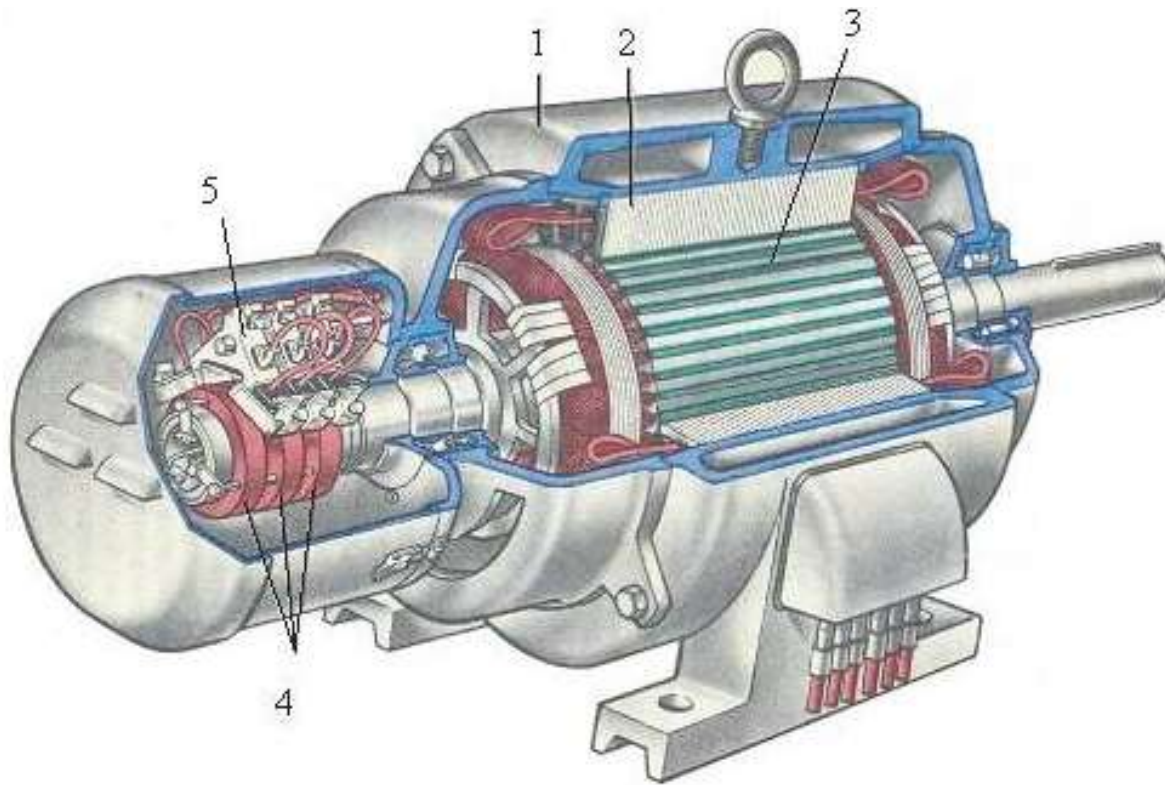


# ELEKTRIČNE MAŠINE 2

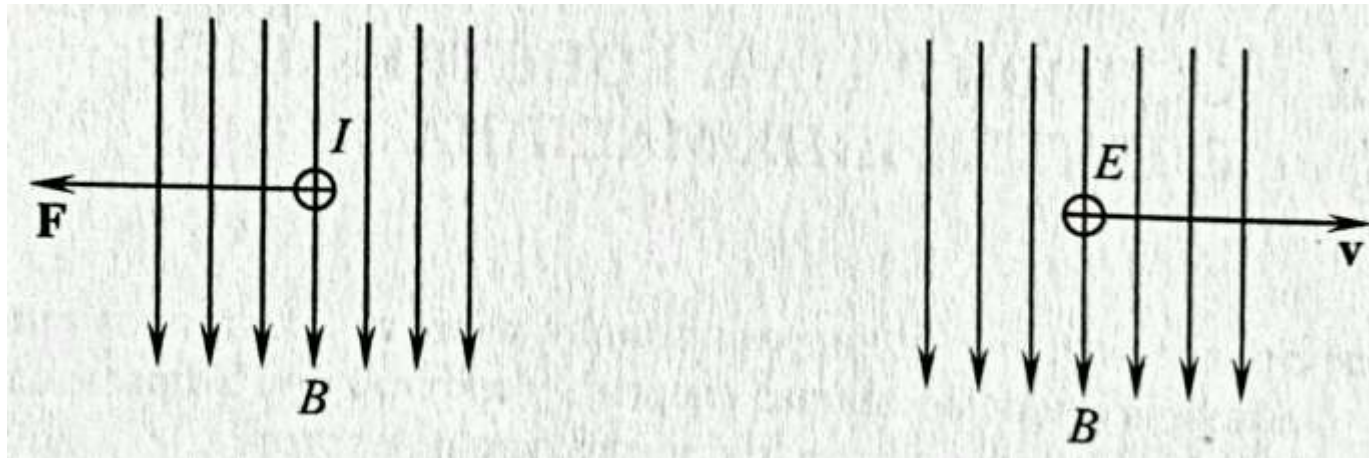
## II/1 deo - Asinhronne mašine



## 2.1. OSOBINE ELEKTRIČNIH MAŠINA

Rad električnih mašina se zasniva na pojavi:

- mehanička (elektromagnetna) sila deluje na provodnik kroz koji protiče struja kada se provodnik nalazi u magnetnom polju,  $F=IIB$  (Lorenцова sila-Amperov zakon).

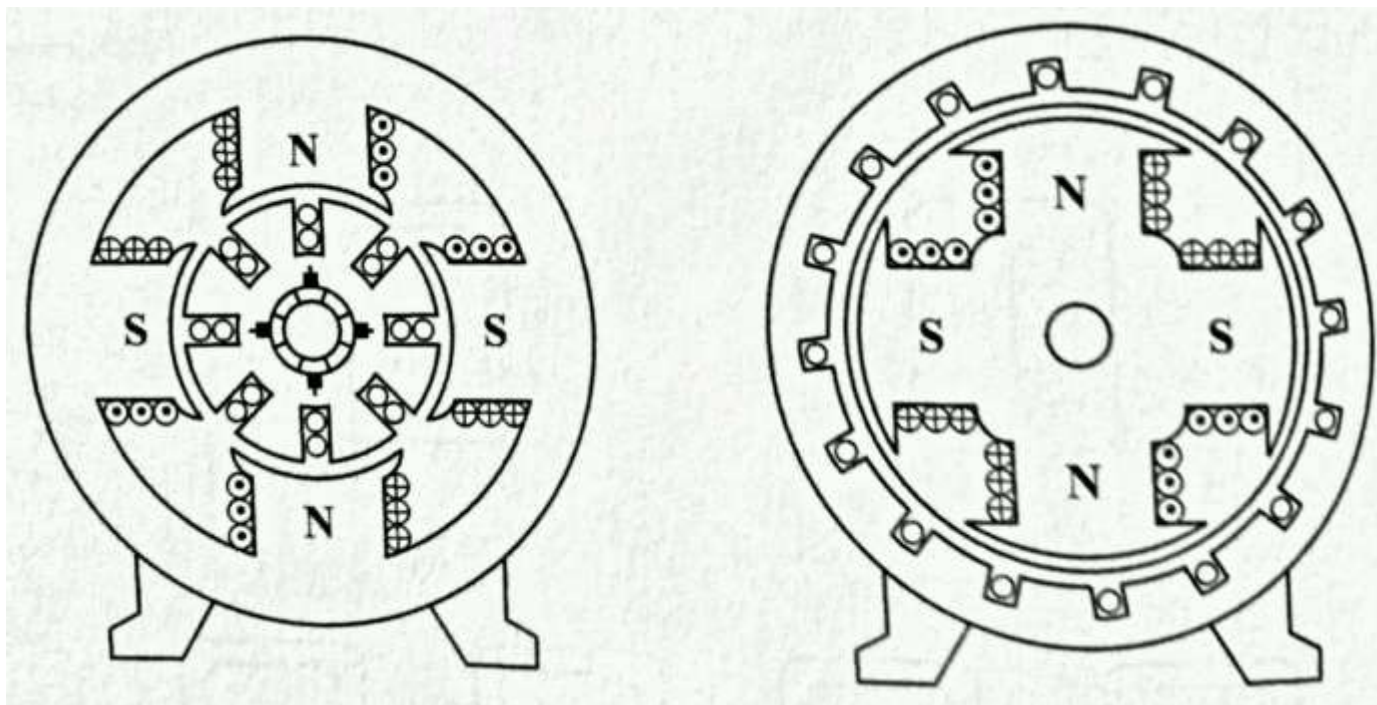


- u kolu koje se kreće kroz magnetno polje indukuje ems  $E=lvB$  (Faradejev zakon).



