

# ASINKRONI STROJEVI

## Osnovna obilježja

ASINKRONI STROJEVI  
Osnovna obilježja

- Stator asinkronog stroja - sličan kao i stator sinkronog stroja približno jednake snage.
- Potrebno je samo zamijeniti rotor.
- Stator asinkronog stroja ima raspoređeni namot, najčešće trofazni.
- Bitna je razlika na rotoru.

ASINKRONI STROJEVI  
Osnovna obilježja

- Sinkroni stroj:
  - na rotoru istaknuti polovi ili cilindrični rotor,
  - namot rotora se napaja iz vanjskog izvora istosmjernom strujom.
- Protjecanje rotora - istosmjerno, vrti se s rotorom.
- Asinkroni stroj:
  - rotor bez istaknutih polova,
  - raspoređeni namot na obodu rotora.
- Namot rotora se ne napaja iz vanjskog izvora.

ASINKRONI STROJEVI  
Osnovna obilježja

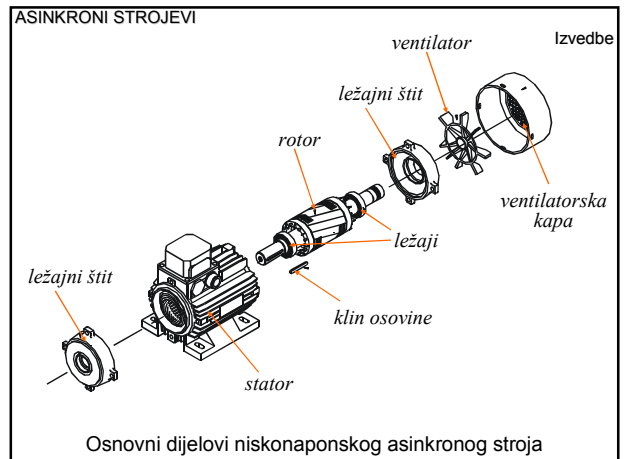
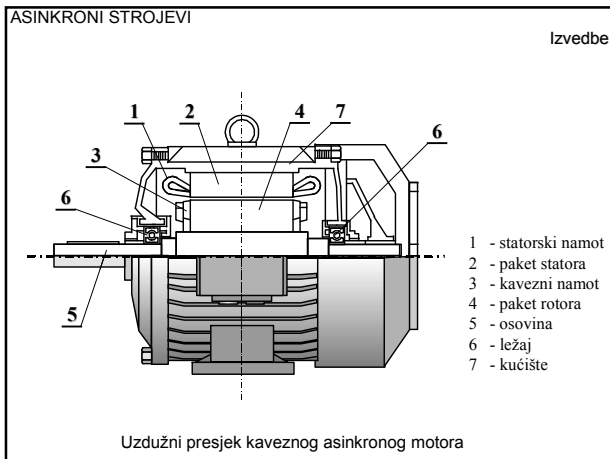
- U vodičima rotorskog namota naponi se induciraju okretnim poljem statora.
- Kad je stroj opterećen poteku struje.
- Rotorski namot je višefazni.
- Mora biti kratko spojen da bi tekle struje.
- Namot rotora može biti napravljen:
  - od svitaka na jednak način kao i statorski ili
  - kao kavez (uložni ili lijevani).
- Po izvedbi rotora se razlikuju vrste tih strojeva.

ASINKRONI STROJEVI  
Osnovna obilježja

- Asinkroni strojevi se najviše koriste kao motori.
- Asinkroni motori - jako rašireni u uporabi:
  - jednostavnost i pouzdanost,
  - proizvodnja u velikim serijama,
  - najjeftiniji.
- Sve je veća primjena u reguliranim pogonima.

ASINKRONI STROJEVI

Izvedbe



ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

- Stator asinkronog stroja se sastoji od:
  - statorskog paketa,
  - statorskog namota i
  - kućišta.
- Statorski paket je napravljen u obliku šupljeg valjka.
- Sastavljen je od prstenastih, međusobno izoliranih magnetskih limova debljine 0.5 ili 0.63 mm.

ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

- Uzduž statorskog paketa, u provrtu su utori u koje se stavlja armaturni namot.
- Statorski je namot višefazan simetrični, najčešće trofazni, spojen u trokut ili zvijezdu.
- Kod manjih strojeva - napravljen od okrugle žice (usipni namot) i velikog broja zavoja.
- Kod većih strojeva statorski namot ima mali broj zavoja, i napravljen je od profilnih vodiča.

ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

- Kućište stroja služi kao nosač i zaštita željeznog paketa i namota stroja.
- Izrađuje se od lijevanog željeza, valjanog čelika ili silumina.
- S vanjske strane kućište često ima rebra za povećanje površine hlađenja.
- Na kućištu motora se nalazi priključna kutija na kojoj su stezaljke vezane s krajevima statorskog namota.

ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

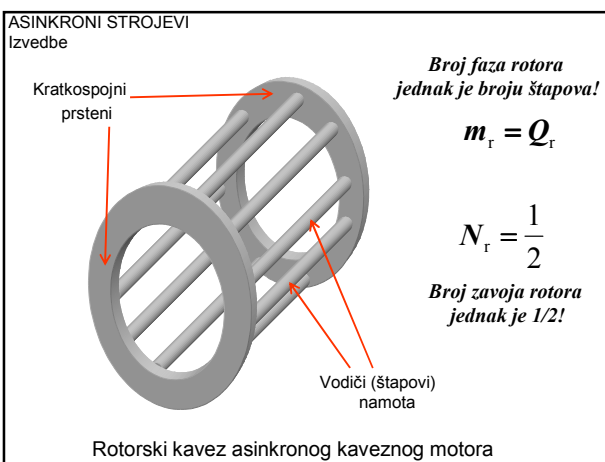
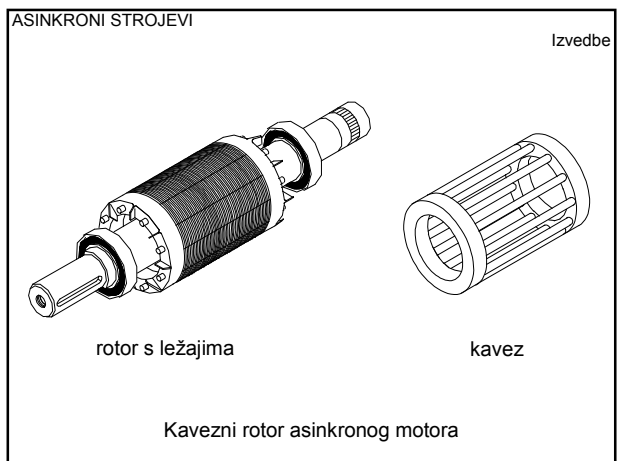
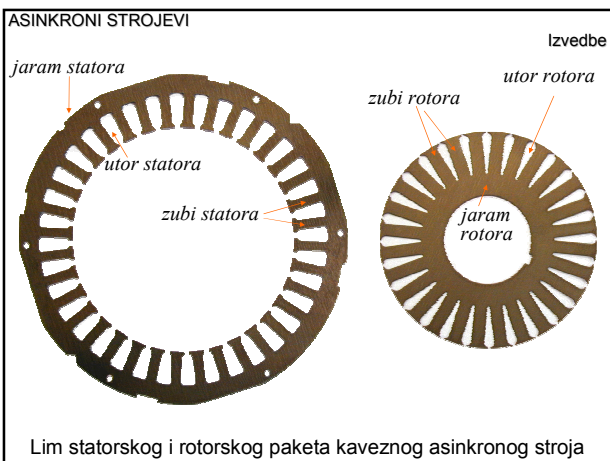
- Rotor se sastoji od:
  - rotorskog paketa,
  - namota i
  - osovine.
- Rotorski paket je napravljen u obliku valjka od međusobno izoliranih tankih magnetskih limova.
- Uzduž rotorskog paketa su utori za smještaj rotorskog namota.
- Asinkroni motori se dijele prema vrsti namota na:
  - kolutne i
  - kavezne.

ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

- Kolutni (klizno-kolutni) motor ima na rotoru raspoređen višefazni namot, u pravilu trofazni.
- Počeci namota su najčešće spojeni u zvijezdu.
- Krajevi su izvedeni do kliznih koluta.
- Pomoću sklopa klizni koluti-četkice možemo u seriju sa svakom fazom rotora uključiti dodatni otpor.
- Promjenama vanjskih otpora mijenjamo ukupni radni otpor u fazi rotora.

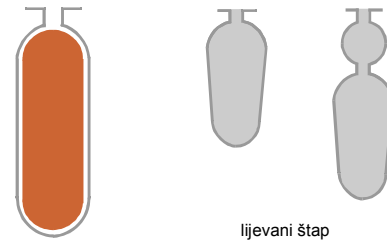
ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe

- Kavezni motor je druga osnovna izvedba asinkronog motora.
- U svakom utoru rotora je po jedan vodič u obliku štapa.
- Štapovi su sa svake strane rotora kratko spojeni prstenovima i čine višefazni rotorski namot.
- Namot izgleda poput kaveza - po tome je ova izvedba motora dobila ime kavezni motor.



- ASINKRONI STROJEVI  
Izvedbe
- Namot je simetričan.
  - Simetrični namot može imati proizvoljan broj faza.
  - Ovakav namot će u okretnom polju stvoriti simetričan višefazni sistem induciranih napona i struja koje su nužan uvjet za stvaranje momenta.
  - Izrada kaveznog namota je vrlo jednostavna: nema namatanja i ne treba izolirati namot.

- Koriste se dvije izvedbe kaveznog namota:
  - uložni i
  - lijevani.
- Uložni namot se radi od bakrenih štapova.
- Koristi kod motora srednjih i većih snaga.
- Kod manjih motora se koristi lijevani kavezni namot.
- Lijevani kavez se izrađuje od aluminija ili silumina.



uložni štap

lijevani štap

Najčešći oblici rotorskih utora i štapova kaveznih asinkronih strojeva



Stator visokonaponskog asinkronog motora (400 kW) u TE Rijeka



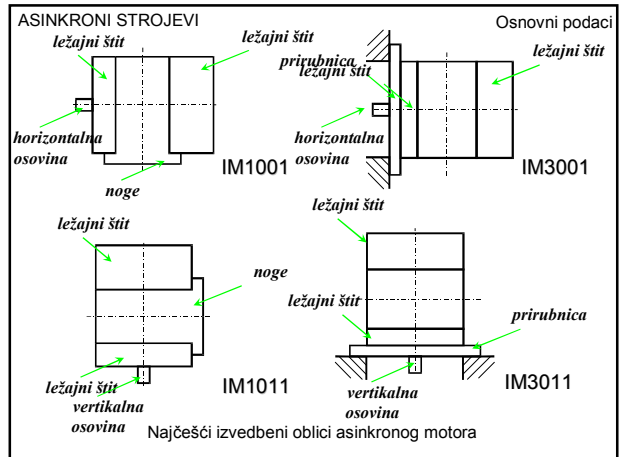
Rotor visokonaponskog asinkronog motora (400 kW) u TE Rijeka

## Osnovni podaci

- Osnovni podaci o asinkronom stroju dani su na natpisnoj pločici.
- Natpisna pločica sadrži:
  - osnovne podatke o proizvođaču,
  - godinu proizvodnje,
  - tipnu oznaku,
  - izvedbeni oblik,
  - spoj statorskog namota,
  - klasu izolacije i
  - nazivne podatke za koje je stroj građen.

