

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI

Uvod

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI

Osnovna obilježja

- Pod pojmom mali električni strojevi obično podrazumijevamo strojeve čija je snaga ispod 1kW.
- U odnosu na velike strojeve je broj komada takvih strojeva vrlo velik.
- Ukupna snaga i vrijednost proizvodnje malih električnih strojeva su također vrlo velike.
- Njihova je upotreba vrlo raširena, od domaćinstava do industrije, transportnih sredstava, uređa itd.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI

Osnovna obilježja

- Vrlo često se mali električni strojevi koriste kao uređaji za podešavanje i regulaciju.
- Za njih bismo mogli reći da im osnovna namjena nije pretvaranje energije.
- Princip njihovog rada je ipak princip rada električnih strojeva, i to najčešće električnih motora.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI

JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

- Jednofazni asinkroni motor ima izuzetno veliku primjenu u domaćinstvu.
- Koristi se tamo gdje ne postoji trofazni priključak na električnu mrežu.
- Zbog cijene instalacije novog trofaznog priključka ekonomski je opravdano koristiti jednofazni motor.
- Trofazni motor je bolji, manji i jeftiniji od jednofaznog motora iste snage.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

- Jednofazni asinkroni motor ima jednofazni namot koji je obično raspoređen na približno dvije trećine oboda stroja.
- Izmjenična struja kroz namot tog motora stvara jednofazno pulzirajuće protjecanje $\vec{\Theta}$.
- Jednofazno protjecanje možemo prikazati kao sumu dva rotirajuća protjecanja, direktno $\vec{\Theta}_d$ i inverzno $\vec{\Theta}_i$:

$$\vec{\Theta} = \vec{\Theta}_d + \vec{\Theta}_i$$

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

shematski prikaz jednofazno protjecanje

Jednofazni asinkroni motor

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

- Direktno i inverzno protjecanje se vrte u suprotnim smjerovima.
- Njihove amplitude su jednake i iznose:

$$\Theta_d = \Theta_i = \frac{1}{2} \Theta$$

- Ponašanje motora možemo promatrati kao dva odvojena motora na istoj osovinu.
- Ti motori su električki spojeni tako da se njihova protjecanja vrte u suprotnim smjerovima.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

Točka kratkog spoja u kružnom dijagramu jednofaznog asinkronog motora

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Način rada

- Kad bi ovi motori bili priključeni na napon istog iznosa $U/2$, kružni dijagram oba motora bi bio identičan za točku kratkog spoja.
- U točki kratkog spoja su moment direktnog sistema T_{kd} i moment inverznog sistema T_{ki} jednaki, ali suprotnog predznaka.
- Ukupni moment kratkog spoja T_k će biti jednak sumi ovih momenata:

$$T_k = T_{kd} - T_{ki} = 0$$

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

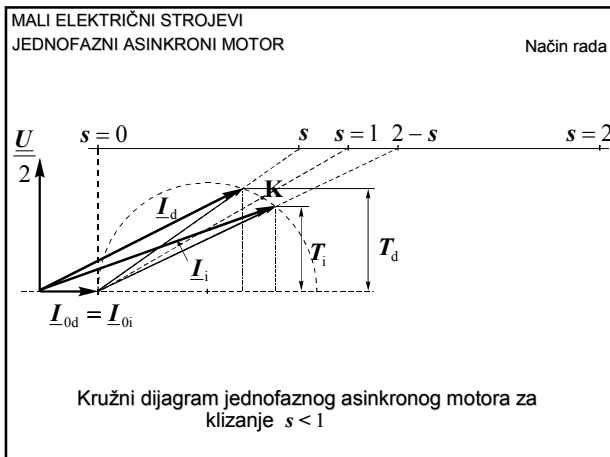
Način rada

- Ako se pomaknemo iz točke kratkog spoja, brzina motora će biti n .
- Sinkrone brzine n_{sd} za direktno polje i n_{si} za inverzno polje iznose:

$$n_{sd} = n_s$$

$$n_{si} = -n_s$$

- Klizanje direktnog polja: $s_d = \frac{n_s - n}{n_s} = s < 1$
- Klizanje inverznog polja: $s_i = \frac{-n_s - n}{-n_s} = 2 - s > 1$

