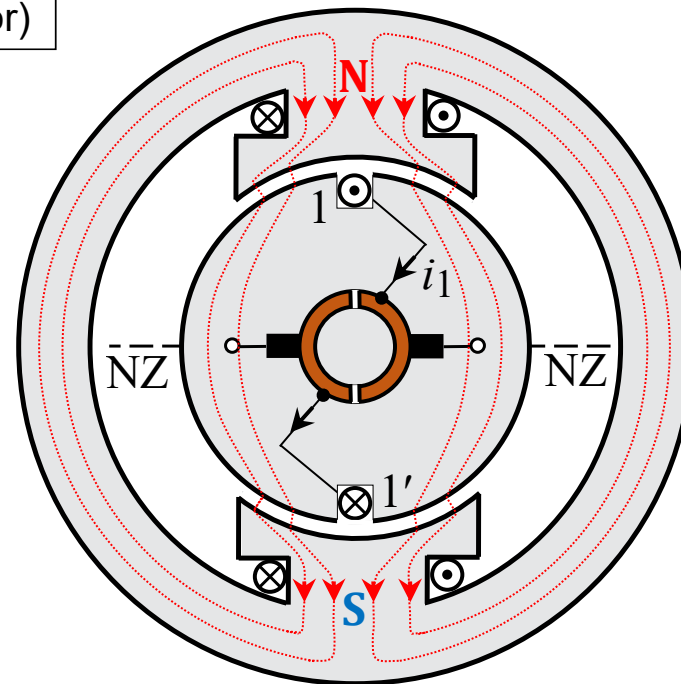
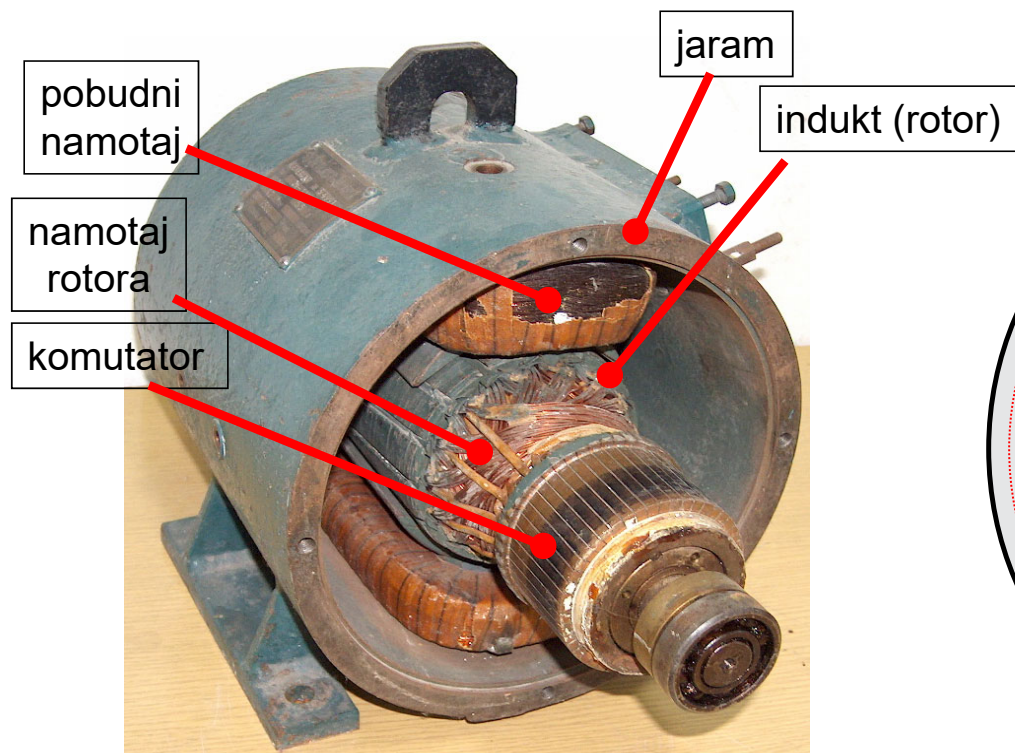


MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE



S, N južni i severni pol (**induktor**);
A armatura (**indukt**);
K, Č komutator (**kolektor**) i četkice;
pp, polna papuča (**polni nastavak**);

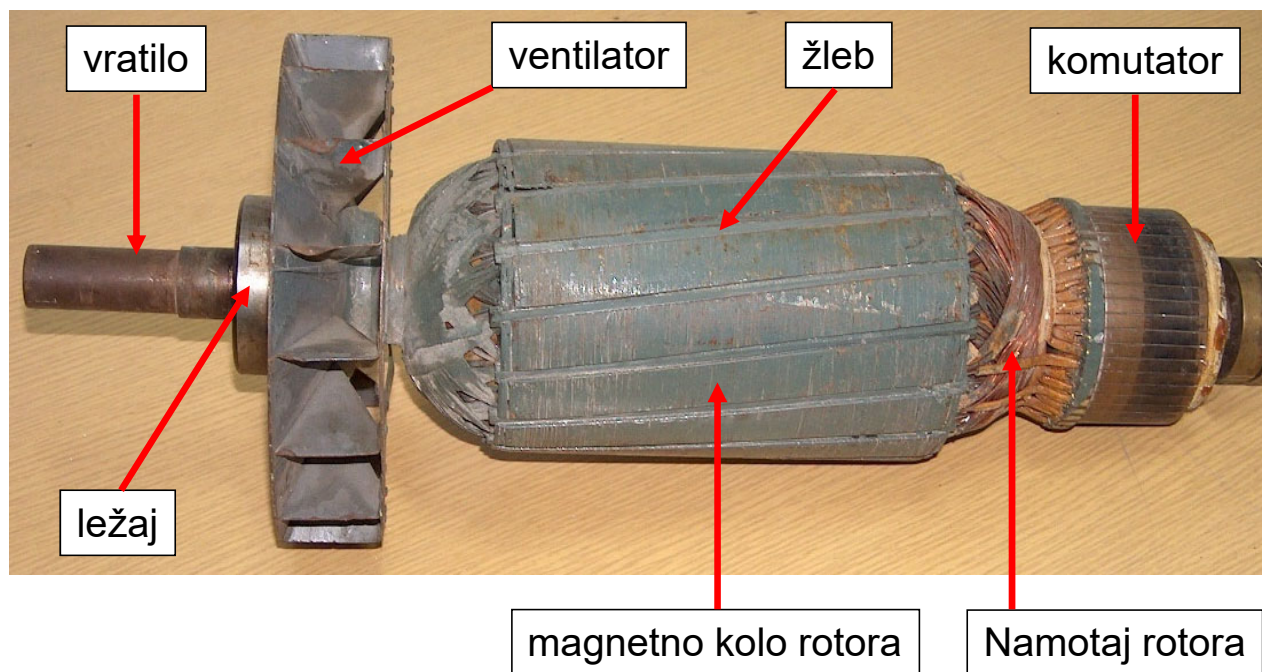
NZ neutralna zona;
J jaram .

MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE



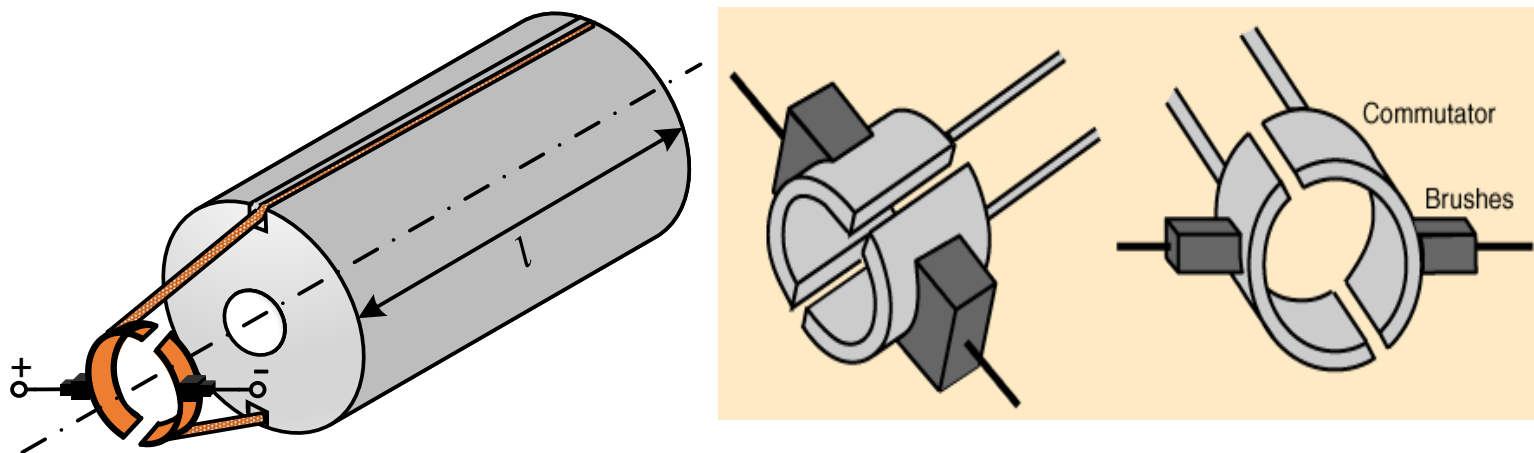
**Namotaj pobude na polnom nastavku.
Pobuda=Induktor=Uzbuda= Field.**

MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE

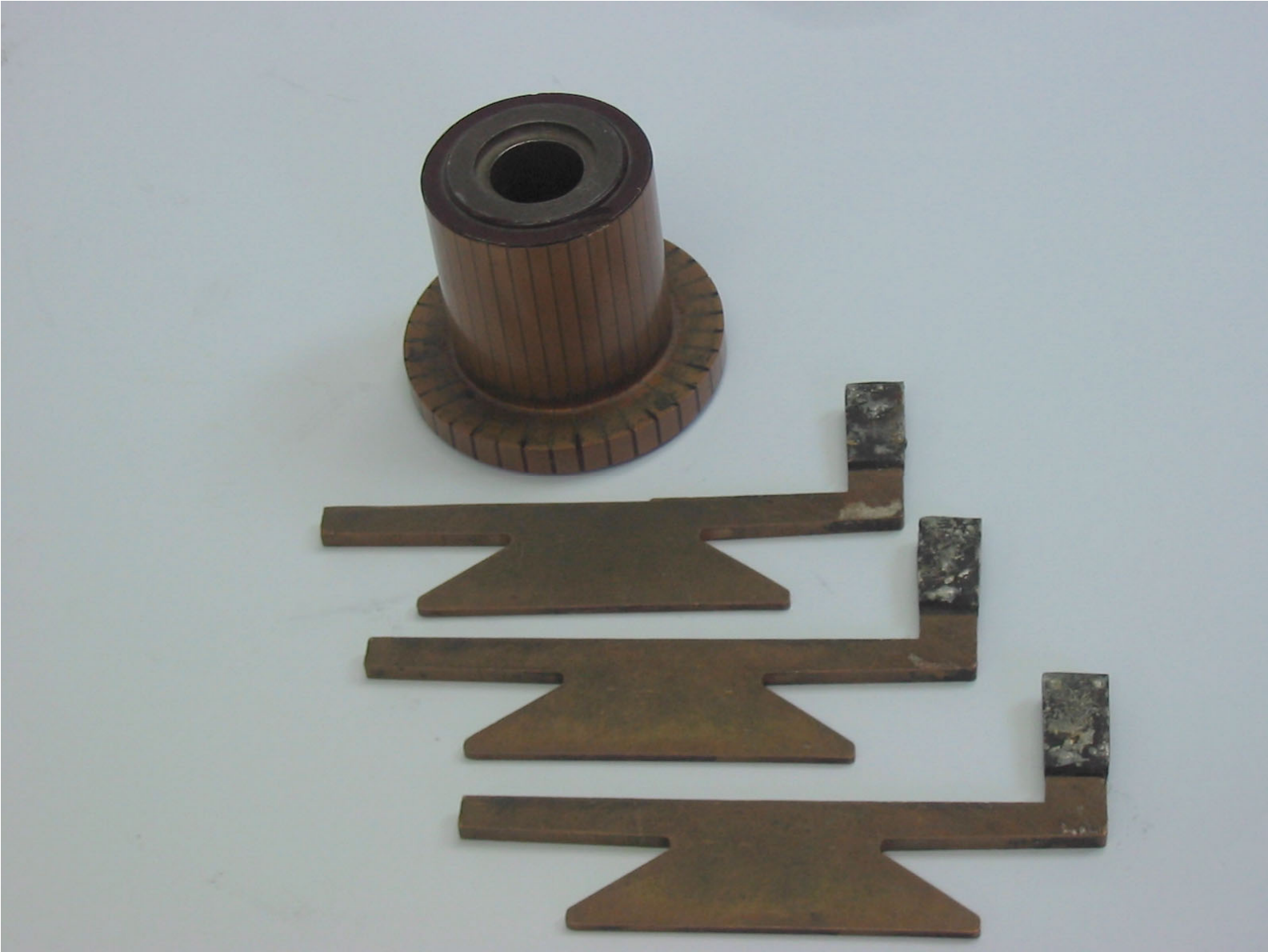


Rotor
Indukt=Armatura=Anker

MAŠINE JEDNOSMERNE STRUJE



- Četkice leže na simetrali među polovima – **neutralnoj zoni**.
- Četkice su mehanički učvršćene za stator – nepomične su.
- Komutator** (kolektor) je mehanički učvršćen za rotor – sa njime se zajedno obrće.
- Komutator se sastoji od bakarnih segmenata (lamela, kriški).

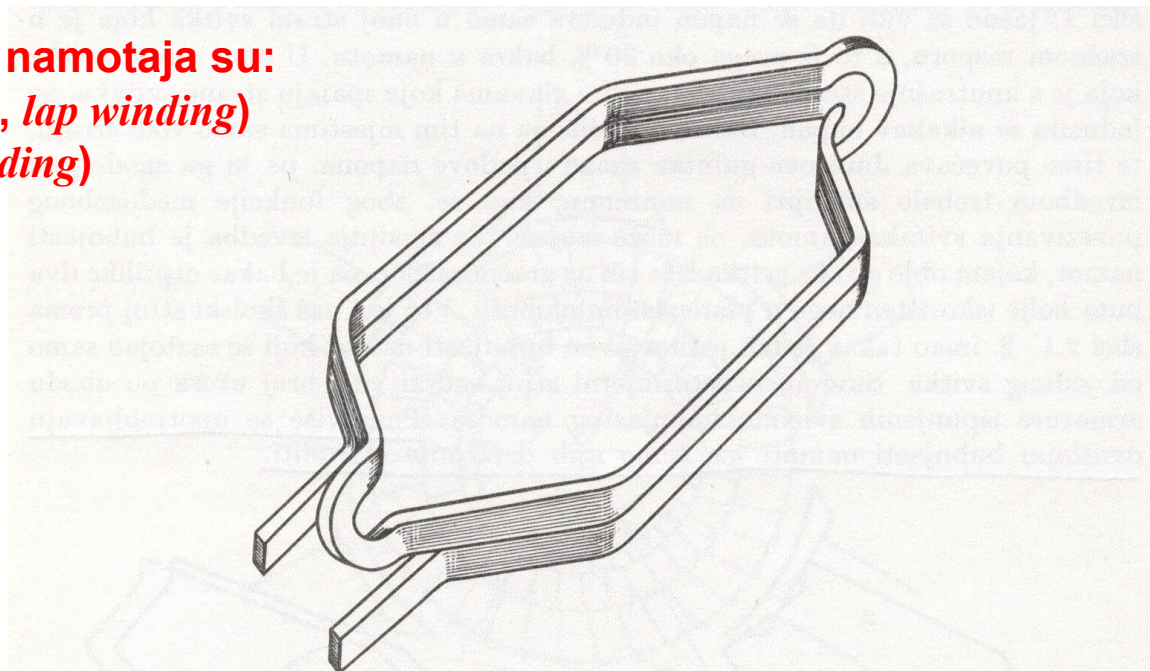


NAMOTAJI ROTORA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE

Namotaj rotora je najsloženiji deo mašine jednosmerne struje. Da bi se umanjile pulsacije momenta i oblik ems približio jednosmernom naponu rotor se gradi kao raspodeljen u žlebovima smeštenim po celom obimu rotora. U žlebove su smeštene sekcije, krajevi sekcija završavaju na segmentima komutatora.

