

ISTOSMJERNI STROJEVI

UVOD

U elektrotehnici zadnjih godina upravo su istosmjerni motri zauzeli vodeću ulogu u automatizaciji i regulaciji jer imaju pogodne mogućnosti brže i fine regulacije brzine vrtnje. Kao i kod drugih električnih strojeva tako i kod istosmjernih strojeva ne postoji nikakva konstrukcijska razlika između generatora i motora, ali zbog praktičkih razloga radi ili kao generator ili kao motor. U istosmjernim strojevima postoji kolektor koji omogućava da istosmjerni generator u kojem se inducira izmjenični napon daje potrošaču istosmjerni napon, ili kod motora, da da privedeni istosmjerni napon pretvori u izmjenični.

KONSTRUKCIJA ISTOSMJERNOG STROJA

Konstrukcija istosmjernog stroja slična je sinkronom stroju, a razlika je u tome što istosmjerni stroj ima polove uzbudnog namota na statoru, a armaturni namot na rotoru, dok je kod sinkronog stroja suprotno. Istosmjerni stroj, prikazan slikom 47, ima tri osnovna dijela :

1. stator,

2. rotor,

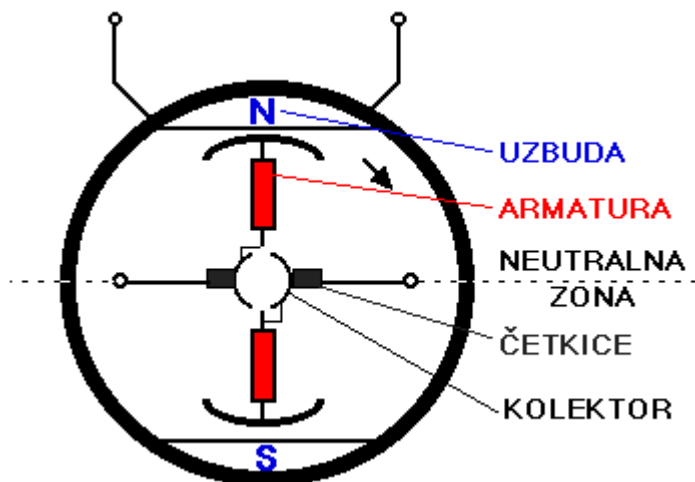
3. kolektor.

Stator je izveden kao šuplji valjak od lijevanog željeza. Na unutarnjoj strani statorskog jarma nalaze se magnetski polovi s **uzbudnim namotom**, a sa strane statora nalaze se štitovi s ležajevima za osovinu. Magnetske silnice izlaze iz sjevernog N - pola, prolaze preko rotora, ulaze južni S - pol i vraćaju se na sjeverni N - pol. Stator je izrađen od punog masivnog komada jer je izvrnut magnetskom polju istosmjerne struje te nemamo gubitke vrtložnih struja i gubitke petlje histereze.

Rotor je izrađen od dinamo limova i učvršćen na osovinu. U utorima nalazi se **armaturni namot** čiji su krajevi spojeni na lamele kolektora.

Kolektor je smješten uz sam rotor na osovinu stroja, a sastoji se od bakrenih lamela koje su međusobno izolirane i izolirane su i od osovine, a po njima klize četkice.

Četkice su načinjene od mekšeg materijala nego što je kolektor kao što su : tvrdi ugljen, grafitni ugljen, metalni ugljen itd. One moraju čitavom svojom površinom ležati na kolektoru određenim pritiskom i ne smiju biti veće širine od 2-3 lamele.



Slika 47

Dvopolni istosmjerni stroj

ISTOSMJERNI GENERATOR

Magnetski tok stvoren je prolazom uzbudne struje kroz uzbudni namot, a pokrećemo li rotor vanjskim pogonskim strojem konstantnom brzinom v , to će se inducirati EMS e :

$$e = B * l * v$$

gdje je B magnetska indukcija, l duljina vodiča namota rotora i v obodna brzina rotora. Prema slici 47, stroj kao generator, u rotoru imat će izmjenični inducirani napon, a na četkicama preko kolektora imat ćemo istosmjerni napon. Kolektor i četkice nam omogućuju pretvaranje izmjeničnog napona u istosmjerni.

ISTOSMJERNI MOTOR

Istosmjerni stroj prikazan na slici 47 može raditi i kao motor. Uz pretpostavku iste uzbudne struje i djelovanja magnetske indukcije B , priključimo li na stezaljke četkica istosmjerni napon, poteći će armaturnim svitkom struja koja stvara silu F koja nastoji izbaciti vodič :

$$F = B * I * l$$

Sila će stvoriti okretni moment, koji će rotor zakretati, i tako je istosmjerni stroj postao motor .

NAPON ISTOSMJERNOG GENERATORA

Inducirana EMS E na namotima različita je od napona U koji vlada na stezaljkama stroja. Ako operetimo stroj poteći će armaturnim namotom struja I_A koja izaziva u otporu armature R_A pad napona u armaturi $I_A * R_A$. Na stroju dolazi i do pada napona na četkicama zbog prelaznog otpora između četkica i kolektora $\Delta U_{\check{C}}$, pa možemo pisati da je napon stezaljki na generatoru prema II Kirchhoffovom zakonu :

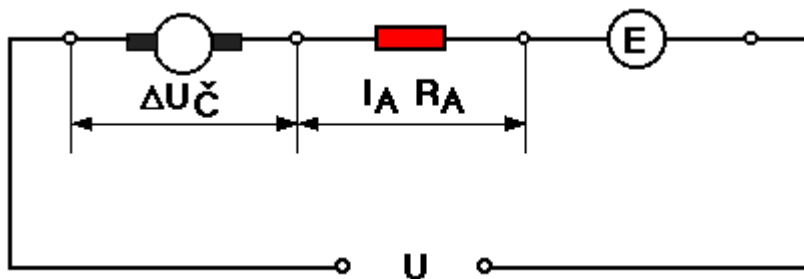
$$U = E - I_A * R_A - \Delta U_{\check{C}}$$

NAPON ISTOSMJERNOG MOTORA

Kod elektromotora je obratno jer se napon na stezaljkama motora U troši na pad napona u otporu armature $I_A * R_A$, na pad napona na četkicama $\Delta U_{\check{C}}$ i svladavanju EMS E inducirane u motoru, tako da je prema II Kirchhoffovom zakonu :

$$U = E + I_A * R_A + \Delta U_{\check{C}}$$

Napon stezaljki stroja U , pad napona armature $I_A * R_A$, EMS E i pad napona na četkicama $\Delta U_{\check{C}}$ može se prikazati nadomjesnom shemom kao na slici 48 :

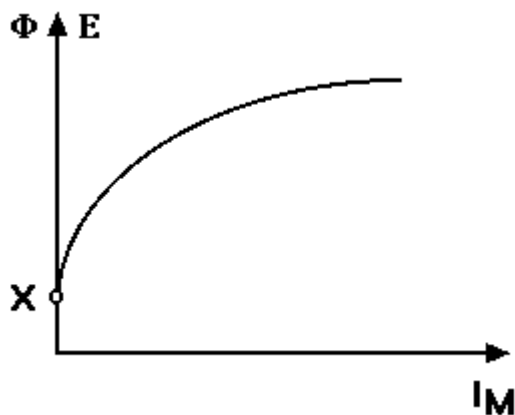


Slika 48

Nadomjesna shema istosmjernog generatora i motora

PRAZNI HOD ISTOSMJERNOG GENERATORA

Inducirana EMS E proporcionalna je magnetskom toku Φ i brzini vrtnje stroja v , a uz pretpostavku konstantne brzine vrtnje, proizvedeni napon biti će proporcionalan magnetskom toku. Magnetski tok skoro redovito se stvara elektromagnetima kao uzbuđa određenom uzbudnom strujom I_M . Na slici 49 prikazana je krivulja praznog hoda, gdje zbog remanencije, neće početi iz ishodišta 0 nego iz točke X :



Slika 49

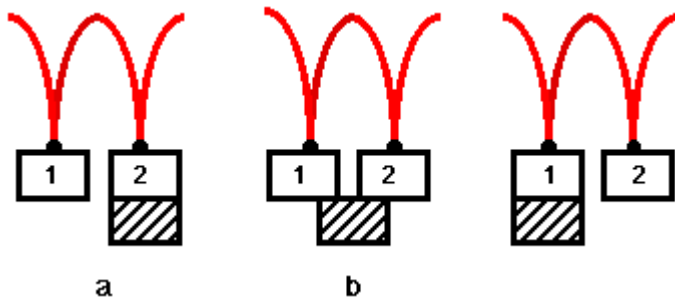
Karakteristika praznog hoda

OPTEREĆENJE ISTOSMJERNOG STROJA

Istosmjerni stroj možemo opteretiti kao **generator**, tada uzimamo iz armaturnog namota struju **IA**, ili kao **motor**, tada dovodimo struju armature **IA**. Struja armature proizvest će magnetsko polje koje će svojim djelovanjem promijeniti magnetsko stanje stroja, a to izaziva i promjenu u fizikalnom djelovanju stroja, a to nazivamo **reakcijom armature**. To znači da u pogonskom stanju između ostalog imamo za posljedicu smanjenje inducirane EMS.

KOMUTACIJA

Komutacija je promjena polariteta induciranog napona svitka kod prolaza kroz neutralnu zonu. Lamela pri prolazu pod četkicom ima za posljedicu promjenu smjera struje u svitku, koji se nalaze u kratkom spoju. Kratki spoj je dok četkice pokrivaju odgovarajuće lamele i struja u svitku pada od neke vrijednosti na nulu, a zatim poraste u suprotnom smjeru. Na slici 50 prikazana su tri karakteristična trenutka komutacije :



Slika 50

Prikaz procesa komutacije

Na slici 50 a neka struja u promatranom svitku teče u pozitivnom smjeru. Pomicanjem kolektora u desno prolazi četkica sa lamelu 2 na lamelu 1 kao na slici 50 b i svitak je kratko spojen. Za vrijeme kratkog spoja, struja kratkospojenog svitka mijenja svoj smjer i sada teče u negativnom smjeru. Prema slici 50 c je moment kada četkica ne dodiruje više lamelu 2 i završen je proces komutacije s negativnom strujom svitka.