## 2.1. OSOBINE ELEKTRIČNIH MAŠINA

Osnovni delovi kod asinhronih mašina su stator i rotor. Oni mogu biti sa istaknutim polovima ili cilindričnog oblika.



Generator-spoljašnja sila deluje na kretanje rotora nasuprot magnetnoj sili.

Motor-spoljašnji napon izaziva struju nasuprot indukovanoj ems.



## 2.1. OSOBINE ELEKTRIČNIH MAŠINA

Reverzibilnost ovih mašina može se prikazati kao:

- mehanička snaga neke pogonske mašine:

$$P_{meh} = Fv$$

pretvara se u električnu snagu izvora:

$$Fv = liBv = E i = P_{el}$$

- električna snaga izvora:

$$P_{el} = Ei$$

pretvara se u mehaničku snagu:

$$Ei = lvBi = Fv = P_{meh}$$



$$\text{Stepen iskorišćenja mašine} = \frac{P}{P_1}$$



## 2.1. OSOBINE ASINHRONIH MOTORA

**Zašto asinhroni motori?**

**DOBRE I LOSE STRANE**

- ✓ Jednostavna konstrukcija
- ✓ Manja cena
- ✓ Pouzdanost i sigurnost u radu
- ✓ Manji moment inercije
- ✓ Lako održavanje

Ipak, postoje i loše strane.





## 2.1. OSOBINE ASINHRONIH MOTORA

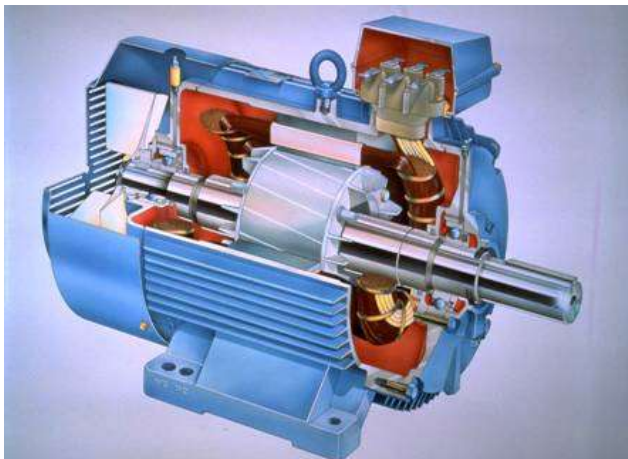
**Zašto asinhroni motori?**

**DOBRE I LOSE STRANE**

- **LOSI USLOVI POKRETANJA**-Sporo reaguje – ne upotrebljava se u servo pogonima

- **LOSA MOGUĆNOST REGULISANJA BRZINE**-Loša momentna karakteristika – otežana regulacija brzine

- **Asinhronne mašine se u primeni najviše koriste kao motori.**



## 2.1. OSOBINE ASINHRONIH MOTORA

- Asinhroni motori imaju široku primenu kod elektromotornih pogona u industriji.



- Koriste se u uređajima automatike i telemehanike, kod kućnih aparata, medicinskih uređaja itd.

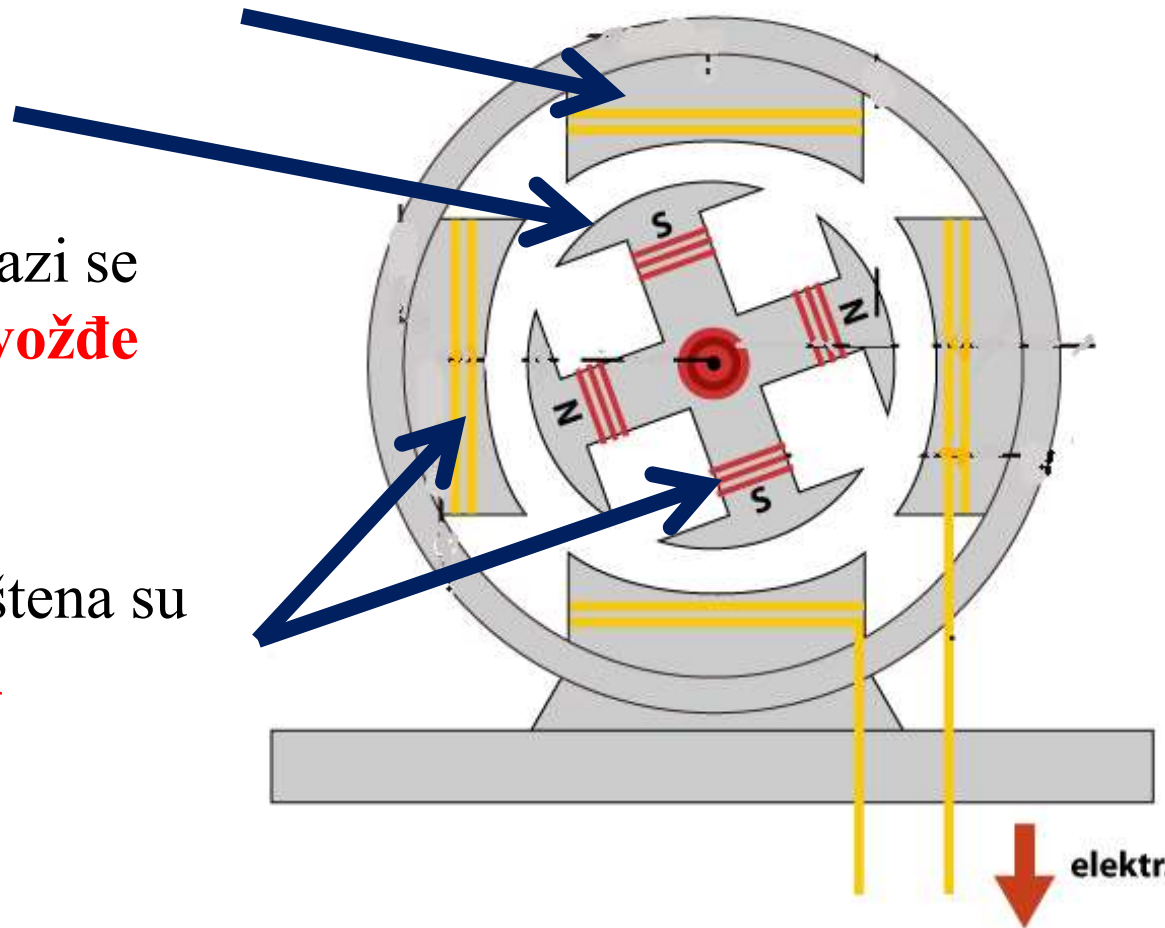


električne mašine - teslin motor



## 2.2. OSNOVNI ELEMENTI KONSTRUKCIJE I VRSTE ASINHRONIH MOTORA

- Magnetno kolo električne mašine sastavljeno je od **nepokretnog statora** i
- **obrtnog rotora**
- Između statora i rotora nalazi se vazdušni prostor - **međugvožđe**
- I u statoru i u rotoru smeštena su **električna kola - namoti**