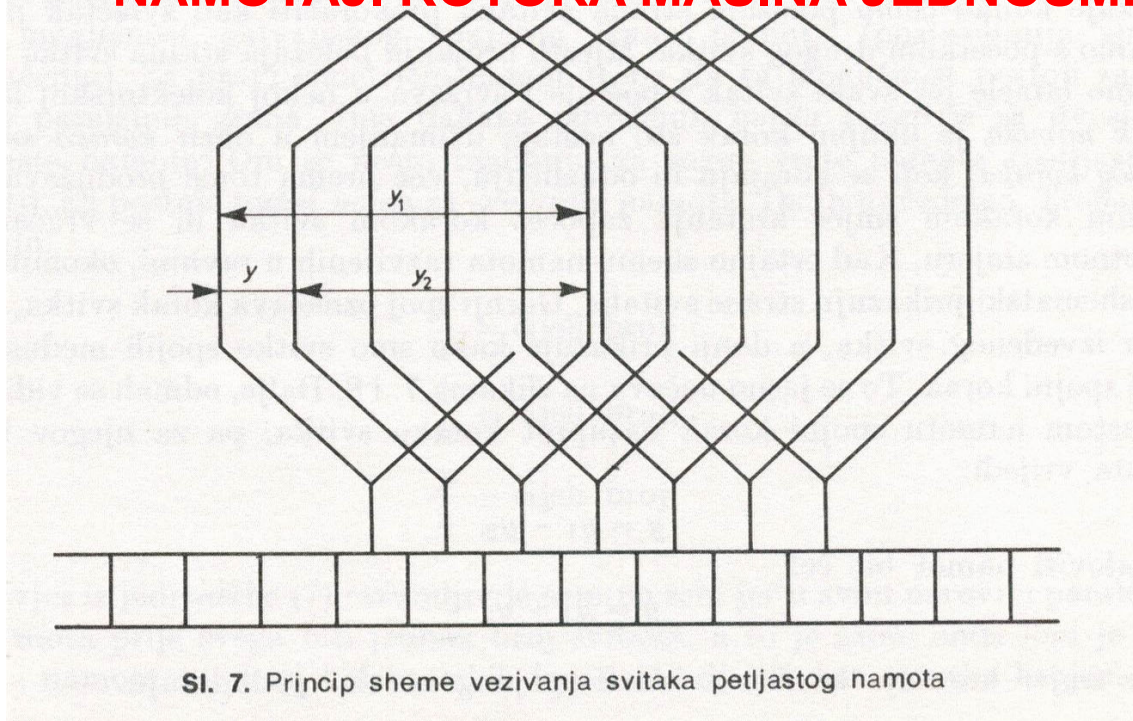
Dve osnovne vrste namotaja su:

1. Petljast (omčast, *lap winding*)
2. Valovit (*wave winding*)



Jedna sekcija dvoslojnog petljastog namotaja

NAMOTAJI ROTORA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



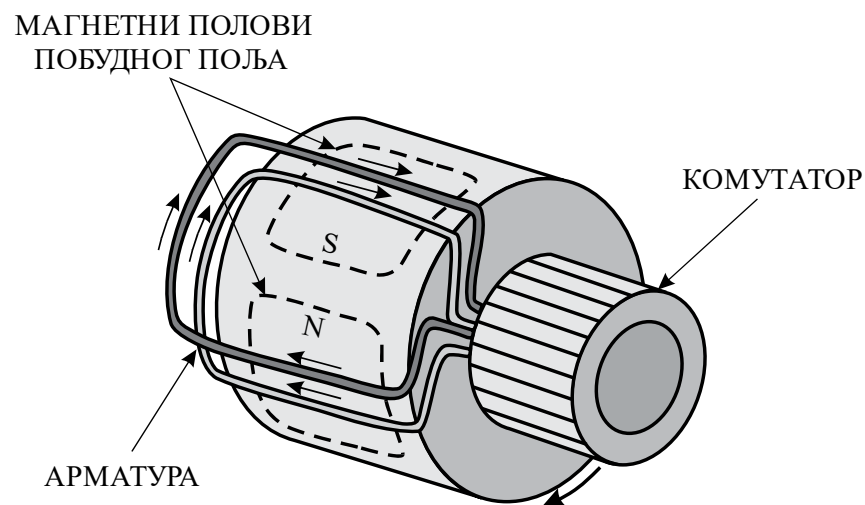
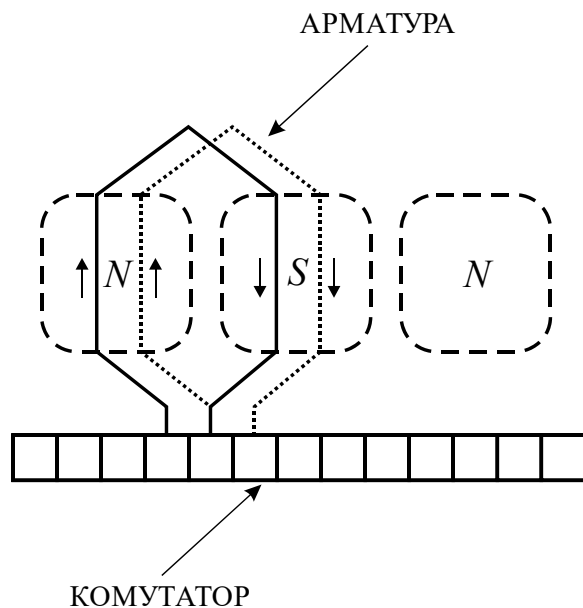
Принцип формирања петљастог намотаја ротора

y_1 – korak sekcije (navojni korak)

