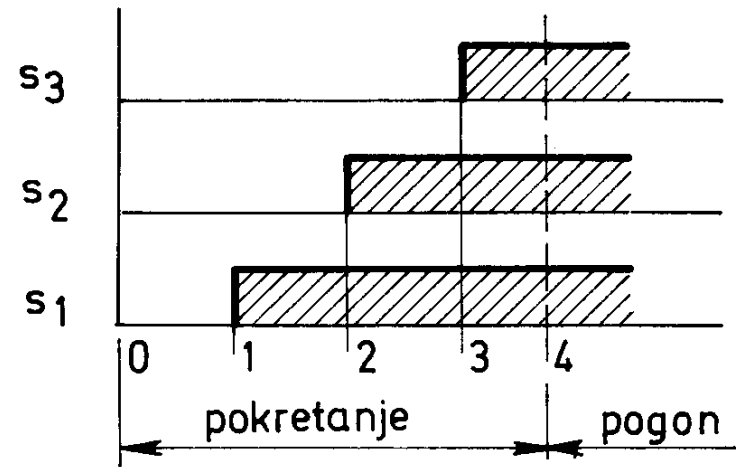
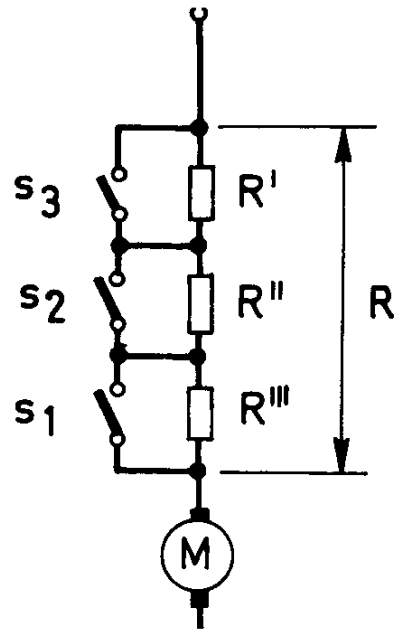


**Serijski istosmjerni motor (smjer vrtnje)**

suprotan smjer struja  
(reakcija armature)



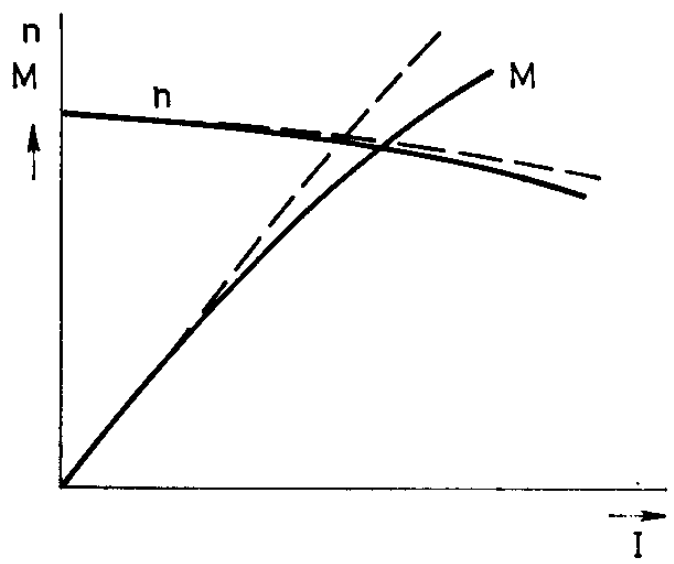
**Karakteristike momenata i brzine vrtnje u odnosu na opterećenje serijskog istosmjernog motora**