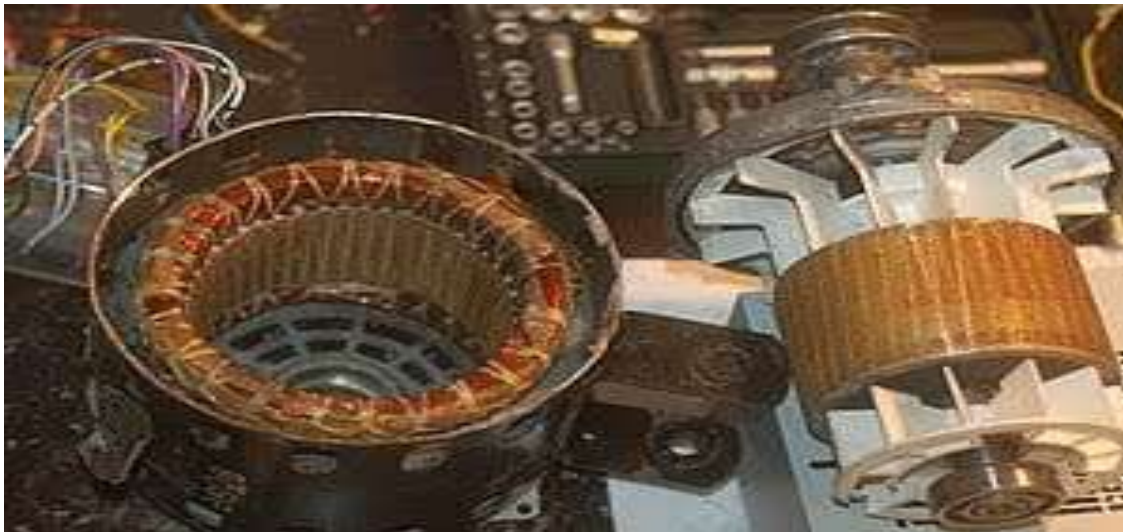
## 2.2. OSNOVNI ELEMENTI KONSTRUKCIJE I VRSTE ASINHRONIH MOTORA

■ Magnetno kolo asinhronog motora, kod svih rotacionih mašina se sastoji iz dva osnovna dela:

-nepokretnog-statora (induktor, primar),

-pokretnog-rotora (indukt, sekundar).

Međusobno su razdvojeni međugvoždem.



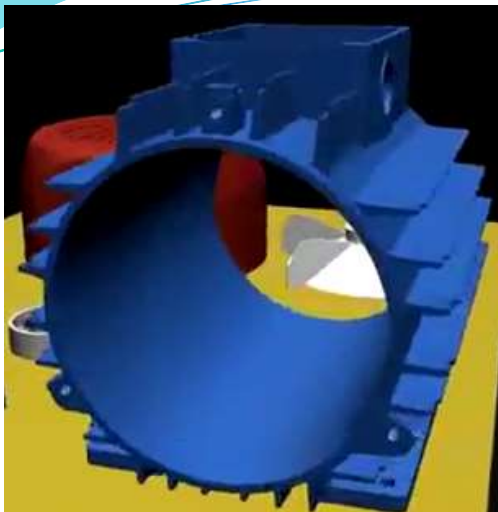
Mašina / namotaj	<i>Induktor</i> (smeštaj, oblik struje)	<i>Indukt</i> (smeštaj, oblik struje)
<i>asinhrona</i>	stator, naizmjenični	rotor, naizmjenični
<i>sinhrona</i>	rotor, jednosmerni	stator, naizmjenični

**Tabela 1-2 Oznake krajeva namotaja trofaznih naizmjeničnih mašina**

namotaj	nova oznaka	stara oznaka
statora	U1, U2	U, X
	V1, V2	V, Y
	W1, W2	W, Z
rotora asinhrona mašina	K1, K2	u, x
	L1, L2	v, y
	M1, M2	w, z
rotora (pobudni) sinhrona mašina	P1, P2	I, K



## 2.2. STATOR ASINHRONOG MOTORA

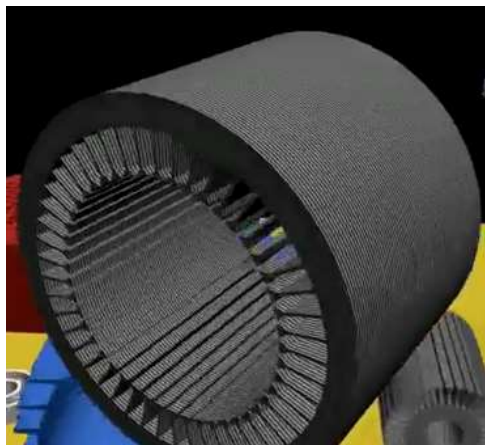


- *Stator* se pravi u obliku šupljeg valjka i sastavljen je od:

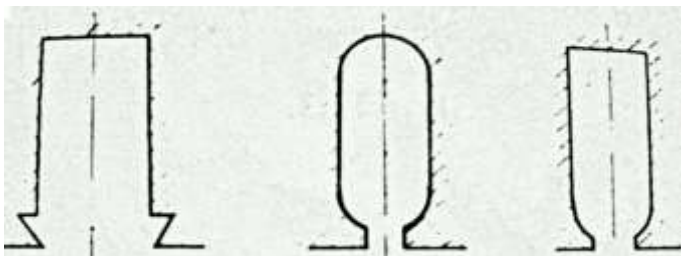
- **oklopa** (jarna ili kućišta)



- **jezgra statora** (tankih limova 0.5mm, međusobno izolovani slojem laka ili hartijom)



- **provodnika** u žljebovima (na svakom limu, sa unutrašnje strane obima, prave se prorezi tako da kada se limovi slože dobijamo žljebove).

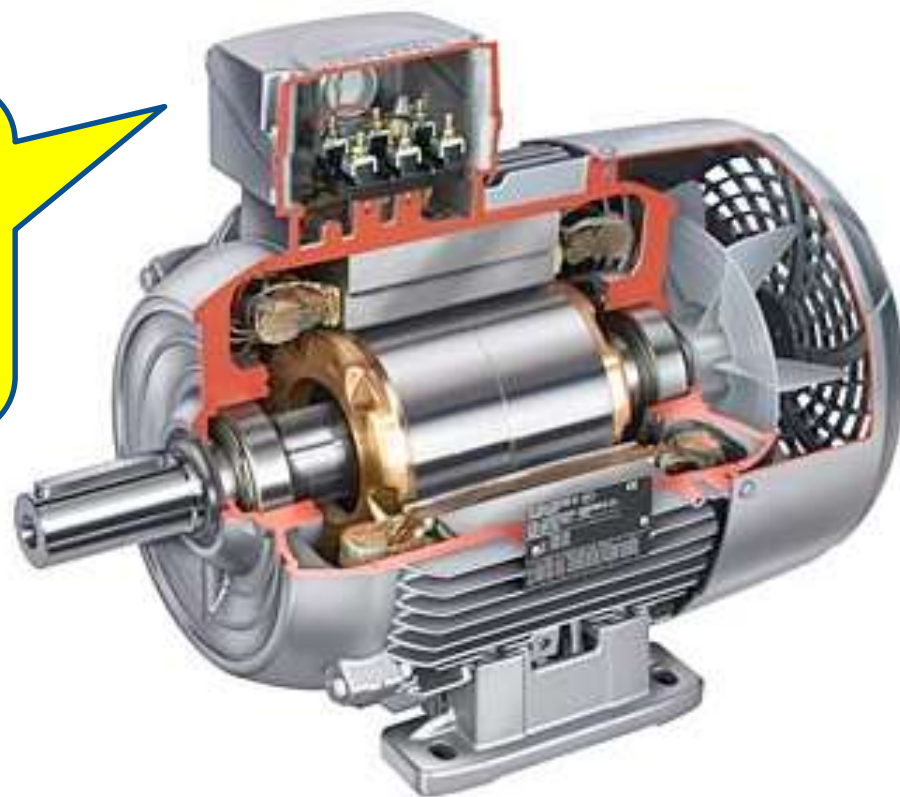


- **Oklop** – je dio statora koji sa unutrašnje strane nosi jezgru i namotaj.