y_2 – spojni korak

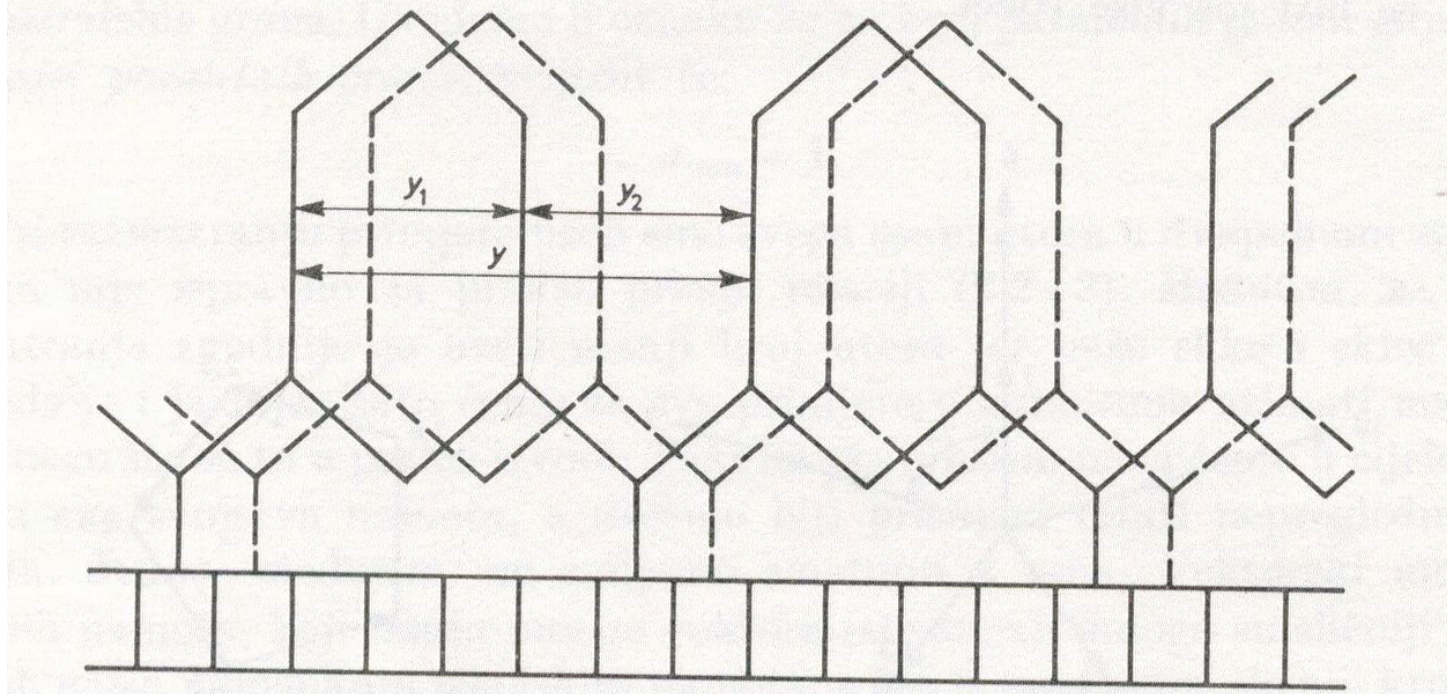
y – korak namota

NAMOTAJI ROTORA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



Princip formiranje petljastog namotaja. Spajanjem susednih sekcija nastaje petljast namotaj.
Na segmentima komutatora su sve sekcije armaturnog namotaja vezane na red.

NAMOTAJI ROTORA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



Princip formiranja valovitog namotaja

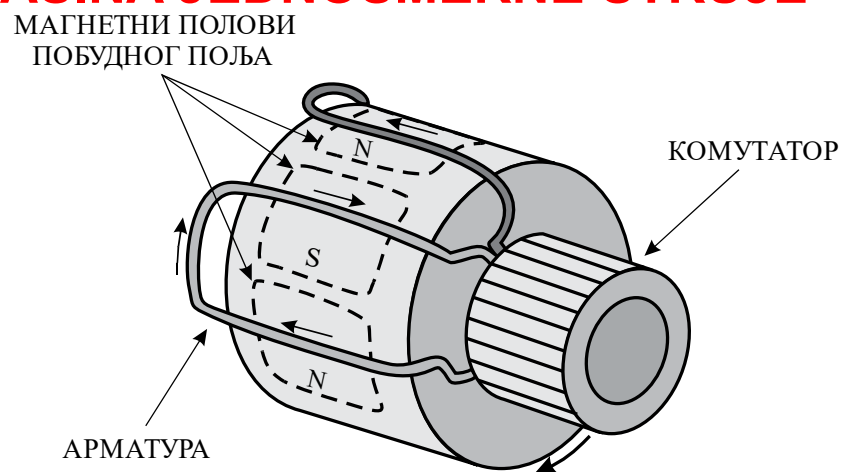
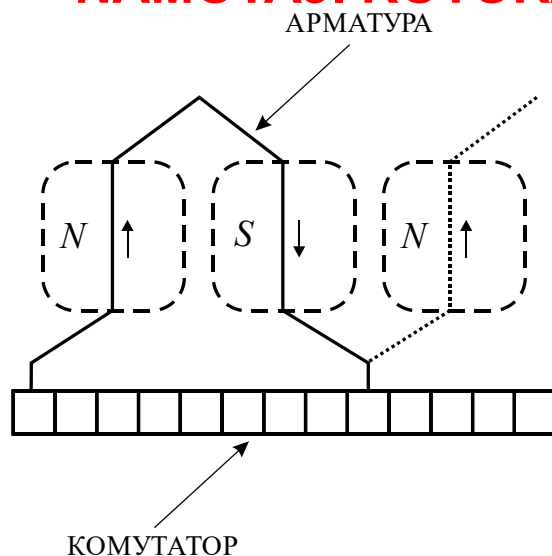
Na segmentima komutatora su sve sekcije armaturnog namotaja vezane na red.

y_1 – korak sekcije (navojni korak)