ASINKRONI STROJEVI Osnovni podaci

- Tipna oznaka je različita kod različitih proizvođača.
- Vrsta zaštite motora je definirana standardima.
- Izvedbeni oblik određuje način postavljanja i spajanja s radnim mehanizmom.
- Izvedbeni oblici su sistematizirani i definirani standardima.



ASINKRONI STROJEVI Osnovni podaci

- Nazivni podaci asinkronog stroja su:
  - nazivna snaga  $P_n$ ,
  - nazivni napon  $U_n$  (efektivna vrijednost linijskog napona),
  - nazivna struja  $I_n$  (efektivna vrijednost linijske struje),
  - nazivna frekvencija  $f_n$ ,
  - nazivna brzina vrtnje  $n_n$ ,
  - nazivni faktor snage  $\cos\phi_n$ .

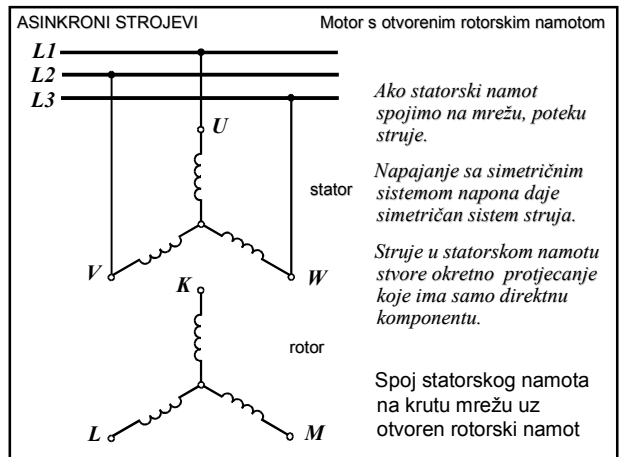
ASINKRONI STROJEVI Osnovni podaci

- Nazivna snaga je radna snaga na osovini.
- Važno je da se držimo podataka s natpisne pločice, pa se stroju u pogonu neće ništa dogoditi.
- Osnovno ograničenje na rad predstavlja zagrijanje stroja.
- Zagrijanje ne smije prijeći dozvoljenu granicu!

ASINKRONI STROJEVI

## NAČIN RADA

### Motor s otvorenim rotorskim namotom



ASINKRONI STROJEVI  
Motor s otvorenim rotorskim namotom

struja statorske faze  
broj zavoja  
faktor namota

$$\Theta_A = \frac{2\sqrt{2}I_s}{\pi} \cdot \frac{N_s}{a} \cdot \frac{1}{p} k_{ws}$$

protjecanje jedne faze  
broj paralelnih grana  
broj pari polova

protjecanje višefaznog namota

$$\Theta_s = \frac{m_s}{2} \Theta_A$$

- Rezultantno okretno statorsko protjecanje vrti se sinkronom brzinom  $n_s$ :

$$n_s = \frac{60 f_L}{p}$$

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA  
Motor s otvorenim rotorskim namotom

- Okretno statorsko protjecanje zatvara se kroz rotor.
- Ono u namotu rotora inducira napone (ako se rotor ne vrti istom brzinom).
- Namoti faza statora su prostorno razmaknuti za 120°.
- U njima se zbog promjenljivog magnetskog polja stvaraju elektromotorne sile.

ASINKRONI STROJEVI  
Motor s otvorenim rotorskim namotom

os A - t  
stator  
os a  
rotor  
položaj namota

vektorsko-fazorski dijagram

Namoti i vektorsko-fazorski prikaz asinkronog motora kod mirujućeg otvorenog rotora

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA  
Motor s otvorenim rotorskim namotom

- Omjer napona  $E_r$  i  $E_s$ :
 
$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{N_r \cdot k_{wr}}{N_s \cdot k_{ws}}$$

broj zavoja faze rotorskog namota  
faktor rotorskog namota  
broj zavoja faze statorskog namota  
faktor statorskog namota
- Frekvencija  $f_{r0}$  induciranog napona u fazi rotora koji miruje:
 
$$f_{r0} = f_s = f_L$$

frekvencija napona mreže  
frekvencija napona u rotoru  
frekvencija napona u statoru
- Stroj je spojen na krutu mrežu - napon  $E_s$  je stalan - i ukupno protjecanje je stalno.
- Struje u rotoru nema, nema protjecanja, nema momenta.

ASINKRONI STROJEVI  
Motor s otvorenim rotorskim namotom

- Da bi motor razvijao moment, moraju u rotorskom namotu teći struje koje će stvoriti protjecanje.
- Protjecanje rotora treba biti simetrično.
- Takvo protjecanje daje simetričan višefazni sistem struja u simetričnom višefaznom namotu.
- Moment ovisi o:
  - iznosu rotorskog protjecanja i
  - o kutu opterećenja.
- Broj faza nije važan - rotorski namot može imati i više faza nego stator.

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

## Okretno protjecanje rotora

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Okretno protjecanje mirnog rotora

- Broj faza statora i rotora ne mora biti jednak.
- Broj polova rotora mora biti jednak broju polova statora!
- Elektromagnetska pretvorba energije može se odvijati samo ako je broj polova rotora i statora jednak!
- Broj polova asinkronog motora diktira statorski namot - rotor se sam prilagodi tome.

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Okretno protjecanje mirnog rotora

- Okretno protjecanje statora inducira u višefaznom simetričnom namotu rotora simetričan sistem napona.
- Ako rotorski namot kratko spojimo ili ga spojimo preko jednakih impedancija, dobit ćemo:
  - simetričan sistem struja,
  - simetrično protjecanje i
  - moment.

ASINKRONI STROJEVI  
os A

os a

stator

rotor

položaj namota

vektorsko-fazorski prikaz

NAČIN RADA

Okretno protjecanje mirnog rotora

os A - t

$\omega$

$\vec{E}_s$

$\vec{E}_r$

$\vec{I}_r$

struja rotora kasni za naponom

$\varphi_r$

$\vec{\Theta}_r$

$\vec{\Theta}$

Namoti i vektorsko-fazorski prikaz asinkronog motora kod mirnog rotora kad se osi namota poklapaju

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Okretno protjecanje rotora

- Struja u fazi rotora  $I_r$  će kasniti za naponom  $E_r$  za kut  $\varphi_r$  - zbog impedancije rotora.
- Vektor protjecanja rotora poklopit će se s fazorom struje rotora.
- Vektor protjecanja rotora  $\vec{\Theta}_r$  zaostaje za naponom  $\vec{E}_r$  za kut  $\varphi_r$  - bez obzira na položaj rotora.
- Kut opterećenja asinkronog stroja iznosi:
 
$$\delta_r = \frac{\pi}{2} + \varphi_r$$

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Vrtnja rotora i klizanje

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Vrtnja rotora i klizanje

- Relativna brzina rotora  $n_{rel}$  u odnosu na sinkronu brzinu  $n_s$ :
 
$$n_{rel} = n_s - n$$
- Omjer relativne brzine rotora  $n_{rel}$  i sinkrone brzine  $n_s$  nazivamo klizanjem  $s$ :
 
$$s = \frac{n_{rel}}{n_s} = \frac{n_s - n}{n_s}$$
- Pri sinkronoj brzini ( $n=n_s$ ) je klizanje jednako  $s=0$ .
- Klizanje rotora u mirovanju iznosi  $s=1$  jer je  $n=0$ .

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Vrtnja rotora i klizanje

- Relativna brzina određuje frekvenciju u rotoru:  

$$f_r = \frac{n_{rel} p}{60} = \frac{(n_s - n) p}{60} \Rightarrow f_r = s f_s$$
- Inducirani napon u fazi rotora iznosi:  

$$E_r = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi f_r N_r k_{wr} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi s f_s N_r k_{wr}$$
- Inducirani napon rotora u mirovanju  $E_{r0}$  je jednak:  

$$E_{r0} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi f_{r0} N_r k_{wr} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi f_s N_r k_{wr}$$
- Inducirani napon u fazi rotora pri klizanju  $s$ :  

$$E_r = s E_{r0}$$

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Nadomjesna shema rotora

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Nadomjesna shema rotora

- U rotorskom krugu se nalaze radni otpor  $R_r$  i rasipna reaktancija  $X_{\sigma r}$ .
- Ako nema dodatnih otpora, onda je radni otpor faze rotora  $R_r$  jednak radnom otporu namota  $R_{r0}$  te faze:  

$$R_r = R_{r0}$$
- To uvijek vrijedi za kavezne strojeve!

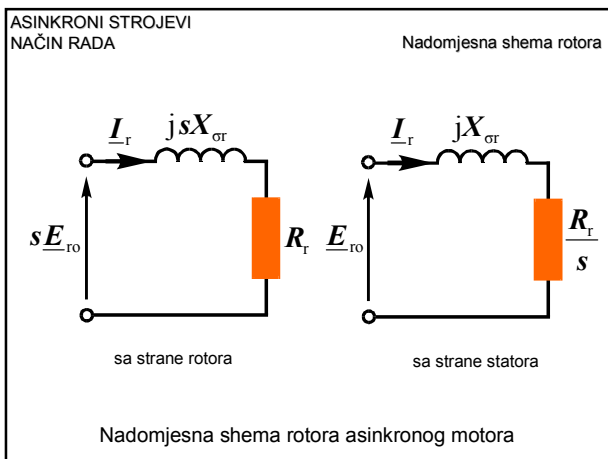
ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Nadomjesna shema rotora

- Rasipnu reaktanciju rotora definiramo za rotor u mirovanju (pomoću rasipnog induktiviteta rotora  $L_{\sigma r}$  i rotorske frekvencije  $f_{r0}$ ):  

$$X_{\sigma r} = 2\pi f_{r0} L_{\sigma r} = 2\pi f_s L_{\sigma r}$$
- Pri nekoj drugoj rotorskoj frekvenciji  $f_r$  stvarna reaktancija  $X_{\sigma r}^*$  ovisi o toj frekvenciji:  

$$X_{\sigma r}^* = 2\pi f_r L_{\sigma r} = 2\pi s f_s L_{\sigma r} = s X_{\sigma r}$$
- Prikladnije je koristiti ovu reaktanciju u obliku  $sX_{\sigma r}$ .



ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Kružni dijagram



ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

• Kružni dijagram - ovisnost rotorske struje o klizanju  $s$ .

*Rotorska struja*

$$\underline{I}_r = \frac{\underline{E}_{r0}}{s} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_r}{s} + jX_{\sigma r}\right)}$$

$$\underline{I}_r \left(\frac{R_r}{s} + jX_{\sigma r}\right) = \underline{E}_{r0} \quad /: (jX_{\sigma r})$$

$$\underline{I}_r \left(\frac{1}{j} \cdot \frac{R_r}{sX_{\sigma r}} + 1\right) = \frac{\underline{E}_{r0}}{jX_{\sigma r}}$$

*zbroj okomitih fazora*

$$\underline{I}_r + \underline{I}_r \cdot \frac{1}{j} \cdot \frac{R_r}{sX_{\sigma r}} = \frac{\underline{E}_{r0}}{jX_{\sigma r}}$$

*ne ovisi o klizanju*

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Kružni dijagram

$$\underline{I}_r + \underline{I}_r \cdot \frac{1}{j} \cdot \frac{R_r}{sX_{\sigma r}} = \frac{\underline{E}_{r0}}{jX_{\sigma r}}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{\underline{I}_r}{\underline{I}_r \cdot \frac{R_r}{sX_{\sigma r}}} = s \cdot \frac{X_{\sigma r}}{R_r}$$

$$\text{tg } \varphi_{rk} = \frac{X_{\sigma r}}{R_r}$$

Kružni dijagram rotorske struje asinkronog motora

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Kružni dijagram

Kružni dijagram protjecanja asinkronog motora u motornom sustavu

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Kružni dijagram

- Statorsko protjecanje:  $\theta_s = k_s I_s$
- Rotorsko protjecanje:  $\theta_r = k_r I_r$
- Ukupno protjecanje proporcionalno je nekoj struji statora  $I_0$ :  $\theta = k_s I_0$
- $I_0$  je ona struja koja mora teći u statorskom namotu da stvori protjecanje  $\theta$  – struja praznog hoda.
- Protjecanje rotorske struje svedene na stator  $I_r'$ :
 
$$\theta_r = k_s I_r' = k_r I_r$$

$$I_r' = I_r \frac{k_r}{k_s} = \frac{m_r N_r k_{wr}}{m_s N_s k_{ws}} I_r$$

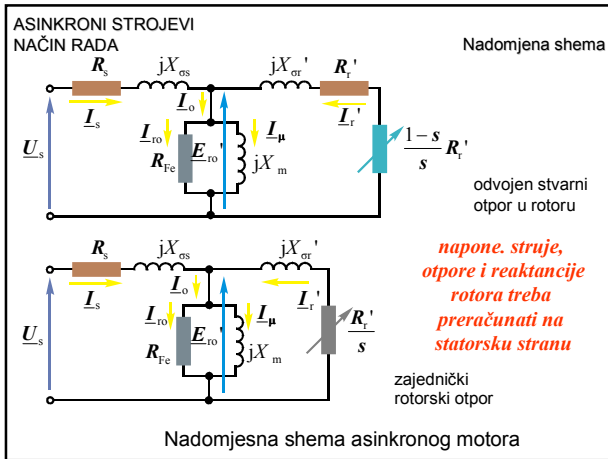
ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Kružni dijagram

Kružni dijagram struja asinkronog motora

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Nadomjesna shema



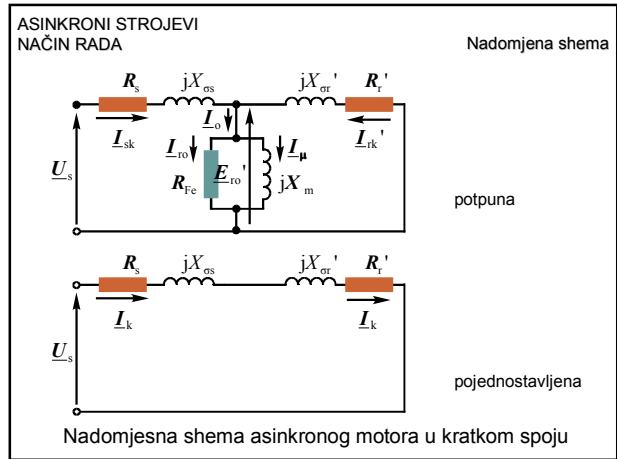
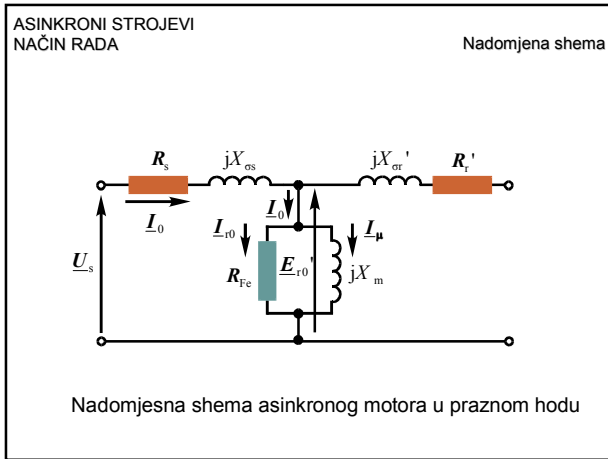
ASINKRONI STROJEVI  
Nadomjena shema

Svedene veličine sekundara

$$\underline{E}_{r0}' = \frac{N_s k_{ws}}{N_r k_{wr}} \underline{E}_{r0} = \underline{E}_s \quad \underline{I}_r' = \frac{m_r}{m_s} \cdot \frac{N_r k_{wr}}{N_s k_{ws}} \underline{I}_r$$

$$R_r' = \frac{m_s}{m_r} \left( \frac{N_s k_{ws}}{N_r k_{wr}} \right)^2 R_r \quad X_{\sigma r}' = \frac{m_s}{m_r} \left( \frac{N_s k_{ws}}{N_r k_{wr}} \right)^2 X_{\sigma r}$$

- $X_m$  je glavna reaktancija.
- $R_{Fe}$  je nadomjesni otpor za gubitke u željezu statora.
- U rotorskom krugu je stvarni radni otpor  $R_r'$  i nadomjesni otpor za mehaničku snagu u rotoru  $R_r'(1-s)/s$ .



ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

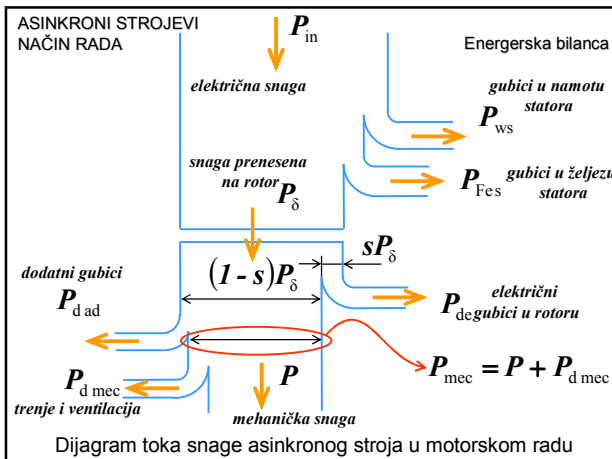
Energetska bilanca

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Energetska bilanca

- Motor uzima iz mreže snagu  $P_{in}$ .
- Dio se troši na gubitke u statorskom namotu  $P_{ws}$  i gubitke u željezu statora  $P_{Fes}$ .
- Ostatak je snaga u zračnom rasporu  $P_{\delta}$  koja se prenosi na rotor:

$$P_{\delta} = P_{in} - P_{ws} - P_{Fes}$$



ASINKRONI STROJEVI  
Energjska bilanca

- Na rotor se prenosi snaga  $P_{\delta}$ :
 
$$P_{\delta} = m_r I_r^2 \frac{R_r}{s}$$
- Električni gubici u radnim otporima rotora su:
 
$$P_{de} = m_r R_r I_r^2 = P_{wr} + P_{Rad} = s P_{\delta}$$
- Mehanička snaga na rotoru  $P_{mec}$ :
 
$$P_{mec} = P_{\delta} - P_{dr} = m_r I_r^2 R_r \frac{1-s}{s} = (1-s)P_{\delta}$$
- Mehanička snaga predstavlja najvećim dijelom korisnu snagu na osovini  $P$ :
 
$$P_{mec} = P + P_{d mec}$$

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

## Karakteristike struje i momenta

ASINKRONI STROJEVI  
Karakteristika struje

*Rotorska impedancija*

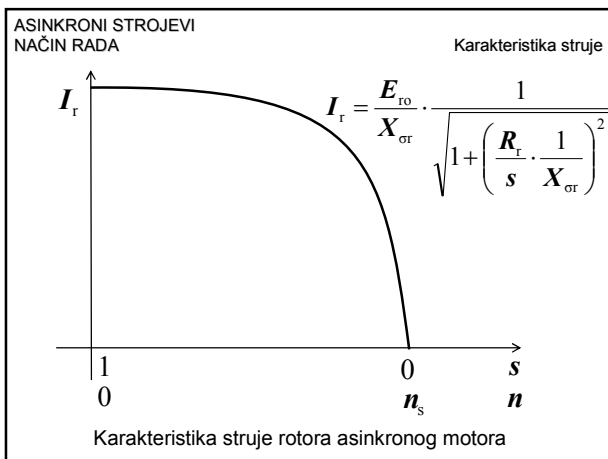
$$Z_r = \frac{R_r}{s} + jX_{\sigma r}$$

*Modul rotorske impedancije*

$$Z_r = \sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_{\sigma r}^2}$$

*Rotorska struja – stvarna vrijednost*

$$\underline{I}_r = \frac{\underline{E}_{ro}}{\frac{R_r}{s} + jX_{\sigma r}}$$

$$I_r = \frac{E_{ro}}{Z_r} = \frac{E_{ro}}{X_{\sigma r}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_r}{s} \cdot \frac{1}{X_{\sigma r}}\right)^2}}$$


ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA  
Karakteristika struje

- I statorska struja ima sličan oblik, samo što u sinkronizmu ima malu vrijednost struje magnetiziranja, odnosno praznog hoda.
- Iznos struje je proporcionalan naponu i jako ovisi o klizanju.
- Pri sinkronoj brzini ( $s=0$ ) nema induciranog napona u rotoru, pa je i struja  $I_r$  jednaka nuli.