U priključnu kutiju dovedeni su krajevi **faznih navoja** statora

- Kućište je izrađeno od livenog gvožđa i valjanog čelika





Motor & Co GmbH		
Typ 160 l		
3 ~ Mot.	Nr. 12345-88	
$\Delta$ $Y$ 230/400 V	48/28 A	
S1 15 kW	cos $\varphi$ 0,90	
1430 U/min	50 Hz	
Iso.-Kl. F	IP 54	t
IEC34-1/VDE 0530		

Na kućištu se nalazi natpisna pločica sa najvažnijim podacima o nominalnom radu motora



Discovery  
SCIENCE

priključna kutija

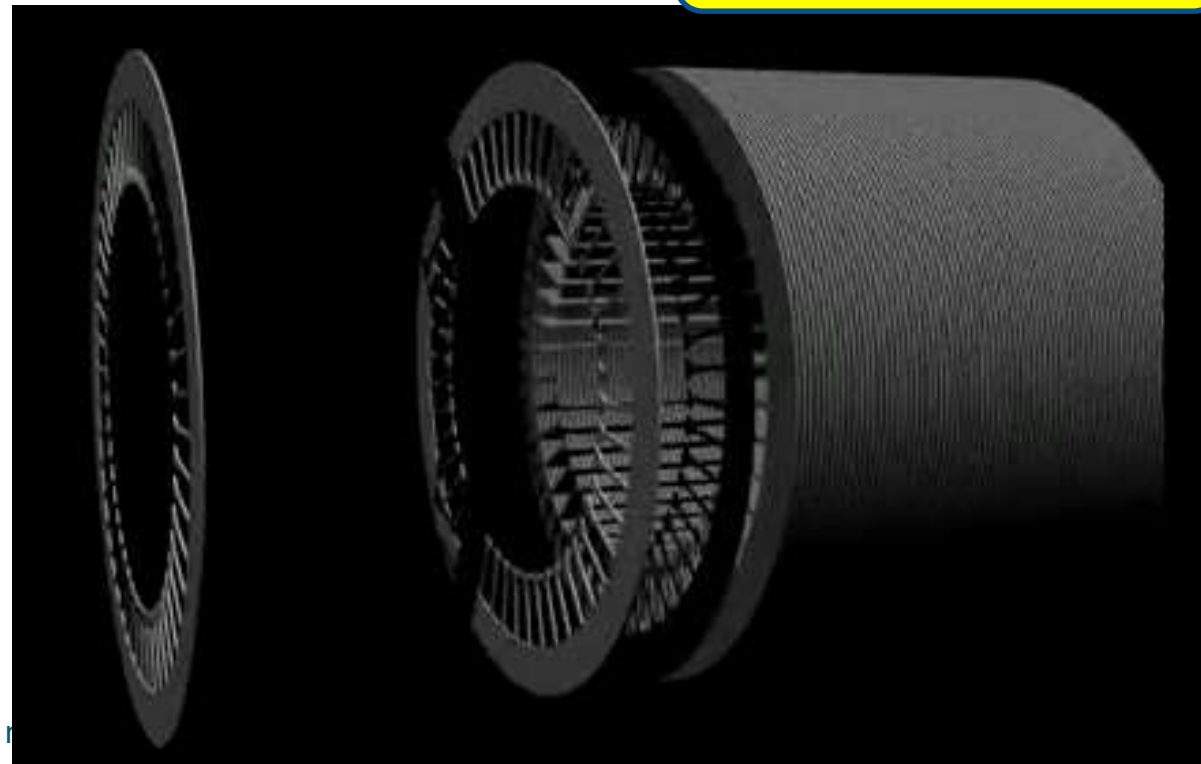


- **Jezgro statora** – je dio mašine kroz koji se zatvara magnetni fluks i koji nosi statorski namot
- jezgro je sastavljeno od legiranih čeličnih limova tkz. dinamo limova, čija se debljina kreće od (0,5 do 1) mm



žlebovi

- Limovi su međusobno izolovani( papir, lak, vodeno staklo...)





Discovery  
SCIENCE



**žlebovi**

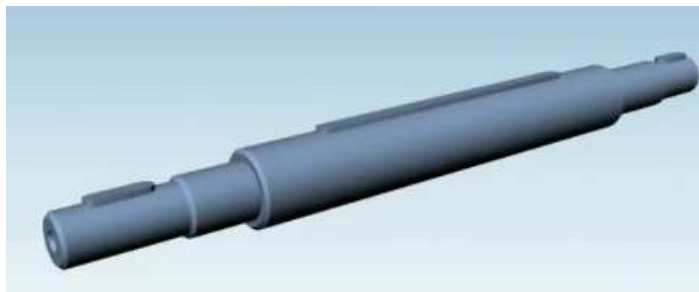
*Link uklanjanje namotaja statora*

električne mašine - teslin motor

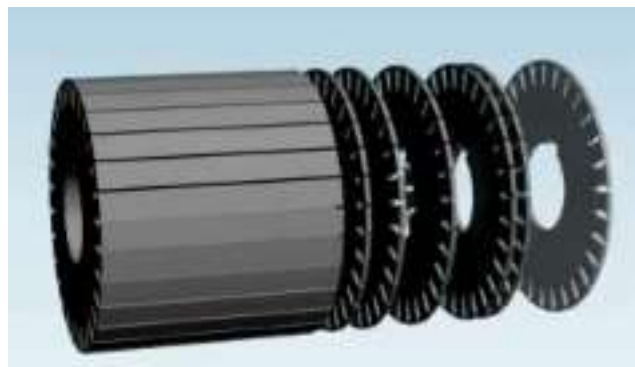
## 2.2. ROTOR ASINHRONOG MOTORA

Rotor se sastoji od:

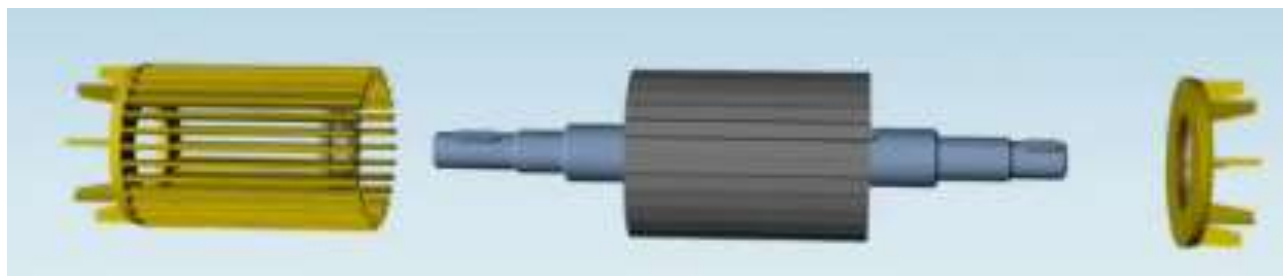
- vratila,



- jezgra rotora,



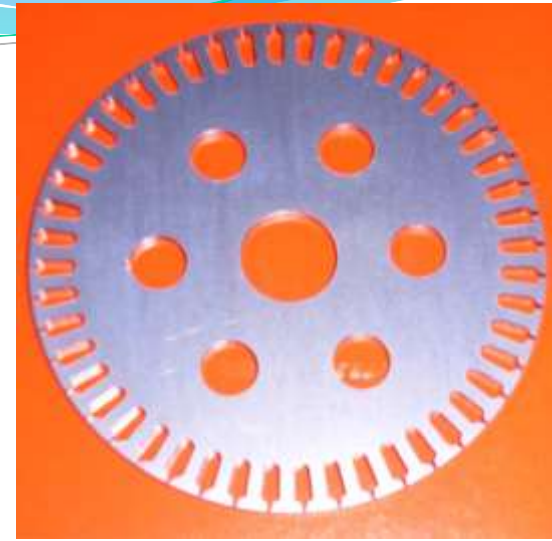
- i namotaja.



Link remont faznog rotora

- **Jezgro rotora** izrađeno je od dinamo limova istog kvaliteta i obrade kao i jezgro statora

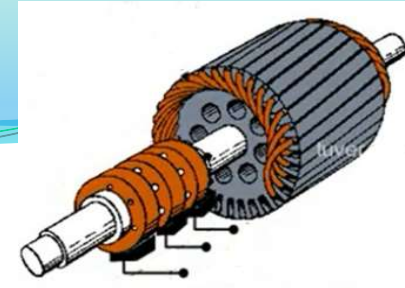
- Po obodu sa spoljnje strane jezgre isečeni su žlebovi za smeštaj **namota rotora**.