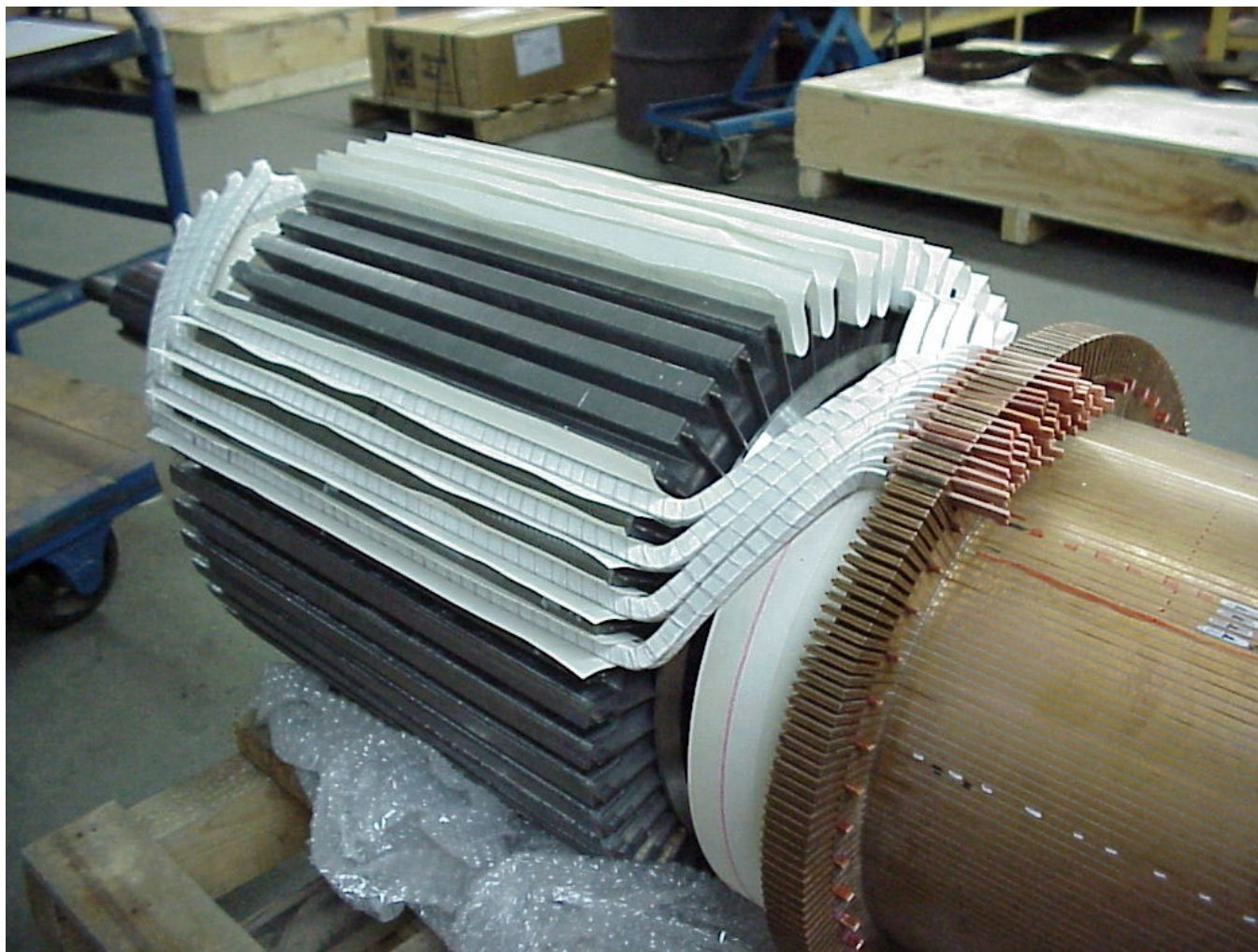
y_2 – spojni korak

y – korak namota

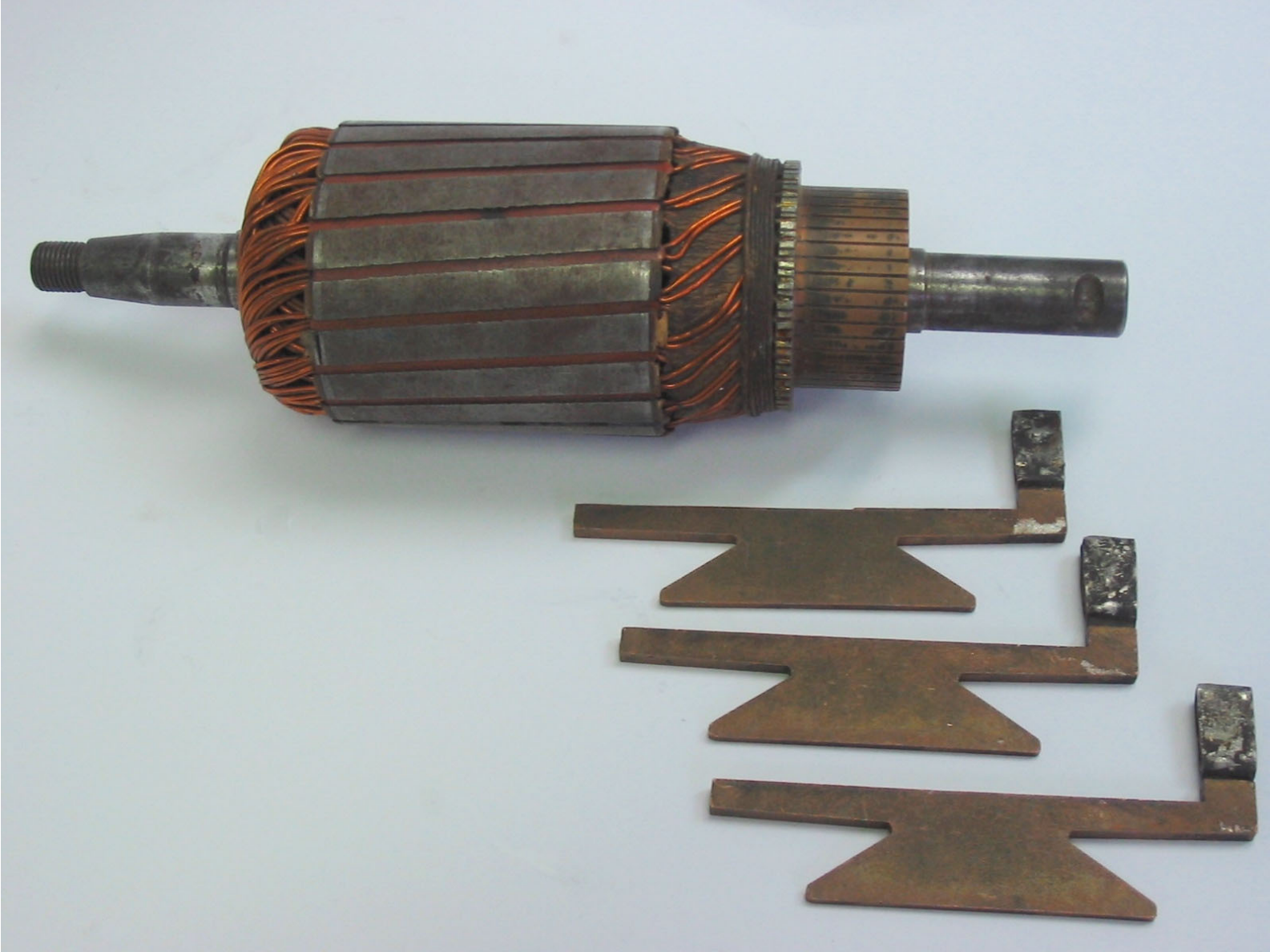
NAMOTAJI ROTORA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