UZBUDE ISTOSMJERNIH STROJEVA

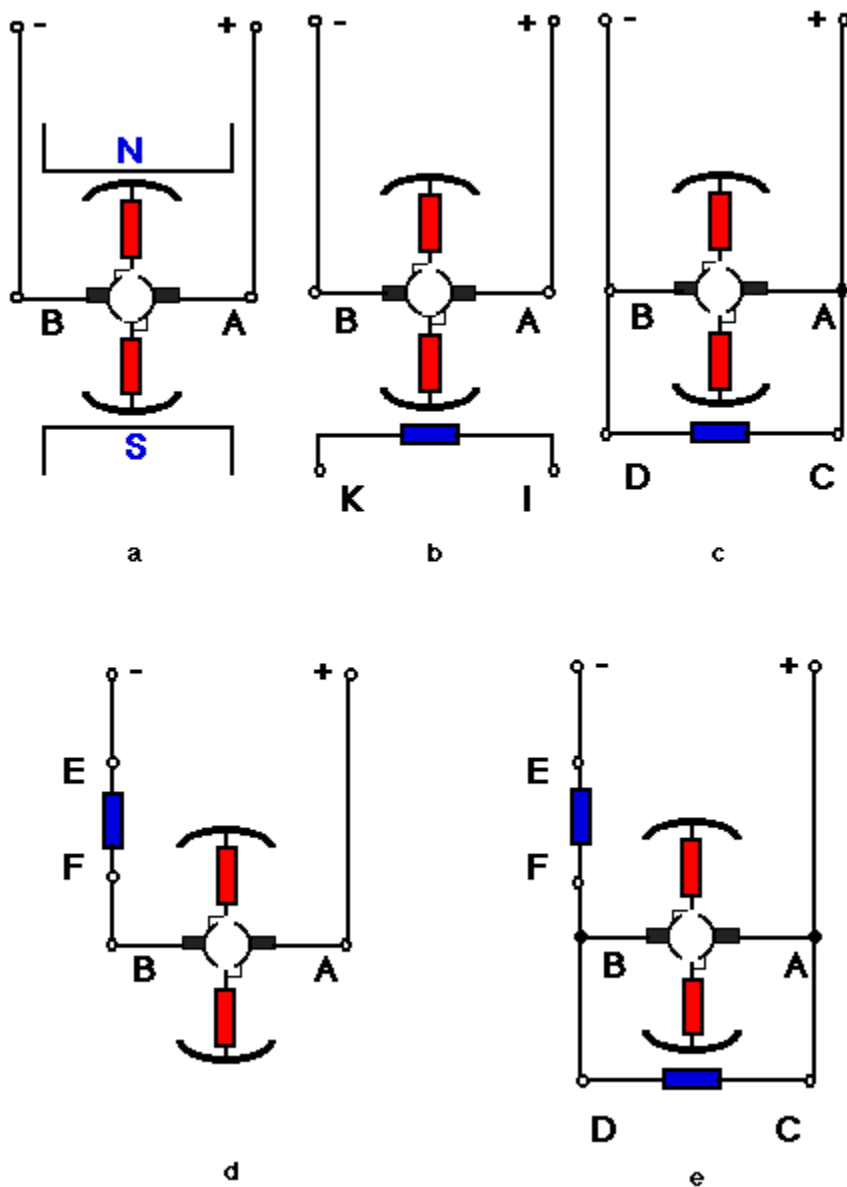
Kao uzbudu možemo proizvesti magnetski tok pomoću permanentnog magneta kao na slici 51 a. Također na slici 51 prikazane su pojedine vrste generatora s obzirom na uzbudu i to :

51 b. generator s nezavisnom uzbudom

51 c. poredni generator (s paralelnom vezom uzbude)

51 d. serijski generator (sa serijskom vezom uzbude)

51 e. kompaudni generator (sa paralelno serijskom vezom uzbude)



Slika 51

Vrste uzbuda istosmjernih generatora

Nezavisna uzbuda, kao na slici 51 b., uzbudni strujni krug je neovisan o strujnom krugu potrošača. Taj način uzbude upotrebljava se kod pogona s jako promjenljivim naponom armature. Stezaljke armature označene su sa slovima A - B, a uzbudni namot sa I - K.

Poredna uzbuda, kao na slici 51 c., paralelni uzbudni namot priključen je paralelno na četkice armature i stezaljke su označene sa C - D. Kod generatora, armaturna struja dijeli se na struju potrošača i struju potrebnu za uzbudu magneta, dok kod motora struja privedena iz mreže dijeli se na struju armature i uzbudnu struju.

Serijska uzbuda, kao na slici 51 d., serijski uzbudni namot priključen je serijski na četkice armature i stezaljke su označene sa E - F. Kod ove vrste stroja ukupna struja predstavlja i struju armature i struju uzbude bez obzira dali se radi o generatoru ili motoru.

Kompauдна uzbuda, kao na slici 51 e., serijski i paralelni namot spojili smo zajedno kao uzbudne namote i dobili smo svojstva stroja kao kod porednog i serijskog spajanja uzbude.

PARALELNI RAD ISTOSMJERNIH GENERATORA

Paralelni spoj istosmjernih generatora prikazan je na slici 52. gdje svi generatori moraju imati jednake napone i u tom slučaju ukupni napon jednak je naponu jednog generatora :

$$U = U_1 = U_2$$

Ukupna struja jednaka je zbroju struja pojedinih generatora :

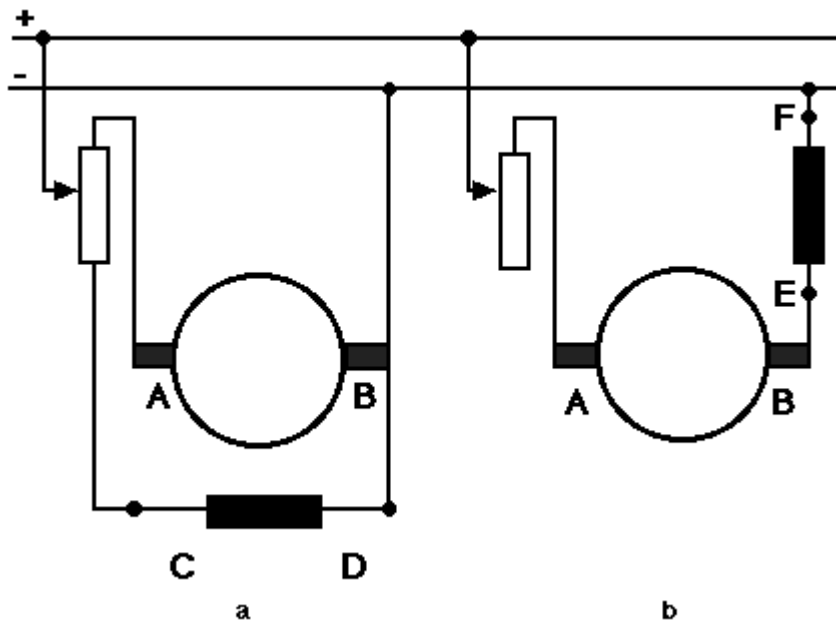
$$I = I_1 + I_2$$

Ukupna snaga, također je jednaka zbroju pojedinih snaga :

$$P = P_1 + P_2$$

Da bi mogli priključiti dva istosmjerna generatora paralelno, moraju biti ispunjeni slijedeći uvjeti :

- oba generatora moraju imati isti napon
- međusobno moraju biti spojene istoimene stezaljke



Slika 52

Paralelni spoj istosmjernih generatora

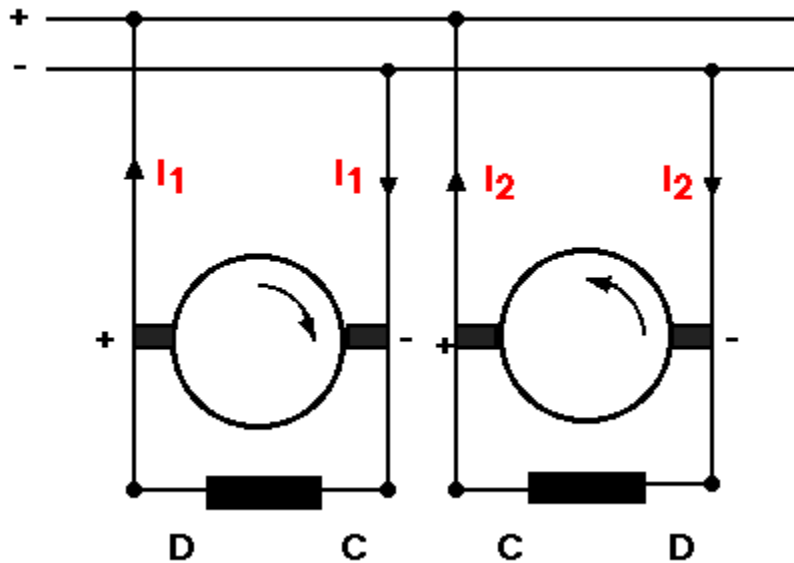
MOTORI ISTOSMJERNE STRUJE

Kod motora istosmjerne struje, želimo li promijeniti smjer vrtnje moramo promijeniti spoj elektromagneta uz nepromijenjeni spoj armature, ili promijeniti spoj armature uz nepromijenjeni spoj magneta, kao na slici 53. Ako se promjeni istodobno i smjer uzbudne struje i smjer armature struje, ostat će smisao vrtnje motora nepromijenjen.

Serijski motor opterećenja savladava s relativno malom strujom, ali mana mu je da ako je neopterećen može " uteći ".

Poredni motor kod povećanja struje opterećenja, smanjenje brzine je neznatno pa je pogodan za pogone koji zahtijevaju gotovo konstantnu brzinu vrtnje kod raznih opterećenja.

Kompaudni motor ima dva namota gdje možemo imati magnetska polja da se potpomažu ili da djeluju nasuprot jedno drugome.



Slika 53

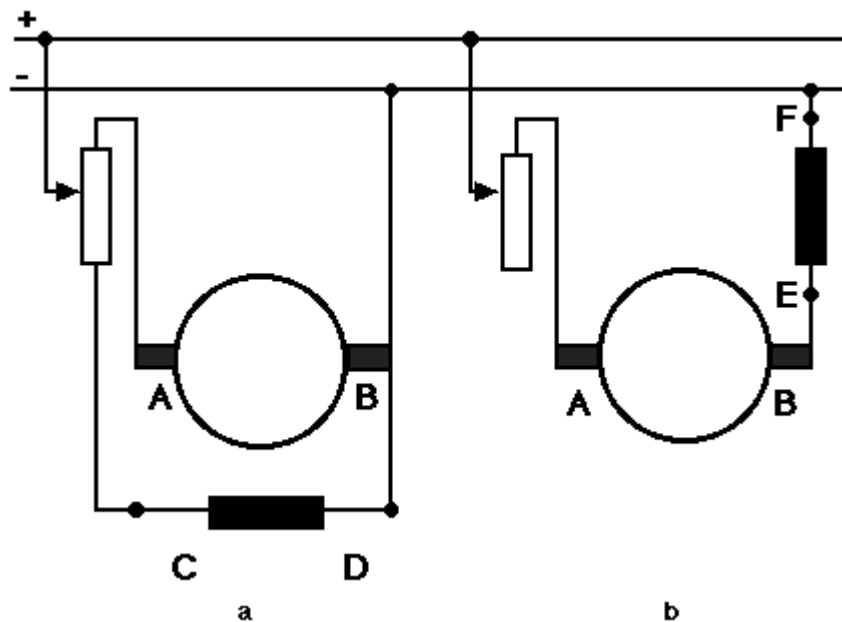
Promjena smjera vrtnje

POKRETANJE ISTOSMJERNIH MOTORA

Struje pokretanja mogu biti 3 do 10 puta veće od nominalne struje, a to bi moglo štetno djelovati na motor i na mrežu. Zbog toga se može direktno priključiti na mrežu samo mali motori snage do 1 kW, jer imaju veliki unutarnji otpor pa je struja pokretanja mala.