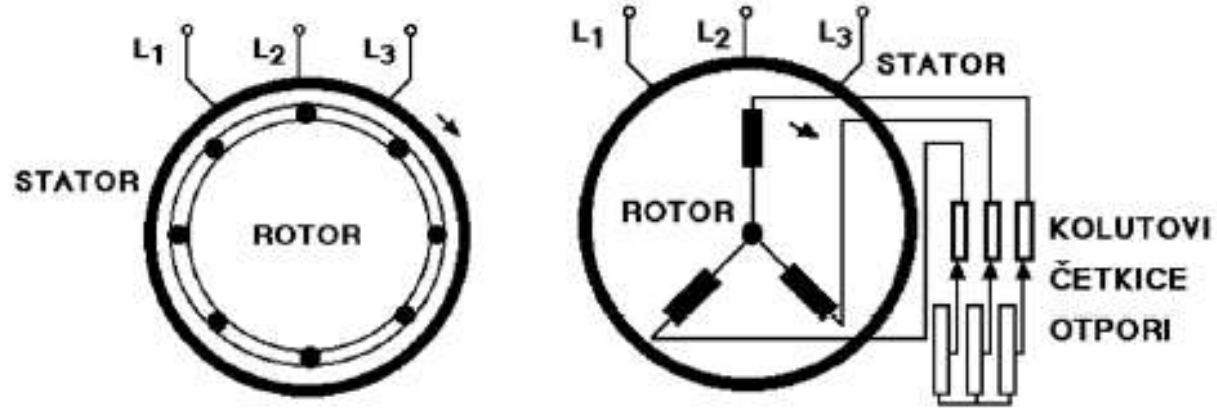
- Zadatak jezgre rotora je da nosi namotaje i da dobro provodi magnetni fluks.
- Jezgra rotora mora biti napravljena tako da prilikom rotiranja izdrži sve centrifugalne sile.



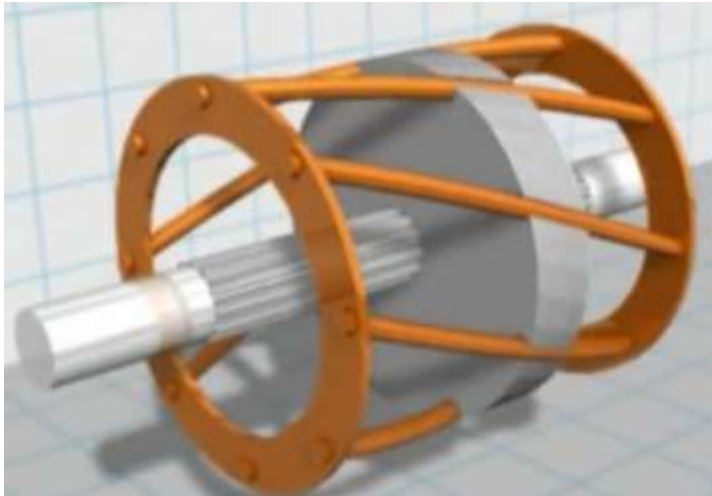
- Rotori se u zavisnosti od tipa **namota** dele na:



1. fazne (namotan rotor ili rotor sa prstenovima)



2. kratkospojene (kavezni rotor)

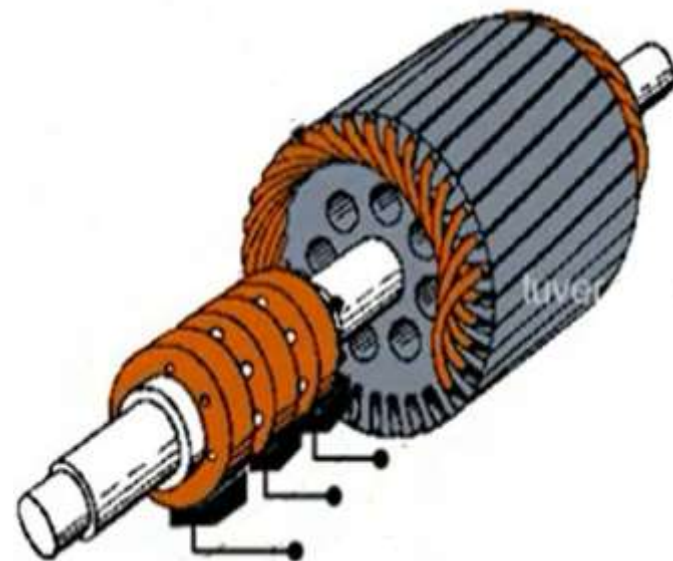


mašine - teslin motor



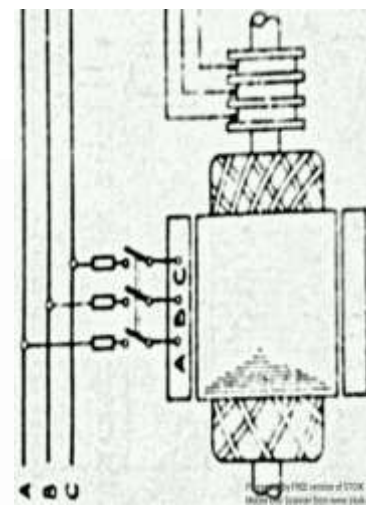
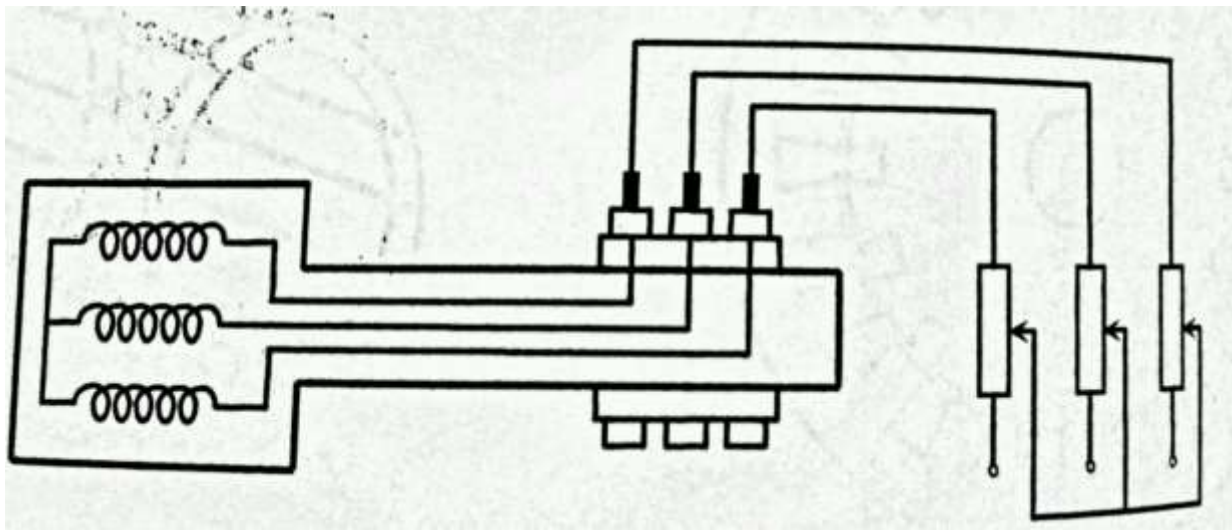
## • **Fazni (namotani) rotor** – upotrebljava se kod motora većih snaga.

- Krajevi faznih navoja rotora, koji su obično spregnuti u zvezdu izvedeni su do tri klizna prstena.
- Prstenovi su međusobno i u odnosu na vratilo izolovani
- Na prstenove naležu ugljene četkice koje su povezane sa tri fazna otpornika

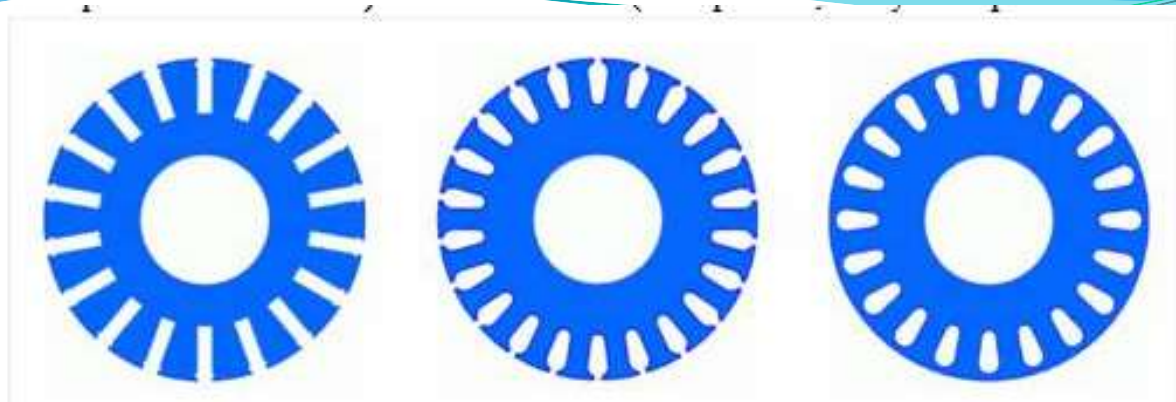


Na klizne prstenove prislonjene su dirke koje su u vezi sa trofaznim rotorskim otpornikom koji služi samo za puštanje u rad.