Princip formiranja valovitog namotaja. Provodnici pod različitim polovima se vezuju na red. EMS provodnika ispod različitih polova se sabiraju. Valovit namotaj se koristi za veće napone. Teorijski može da postoji samo jedan par četkica. Praktično zbog bolje komutacije četkica imaju koliko i polova.

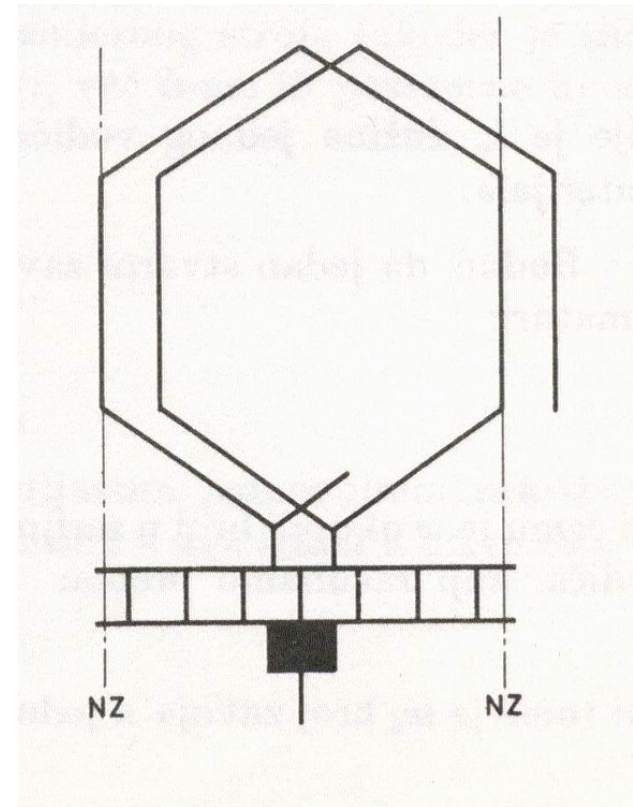
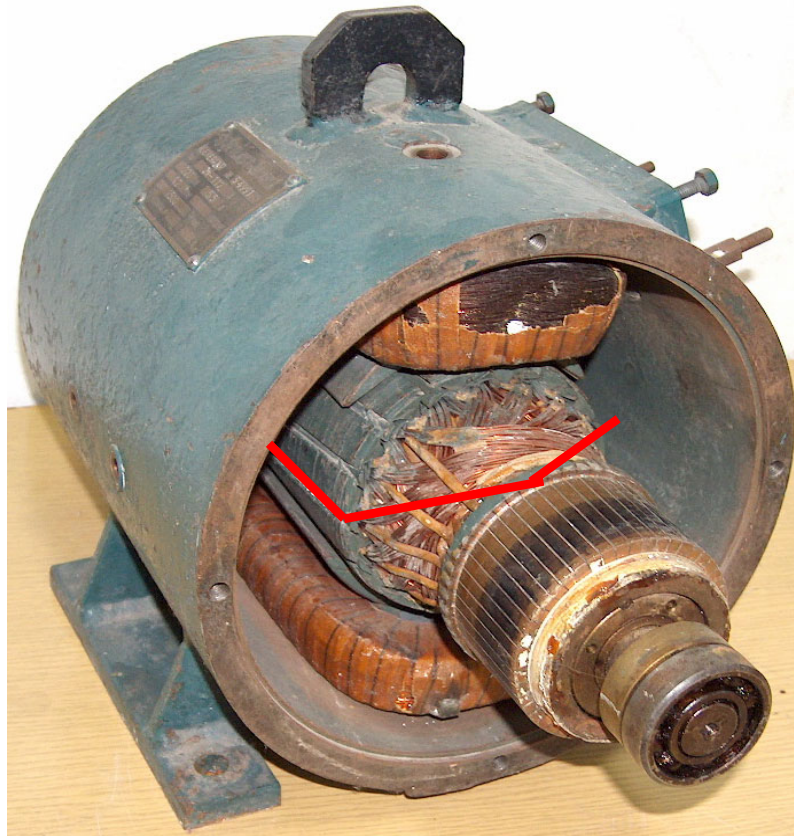


Postavljanje armaturnog namotaja u žlebove rotora. Kod mašina većih snaga namotaj se pravi od profilisanih provodnika.