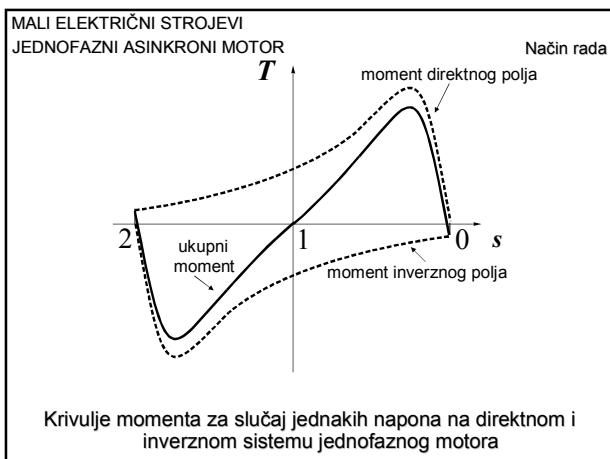


MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Struje direktnog i inverznog sistema nisu više jednake, a niti momenti.
- Izvan točke kratkog spoja (za klizanja $s < 1$) bi rezultantni moment T iznosio:

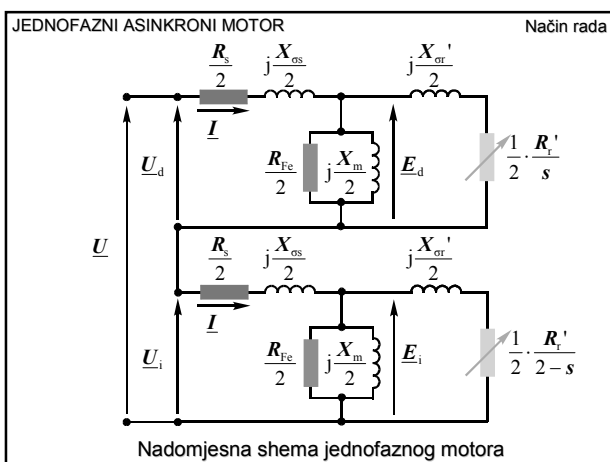
$$T = T_d - T_i \neq 0$$

- Krivulja momenta u ovisnosti o klizanju predstavlja razliku momenata.



MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Pogrešno je, međutim, pretpostaviti da su naponi direktnog i inverznog sistema jednaki.
- Naime, direktni i inverzni sistem su vezani u seriju.
- Iz nadomjesne sheme se vidi da naponi \underline{U}_d direktnog i \underline{U}_i inverznog sistema ne mogu biti jednaki.
- Naponi su proporcionalni impedancijama direktnog i inverznog sistema koje nisu jednake, već ovise o klizanju.



MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- U sinkronizmu ($s=0$), na primjer, prividni rotorski otpor R'_{rd} direktnog sistema poprima vrijednost:

$$R'_{rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R'_r}{s} \rightarrow \infty \text{ za } s \rightarrow 0$$

- Nasuprot tome, prividni rotorski otpor R'_{ri} inverznog sistema poprima vrijednost:

$$R'_{ri} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R'_r}{2-s} \rightarrow \frac{1}{2} \cdot \frac{R'_r}{2} \text{ za } s \rightarrow 0$$

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Proizlazi da će na dijelu nadomjesne sheme koja predstavlja direktni sistem napon biti znatno veći nego na inverznom dijelu.
- Ako impedancije direktnog i inverznog sistema označimo sa \underline{Z}_d i \underline{Z}_i , naponi iznose:

$$U_d = U \cdot \left| \frac{\underline{Z}_d}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_i} \right|$$

$$U_i = U \cdot \left| \frac{\underline{Z}_i}{\underline{Z}_d + \underline{Z}_i} \right|$$