Veći motori priključuju se na mrežu prilikom pokretanja preko pokretača ili upuštača, pomoću kojih se u momentu pokretanja ograničava struja. Pokretači su otpori koji se priključuju u seriju s armaturnim namotom. U momentu pokretanja motora uključen je čitav otpor pokretača, zatim se porastom brzine motora isključuje sve dok armaturni namot ne bude direktno priključen na mrežu.

Na slici 54. a i b prikazani su spojevi pokretača kod porednog i serijskog motora.



Slika 54

Shema spoja pokretača

a. kod porednog motora

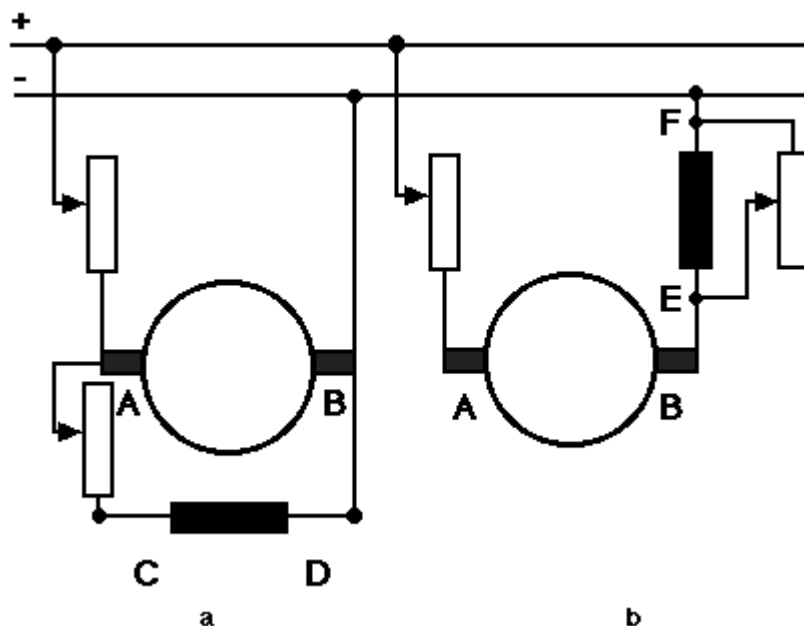
b. kod serijskog motora

REGULACIJA BRZINE VRTNJE

Kod regulacije brzine vrtnje mora se omogućiti da kod konstantnog opterećenja postignemo različite brzine vrtnje. Brzina vrtnje može se mijenjati bilo promjenom priključenog napona, bilo mijenjanjem regulacionog otpornika postavljenog u seriju s armaturnim namotom, ili promjenom magnetskog toka. Prva dva načina nazivaju se regulacija naponom, a treći način naziva se regulacija poljem.

Ako želimo vršiti regulaciju brzine naponom moramo smanjivati napon mreže uključivanjem u armaturnu granu regulacioni otpor R i tako možemo samo smanjivati brzinu vrtnje. Regulaciju brzine poljem vršimo tako, da se u uzbudni krug priključi regulacioni otpornik $R1$ kojim možemo mijenjati uzbudnu struju, odnosno magnetski tok, a time i brzinu vrtnje.

Shema spajanja za regulaciju brzine vrtnje prikazana je na slici 55. a za poredni motor i slika 55. b za serijski motor.



Slika 55

Shema spajanja regulacije brzine vrtnje

a. kod porednog motora

b. kod serijskog motora

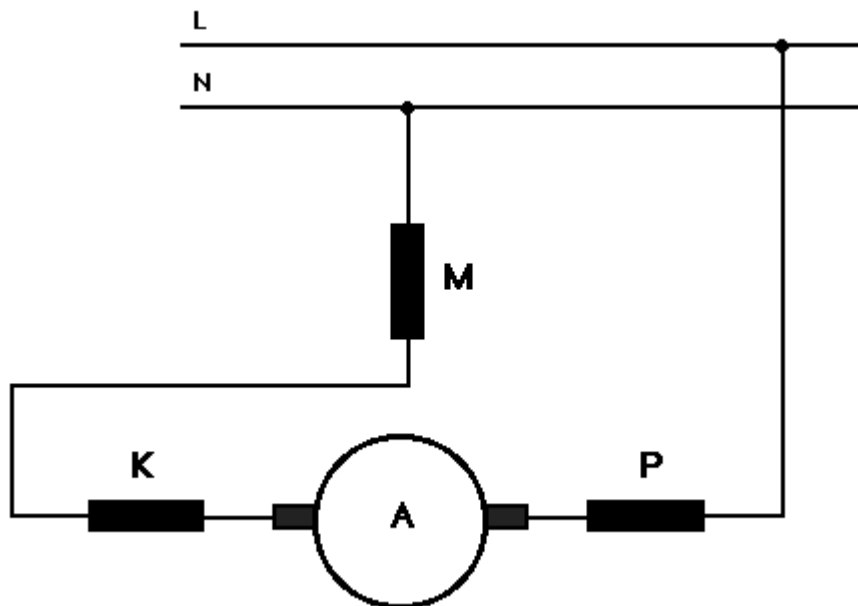
KOLEKTORSKI STROJEVI IZMJENIČNE STRUJE

UVOD

Serijski motor istosmjerne struje može se priključiti na izmjenični napon i on bi rotirao kao da smo ga priključili na istosmjerni napon. Međutim istosmjerni motor ne bi mogao dugo raditi jer bi pregorijeo, a uzrok je što je građen od punog materijala, a ne od dinamo limova, tako da će se javljati gubici vrtložnih struja i gubici petlje histereze. Za kolektorske strojeve izmjenične struje kao i univerzalne strojeve izrađuju se zato magnetski polovi i statorski jarmovi od dinamo limova. Glavni nedostatak izmjeničnog kolektorskog motora je značajno iskrenje na kolektoru. Upotreba kolektorskih motora izmjenične struje je dosta široka i upotrebljavaju se kao jednofazni i kao trofazni. Kao jednofazni kolektorski izmjenični motor upotrebljava se kod bušilica, brusilica, usisivača za prašinu itd.

JEDNOFAZNI KOLEKTORSKI MOTOR

Shema spajanja serijskog kolektorskog motora izmjenične struje prikazana je na slici 36. Uzbudni namot označen je sa **M**, kompenzacioni sa **K**, namot pomoćnih polova sa **P**, a armaturni sa **A**. Svi namoti spojeni su u seriju i mrežni napon šalje redom kroz njih struju.



Slika 56

Shema jednofaznog kolektorskog motora

Jedna podvrsta jednofaznih serijskih kolektorskih motora jesu **univerzalni motori**, a to su takvi motori, koji se mogu bez daljnjega priključiti na istosmjerni ili izmjenični napon, ali samo za određeni napon. Univerzalni motori građeni su za snage do 1 kW i brzine 1500 do 18000 o/min. Univerzalni motori imaju veliki potezni moment i brzinu vrtnje obrnuto proporcionalnu opterećenju.

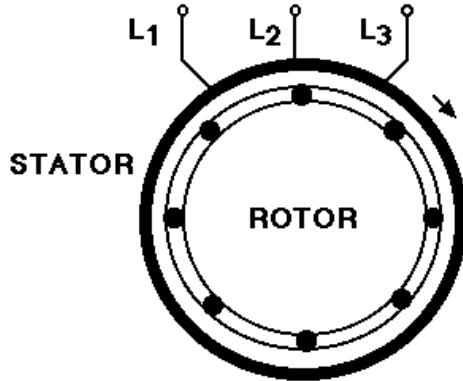
ASINKRONI STROJEVI

UVOD

Asinkroni stroj se pretežno upotrebljava kao motor, a jako rijetko kao generator. Asinkroni stroj dobio je svoje ime zbog toga, što brzina rotacionog magnetskog toka i brzina rotora nije ista, kao što je slučaj kod sinkronih strojeva. Asinkroni motor se izrađuje u serijskoj proizvodnji kao jednofazni ili trofazni, vrlo je jednostavan za proizvodnju i održavanje i relativno niske proizvodne cijene. Rad asinkronog stroja temelji se na rotirajućem magnetskom toku, a velike zasluge za pronalazak ima Hrvat pravoslavne vjere Nikola Tesla.

KONSTRUKCIJA ASINKRONOG STROJA

Konstrukcija asinkronog stroja, što se tiče statora, potpuno je jednaka sinkronom stroju, dok je razlika u rotoru, kao na slici 32



Slika 32

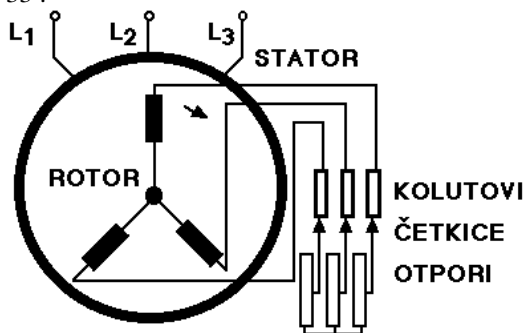
Asinkroni motor

STATOR

Stator je napravljen u obliku šupljeg valjka od dinamo limova, a uzduž valjka na unutarnjoj strani nalaze se utori u koje se stavlja trofazni namot. Kućište stroja služi kao nosač i zaštita limova i namota, a izrađuje se od lijevanog željeza, čelika silumina itd. U sredini nalaze se ležajni štitovi u obliku poklopca gdje su smješteni ležajevi za osovinu na kojoj se nalazi rotor.