Da bi se smanjilo habanje dirki i gubici usled trenja, većina motora je snabdevena sa uređajem koji po puštanju motora u rad podiže dirke i klizne prstenove do vode u krtak spoj.

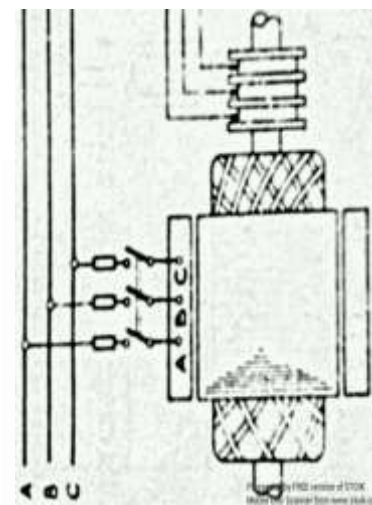
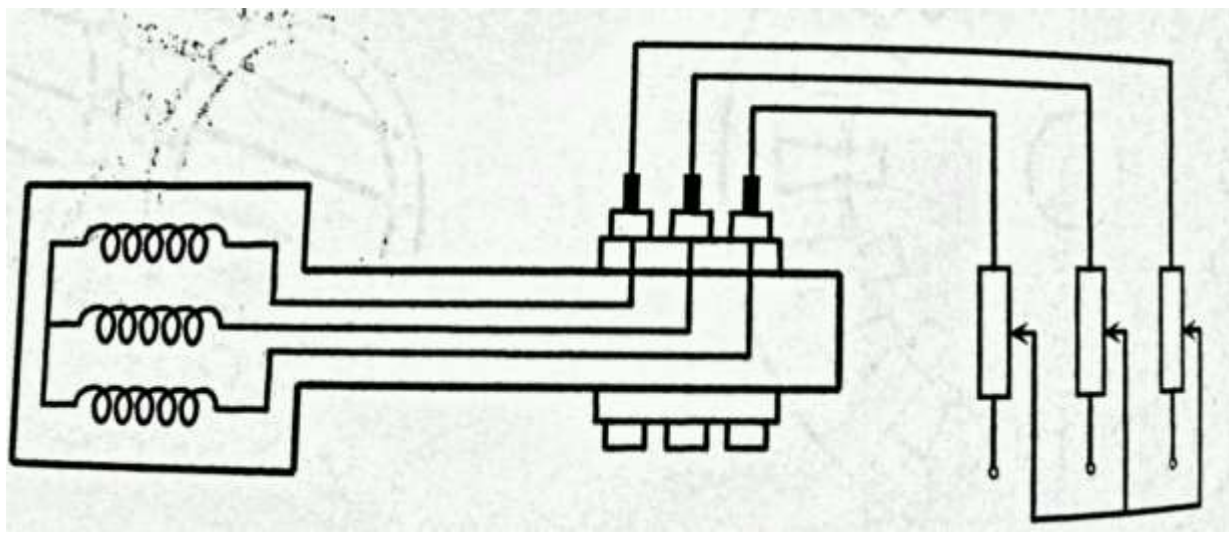


- Žlebovi rotora izvode se kao zatvoreni, poluzatvoreni i otvoreni



- Klizni prstenovi se postavljaju na vratilo i na njih se priključuje namotaj rotora.

Izrađuju se od bronzne, bakra ili čelika



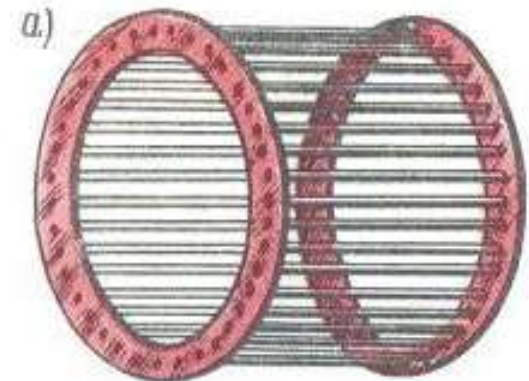
- **Kratkospojeni (kavezni) rotor** – imaju asinhroni motori malih snaga



- Kao namot rotora koriste se neizolovani bakarni okrugli štapovi smešteni u žlebove.
- Sa obe strane štapovi su povezani sa prstenovima tako da obrazuju tkz. Kavez.

- Štapovi i prstenovi prave se od istog materijala a spajaju se zavarivanjem ili lemljenjem.

- Često su štapovi uvučeni u žlebove u dva reda – dvokavezni rotor.

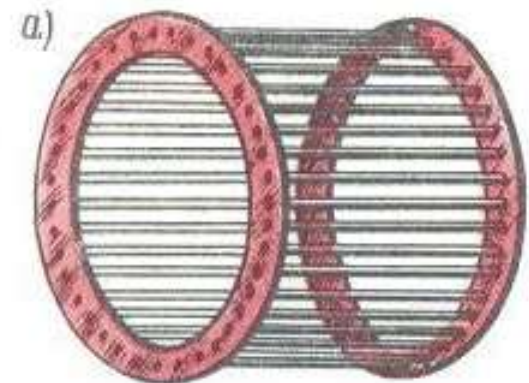


- Kod asinhronih motora malih i srednjih snaga magnetno kolo rotora sa okruglim žlebovima zaliva se aluminijumom tako da se dobije aluminijumski kavez.



Motori sa kratkospojenim rotorom imaju mnoge prednosti u odnosu na motore sa faznim rotorom:

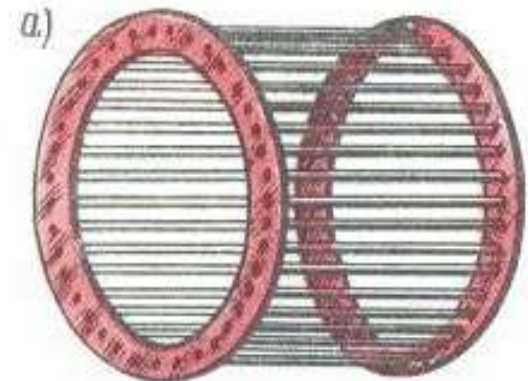
- prosta konstrukcija,
- sigurnost u radu je mnogo veća,
- ne zahteva rotorski otpornik,
- Jeftiniji.





## • Nedostatak:

- pri pokretanju, ovi motori iz mreže vuku veliku struju koja stvara nestabilnost u napojnoj mreži.
- Da bi se smanjila vrednost polazne struje konstrukcija ovog rotora se menja, tako da se oni izvode kao dvokavezni rotori ili sa dubokim žlebovima.