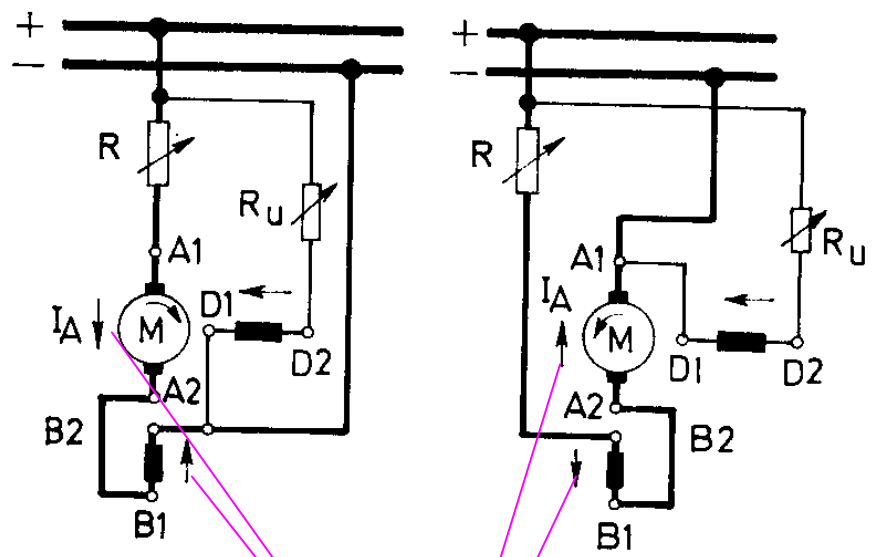
**Pokretanje serijskog istosmjernog motora stupnjevima predotpora i vremenski slijed isklapanja predotpora**

**Određivanje stupnja otpora prema momentu kod pokretanja serijskog istosmjernog motora**

**Pogoni s porednim istosmjernim motorima**

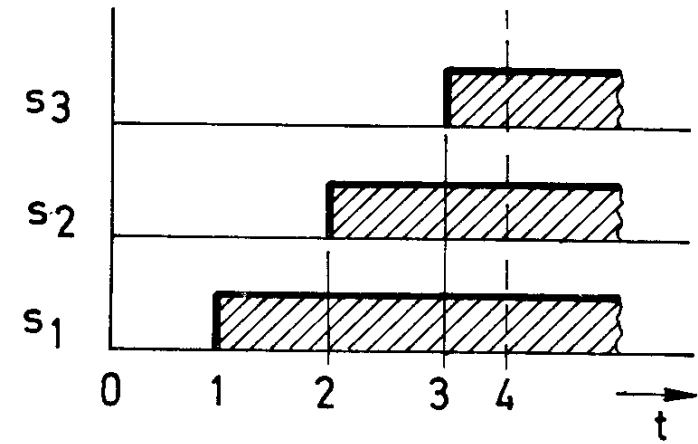
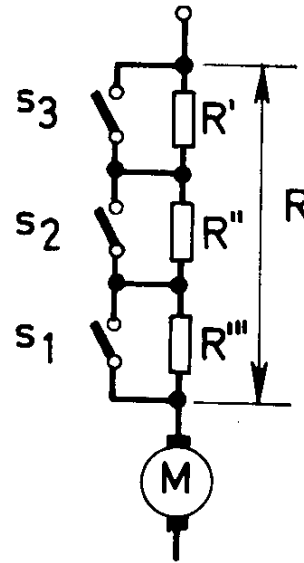