ROTOR

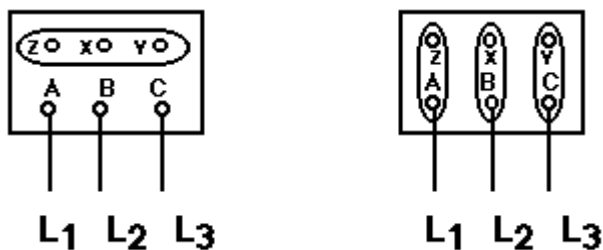
Rotor je sastavljen slično kao i stator, a sastoji se od osovine i rotorskog paketa. Rotorski paket je izveden u obliku valjka od dinamo limova, a u uzdužnom smjeru na vanjskoj strani valjka nalaze se utori za smještaj rotorskog namota. Ako je rotorski namot izveden od štapova bakra, mjedi, bronce ili aluminija, koji su s obje strane prstenima kratko spojeni i liči na kavez, tada je to **kavezni asinkroni motor**, kao na slici 32. Ili, ako je rotorski namot izveden kao i statorski tj. od svitka koji su spojeni na tri koluta po kojima klize četkice koje služe za spajanje na rotorske otpornike, tada je to **klizno kolutni asinkroni motor**, kao na slici 33 :



Slika 33

Klizno kolutni asinkroni motor

Trofazni se namot spaja u spoj zvijezda ili trokut na priključnoj kutiji kao na slici 34 :



Slika 34

Zvijezda spoj i trokut spoj

RAD ASINKRONOG MOTORA

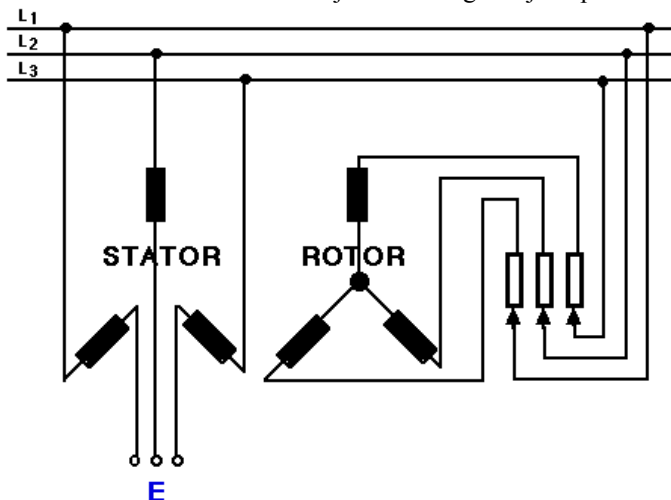
Priključivanjem statorskog **primarnog** namota na izmjeničnu trofaznu mrežu kao na slici 32 i 33, poteče trofaznim namotom trofazna izmjenična struja, koja stvara rotirajuće magnetsko polje koje rotira brzinom **ns** i zatvara se kroz stator i rotorski **sekundarni** namot. Presjecanjem vodiča statorskog i rotorskog namota svara se inducirana EMS **E1** koja drži ravnotežu priključenom naponu mreže, a inducirana EMS **E2** u namotu rotora protjerat će struju **I2**. Ova struja stvara oko vodiča magnetsko polje koja s rotacionim magnetskim poljem daje rezultirajuće polje, a to stvara mehaničke sile koje na osovini stvaraju moment vrtnje. Smjer vrtnje rotacionog magnetskog polja i smjer gibanja rotora su istovjetni. Želimo li promijeniti smjer okretanja rotora, trebamo promijeniti smjer okretanja rotacionog magnetskog toka zamjenom dviju faza.

Brzina rotora **n** uvijek je manja od sinkrone brzine **ns** kojom se okraće rotaciono magnetsko polje i ovisna je o teretu na motoru. Rotor ne može nikada postići sinkronu brzinu vrtnje, a kad bi rotor postigao sinkronu brzinu, ne bi više bilo razlike brzina između rotacionog magnetskog toka i rotora i ne bi postojalo presjecanje namota rotora magnetskim silnicama. Zbog toga se ne bi u rotorskom namotu inducirala EMS i ne bi bilo djelovanja mehaničkih sila na vodič, te ne može se stvoriti moment za rotaciju.

Rotor se uvijek okreće **asinkrono**, po čemu je ovaj stroj i dobio svoje ime.

ZAKRETNI TRANSFORMATOR

Zakretni transformator je asinkroni stroj kojemu je rotor zakočen, tj. ne može se okretati sam od sebe, nego preko pužnog prenosa može se polagano zakretati. Asinkroni stroj u biti je transformator i priključimo li trofazni napon na primar, struja će stvoriti rotaciono magnetsko polje koje će inducirati u primaru statora EMS **E1** i u sekundaru rotora EMS **E2**, prikazano slikom 35. Kod zakretnog transformatora možemo okretanjem rotora zakretati vektore sekundarnih napona u odnosu na vektore primarnih napona za bilo koji kut, a time je moguće jednoliko dobivanje različitih veličina napona, kao na slici 36. može se zaključiti da zakretni transformator služi za jednoliku regulaciju napona.



Slika 35

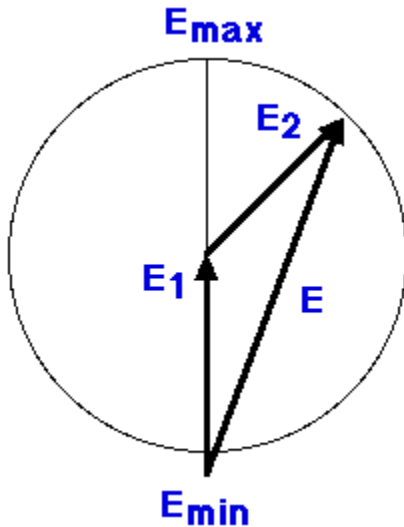
Shema zakretnog transformatora

Prema vektorskom dijagramu zakretnog transformatora vidi se da zakretanjem rotora dobivamo različite rezultirajuće napone koji se kreću u granicama **Emin** do **Emax** :

$$E_{min} = E1 - E2 = 0 \text{ V}$$

$$E_{\max} = E_1 + E_2 = 760 \text{ V}$$

U elektrotehnici potpuno je svejedno koji je namot primar, a koji sekundar, tako da je na slici 35 rotorski namot **primar** i statorski je namot **sekundar**. Ako opteretimo sekundar, poteći će sekundarna struja koja zajedno sa rotirajućim magnetskim tokom djeluje na rotor, koji se ne može zakrenuti jer je zakočen.



Slika 36

Vektorski dijagram napona zakretnog transformatora

KLIZANJE ASINKRONOG MOTORA

Rotor asinkronog motora pod djelovanjem okretnog magnetskog polja uvijek ima manju brzinu od sinkrone. **Klizanje** je karakteristika različitih brzina vrtnje rotacionog magnetskog toka i rotora asinkronog stroja. Ako označimo brzinu vrtnje rotora sa n , brzinu rotacionog magnetskog toka sa n_s , a klizanje sa s , tada je klizanje odnos relativne brzine n_r , sa kojom silnice presjecaju namot rotora i sinkrone brzine :

$$n_s - n$$

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

$$\frac{n_r}{n_s}$$

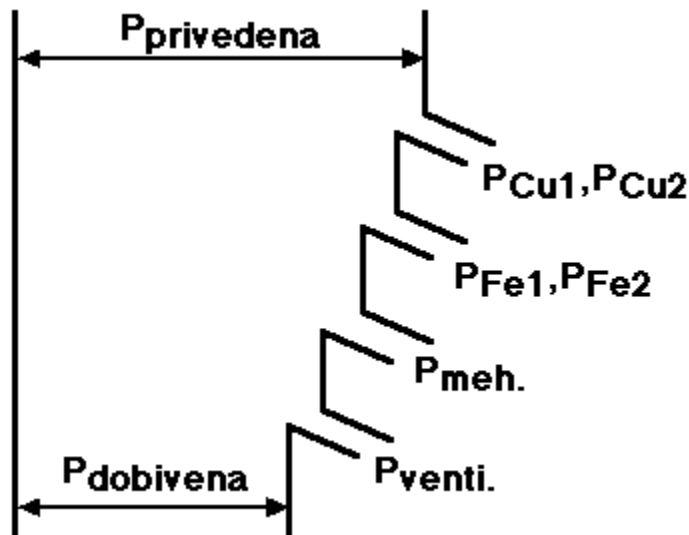
$$= \frac{n_r}{n_s}$$

$$n_s$$

Klizanje kod nominalnog opterećenja može se uzeti kao srednja vrijednost 4 do 6 %.

GUBICI ASINKRONOG MOTORA

Gubitak snage u asinkronom motoru možemo prikazati slikom 37 :



Slika 37

Prikaz gubitaka asinkronog motora

Privedenu energiju **Pprivedeno**, motor uzima iz mreže koja se jednim dijelom troši:

na gubitke u bakru statora i rotora **PCu1** i **PCu2**,

na gubitke u željezu statora i rotora **PFe1** i **PFe2**,

na mehaničke gubitke u ležajevima motora **Pmeh** i

na gubitke ventilacije **Pvent**.

Dobivenu mehaničku snagu **Pdobivena** imamo na osovini motora. Odnos dobivene i privedene snage predstavlja korisnost :

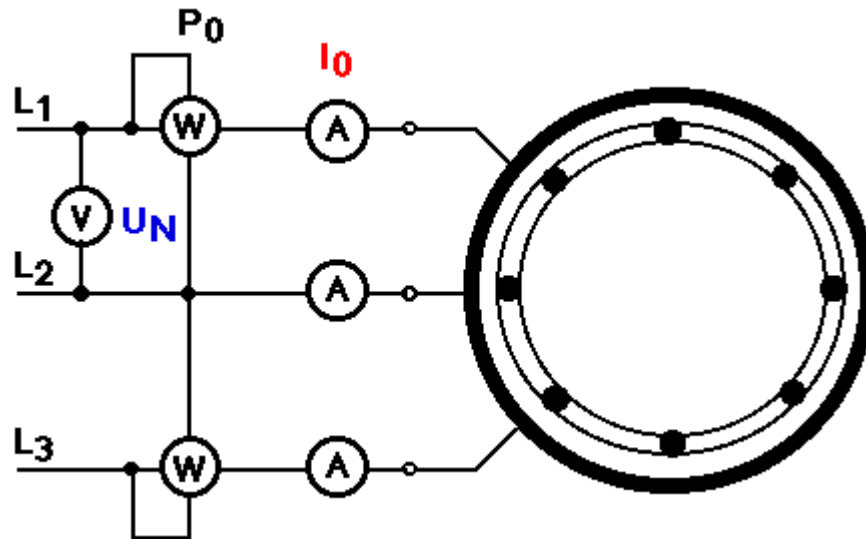
Pdobivena

$$\eta = \frac{P_{dobivena}}{P_{privedena}}$$

Pprivedena

POKUS PRAZNOG HODA ASINKRONOG MOTORA

U praznom hodu motor se priključi neopterećen na nominalni napon **UN**, ampermetri mjere struju praznog hoda **I0**, a vatmetri mjere snagu praznog hoda **P0** koju motor u praznom hodu uzima iz mreže, što je prikazano slikom 38 :