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Iznos momenta ovisi o kvadratu napona, pa možemo definirati koeficijente za korekciju:

$$k_d = \left(\frac{U_d}{U} \right)^2 > 1$$

$$k_i = \left(\frac{U_i}{U} \right)^2 < 1$$

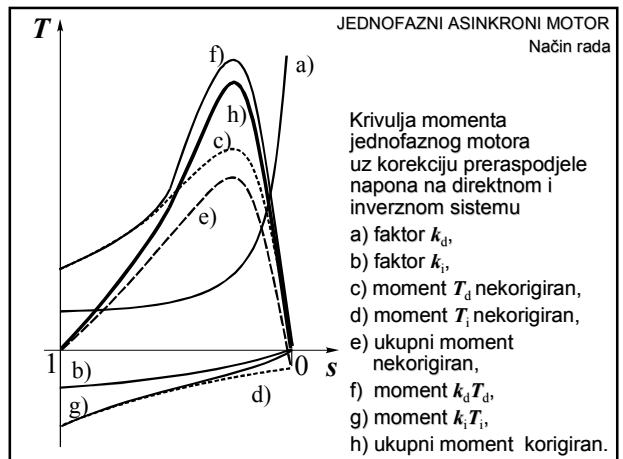
- S faktorima k_d i k_i treba množiti vrijednosti momenta dobivene uz jednake napone.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Ukupni moment motora je tada:

$$T = k_d T_d - k_i T_i$$

- Korigirani moment direktnog sistema $k_d T_d$ je znatno veći od momenta T_d uz jednake napone na oba sistema.



MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Način rada

- Rezultantni moment T je veći uz korigirane vrijednosti momenata direktnog i inverznog sistema, osim u kratkom spoju.
- Karakteristika momenta $T=f(s)$ je u području malih klizanja znatno povoljnija, nego uz pretpostavku jednakih napona na direktnom i inverznom sistemu.
- Karakteristika momenta i uz korekcije ima, međutim, jedan nedostatak: potezni moment je i dalje jednak nuli.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Zalet

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Zalet

- Jednofazni asinkroni motor ne može sam krenuti zbog toga što mu je potezni moment jednak nuli.
- Međutim, ako ga nekako pokrenemo, tada će se ubrzati sve do ravnoteže momenata.
- Da bismo dobili potezni moment veći od nule, treba u motor ugraditi još jedan namot čija je os pomaknuta u odnosu na os glavnog namota.
- Taj namot treba napajati strujom koja je pomaknuta u fazi u odnosu na struju glavnog namota.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Zalet

- U praksi se koristi rješenje motora s kondenzatorom.
- Motor s kondenzatorom se izvodi tako da se pomoćna faza nakon zaleta isklupi ili ostaje trajno uključena.
- Tako razlikujemo:
 - motor s pomoćnom fazom za zalet i
 - kondenzatorski motor.

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Motor s pomoćnom fazom za zalet

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Motor s pomoćnom fazom za zalet

glavna faza

shematski prikaz

fazorski prikaz napona i struja

Jednofazni asinkroni motor s pomoćnom fazom za zalet

MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Motor s pomoćnom fazom za zalet

- Motor s pomoćnom fazom za zalet ima dva prostorno razmaknuta namota, koji ne moraju biti jednaki.
- U seriju s jednim od namota spojen je kondenzator. Oba se namota napajaju iz istog izvora naponom \underline{U} .
- Struja glavog namota \underline{I}_m i pomoćnog namota \underline{I}_a stvaraju pulzirajuća protjecanja, svaka u svojoj osi namota.
- Oba pulzirajuća protjecanja se mogu rastaviti u po dva okretna protjecanja, direktno i inverzno.

JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Motor s pomoćnom fazom za zalet

os glavne faze

$$\theta_{md} = \theta_{mi} = \frac{1}{2} \theta_m$$

$$\theta_{ad} = \theta_{ai} = \frac{1}{2} \theta_a$$

$$\bar{\theta}_d = \bar{\theta}_{md} + \bar{\theta}_{ad}$$

$$\bar{\theta}_i = \bar{\theta}_{mi} + \bar{\theta}_{ai}$$

$$\bar{\theta} = \bar{\theta}_d + \bar{\theta}_i \neq 0$$

os pomoćne faze

Protjecanja jednofaznog asinkronog motora s pomoćnom fazom za zalet

- Omjer efektivnog broja zavoja pomoćne i glavne faze označimo s k_{am} :

$$k_{am} = \frac{k_a}{k_m} = \frac{N_a k_{wa}}{N_m k_{wm}} \Rightarrow k_a = k_{am} k_m$$

- Direktno i inverzno protjecanje iznose:

$$\Theta_d = \frac{k_m}{2} \sqrt{I_m^2 + k_{am}^2 I_a^2 + 2 k_{am} I_m I_a \sin \Psi}$$

$$\Theta_i = \frac{k_m}{2} \sqrt{I_m^2 + k_{am}^2 I_a^2 - 2 k_{am} I_m I_a \sin \Psi}$$

- Jasno je - direktno protjecanje je veće od inverznog:

$$\Theta_d > \Theta_i$$

- Slijedi da je i moment direktnog sistema T_d veći od momenta inverznog sistema T_i :

$$T_d > T_i$$

- Smjer vrtnje direktnog protjecanja bit će od osi namota u kojem struja prethodi prema osi namota u kojem struja zaostaje.

- Smjer vrtnje motora jednak je smjeru vrtnje direktnog protjecanja.

- Ako je kondenzator u pomoćnoj fazi, struja te faze će prethoditi struji glavne faze.

- Motor će se tada vrtjeti od osi pomoćne prema osi glavne faze.

- Potezni moment je sada veći od nule.

- Iznos tog momenta dobijemo iz osnovne relacije:

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

- Promatramo, dakle, kratki spoj asinkronog motora.

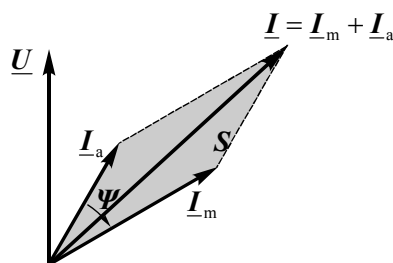
- Potezni moment motora iznosi:

$$T = T_d - T_i = k_T \frac{R_r}{Z_r} (\Theta_d^2 - \Theta_i^2)$$

- Uvrštenjem izraza za protjecanja dobijemo:

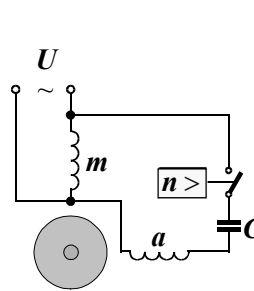
$$T = K I_m I_a \sin \Psi = K_S S$$

- Veličina S predstavlja površinu paralelograma što ga čine fazori struje u glavnoj i pomoćnoj fazi.

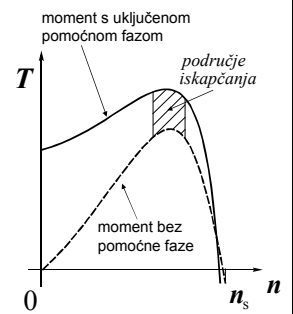


Fazorski dijagram struja i iznos poteznog momenta jednofaznog asinkronog motora s pomoćnom fazom

- Moment je proporcionalan površini koju razapinju fazori struja glavne i pomoćne faze.
- Da bismo dobili što veći moment, treba kut među strujama biti što veći.
- To se najefikasnije može postići kondenzatorom, ali su moguća rješenja i s prigušnicom ili otpornikom.
- Pomoćna faza se iskopča nakon zaleta pomoću centrifugalne sklopke na osovini motora ili strujnog releja u glavnoj fazi.