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Moment i karakteristika momenta

*Elektromagnetski moment asinkronog stroja*

$$T_e = \frac{\pi}{\tau_p} V B \Theta_r \sin \delta_r$$

$\tau_p = \frac{d_s \pi}{2p}$  polni korak  
 $V = \frac{d_s^2 \pi}{4} l$  volumen  
 $B = \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{E_s}{\tau_p l f_s N_s k_{ws}}$  indukcija  
 $\Theta_r = \frac{m_r}{2} \cdot \frac{2\sqrt{2} I_r}{\pi p} N_r k_{wr}$  rotorsko protjecanje  
 $\delta_r = \frac{\pi}{2} + \varphi_r$  kut opterećenja

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Moment i karakteristika momenta

*Elektromagnetski moment*

$$T_e = \frac{\pi}{\tau_p} V B \Theta_r \sin \delta_r$$

$$T_e = \frac{m_s}{\Omega_m} E_s I_r' \cos \varphi_r = k_{Ts} E_s I_r' \cos \varphi_r$$

- Veličine  $k_{Ts}$  i  $E_s$  su konstante, a  $I_r' \cos \varphi_r$  predstavlja u nekom mjerilu veličinu momenta.
- To je na kružnom dijagramu udaljenost između promatrane radne točke na kružnici i apscise.

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Moment i karakteristika momenta

$T = k_{Ts} E_s I_r' \cos \varphi_r$

Moment u kružnom dijagramu asinkronog motora

ASINKRONI STROJEVI  
Moment i karakteristika momenta

- Iz kružnog dijagrama se vidi ovisnost momenta o klizanju  $s$ .
- Na klizanju  $s=1$  je potezni moment  $T_k$  (moment kratkog spoja).
- Smanjenjem klizanja moment raste do prekretnog (maksimalnog) momenta  $T_m$  na klizanju  $s=s_m$ .
- S daljnjim smanjenjem klizanja moment opada i iščezava kod  $s=0$ .

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

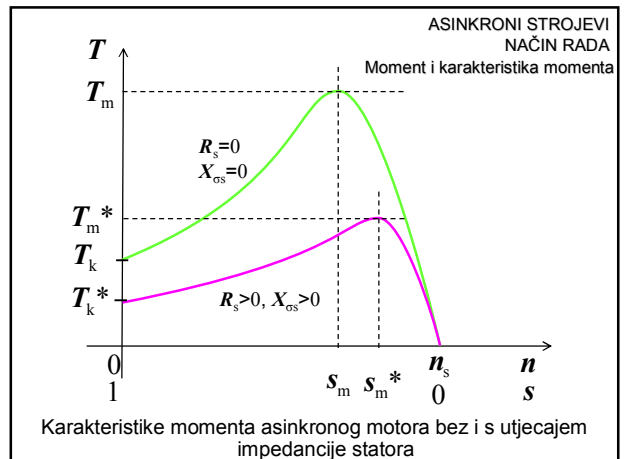
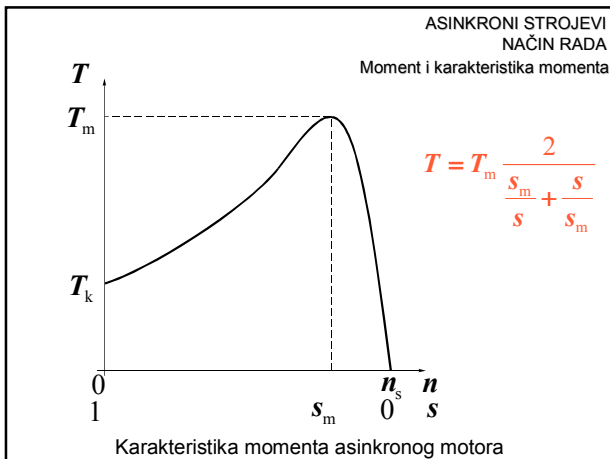
Moment i karakteristika momenta

- Moment motora:
 
$$T = k_{Tr} \frac{E_{r0}^2}{2X_{\sigma r}} \cdot \frac{2}{s X_{\sigma r} \frac{R_r}{s X_{\sigma r}} + R_r}$$
- Maksimalni (prekretni) moment  $T_m$ :
 
$$T_m = k_{Tr} \frac{E_{r0}^2}{2X_{\sigma r}}$$
- Prekretno klizanje  $s_m$ :
 
$$s_m = \frac{R_r}{X_{\sigma r}}$$

ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Moment i karakteristika momenta

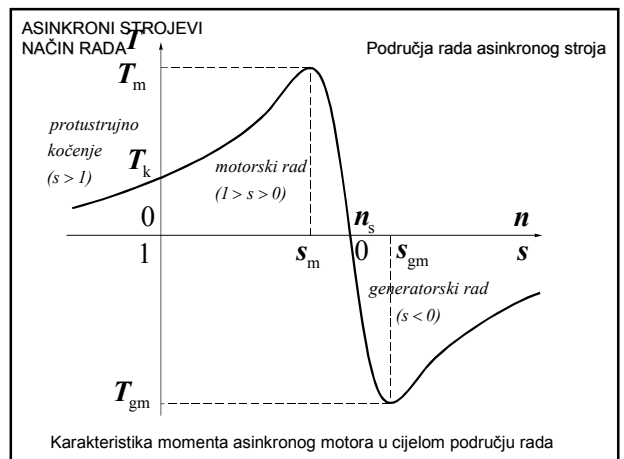
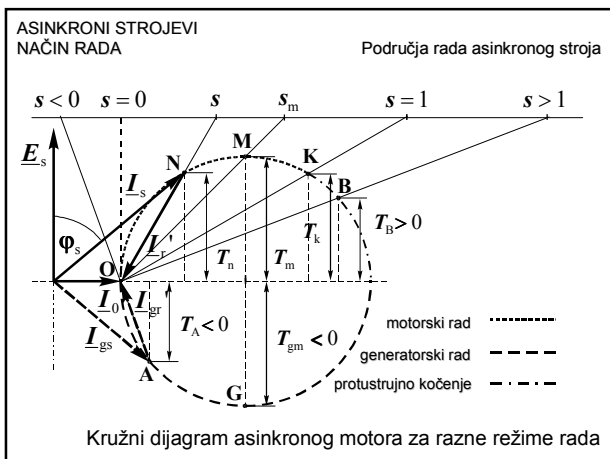
- Klossova jednadžba za moment:
 
$$T = T_m \frac{2}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}}$$
- Rasipne reaktancije i otpor statorskog namota ne smijemo zanemariti.



ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA

Područja rada asinkronog stroja

- ASINKRONI STROJEVI  
NAČIN RADA  
Područja rada asinkronog stroja
- Asinkroni stroj može raditi kao:
    - motor,
    - generator ili
    - kočnica.
  - Režimi rada:
    - motorski rad (od  $s=0$  do  $s=1$ ),
    - generatorski rad ( $s<0$ ) i
    - protustrujno kočenje ( $s>1$ ).
  - Asinkroni stroj se sam prilagođava teretu, i to promjenom brzine vrtnje.

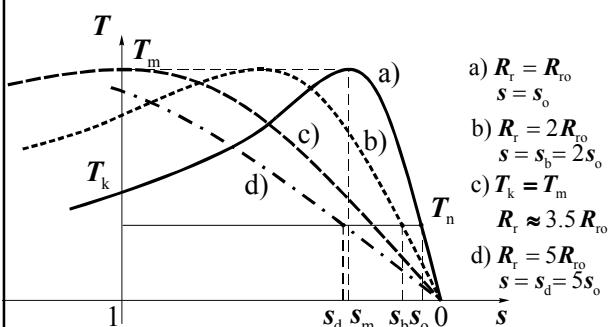


## Utjecaj rotorske impedancije na moment

- Moment motora će ostati isti ako je isti omjer  $R_r/s$ :

$$T = k_{Tr} \frac{E_{r0}^2}{X_{gr}} \cdot \frac{1}{\left( \frac{R_r}{sX_{gr}} + \frac{sX_{gr}}{R_r} \right)}$$

- To znači da će  $n$ -puta veći otpor u rotorskom krugu dati isti moment kod  $n$ -puta većeg klizanja.
- To je u karakteristici momenta ekvivalentno rastezanju grafa uzduž apscisne osi.

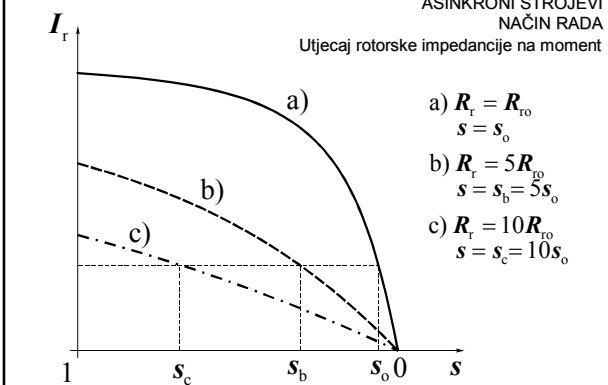


Utjecaj povećanja otpora u rotorskom krugu na karakteristiku momenta asinkronog motora

- Isto tako struja se neće promijeniti ako se istovremeno poveća  $s$  jednakim faktorom i radni otpor rotora i klizanje:

$$I_r = \frac{E_{r0}}{Z_r} = \frac{E_{r0}}{X_{gr}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{R_r}{s} \cdot \frac{1}{X_{gr}} \right)^2}}$$

- Kao i kod momenta, to je ekvivalentno rastezanju grafa struje uzduž apscisne osi.



Utjecaj povećanja radnog otpora u rotorskom krugu na karakteristiku struje rotora asinkronog motora

- Dodavanjem vanjskog otpora pri pokretanju klizno-kolutnih motora se:

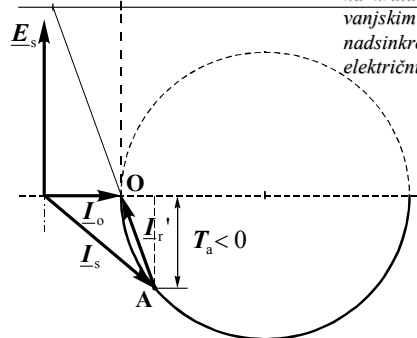
- povećava potezni moment i
- smanjuje potezna struja.

- Sličan efekt se kod kaveznih motora postigne izborom oblika presjeka štapa kaveznog namota.

- Pojava koja se pritom koristi je potiskivanje struje ili skin-efekt.

## Asinkroni generator

Asinkroni generator

 $s < 0$   $s = 0$ 

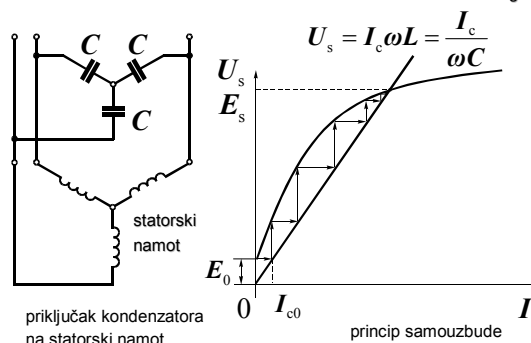
Radna točka asinkronog generatora

*Ako asinkroni stroj spojimo na krutu mrežu i vrtimo ga vanjskim momentom, radit će nadsinkrono i predavati električnu energiju u mrežu.*

Asinkroni generator

- Stroj uzima induktivnu jalovu energiju iz mreže za uspostavu magnetskog polja.
- Asinkronom stroju moramo osigurati izvor jalove energije ako treba raditi kao generator.
- Potrebnu induktivnu struju možemo dobiti i iz kondenzatora - samouzbudni asinkroni generator.
- Kod asinkronog generatora nemamo mogućnosti uzбудom mijenjati reaktivnu snagu.