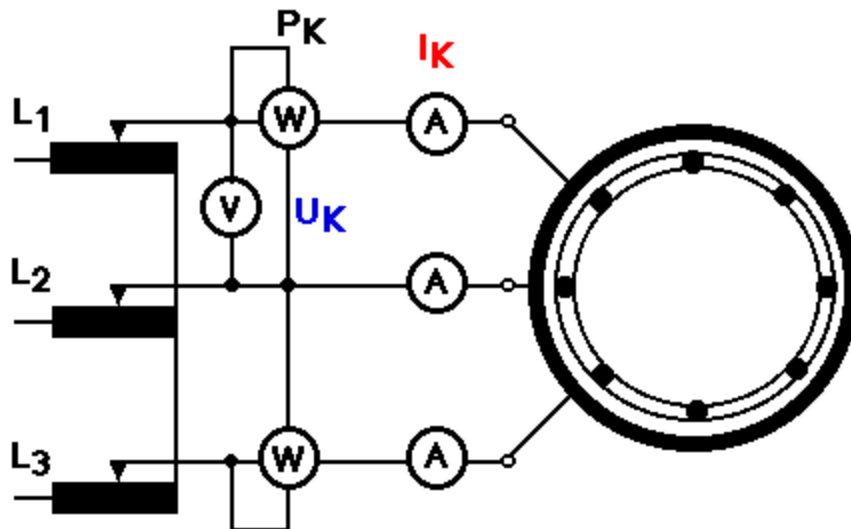


Slika 38

Shema pokusa praznog hoda

POKUS KRATKOG SPOJA ASINKRONOG MOTORA

U kratkom spoju motor se priključuje na napon **UK**, preko autotransformatora, koji je niži od nominalnog, a **rotor se zakoči** da ne može rotirati. Ampermetri mjere **struju kratkog spoja IK**, a vatmetri mjere **snagu kratkog spoja PK** koju motor u kratkom spoju uzima iz mreže, što je prikazano slikom 39 :



Slika 39

Shema pokusa kratkog spoja

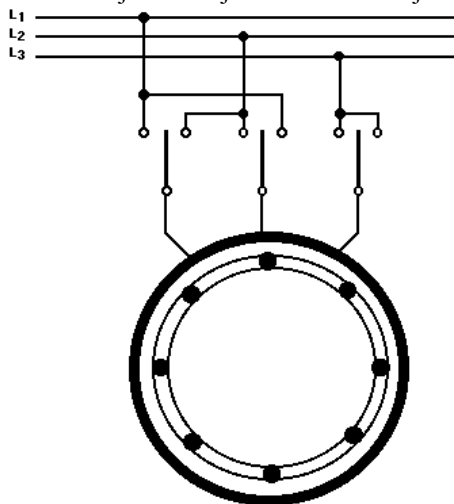
može se zaključiti, da se mjerenjima **pokus praznog hoda** i **pokusa kratkog spoja** mogu izmjeriti svi glavni podaci asinkronog stroja.

U pokusu praznog hoda, snaga praznog hoda **P₀** približno je jednaka gubicima u željezu asinkronog stroja :
P₀ = P_{Fe}

U pokusu kratkog spoja, snaga kratkog spoja **P_K** približno je jednaka gubicima u bakru asinkronog stroja:
P_K = P_{Cu}

KOČENJE ASINKRONIM STROJEM

Električni način kočenja je brzo zaustavljanje rada motora koje se realizira kao kočenje protuspojem . Kod kočenja protuspojem motor se ne isključuje sa mreže, nego zamjenimo priključak dviju faza i na taj način rotaciono polje mijenja svoj smjer te se okreće suprotno od rotora. Okretni moment djeluje u smjeru okretnog magnetskog polja, te sada imamo suprotan smjer od momenta sila inercije i uzrokuje brže kočenje rotora. Čitava mehanička snaga kod kočenja pretvara se u električnu, kao Jouleovi gubici, koji zagrijavaju namot stroja. Kočenje asinkronim strojem prikazano je slikom 40 :



Slika 40

Shema protuspojnog kočenja

NOMINALNI PODACI ASINKRONOG MOTORA

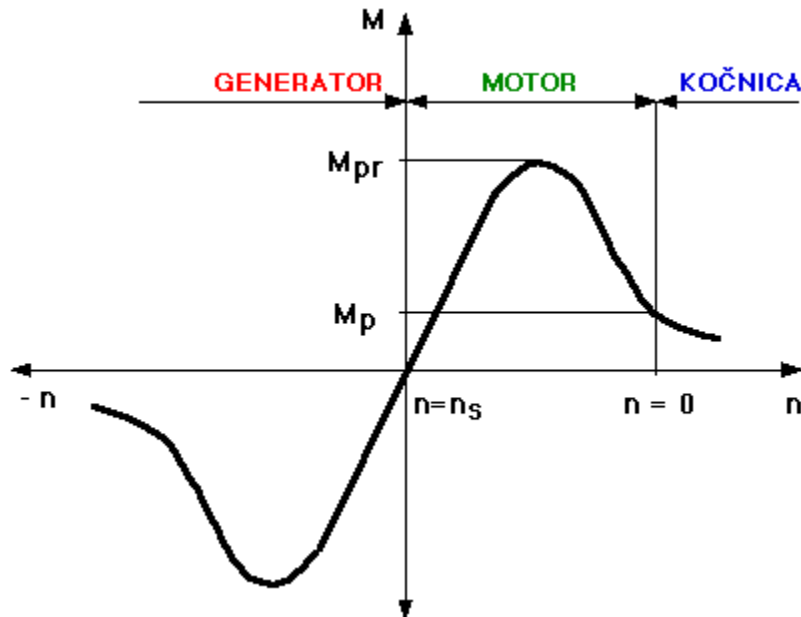
Nominalni podaci asinkronog motora prikazani su na kućištu na natpisnoj pločici s oznakama i podacima :

1. korisna snaga u **kW**,
2. namot namota statora u **V** i oznaka spoja (npr. 380 V),
3. linijska struja u **A**,

4. frekvencija **Hz**,
5. brzina vrtnje u **o/min**,
6. faktor snage **$\cos \varphi$** ,
7. napon i struja namota rotora (kod klizno - kolutnog motora).

MOMENTNA KARAKTERISTIKA ASINKRONOG MOTORA

Momentnom karakteristikom mogu se odrediti razne pogonske točke momenta vrtnje **M** i pripadne brzine **n**, kao na slici 41 :

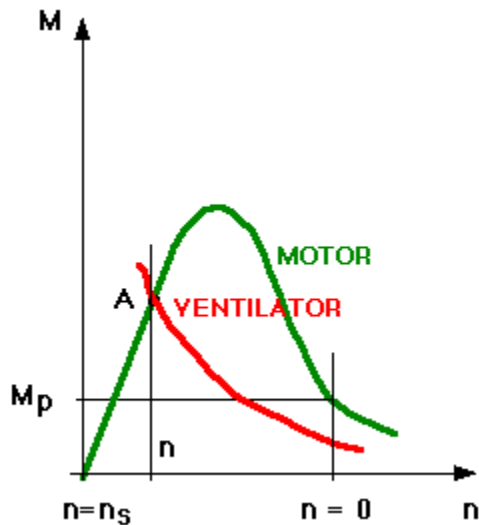


Slika 41

Momentna karakteristika asinkronog motora

veličina momenta motora u trenutku pokretanja, gdje je **n = 0**, naziva se potezni moment ili pokretni moment **M_p**. Od motora zahtjevamo da ima potezni moment veći od nominalnog kako bi mogao motor krenuti i kada je opterećen nominalnim opterećenjem. Maksimalni moment naziva se prekretni moment **M_{pr}** koji je približno dva puta veći od nominalnog momenta **M_n**.

Razmotrimo slučaj kada motor mora pokretati teret kao što je ventilator. Motor mora pokrenuti teret ventilatora jer je potezni moment motora **M_p** veći od momenta ventilatora u trenutku pokretanja gdje je **n=0**, motor se ubrzava i ustalit će se u vrtnji tamo gdje nema razlike momenata, a to je presjecište krivulje momenata tereta i krivulje momenta motora u točki **A**, kao na slici 42 :



Slika 42

Momentna karakteristika motora i ventilatora

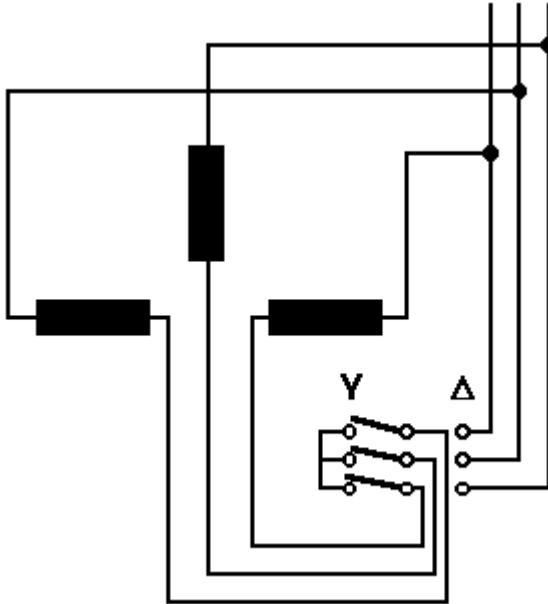
Povećamo li opterećenje motora, brzina vrtnje opada i radna točka motora se pomiče po karakteristici motora u desno. Poraste li moment tereta iznad prekretnog momenta motora, motor je došao u puni kratki spoj i ukoliko ne bi djelovala zaštita namot bi pregorio.

POKRETANJE KAVEZNIH MOTORA

Kavezni motor ima kavezni namot kao sekundar koji ima vrlo mali otpor i ima mali potezni moment, a struja pokretanja je rlativno velika i iznosi približno :

$$I_p = 3 \cdot I_N$$

Velika struja pokretanja ne dozvoljava, da velike motore pod punim opterećenjem, direktno ukapčamo na mrežu. Zbog velike struje pokretanja nastaju u mreži jaki strujni udari koji uzrokuju kolebanje napona te se direktno mogu ukapčeti trofazni kavezni motori do približno 2 kW. Pokretanje kaveznih motora može se izvršiti na nekoliko načina, najčešći način je pomoću sklopke **zvijezda - trokut**, kao na slici 43 :



Slika 43

Pokretanje pomoću sklopke zvijezda trokut

Kod pokretanja zvijezda-trokut, zbog smanjenog napona u momentu pokretanja za $\sqrt{3}$ puta, smanjit će se potezni moment za 3 puta.

REGULACIJA BRZINE VRTNJE ASINKRONOG MOTORA

Prma jednadžbi za brzinu vrtnje asinkronog motora:

$$60 \cdot f$$

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

p

vidimo da možemo regulaciju brzine vrtnje vršiti mijenjanjem frekvencije f i promjenom broja pari polova p .