shema spoja

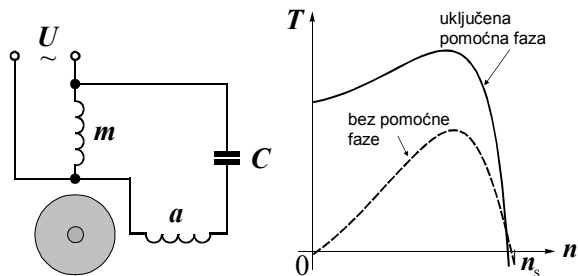


karakteristike momenta

Shema spoja i momenti jednofaznog asinkronog motora s pomoćnom fazom za zalet

Kondenzatorski motor

- Kondenzatorski motor je motor s pomoćnom fazom koja je stalno uključena.
- Izborom namota pomoćne faze, oblika utora i veličine kondenzatora mogu se postići različite karakteristike.
- Potezni moment se povećava s povećanjem kondenzatora, ali kondenzator ne smije biti suviše velik i skup.

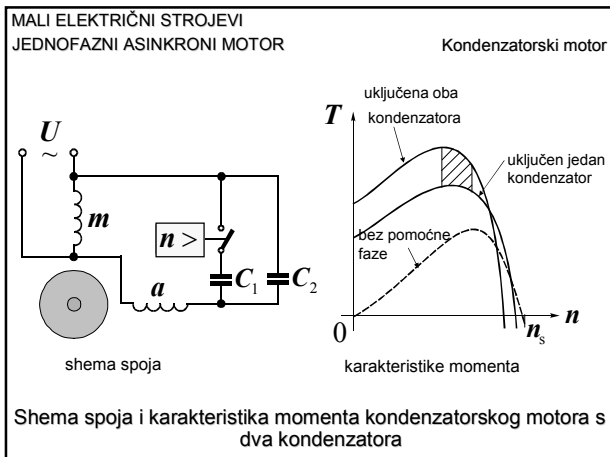


shema spoja

karakteristike momenta

Shema spoja i karakteristika momenta kondenzatorskog motora

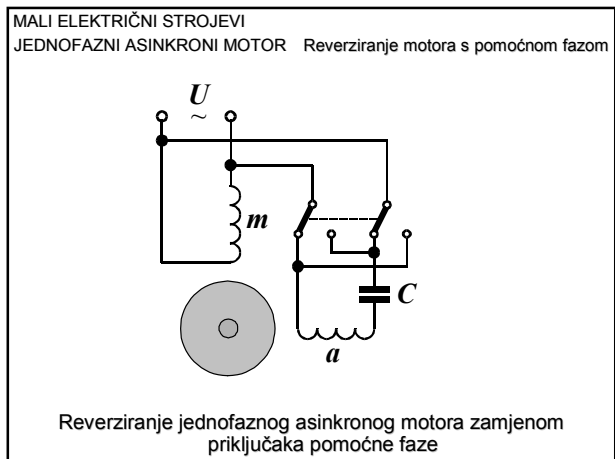
- U praksi se često zahtijeva velik potezni moment.
- Zbog toga se u takvim slučajevima cijeli motor mora dimenzionirati da bi ostvario odgovarajući potezni moment.
- Ima također rješenja s dva kondenzatora: jednim koji se isključuje nakon zaleta i drugim koji ostaje trajno uključen.



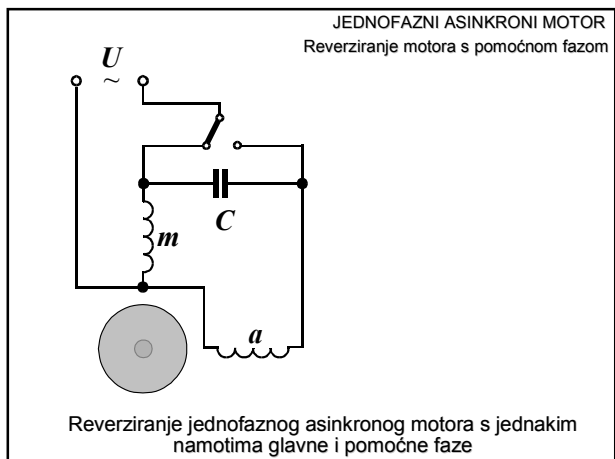
MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR

Reverziranje motora s pomoćnom fazom

- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Reverziranje motora s pomoćnom fazom
- Smjer vrtnje motora je određen sa smjerom vrtnje direktnog protjecanja.
 - Direktno protjecanje se vrti u smjeru od namota u kojem struja prethodi prema namotu u kojem struja kasni.
 - Reverziranje se može provesti tako da se jednom namotu zamijene priključci.



- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI
JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTOR Reverziranje motora s pomoćnom fazom
- Ako je pomoćna faza namotana jednako kao i glavna, reverziranje je jednostavnije.
 - U jednom položaju preklopke je kondenzator spojen u seriju s jednim namotom.
 - Kad se preklopka prebaci u drugi položaj, kondenzator se spoji u seriju s drugim namotom.

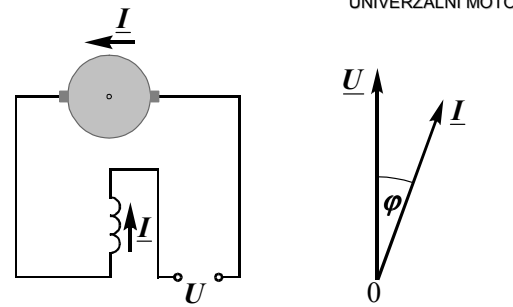


UNIVERZALNI MOTOR

- Ako se promijeni i smjer struje uzbude i smjer struje armature, smjer vrtnje istosmjernog motora se neće promijeniti.
- Iz toga proizlazi da bismo bilo poredni, bilo serijski motor mogli priključiti na izmjenični napon.
- Budući da se istovremeno mijenja predznak i uzbude i armature, smjer vrtnje ostaje isti.
- Jedino je nužno da glavni magnetski krug bude lameliran zbog vrtložnih struja.

- Međutim, iz porednog motora, priključenog na izmjenični napon, se može dobiti vrlo malo snage.
- Serijski motor na izmjeničnoj mreži nema ovaj nedostatak.
- Takav se motor naziva univerzalni motor.
- Struja uzbude I_f i struja armature I_a su u fazi jer je:

$$\underline{I}_f = \underline{I}_a = \underline{I}$$



shema spoja

fazorski dijagram napona i struja

Serijski motor na izmjeničnom naponu

- Za linearni dio karakteristike magnetiziranja vrijedi:

$$\Phi = k_1 I \sqrt{2}$$

- Brzina pri izmjeničnom napajanju je približno:

$$n_{\sim} \cong \frac{U \cos \varphi}{k_E k_1 I}$$

- Pri istosmjernom napajanju brzina vrtnje iznosi:

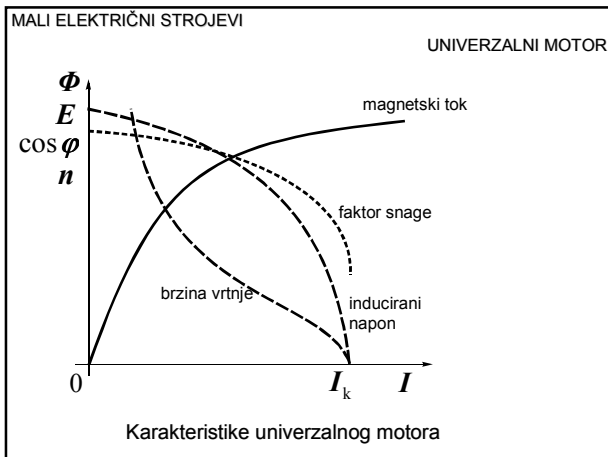
$$n_{=} \cong \frac{U}{k_E k_1 I}$$

- Omjer brzina pri izmjeničnom i istosmjernom napajanju je:

$$\frac{n_{\sim}}{n_{=}} \cong \cos \varphi$$

- Dakle, uz istu struju imat ćemo pri istosmjernom napajanju veću brzinu motora.

- Univerzalni motori imaju veliku primjenu za snage do oko 2kW u kućanskim aparatima i sličnim primjenama (ručni alati).