Asinkroni generator



prijključak kondenzatora na statorski namot

princip samouzbuđe

Samouzbudni asinkroni generator

Asinkroni generator

- Potreban kapacitet (uz poznati induktivitet stroja  $L$ ) - iz ravnotežne točke:

$$I_c \omega L = \frac{I_c}{\omega C} \Rightarrow LC = \frac{1}{\omega^2}$$

- Za frekvenciju  $f=50\text{Hz}$  je  $LC \approx 10^{-5}\text{s}^2$ .
- Nakon što se generator uzbudi, možemo ga teretiti.
- Pri induktivnom opterećenju će napon padati, a pri kapacitivnom rasti.
- Pri opterećenju će se i frekvencija malo mijenjati.

Asinkroni generator

- Asinkroni generator 4AZ160L-4 za traktorski pogon:

- nazivna snaga: 16500 VA
- nazivni napon: 380 V
- nazivna struja: 25 A
- nazivna brzina vrtnje: 1480 o/min

- Smješten je na kolicima i kardanskom spojkom se spoji s pogonom.

- Uzbuda generatora - paralelni spoj kondenzatora:

- 3 x 50  $\mu\text{F}$  (kondenzator od 50  $\mu\text{F}$  je veličine cca  $\phi 40 \times 100\text{mm}$ )
- 3 x 25  $\mu\text{F}$
- 3 x 25  $\mu\text{F}$

- Potrebni su i dodatni kondenzatori za opterećenje, te sklop za uključivanje/isključivanje kondenzatora.

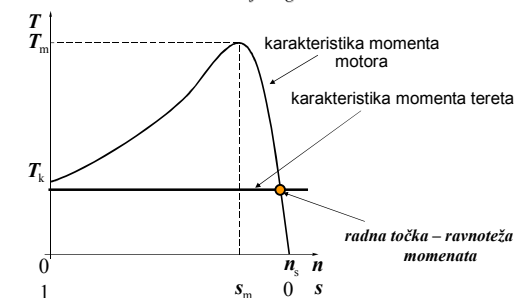
- Asinkroni generator - rezervni izvor električne energije u slijedećim djelatnostima:
  - farma pilića - valionica pilića,
  - svinjogojska farma - pogon pumpi za hranjenje,
  - farma krava - za mužnju,
  - navodnjavanje polja - pogon pumpe za vodu,
  - sječa šume - pogon električne pile itd.

## UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

### Pokretanje zvijezda - trokut

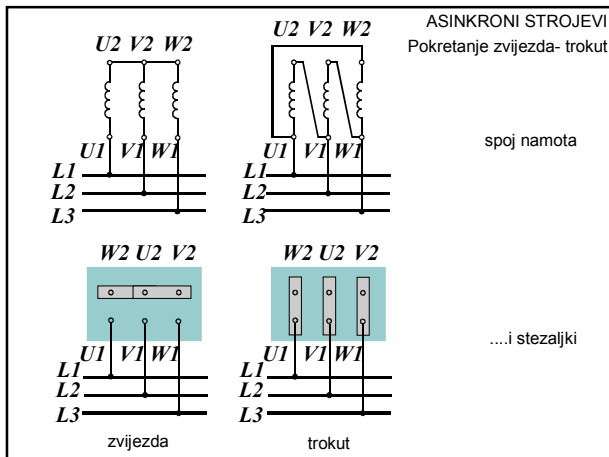
Pri pokretanju asinkronih motora nemamo problema kao kod sinkronih motora.

Ako je moment tereta manji od poteznog momenta motora, priključkom na mrežu motor će krenuti i ubrzati do brzine koja odgovara ravnoteži momenata.



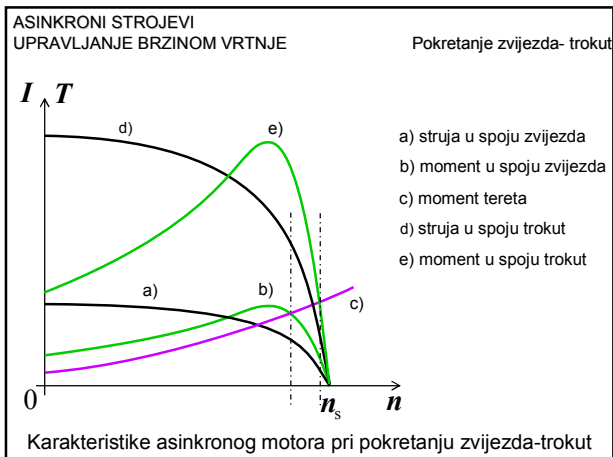
Karakteristike momenta asinkronog motora i tereta

- Pokretanje može stvarati teškoće zbog velike potezne struje.
- Potezna struja može biti višestruko veća od nazivne, - ukopčanja motora mogu uzrokovati nedopustive strujne udarce na mrežu.
- Jedan od načina da se udarci na mrežu smanje je pokretanje zvijezda-trokut.



- Privremeno, za vrijeme pokretanja motor možemo spojiti u zvijezdu.
- U zvijezda spoju naponi pojedinih faza su  $\sqrt{3}$  puta manji, pa će fazna struja biti  $\sqrt{3}$  puta manja i jednaka linijskoj struji.
- Kod spoja u trokut je linijska struja  $\sqrt{3}$  puta veća od fazne u spoju trokut, odnosno 3 puta veća od fazne (i linijske) u zvijezda spoju.
- Privremenim spajanjem statorskog namota u zvijezdu možemo smanjiti poteznu struju 3 puta!



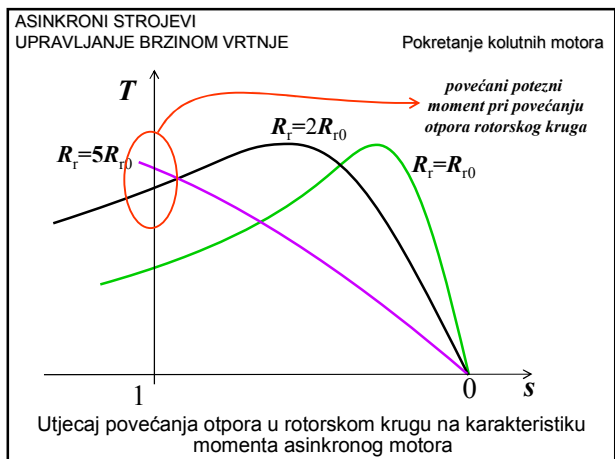
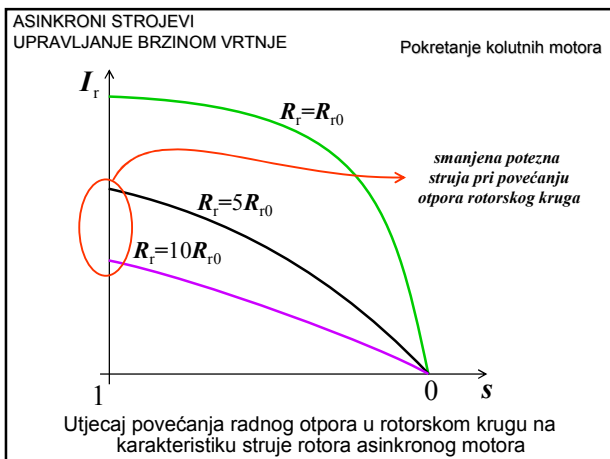


- ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE
- Pokretanje zvijezda- trokut
- Moment motora je proporcionalan s kvadratom faznog napona – smanjit će se tri puta.
  - Pokretanje je moguće samo ako je moment tereta u mirovanju manji od momenta koji motor razvija pri sniženom naponu.
  - To je često slučaj za pogone koje pokrećemo bez tereta (npr. pogoni u drvnjoj industriji i slično).
  - Nakon što se motor zaleti na približno nazivnu brzinu vrtnje, prespojimo ga u trokut.

ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

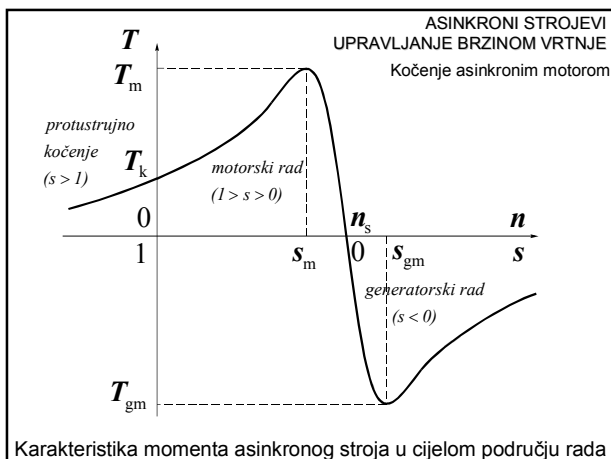
## Pokretanje kolutnih motora

- ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE
- Pokretanje kolutnih motora
- Pri pokretanju kolutnih motora koristi se utjecaj otpora u rotorskom krugu na karakteristike struje i momenta motora.
  - Provodi se pomoću promjenljivog otpornika spojenog preko kliznih prstena na rotorski namot.
  - Često je osnovna namjena ovog otpornika upravo pokretanje motora, pa se on naziva upuštač ili pokretač.

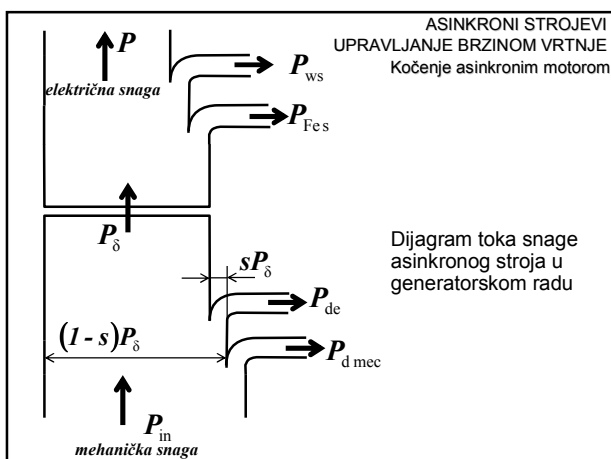


## Kočenje asinkronim motorom

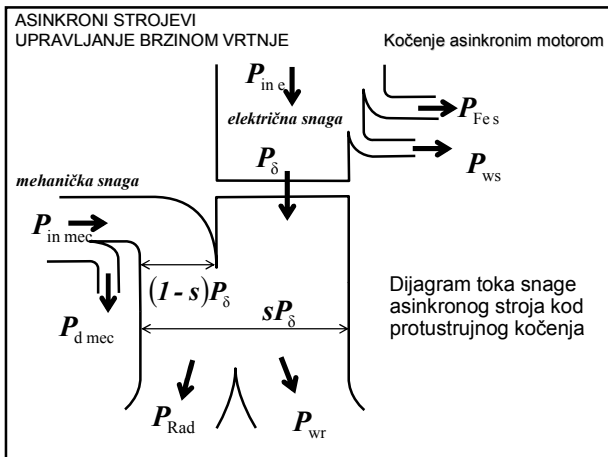
- U elektromotornim pogonima je zahtjev za kočenjem vrlo čest.
- Tipični takvi pogoni su pogoni dizalice i dizala.
- Asinkroni stroj ima dva područja gdje može raditi kao kočnica:
  - protustrujno kočenje i
  - generatorski rad.