**Dvokavezni rotor**



**Trapez i duboki utor**



**Okrugli štap**



**Kolutni rotor**





*Video- Princip rada asinhronog motora*



# $T$ - polni korak

$z$ - broj zljebova  
po polu,  $z = Z/2p$

$y$  - navojni korak rastojanje  
izmedju dva provodnika koji  
se povezuju u jedan navojak)

$Z$ - broj zljebova

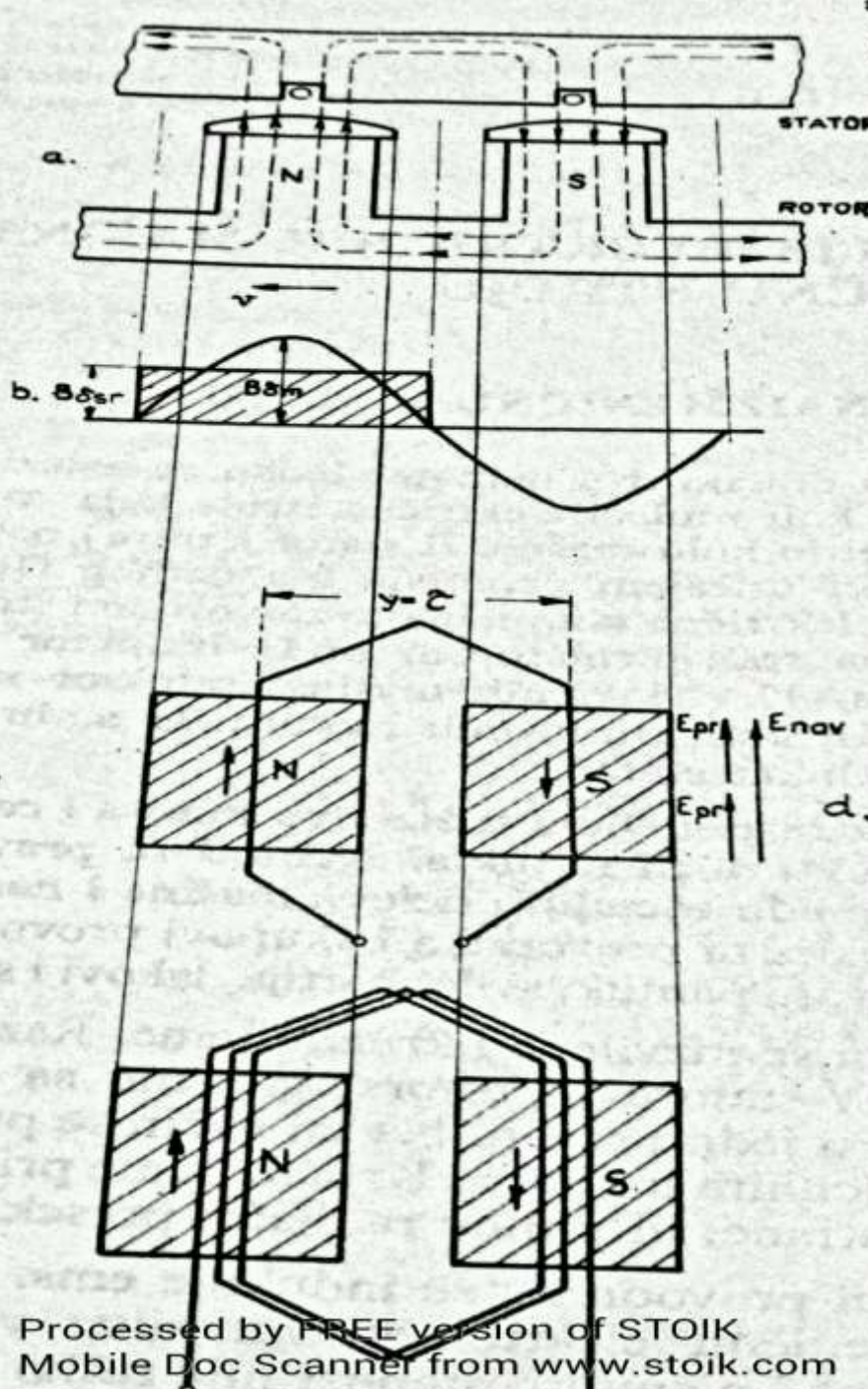
$m$ - broj zljebova po polu i fazi

$$m = \frac{Z}{2pq}$$

$$E_{pr} = l_s v B$$

$$v = 2\tau f$$

$$\Phi = l_{sr} \tau B_{sr}$$



## 2.3. ELEKTROMOTORNA SILA INDUKOVANA U JEDNOM PROVODNIKU

Kod prostperiodičnih funkcija vazi:

$$B_{sr} = \frac{2}{\pi} B_m \quad B_m = B\sqrt{2}$$

Koeficijent  $k$  je:  $k = \frac{B}{B_{sr}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$

$$v = 2\tau f$$

$$\Phi = l_{sr}\tau B_{sr}$$

$$E_{pr} = l_{sr}vB = l_{sr}vkB_{sr} = 2kf\Phi$$

EFEKTIVNA VREDNOST elektromotorna sila po jednom provodniku:

$$E_{pr} = 2,22f\Phi$$





## 2.3. ELEKTROMOTORNA SILA STATORA I ROTORA

Ako povežemo dva provodnika dobijamo jedan navojak.

$$2E_{pr} = E_{nav}$$

Ako mašina ima  $p$  pari polova onda možemo pod svaki par polova postaviti po jedan navojni deo pa dobijamo:

$$E_{nav} = 2pN_z E_{pr}$$



## 2.3. ELEKTROMOTORNA SILA STATORA I ROTORA

$$E = 2,22kfN\Phi$$

$$k=k_p k_t$$

Frekvencija statora  $f_1$  i rotora  $f_2$  nije ista:  $f_2 = sf_1$

**Pojasni navojni sačinilac** prdstavlja odnos izmedju vektorskog i aritmetičkog zbira ems.

$$k_p = \frac{E(m)}{2E_1} = \frac{\sin \frac{m\theta}{2}}{m \sin \frac{\theta}{2}}$$

**Tetivni navojni sačinilac** predstavlja odnos između vektorskog i algebarskog zbira ems po provodniku

$$k_t = \frac{E_{nav}}{2E_{pr}} = \sin \frac{y \pi}{\tau 2}$$



MAGNETNO POLJA:  $b = B_m \sin \theta$

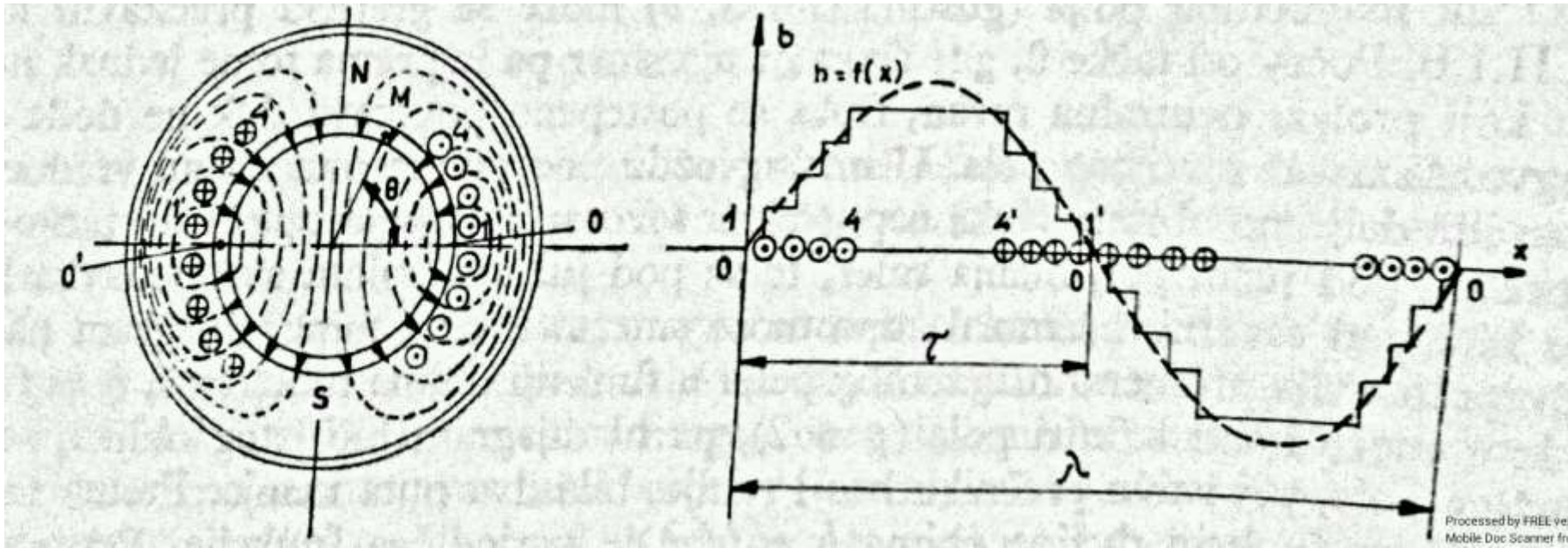
Maksimalna vrednost jačine polja (na slici) predstavlja visinu trapeza i iznosi:

$$B = \frac{\mu_0 N_n I}{2\delta' p}$$

Maksimalna vrednost sinusoide je  $4/\pi$  puta veća od visine trapeza.