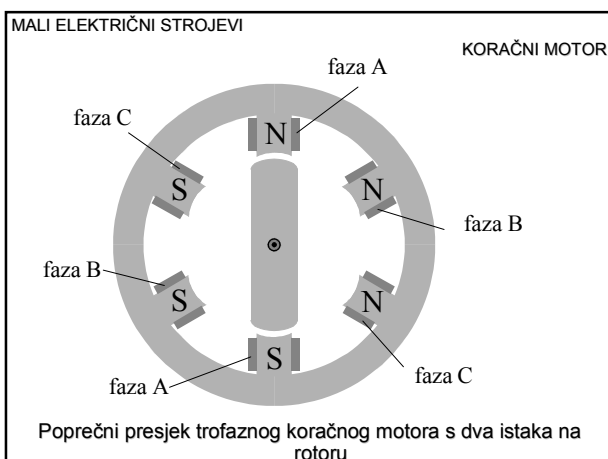


MALI ELEKTRIČNI STROJEVI

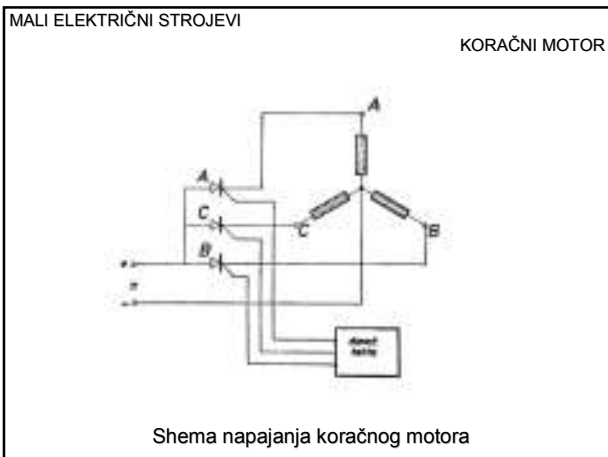
KORAČNI MOTOR

- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Koračni motor ima više faznih namota na istaknutim polovima statora.
 - Fazni namoti se napajaju impulsima struje iz elektroničkog uređaja prema određenom programu.
 - Rotor je reluktantni - od mekog željeza:
 - u uzdužnoj osi ima izrazito veliku magnetsku vodljivost (malu reluktanciju), a
 - u poprečnoj osi ima lošu magnetsku vodljivost.

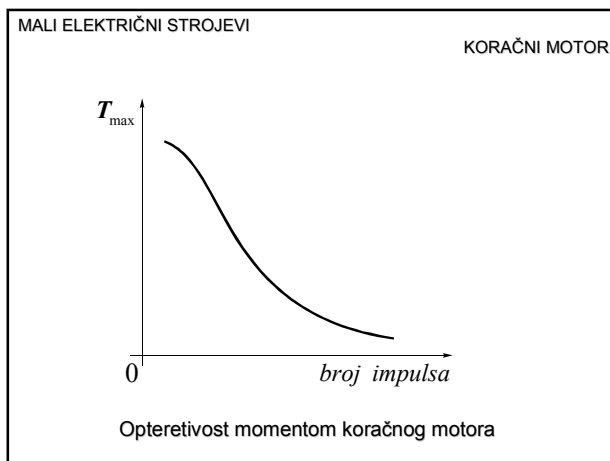
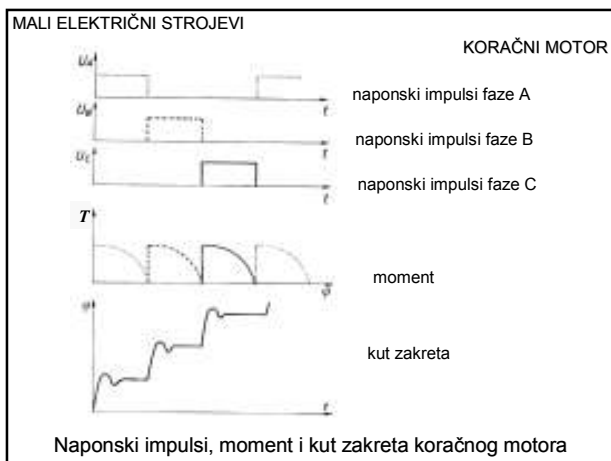
- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Broj zubi rotora je različit od broja polova statora.
 - Rotor će se postaviti u položaj najmanjeg magnetskog otpora (odnosno najveće magnetske vodljivosti), ovisno o tome koji se polovi statora napajaju i kojim smjerom.
 - Slijedom i brzinom davanja impulsa uzbudne struje izabiremo smjer i brzinu gibanja motora.



- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Ako fazom A protječe struja, rotor će se postaviti okomito.
 - Kad struja poteče fazom B će se rotor zakrenuti za 60° udesno i tako dalje.
 - Ako dajemo napajanje A-B-C-A ... rotor će se vrtjeti udesno, a ako napajanje mijenjamo suprotno, A-C-B-A ... rotor će se vrtjeti ulijevo.



- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Pri promjeni impulsa s jedne faze na drugu rotor se pomakne za jedan korak.
 - Pritom zbog zamašnog momenta i magnetskih sila dolazi do titranja.
 - Ovo titranje se priguši uslijed mehaničkog trenja i električnih gubitaka.
 - Kontinuiranom promjenom impulsa postizemo kontinuiranu vrtnju rotora.
 - Brzinu određuje brzina promjene impulsa (tj. frekvencija).



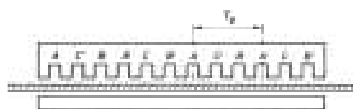
- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Frekvenciju impulsa ne možemo po volji povećavati jer se maksimalni moment koji motor može razviti smanjuje s povećanjem broja impulsa.
 - Koračni motor zadržava svoj položaj ukoliko ga impulsom ne pomaknemo za slijedeći korak.
 - Ovo je jako dobro svojstvo za pozicioniranje i regulaciju.
 - Prikazani primjer bi imao grubo pozicioniranje.
 - Izborom rotora s većim brojem zuba pozicioniranje može biti mnogo finije.

- MALI ELEKTRIČNI STROJEVI KORAČNI MOTOR
- Ako bi u prikazani stator sa šest polova stavili rotor s osam zubi, korak bi iznosio 15°.
 - Još se finije pozicioniranje može izvesti ako se i polovi statora izljebe.
 - Ima rješenja gdje na jednom punom okretu rotor načini više stotina koraka.
 - Koračni motori imaju široku primjenu u pisačim i šivačim strojevima i drugdje gdje je potrebno točno pozicioniranje, a ne zahtijeva se velika snaga.

LINEARNI MOTOR

- Kao linearni motor se najviše koristi asinkroni motor.
- Takav motor ima razvijen stator ili samo jedan njegov dio.
- Na statoru su utori u koje je smješten trofazni namot.
- Rotor je također razvijen, a sastoji se od bakrene trake koja se giba između dva nepomična dijela.

- Kod linearnih motora je rotacijsko gibanje pretvoreno u translacijsko.
- Moguće izvedbe:
 - s jednostrukim primarnim dijelom ili
 - s dvostrukim primarnim dijelom.
- Ovo su izvedbe gdje uzбудni dio miruje, a giba se dio u kojem se induciraju struje.

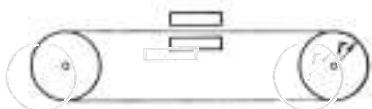


izvedba s jednostrukim primarnim dijelom



izvedba s dvostrukim primarnim dijelom

Izvedbe linearnih motora



Linearni motor s pomičnom trakom

- Brzina (sinkrona) translacijskog polja je:

$$v_s = 2f \tau_p$$

- Translacijsko gibanje prevali u jednoj poluperiodi razmak od polnog koraka τ_p .
- U $2f$ poluperioda prevali $2f$ puta veći put.

- Moguće su i izvedbe kod kojih traka miruje, a uzbudni dio se giba.
- Zato se govori o primaru i sekundaru stroja, a ne o statoru i rotoru.
- Linearni motori se koriste u električnom transportu, za pomicanje rampi, vrata itd.