**Karakteristike momenta i brzine vrtnje u odnosu na opterećenje paralelnog istosmjernog motora**

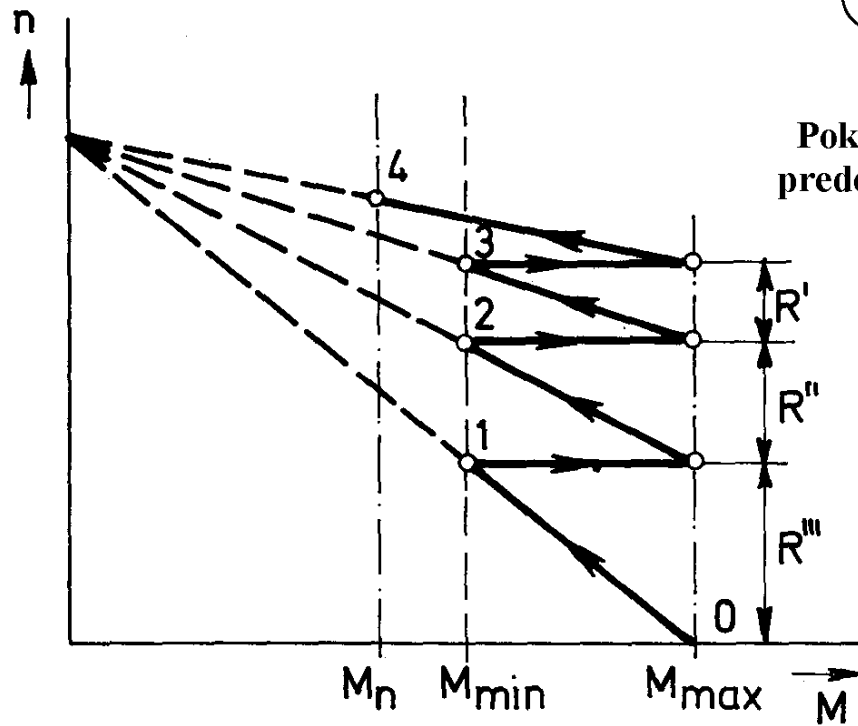


**Paralelni istosmjerni motor (smjer vrtnje)**

suprotan smjer struja  
(reakcija armature)



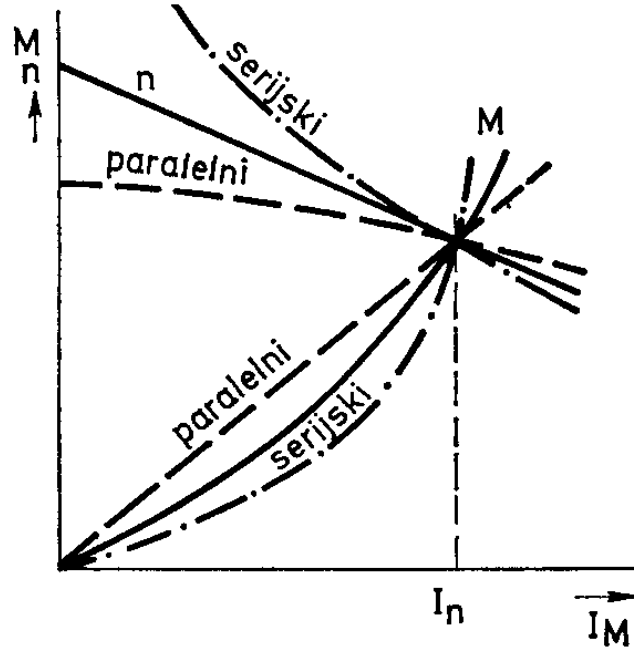
Pokretanje i vremenski slijed isklopa pojedinih stupnjeva predotpora kod pokretanja paralelnog istosmjernog motora



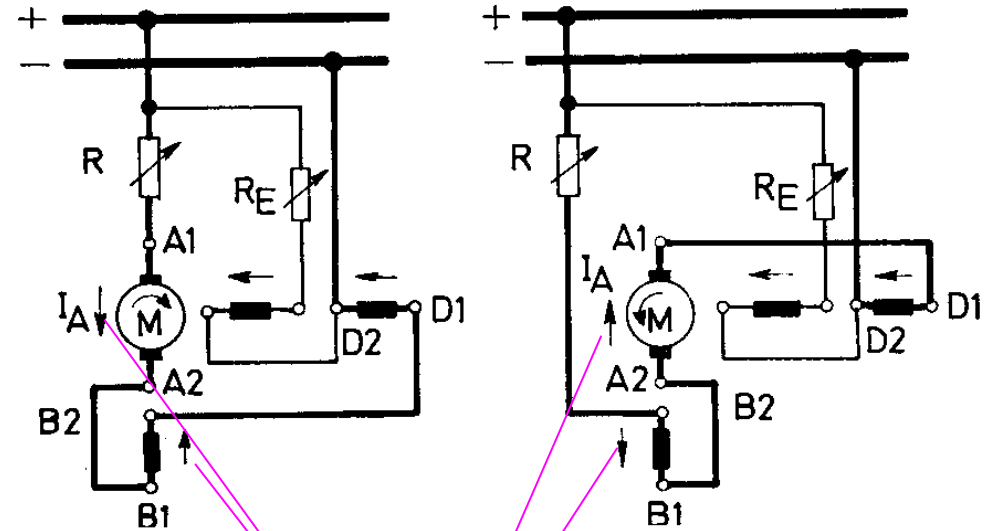
Pokretanje paralelnog istosmjernog motora stupnjevima predotpora prema momentu okretanja



**Pogoni s kompaudnim istosmjernim motorima**



**Karakteristike momenta i brzine vrtnje u odnosu opterećenje kompaudnog istosmjernog motora**



**Kompaudni istosmjerni motor (smjer vrtnje)**

suprotan smjer struja  
(reakcija armature)