Promjenom frekvencije mijenja se sinkrona brzina rotacionog magnetskog toka, a time se i mijenja brzina vrtnje asinkronog motora. Ovaj način regulacije realizira se pretvaračima koji će davati promjenljivu frekvenciju.

Promjenom broja pari polova realizira se regulacija brzine vrtnje u stupnjevima. Tako kod frekvencije $f = 50 \text{ Hz}$ promjenom broja pari polova $p = 2$ na $p = 4$ dobijemo dvije brzine : **1500 o/min** i **750 o/min**, odnosno nešto manje brzine.

ZAŠTITA ASINKRONIH MOTORA

Kod preopterećenja ili kvara u namotu, teći će velika struja koja može namot ugrijati i oštetiti da namot pregori. Zato motor moramo zaštititi zaštitom koja će pravovremeno prekinuti dovod napona i staviti ga izvan pogona.

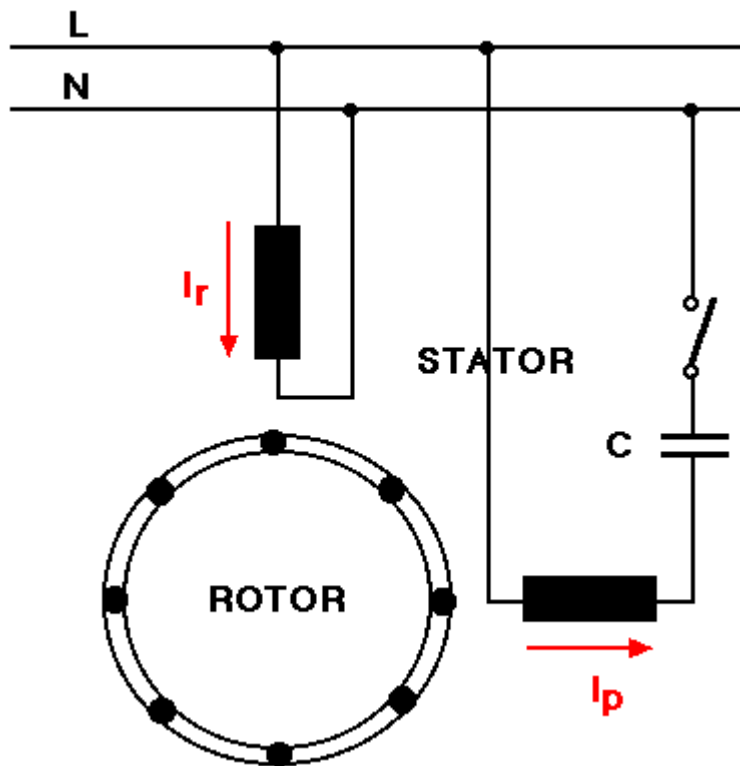
Rastalnim osiguračima štitimo motor od čistog kratkog spoja, a to znači zaštita od struja koje su **300 %** nazivne vrijednosti osigurača.

Bimetanalna zaštita radi na termičkom principu i djeluje kad je prevelika struja razvila dovoljnu toplinu $Q = I^2 R t$, da može djelovati zaštita. Kratkotrajni udari struje prilikom ukapčanja kaveznih motora ne djeluju na bimetal, jer ga kratkotrajna struja ne stigne ugrijati.

Motorna zaštitna sklopka se sastoji od elektromagnetske i bimetalne zaštite. To je u stvari nadstrujna sklopka s termičkom zaštitom. Motorna zaštitna sklopka ne smije iskapčati ni kod najvećih struja pokretanja, kod preopterećenja 50 % mora iskapčati unutar 2 minute i kod kratkog spoja sklopka mora odmah iskapčati.

JEDNOFAZNI ASINKRONI MOTORI

Mali potrošači se zbog ekonomskih razloga priključuju jenofazno te je potreban jednofazan motor koji se gradi do 1 kW. Jednofazni asinkroni motor može se pokrenuti ručno, da ga se remenom pokrene u željenom smjeru, ali se ovaj način ne upotrebljava jer nije prikladan. Za pokretanje upotrebljava se pomoćna faza, koja zauzima 1/3 utora statora, a glavni ili radni namot smješten je u 2/3 utora statora, kao na slici 44. Ukupčanjem kondenzatora u pomoćnu fazu postiže se fazni pomak, a time se dobije okretno polje koje daje potezni moment. Pomoćna faza s kondenzatorom ukopčana je samo za vrijeme pokretanja i ona se iskapča automatski kod pune brzine vrtnje.

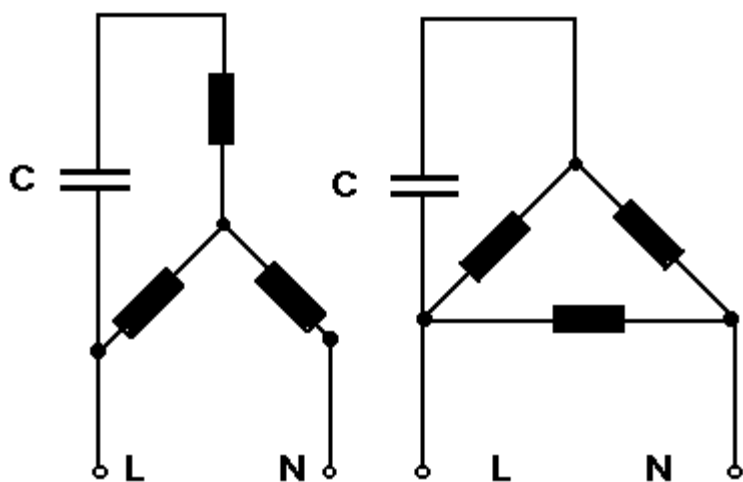


Slika 44

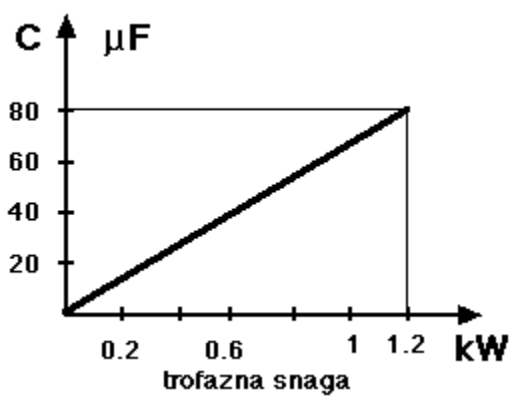
Pokretanje ukapčanjem kapaciteta u pomoćnu fazu

TROFAZNI MOTOR KAO JENOFAZNI

Trofazni motor možemo upotrebljavati kao jednofazni. Da se trofaznom motoru omogući pokretanje kada je priključen na jednofazni napon, ukapča se namotu motora kondenzator kao na slici 45, za slučaj trofaznog namota spojenog u trokut i spojenog u zvijezdu. Treba posebno istaći da snaga ovakvih motora je za približno 30 % manja od snage trofaznih motora, a potezni moment iznosi približno 30% nominalnog momenta. Kapacitet pogonskog kondenzatora ovisi o trofaznoj snazi, a može se odrediti pomoću dijagrama na slici 46.



Slika 45
priključak kondenzatora na trofazni motor



Slika 46
Dijagram za određivanje kapaciteta

SINKRONI STROJEVI

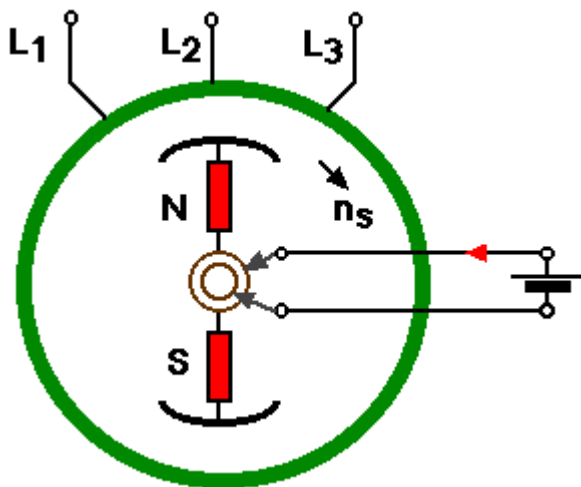
UVOD

Sinkroni strojevi pretežno se upotrebljavaju kao **generator**, a rjeđe kao motor. On je izvor električne energije izmjenične struje u obično velikim jedinicama snage, u centralama kao veliki generatori.

Sinkroni generator dobiva mehaničku energiju od pogonskog stroja, a to je obično parna turbina, vodena turbina, motor na unutarnje sagorijevanje, a u novije vrijeme koristi se snaga atomske energije, vjetra, Sunca, mora itd. Pogonski stroj, ako je parna turbina, pokreće **turbogenerator**, a ako je vodena turbina, pokreće **hidrogenerator**.

KONSTRUKCIJA SINKRONOG STROJA

Sinkroni stroj uobičajno se izvodi tako, da se na rotoru nalazi **uzbudni namot**, kojim se pomoću istosmjerne struje stvara magnetski tok. Na statoru nalazi se armaturni namot, jednofazni ili višefazni izmjenični namot, u kojem će magnetske silnice inducirati izmjeničnu EMS. Konstrukcija sinkronog stroja, generatora, prikazana je slikom 22 :



Slika 22 Sinkroni generator

Stator je napravljen u obliku šupljeg valjka, sastavljenog od prstenastih dinamo limova, gdje su na unutarnjoj strani u uzdužnom smjeru utori u koje se stavlja **armaturni namot**, kao na slici 22, koji se priključuje na stezaljke **L1, L2 i L3**.

Rotor je uzbudni dio stroja, gdje se uzbuđivanje magnetskim polova vrši istosmjernom strujom, koju dovodimo do rotirajućeg uzbudnog namota preko dva klizna koluta i četkica, kao na slici 22.

RAD SINKRONOG GENERATORA

Mehaničkim okretanjem rotora određenom sinkronom brzinom **n_s** i dovođenjem istosmjerne struje kroz uzbudni namot, stvara se konstantno magnetsko polje **N** i **S** pola, koje svojim silnicama presjeca armaturni namot statora u kojem se inducira izmjenična EMS. U trofaznom generatoru nalazi se na statoru trofazni armaturni namot koji je prostorno pomaknut za 120° , u kojima se induciraju trofazni naponi pomaknuti jedan drugome za 120° , kao na slici 22 gdje je prikazan dvopolni stroj.