- U oba slučaja kočnog rada asinkroni stroj prima mehaničku energiju preko osovine.
- Generatorsko kočenje je ekonomično s energetskeg stanovišta.
- Znatna dio mehaničke energije se vraća u mrežu pretvoren u električnu energiju.
- Stroj radi kao generator.



- Protustrujno kočenje je s energetskeg stanovišta znatno nepovoljnije od generatorskog kočenja.
- Pri protustrujnom kočenju stroj uzima električnu snagu iz mreže i mehaničku sa osovine.
- Sva se ta snaga pretvara u gubitke, odnosno u toplinu.

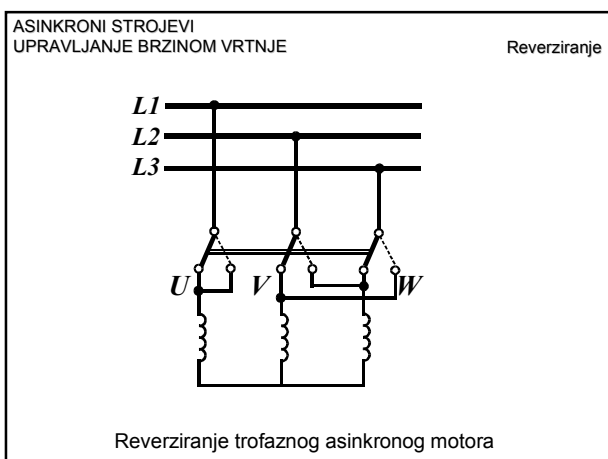


- ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE
- Kočenje asinkronim motorom
- Najviše se gubitaka stvara u rotorskom krugu zbog gubitaka:
    - u rotorskom namotu  $P_{wr}$  i
    - na dodatnim otporima  $P_{Rad}$ .
  - Dakle, protustrujno kočenje je nepovoljno zbog:
    - velikih gubitaka i
    - zagrijanja stroja, posebno rotora.

ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

Reverziranje

- ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE
- Reverziranje
- Promjena smjera vrtnje (reverziranje) je najjednostavniji zahtjev za upravljanjem.
  - Za promjenu smjera vrtnje motora treba promijeniti smjer okretnog magnetskog polja.
  - Kod trofaznog motora se to postigne zamjenom redosljeda dviju faza statorskog namota.

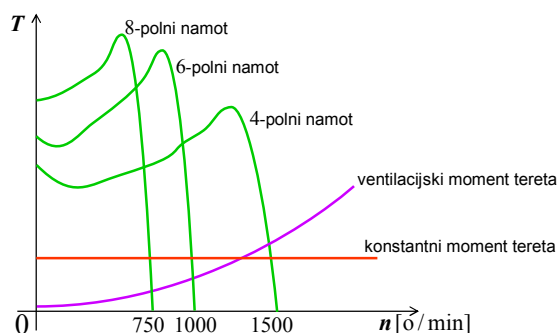


ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

Višebrzinski motori

- Osim reverziranja relativno često postavlja se zahtjev za pogonom s više diskretnih brzina.
- Najjednostavniji primjeri takvih pogona su:
  - stroj za pranje rublja,
  - klasična dizala i
  - ventilatori.
- Takvi se pogoni rješavaju višebrzinskim motorima.

- Višebrzinski motori se izvode obično s više namota na statoru.
- Svaki od namota ima različiti broj polova.
- Ovi namoti mogu biti smješteni u iste utore ili u posebne utore za svaki namot.
- Druga je mogućnost izrade višebrzinskih motora izvedba s polno prespojivim namotom.
- Rotorski namot je uvijek kavezni.
- Takav rotor se prilagođava broju polova statora.

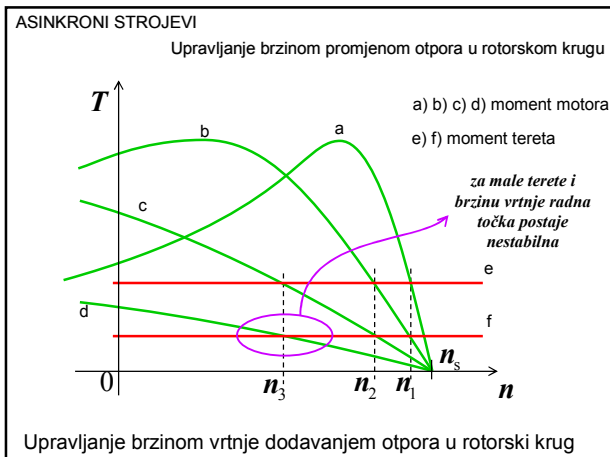


Karakteristike momenta trobrzinskog asinkronog motora

- Uz jednaku indukciju u zračnom rasporu bi nazivni momenti za različite brzine takvih motora trebali biti jednaki.
- Stoga bi snage za različite brzine trebale biti proporcionalne broju okretaja.
- To je teško postići zbog ograničenog prostora za smještaj namota pa se rade kompromisi.
- Stroj se projektira tako da se za svaki polaritet dobiju zadovoljavajuće karakteristike, koje ne moraju nužno biti i najpovoljnije.

## Upravljanje brzinom promjenom otpora u rotorskom krugu

- Dodavanjem otpora u rotorskom krugu kolutnih motora mijenja se karakteristika momenta.
- Time se mijenja i brzina vrtnje za određeni teret.
- Ovakvo upravljanje je jednostavno, ali ima dva velika nedostatka:
  - neekonomičnost i
  - nestabilnost radne točke pri malim teretima.

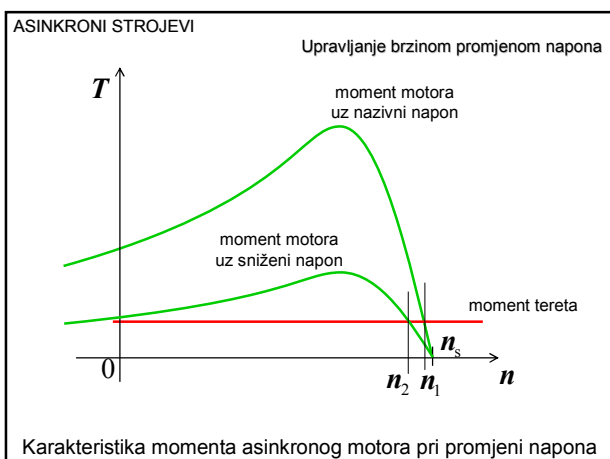


- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom otpora u rotorskom krugu
- Uzrok neekonomičnosti je u tome što se s povećanjem otpora povećava i klizanje motora.
  - Pri povećanom klizanju imamo povećane električne gubitke u rotorskom krugu u omjeru:
- $$P_{de} = \frac{s}{1-s} \cdot P_{mec}$$
- Primjer: kod klizanja  $s=0,5$  gubici u rotorskom otporu iznose koliko i razvijena mehanička snaga!

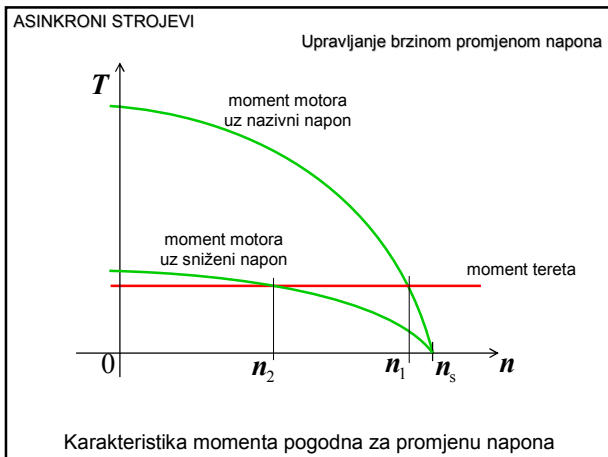
ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

Upravljanje brzinom promjenom napona

- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom napona
- Iznos momenta asinkronog motora ovisi o kvadratu napona, pri čemu se oblik karakteristike momenta ne mijenja.
  - Ako je poznat moment  $T$  uz napon  $U$ , onda moment  $T'$  uz novi napon  $U'$  iznosi:
- $$T' = \left(\frac{U'}{U}\right)^2 T$$

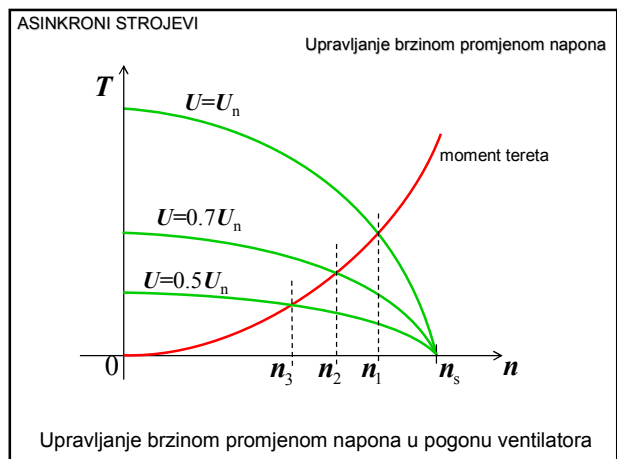


- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom napona
- Drukčije je ako karakteristika nema izražen maksimalni moment (tzv. otporna karakteristika).
  - Takvu karakteristiku možemo dobiti kod kaveznih motora odgovarajućim izborom oblika i dimenzija rotorskog kaveza (duboki utor).
  - Snižanjem napona se radna točka premjesti, pri čemu se povećava klizanje motora.



- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom napona
- S povećanjem klizanja rastu gubici u električnom krugu rotora.
  - Jednako kao kod kolutnog motora i kod kaveznog će gubici u rotorskom namotu kod klizanja  $s=0,5$  biti jednaki mehaničkoj snazi.
  - Kod kaveznog motora nemamo vanjske otpore, i svi ovi gubici se stvaraju na rotoru.
  - Direktno zagrijavaju stroj, pa ih trebamo s rotora i odvesti.

- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom napona
- Uz to se sa smanjenjem brzine pogoršava hlađenje motora jer motor hladimo u pravilu ventilatorima na istoj osovini.
  - Ipak je za mnoge pogone ovakav način upravljanja pogodan.
  - Jedna od mogućih primjena je upravljanja brzinom vrtnje pogona ventilatora.
  - Pogon ventilatora predstavlja približno kvadratičnu karakteristiku momenta tereta.



ASINKRONI STROJEVI  
UPRAVLJANJE BRZINOM VRTNJE

## Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije
- Svi dosad opisani načini upravljanja brzinom vrtnje su imali neki nedostatak.
  - Upravljanje promjenom frekvencije napajanja statorskog namota nema gotovo nijedan nedostatak - osim cijene.
  - Snaga motora limitirana je zagrijanjem namota i željeza, pa zagrijanje mora ostati jednako i pri promjeni frekvencije.

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Uz jednako dobro hlađenje možemo u stroju zadržati isti magnetski tok i istu gustoću struje ako frekvenciju i napon mijenjamo istovremeno.
- Iz izraza za inducirani napon  $E_s$  uz frekvenciju napajanja  $f_s$  proizlazi magnetski tok:

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}E_s}{2\pi f_s N_s k_{ws}} = konst.$$

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Pri promijenjenoj frekvenciji  $f_s'$  magnetski tok treba ostati jednak:

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}E_s'}{2\pi f_s' N_s k_{ws}}$$

- Izjednačenjem prethodna dva izraza proizlazi: s promjenom frekvencije mora se i napon mijenjati u omjeru:

$$\frac{E_s}{f_s} = \frac{E_s'}{f_s'}$$

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Pri promjeni frekvencije treba održavati:

$$\frac{E_s}{f_s} = konst.$$

- U tom slučaju će stroj zadržati približno jednaki moment.
- Snaga na osovini će se mijenjati proporcionalno brzini vrtnje, odnosno frekvenciji:

$$P = T \Omega_m$$

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

moment motora uz sniženi napon  $U_2$  i frekvenciju  $f_2$

moment motora uz napon  $U_1$  i frekvenciju  $f_1$

$$\frac{U}{f} = konst.$$

Karakteristike momenta asinkronog motora u ovisnosti o klizanju pri promjeni frekvencije

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Sa smanjenjem frekvencije maksimalni moment opada, a potezni raste.
- Razlog tome je utjecaj padova napona na statorskim radnim i induktivnim otporima.

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

$U_1 > U_2 > U_3$

$$\frac{U}{f} = konst.$$

moment tereta

Karakteristike momenta asinkronog motora u ovisnosti o brzini vrtnje pri promjeni frekvencije

ASINKRONI STROJEVI  
Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Karakteristike se nešto mijenjaju, ali osnovni je oblik zadržan.
- Velika je prednost upravljanja frekvencijom što motor ostaje raditi s malim klizanjima.
- Dakle, motor radi u svom optimalnom režimu rada, pa nema povećanih gubitaka u rotorskom namotu.

ASINKRONI STROJEVI

Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

- Za ovakvo upravljanje moramo imati odgovarajući uređaj.
- To je izvor napajanja s promjenljivom frekvencijom i naponom.
- Danas je to bez iznimke pretvarač napona i fekvencije.

ASINKRONI STROJEVI

Upravljanje brzinom promjenom frekvencije

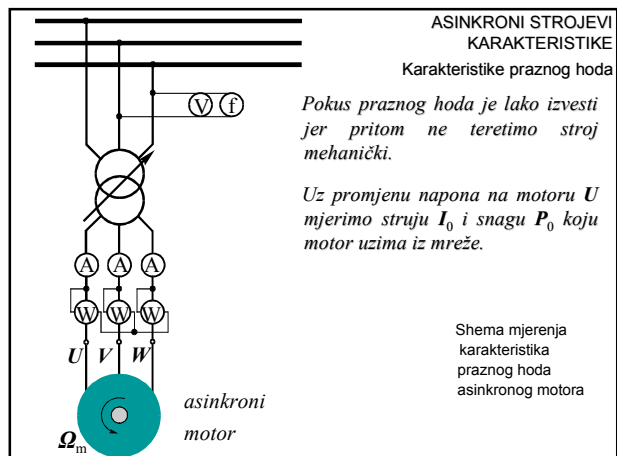
- Cijene takvih izvora napajanja su još nedavno bile visoke.
- Međutim, cijena elektroničkih elemenata naglo opada, i danas je cijena pretvarača usporediva s cijenom motora.
- S ekonomskog stanovišta ovakva rješenja za upravljanje brzinom vrtnje asinkronog motora postaju sve prihvatljivija za različite potrebe.

ASINKRONI STROJEVI

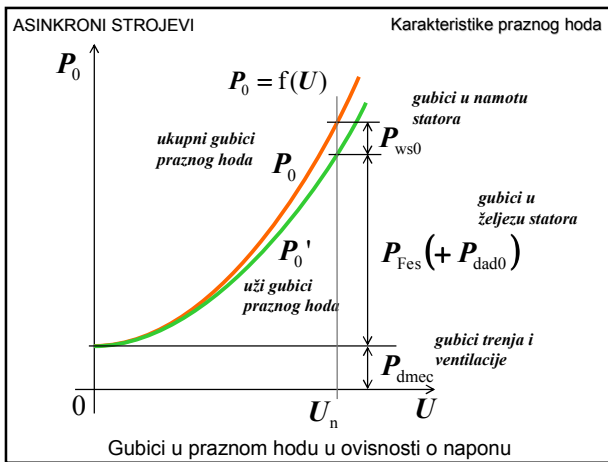
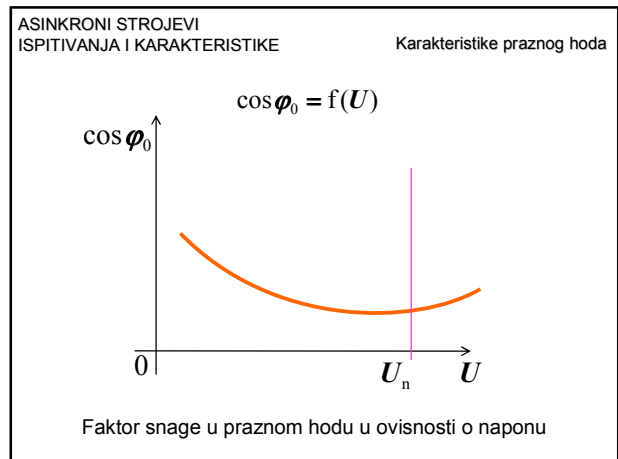
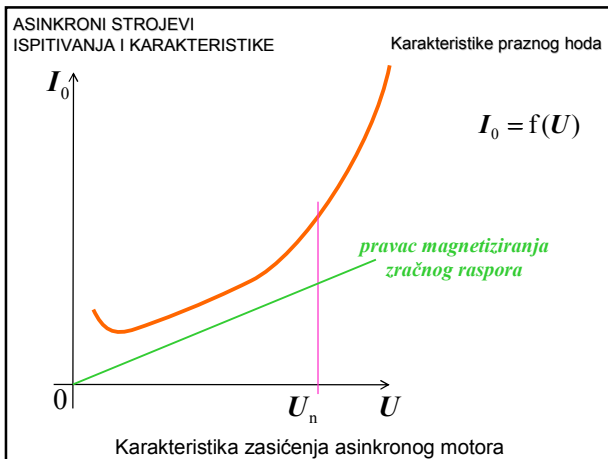
## KARAKTERISTIKE

ASINKRONI STROJEVI  
ISPITIVANJA I KARAKTERISTIKE

## Karakteristike praznog hoda







- ASINKRONI STROJEVI  
ISPITIVANJA I KARAKTERISTIKE
- Karakteristike praznog hoda
- Mjereni gubici ovise približno o kvadratu narinutog napona.
  - Gubici praznog hoda se dijele na:
    - gubitke u statorskom namotu  $P_{ws0}$ ,
    - gubitke u željezu statora  $P_{Fes}$  (zajedno s dodatnim gubicima praznog hoda  $P_{dad0}$ ) i
    - gubitke trenja i ventilacije  $P_{dmec}$ .

ASINKRONI STROJEVI  
Karakteristike praznog hoda

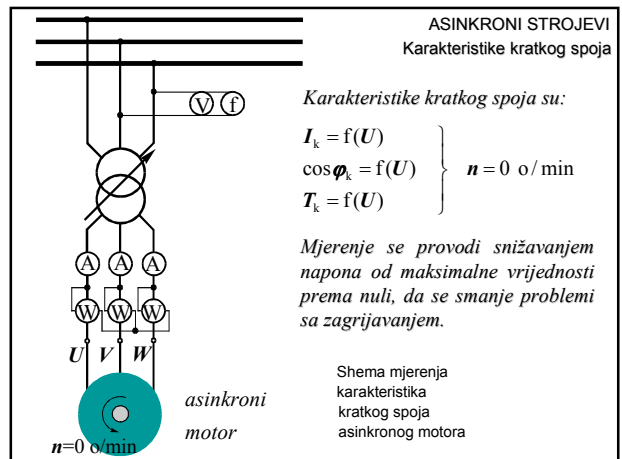
- Gubici u statorskom namotu:
  - izmjereni otpor namota statora  $R_{Ls}$  (otpor među stezaljkama)
  - $P_{ws0} = 1,5 R_{Ls} I_0^2$
  - izmjerena struja praznog hoda
- Uži gubici praznog hoda  $P_0'$ :
  - $P_0' = P_0 - P_{ws0} = P_{Fes} + P_{dad0} + P_{dmec}$
  - gubici u željezu
  - dodatni gubici praznog hoda
  - gubici trenja i ventilacije

- ASINKRONI STROJEVI  
Karakteristike praznog hoda
- Brzina vrtnje je približno konstantna - gubici trenja i ventilacije su praktički konstantni.
  - Gubitke trenja i ventilacije dobijemo ekstrapolacijom krivulje ukupnih gubitaka do točke  $U=0$ .
  - Obično se gubici u željezu i dodatni gubici zajedno označuju s  $P_{Fe}$ :
    - $P_{Fe} = P_0' - P_{dmec}$

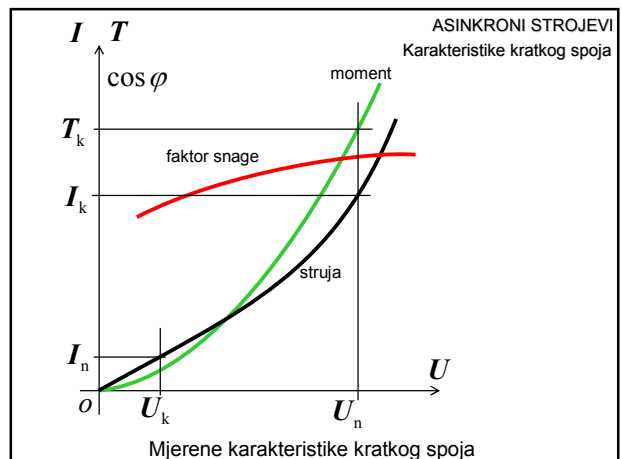
## Karakteristike kratkog spoja

- Bilo koji električni motor je u kratkom spoju ako je:
  - rotor zakočen (u mirovanju),
  - stator priključen na izvor napona.
- U elektromotornim pogonima to se javlja uvijek pri pokretanju.
- Svojstva električnog motora u kratkom spoju zato su izuzetno važna, pa se u pravilu ispituju.
- Pokus se naziva pokusom kratkog spoja.