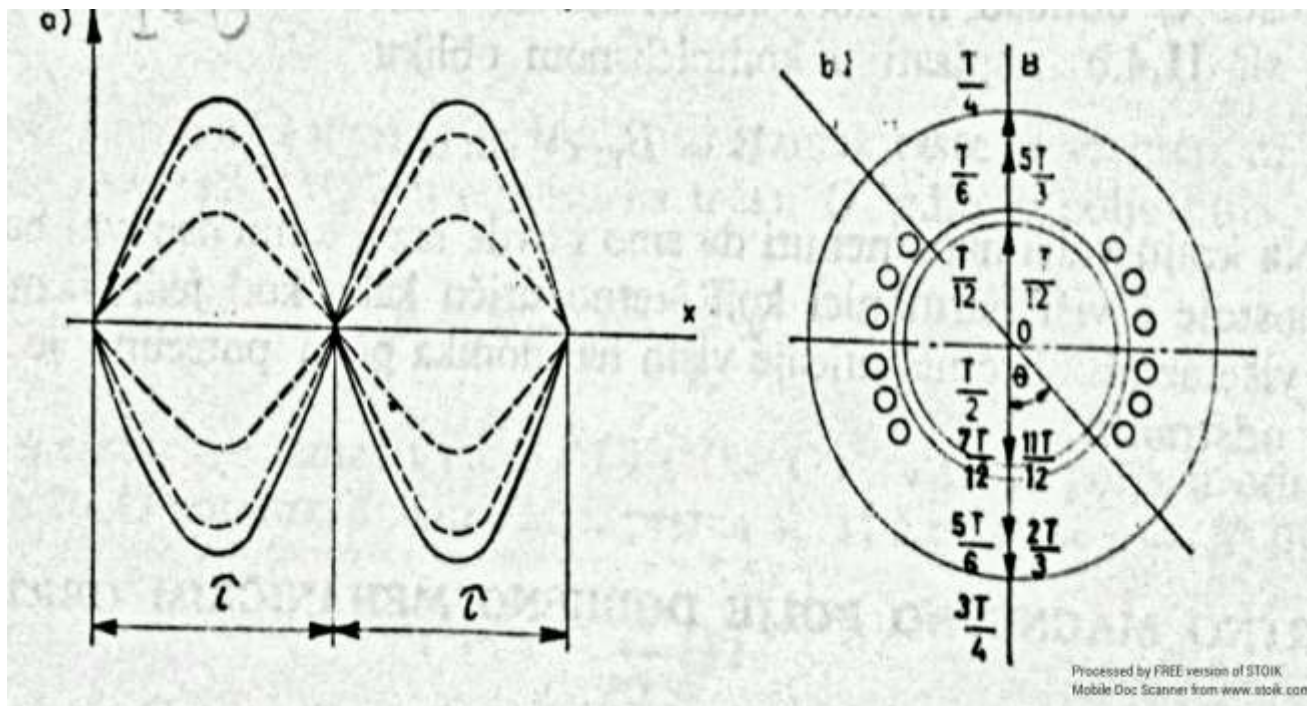
$$B_m = \frac{4}{\pi} B$$

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda} x$$



Obrtno magnetno polje stvaraju tri trofazna namotajima postavljenim u statoru mašine (pomerene medjusobno za 120 stepeni) kroz koje teče naizmenična struja:

$$i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin \omega t$$



Processed by FREE version of SIOIK  
Mobile Doc Scanner from www.stolk.com





# Teslino obrtno magnetno polje

$$b(x, t) = B_m \cos \omega t \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

$$B_m \cos \omega t \cos \frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{B_m}{2} \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} x - \omega t \right) + \frac{B_m}{2} \cos \left( \frac{2\pi}{\lambda} x + \omega t \right)$$

$$B_{obm} = k \frac{q}{2} B_m = \frac{3}{2} B_m$$

$$B_m = \frac{4}{\pi} B$$

$$B = \frac{\mu_0}{2\delta'} \frac{N_n I \sqrt{2}}{p}$$

Maksimalno obrtno magnetno polje je:

$$B_{obm} = \frac{\mu_0}{2\delta'} \frac{2}{\pi} k \frac{q N_n I \sqrt{2}}{p}$$



## 2.4. PRINCIP RADA ASINHRONOG MOTORA

- Namotaji statora se priključe na napajanje (trofazni napon).
- Struja koja protiče kroz prostorno raspoređene namotaje (120 stepeni) stvara obrtno magnetno polje.
- Obrtno magnetno polje okreće rotor, rotor teži da dostigne brzinu obrtnog polja statora. Brzina obrtanja magnetnog polja statora zavisi od broja pari polova.

$$n_s = \frac{60 f_1}{p}$$

broj pari polova (p)	1	2	3	4	6
broj polova (2p)	2	4	6	8	12
$n_0$ [obrtaja/min]	3000	1500	1000	750	500

Frekvencija statora  $f_1$  i rotora  $f_2$  nije ista:  $f_2 = sf_1$



## 2.4. PRINCIP RADA ASINHRONOG MOTORA

- Rotor se okreće brzinom  $n$  koja je uvek malo manja od sinhrona  $n'$  ( $n_s$ ). Razlika ovih brzina predstavlja relativno klizanje:

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

$$s_{\%} = \frac{n' - n}{n'} 100$$

- Vrednost klizanja pri nominalnom opterećenju kreće se kod manjih motora od 3 do 8% a kod većih od 1 do 3%.
- Brzina obrtanja rotora i ugaona brzina se računa prema obrascu:

$$n = (1 - s)n'$$

$$\Omega = (1 - s)\Omega'$$

- Obrtno polje statora u odnosu na rotor, smatrajući da rotor miruje, može se predstaviti kao:  $n'' = n' - n$



## 2.5. SVODJENJE ROTORSKIH VELIČINA NA STATOR

Svođenje ems rotora na stator vrši se tako što se stvarna vrednost  $E_2$  pomnoži sa koeficijentom  $m$  koji iznosi:

$$m = \frac{k_1 N_1}{k_2 N_2} \approx \frac{N_1}{N_2}$$

Što znači da je :  $E'_2 = mE_2$

$$Z'_2 = m^2 Z_2 \quad Z'_2 = R'_2 + jX'_{\gamma 2}$$

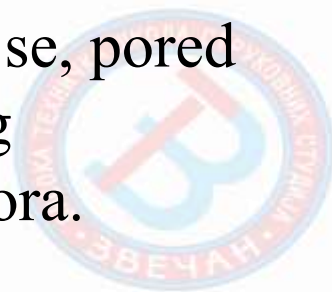
Odnosno:

$$Z'_2 = R'_2 + jsX'_{\gamma k 2} = m^2 R_2 + js m^2 X_{\gamma k 2}$$

Struja rotora se svodi na stator deljenjem sa koeficijentom  $m$ :

$$I'_2 = \frac{E'_2}{Z'_2} = \frac{mE_2}{m^2 Z_2} = \frac{1}{m} \frac{E_2}{Z_2} = \frac{I_2}{m}$$

Korišćenje svedenih rotorskih veličina na stator omogućava se, pored ostalog, definisanje ekvivalentne šeme i crtanje jedinstvenog vektorskog dijagrama električnih sila i struja asinhronog motora.





## 2.6. STRUJA ROTORA

- Struja u rotoru pri nekoj brzini  $n$ , kojoj odgovara klizanje  $s$ , iznosi:

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_{\gamma 2}^2}}$$

$Z_2$  impedansa po fazi namotaja rotora

$R_2^2$  i  $X_{\gamma 2}^2$  aktivna i induktivna otpornost usled rasipanja

Induktivna otpornost usled rasipanja je:

$$X_{\gamma 2} = \omega_2 L_{\gamma 2} = 2\pi f_2 L_{\gamma 2} = 2\pi s f_1 L_{\gamma 2}$$

$$X_{\gamma 2} = 2\pi s f_1 L_{\gamma 2} = s X_{\gamma k 2}$$