Frekvencija f induciranog napona ovisi o brzini vrtnje rotora n_s i o broju pari polova p što možemo prikazati relacijom :

$$n_s * p$$

$$f = \text{-----}$$

$$60$$

Ako želimo dobiti frekvenciju napona **50 Hz** , moramo rotor okretati točno određenom sinkronom brzinom :

$$60 * f$$

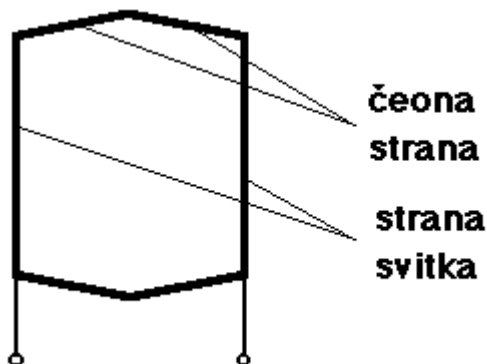
$$n_s = \text{-----}$$

$$p$$

Veličina proizvedenog napona ovisi o konstruktivnoj izvedbi stroja, ovisi i o veličini magnetskog toka i o brzini kojom se okreće rotor. Ako je brzina kojom se okreće rotor konstantna i uz određeni broj pari polova to proizvedeni napon ovisi samo o veličini magnetskog toka, odnosno o veličini uzbudne struje koja stvara magnetski tok.

NAMOT SINKRONIH STROJEVA

Sinkroni strojevi , kao strojevi izmjenične struje, imaju dva ili više namota koji su smješteni i na statoru i na rotoru. Kroz namote prolazi ili izmjenična ili istosmjerna struja, a izrađeni su od čistog elektrolitskog bakra i ulažu se u utor. Namoti se obično predočuju razvijenom shemom koju dobijemo ako stator ili rotor razrežemo duž jedne izvodnice cilindra i razvijemo u ravninu. Tada su namoti vodiča prikazani o obliku ravnih linija smješteni kako leže u utorima stroja. Namoti se sastoje od svitka koje ulažemo u utor, a jedan svitak obično ima više zavoja. Kod svitka razlikujemo aktivni dio, u kojem se inducira EMS i neaktivni dio, kojem se ne inducira EMS. Aktivni dio svitka naziva se strana svitka i ona se nalazi u utoru, a neaktivni dio svitka naziva se glava svitka ili čeona strana, a svaki svitak ima dvije aktivne strane i dvije neaktivne strane. Namot se izvodi tako da se EMS inducirane u pojedinim stranama svitka međusobno potpomažu. Širina svitka je takva da se jedna strana svitka nalazi pod jednim polom, a druga strana svitka pod susjednim suprotnim polom. Shematski prikaz svitka prikazan je slikom 23 :



Slika 23

Shematski prikaz svitka

Broj pari polova je tako postavljen da namot statora mora biti tako izveden da ima isti broj pari polova koliko ima i rotor. Podjela namota može biti prema nizu kriterija kao što je, podjela prema broju utora, prema broju faza, prema širini svitka, prema broju svitaka u utoru, prema obliku svitka itd., ali to neće biti posebno obrađeno.

IZRAČUNAVNJE INDUCIRANE EMS

Inducirana EMS u sinkronom generatoru mora imati sinusni valni oblik, a da bi se to postiglo potrebno je da se magnetska indukcija B , u prostoru između polnih nastavaka i armature, mijenja po zakonu sinusa, što se postiže osobitim oblikom polnih nastavaka. Iz osnova elektrotehnike poznato je da inducirani napon ovisi o magnetskoj indukciji B , duljini vodiča u magnetskom polju l i brzini gibanja vodiča v :

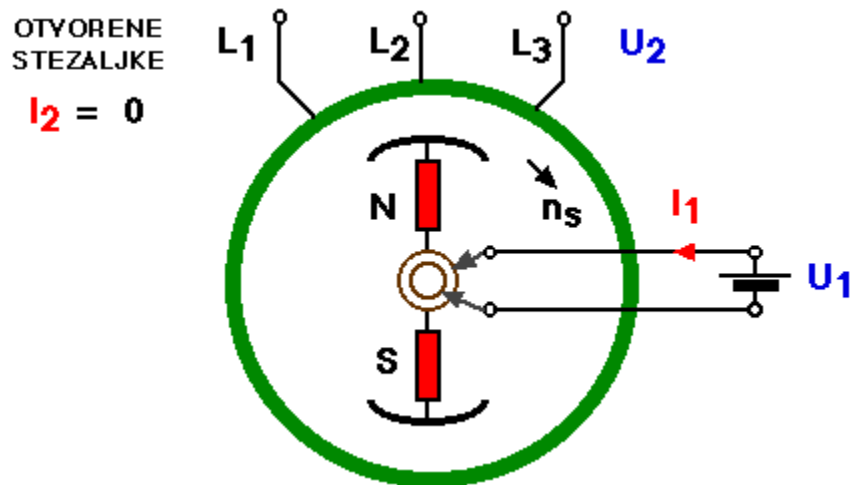
$$e = B \cdot l \cdot v$$

Ako povežemo ovisnost magnetske indukcije sa magnetskim tokom Φ , duljinu vodiča sa brojem zavoja N i brzinu sa frekvencijom f , može se pisati da je EMS jedne faze :

$$E = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N \text{ [V]}$$

PRAZNI HOD SINKRONOG GENERATORA

Sinkroni generator je u praznom hodu kad se stroj okreće konstantnom brzinom n_s , kad je uzбудni (primarni) namot priključen na izvor istosmjerne struje U_1 i kada je armaturni (sekundarni) namot otvoren, kao na slici 23 :



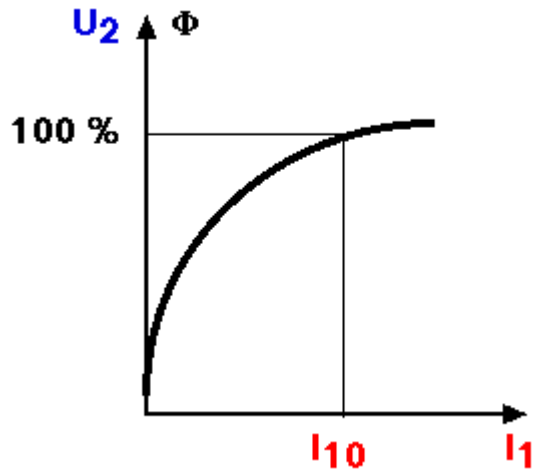
Slika 23

Generator u praznom hodu

Ako je frekvencija f i broj zavoja N konstantno možemo pisati :

$$E = K \cdot \Phi$$

EMS je napon stezaljki U_2 , tako da je karakteristika praznog hoda prikazana slikom 24:



Slika 24

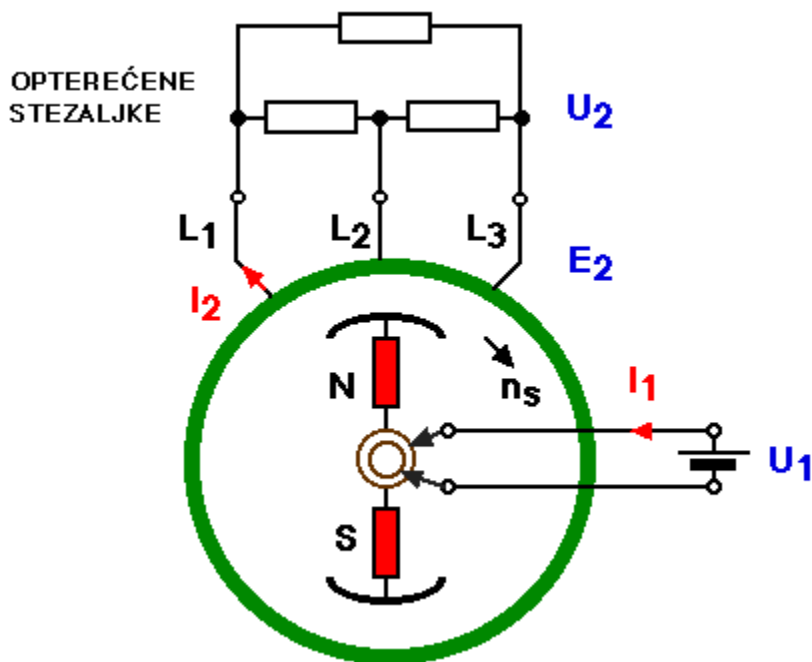
Karakteristika praznog hoda

Prema karakteristici praznog hoda vidimo da će se mijenjati promjenom uzbudne struje I_1 magnetski tok Φ u magnetskom krugu sinkronog stroja, tako će se mijenjati i proizvedeni napon na stezaljkama U_2 . Iz gornjeg izloženog može se zaključiti da je sinkronog generator u praznom hodu kada su mu stezaljke otvorene tj. $I_2 = 0$, a na stezaljkama armature imamo sekundarni nominalni napon U_{2N} . Kod toga možemo približno uzeti, kao i kod transformatora u praznom hodu, da je snaga generatora u praznom hodu približno jednaka gubicima u željezu :

$$P_0 = P_{Fe}$$

OPTEREĆENJE SINKRONOG GENERATORA

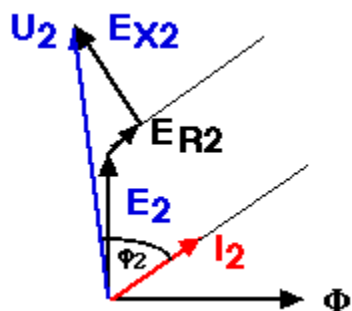
Opterećeni generator je kada na njegove stezaljke priključimo neki potrošač, a tada će armaturnim namotom poteci sekundarna struja I_2 , uslijed čega nastaju znatne promjene u odnosu na prazni hod. Opterećeni generator prikazan je slikom 25 :



Slika 25

Opterećenje generatora

Struja opterećenja I_2 izaziva u namotu armature pad napona u omskom otporu namota R_2 i pad napona u induktivnom otporu X_2 , kojega mora savladati inducirana EMS E_2 , pa je napon stezaljke generatora U_2 manji od proizvedenog napona E_2 . Pad napona u omskom otporu R_2 u fazi je sa strujom I_2 , a pad napona E_{X2} u induktivnom otporu predhodi pred strujom I_2 za 90° , kao na slici 26 :