- U pokusu kratkog spoja mjerimo:
  - ulaznu električnu snagu  $P_k$ ,
  - napon  $U$ ,
  - struju  $I_k$  i
  - moment na osovini  $T_k$ .
- Električni dio sheme mjerenja za pokus kratkog spoja je jednak kao i za mjerenje praznog hoda.
- Zakočenje rotora se može izvesti mehaničkom kočnicom uz mjerenje sile ili dinamovagom.



- Struje u kratkom spoju mogu biti jako velike, veliki su i gubici – stroj se brzo zagrijava.
- Većina asinkronih strojeva se hladi vlastitim prigradenim ventilatorom, pa hlađenja u kratkom spoju gotovo i nema.
- Situacija sa zagrijavanjem je time dodatno otežana.



- Magnetsko polje je malo - struja kratkog spoja trebala bi ovisiti linearno o naponu.
- Moment je približno proporcionalan kvadratu napona.
- Za veće vrijednosti napona zbog velikih struja dolazi do zasićenja rasipnih magnetskih puteva:
  - struja počne naglo rasti s povećanjem napona,
  - moment ne slijedi potpuno kvadratičnu ovisnost, nego raste nešto sporije.

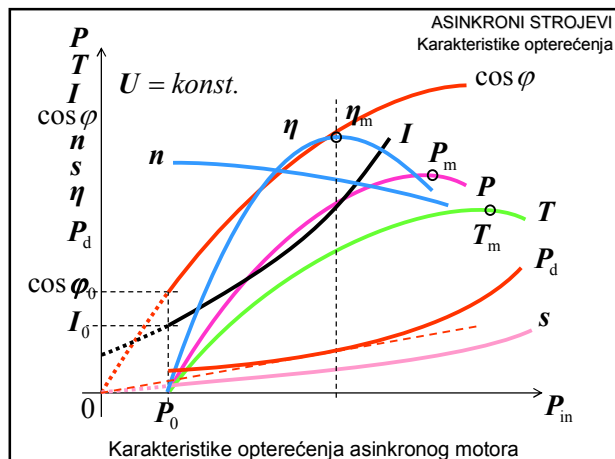
## Karakteristike opterećenja

- Većina asinkronih strojeva radi kao motori na mreži konstantnog napona i frekvencije.
- Ispitivanja pri nazivnom naponu su važna - nazivaju se mjerenjem opterećenja.
- Dobivene karakteristike - karakteristike opterećenja.
- Pri ispitivanju opterećenja napon i frekvencija mreže održavaju na konstantnoj vrijednosti.
- Mjeri se električna snaga  $P_{in}$  koju motor uzima iz mreže, uz različita opterećenja  $T$  na osovini.

- Veličine, koje se određuju pokusom opterećenja, su:
  - snaga na osovini  $P$ ,
  - moment na osovini  $T$ ,
  - struja  $I$ ,
  - faktor snage  $\cos\varphi$ ,
  - brzina vrtnje  $n$ ,
  - klizanje  $s$ ,
  - stupanj djelovanja  $\eta$  i
  - gubici  $P_d$ .

- Karakteristike opterećenja su:

$$\left. \begin{aligned} P &= f(P_{in}) \\ T &= f(P_{in}) \\ I &= f(P_{in}) \\ \cos\varphi &= f(P_{in}) \\ n &= f(P_{in}) \\ s &= f(P_{in}) \\ \eta &= f(P_{in}) \\ P_d &= f(P_{in}) \end{aligned} \right\} U = konst., f = konst.$$



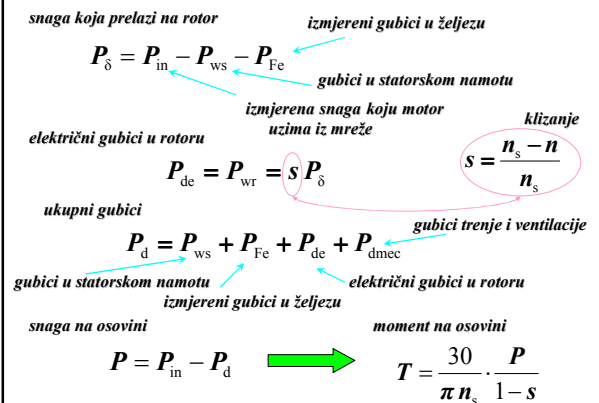
## Mjerenje momenta

- Moment na osovini možemo mjeriti direktno ili indirektno.
- Direktno mjerimo moment pomoću dinamo-vage.
- Indirektno mjerenje momenta:
  - motor teretimo strojem za terećenje (to je najčešće električni generator),
  - mjerimo ulaznu električnu snagu motora i
  - od ulazne električne snage odbijemo sve gubitke.
- Ovaj je način mjerenja manje točan od direktnog mjerenja momenta.

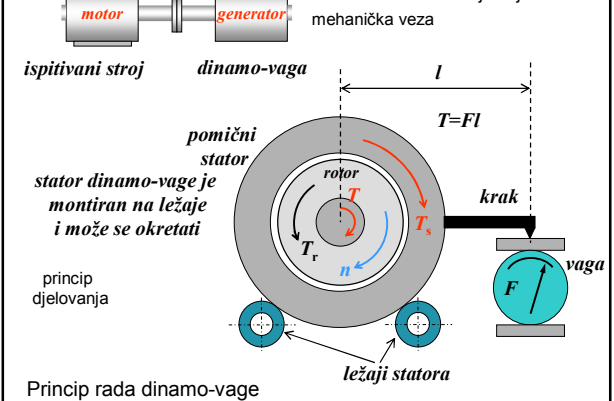
### ➤ Indirektno mjerenje momenta

- Teretimo motor na osovini mehaničkim momentom - mjerimo struju  $I$ , ulaznu snagu  $P_{in}$  i brzinu  $n$  ili klizanje  $s$ .
- Od ulazne snage oduzmemo sve gubitke u motoru.

$$P_{ws} = 1,5 R_{LS} I^2$$
 iz pokusa praznog hoda  
 gubici u željezu  $P_{Fe}$   
 gubici trenja i ventilacije  $P_{dmec}$   
 gubici u statorskom namotu  
 izmjerena otpor namota statora  $R_{LS}$  (otpor među stezaljkama)  
 izmjerena struja



- Točniji moment dobijemo direktnim mjerenjem pomoću dinamo-vage.
- Dinamo-vaga je električni generator čije je kućište montirano na ležaje tako da se slobodno može pomicati.
- Rad dinamo-vage se zasniva na međusobnom djelovanju statora i rotora.
- Rotor djeluje na stator jednakim momentom kao što djeluje stator na rotor, ali suprotnog smjera.



## Karakteristika momenta

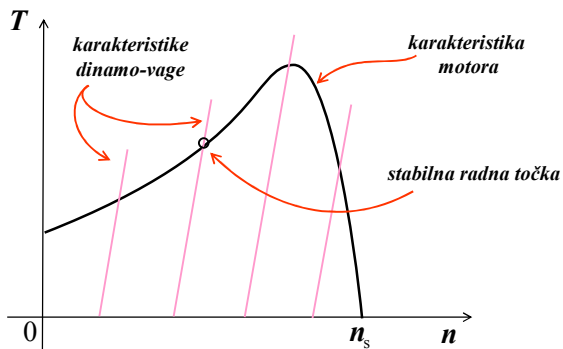
Karakteristika momenta

- Karakteristika momenta je vanjska karakteristika svakog motora.
- To je ovisnost momenta na osovini o brzini vrtnje, odnosno klizanju:

$$\left. \begin{array}{l} T = f(n) \\ T = f(s) \end{array} \right\} U = konst., f = konst.$$

- Najčešće se snima je točku po točku pomoću dinamovage.

Karakteristika momenta



Karakteristika momenta

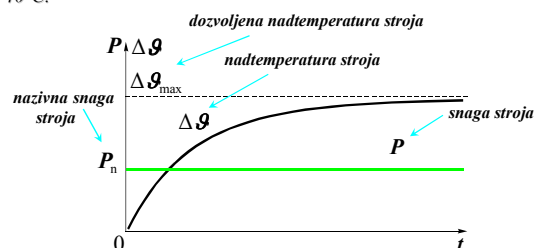
- Dinamo-vaga mora imati takvu karakteristiku da može stabilno raditi u bilo kojoj točki karakteristike ispitivanog motora.
- Kao dinamo vaga se najčešće koristi kolektorski stroj - omogućuje podešavanje karakteristike momenta.
- Ispitivani stroj pri tome radi dulje vrijeme u termički nepovoljnim režimima (uz velika klizanja).
- Ispitivanje se obično mora prekidati i stroj hladiti.

## Mjerenje zagrijavanja

Mjerenje zagrijavanja

*Asinkroni motori se najčešće grade za trajne pogone.*

*Uz nazivno opterećenje stroj se ne smije zagrijavati iznad granice dopuštene za korištenu klasu izolacije i temperaturu okoline od 40°C.*



ASINKRONI STROJEVI  
ISPITIVANJA I KARAKTERISTIKE  
Mjerenje zagrijavanja

- Mjerenje zagrijavanja - stroj se optereti nazivnom snagom dovoljno dugo da temperatura u svim dijelovima stroja stagnira.
- Frekvencija, napon i snaga se cijelo vrijeme moraju održavati na konstantnoj vrijednosti.
- Zagrijanje se odredi indirektno iz izmjerenih vrijednosti otpora statorskog namota prije i nakon pokusa zagrijavanja.

ASINKRONI STROJEVI  
ISPITIVANJA I KARAKTERISTIKE

Mjerenje zagrijavanja

Otpor toplog namota

povišenje temperature namota u odnosu na temperaturu okoline

$$R_g = R_a (1 + \alpha \Delta \vartheta)$$

otpor namota izmjeren prije pokusa zagrijavanja (na temperaturi okoline)

temperaturni koeficijent materijala namota

Potrebno je izmjeriti otpore stezaljki prije i nakon pokusa zagrijavanja.

Povišenje temperature namota

$$\Delta \vartheta = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R_g}{R_a} - 1 \right)$$