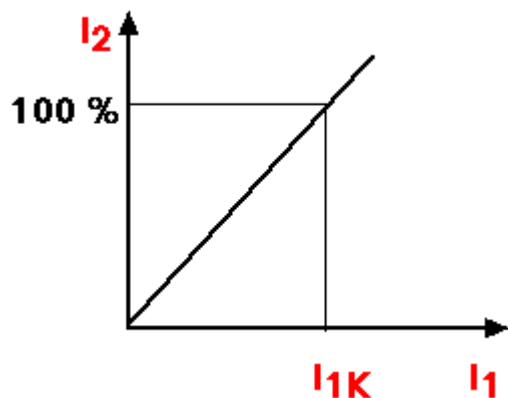


Slika 26

Vektorski dijagram opterećenog generatora

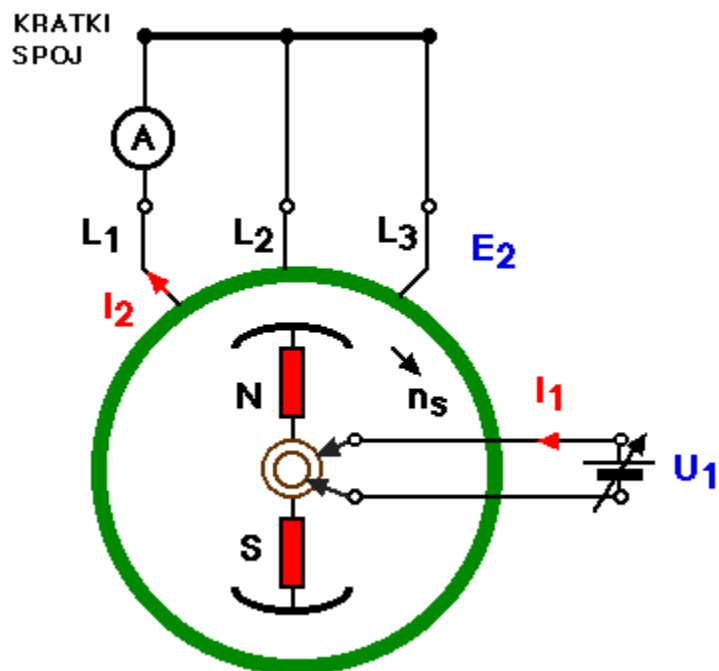
POKUS KRATKOG SPOJA SINKRONOG GENERATORA

Pokus kratkog spoja sinkronog generatora vršimo tako, da stezaljke generatora kratko spojimo preko ampermetra i kod približno sinkrone brzine vrtnje podižemo uzbudni napon tako dugo, dok nam ampermetar ne pokaže vrijednost nominalne struje. To znači da je struja pokusa kratkog spoja jednaka nominalnoj struji : $I_{2K} = I_{2N}$.



Slika 27

Karakteristika kratkog spoja



Slika 28

Pokus generatora u kratkom spoju

U kratkom spoju nema zasićenja, to struja kratkog spoja raste proporcionalno s uzbudnom strujom, pa je karakteristika kratkog spoja pravac kao na slici 27.

Pokus generatora u kratkom spoju prikazan je na slici 28 gdje se može posebno istaći regulirani uzbudni napon U_1 i uzbudna struja I_1 kao i struja u armaturi I_2 . Napon na kratkospojenim stezaljkama jednak je nuli. I u ovom pokusu kratkog spoja generatora možemo reći da je snage kratkog spoja približno jednaka snagi gubitaka u bakru namota :

$$PK = PCu$$

POJEDINAČNI RAD SINKRONOG GENERATORA

Kod pojedinačnog rada sinkronog generatora mogu se napomenuti važne činjenice :

1. sinkroni generator mora davati potrošaču konstantan napon bez obzira na vrstu i veličinu opterećenja, a to se postiže automatskom regulacijom uzbudne struje I_f ,
2. generator mora davati potrošaču konstantnu frekvenciju, što se postiže konstantnom brzinom vrtnje,
3. sinkroni generator možemo opteretiti najviše do njegove nominalne vrijednosti, inače može doći do oštećenja namota.

PARALELNI RAD SINKRONOG GENERATORA

Sinkroni generatori gotovo uvijek rade paralelno. U električnoj centrali postoje obično dva do tri generatora koji rade paralelno na jednu mrežu, a ta je mreža povezana s drugim mrežama, pa tako sve centrale rade paralelno. Da bi dva ili više generatora spojili na mrežu moraju biti ispunjeni neki uvjeti:

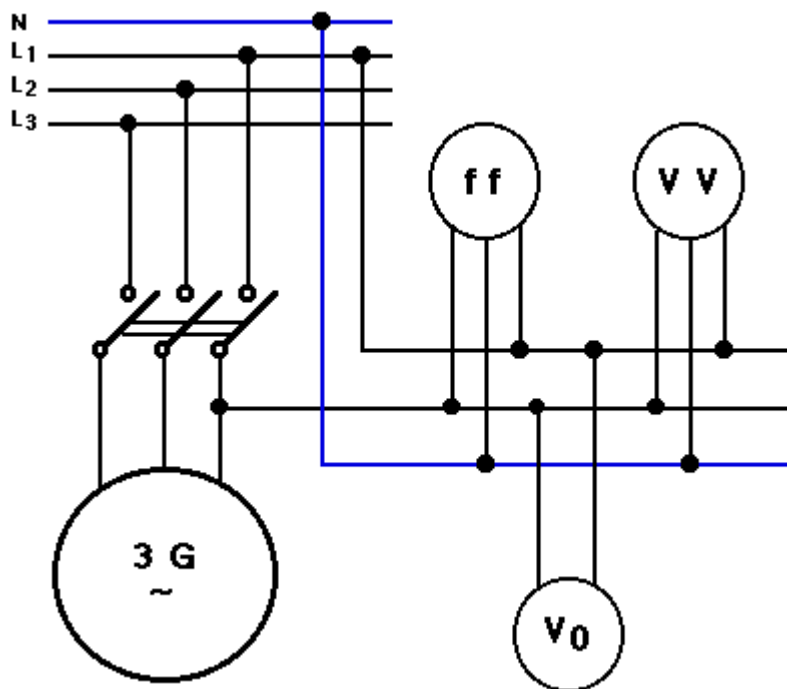
1. moraju biti jednaki naponi mreže i priključivanog stroja,
2. mora biti ista frekvencija stroja i mreže, tj. sinkroni stroj mora biti potjeran na sinkronu brzinu,
3. naponi mreže i priključivanog stroja moraju biti istofazni,
4. redoslijed faza mreže i priključivanog stroja mora biti isti.

U slučaju neispunjavanja navedenih uvjeta, zbog razlike napona između mreže i stroja mogu teći velike struje izjednačenja, pa može doći do uništenja stroja i čitaviog postrojenja.

Da ne dođe do neželjenih posljedica moraju, prije uključivanja generatora na mrežu, biti ispunjeni svi navedeni uvjeti, tako da se priključivanje stroja izvrši bez štetnih posljedica.

SINKRONIZACIJA SINKRONOG GENERATORA

Sinkronizacija je mogućnost, pomoću prikladnih naprava, određivanja da li su ispunjeni svi uvjeti paralelnog rada prije uključivanja generatora na mrežu. Na slici 29 prikazan je uređaj za sinkronizaciju :



Slika 29

Shema uređaja za sinkronizaciju

Frekvenciju napona generatora i mreže ustanovljujemo pomoću dvostrukog frekvencmetra, iznose napona pomoću dvostrukog voltmetra, a nul - voltmetar nam služi da ustanovimo istofaznost napona generatora i mreže. U trenutku, kada nul - voltmetar pokazuje nulu postignuta je istofaznost napona i mreže te se sklopkom generator može ukopčati na mrežu.

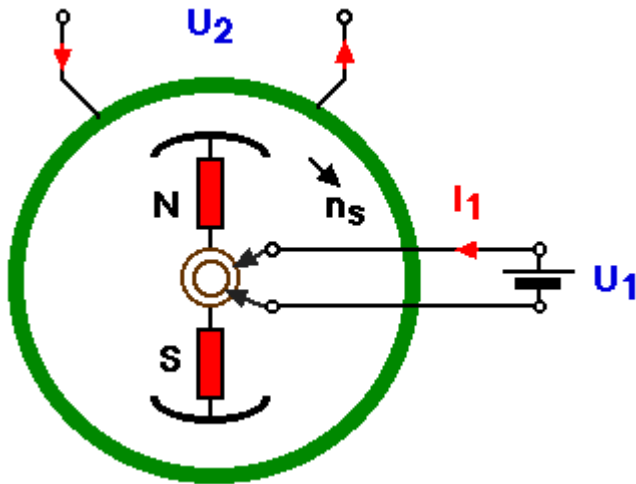
PREUZIMANJE OPTEREĆENJA

Sinkroni stroj s obzirom na izmjeničnu mrežu može djelovati :

1. kao **generator** , tj. da nam u mrežu šalje radnu struju, moramo pogonskom stroju dati više mehaničke energije,
2. kao **motor**, ako sinkroni stroj mehanički opteretimo i troši iz mreže radnu struju,
3. kao **kapacitivni potrošač**, ako sinkroni stroj preuzbudimo, on šalje u mrežu jalovu struju,
4. kao **induktivni potrošač**, ako sinkroni stroj poduzbudimo, on uzima iz mreže jalovu struju.

SINKRONI MOTOR

Ako rotor stroja prije priključka na mrežu, iz vanjskog izvora uzbudimo i na bilo koji način potjeramo na približno sinkronu brzinu **ns**, onda bi stroj nakon priključka na izmjenični napon i dalje rotirao sinkronom brzinom radeći kao sinkroni motor , kao na slici 30 :



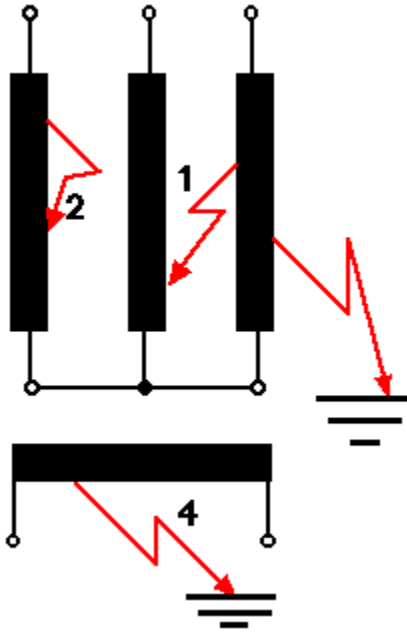
Slika 30

Sinkroni motor

ZAŠTITA GENERATORA

Generatori se rade obično u velikim jedinicama i oni predstavljaju veliku vrijednost, te u slučaju kvara na generatoru nastaje šteta zbog kvara i ne proizvodnje električne energije. Zato je potrebno predvidjeti zaštitu koja će spriječiti da ne dođe do kvara u generatoru i koja će ograničiti oštećenje. Kvarovi koji mogu nastati na generatoru su slijedeći, a prikazani su slikom 31 :

1. kratki spoj među fazama generatora,
2. spoj među zavojima iste faze,
3. spoj statorskog namota s masom,
4. spoj rotorskog namota s masom.



Slika 31

Kvarovi na generatoru

Spijječavanje kvarova na generatoru realiziramo pomoću električnih naprava kao što su **okidači** i **diferencijalna zaštita** koji pod djelovanjem struje djeluju na mehanizam za iskapčanje strujnog kruga.