POLOŽAJ ČETKICA

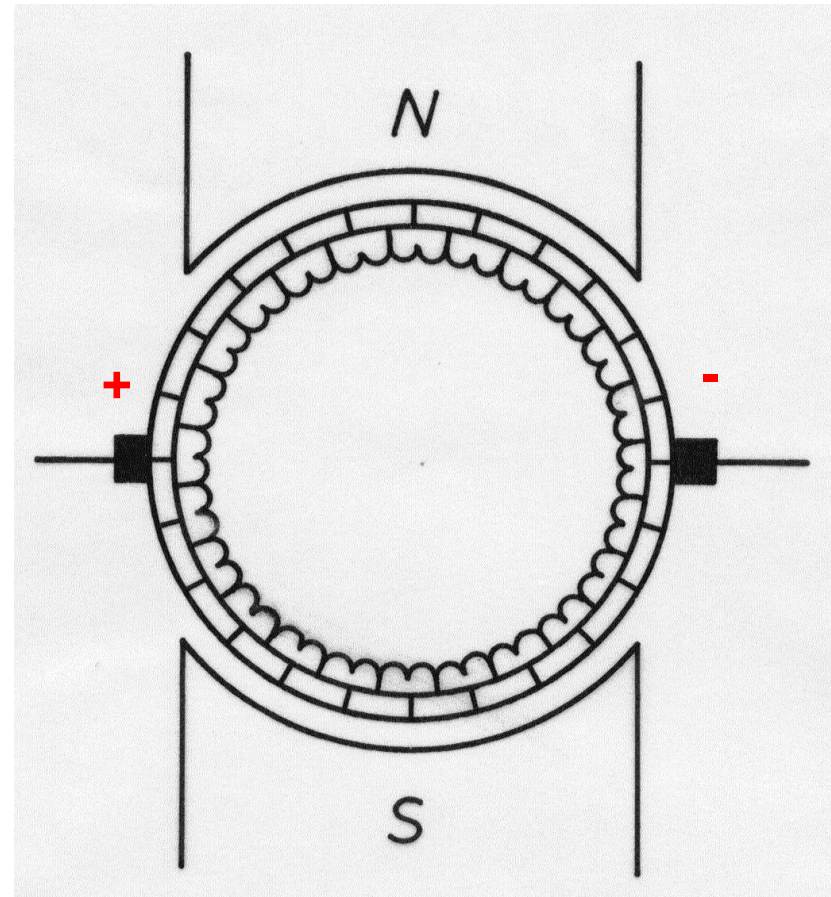
- Četkice su električno smeštene u neutralnu zonu.
- Mada izgleda da se četkice prostorno nalaze po sredini glavnog pola.



POLOŽAJ ČETKICA. PARALELNE GRANE

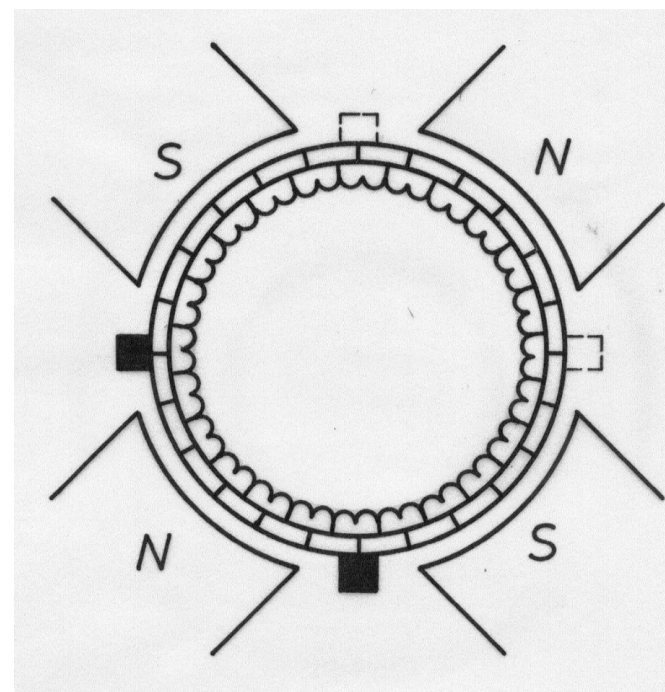
Između pozitivnih i negativnih četkica nalazi se ceo armaturni namotaj.

Segmenti komutatora koji su pod četkicama preuzimaju struju sa četkica a ostali segmenti spajaju sekcije (provodnike) namotaja.



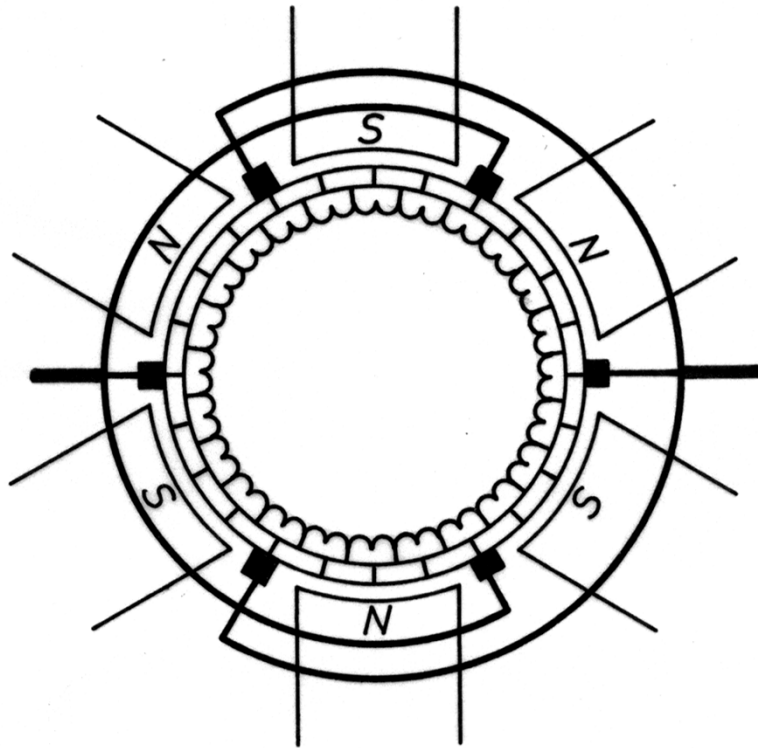
POLOŽAJ ČETKICA. PARALELNE GRANE

Koliko ima pari polova toliko ima i pari četkica.



POLOŽAJ ČETKICA. PARALELNE GRANE

U svaku neutralnu zonu mora doći četkica. Četkice dele armaturu na paralelne grane. Broj paralelnih grana je $2a$. Za petljast namotaj važi da je $2a=2p$. U opštem slučaju za neku drugu vrstu namotaja nije tako. Konstrukcijom valovitog namotaja postoji jedan par paralelnih grana $a=1$.



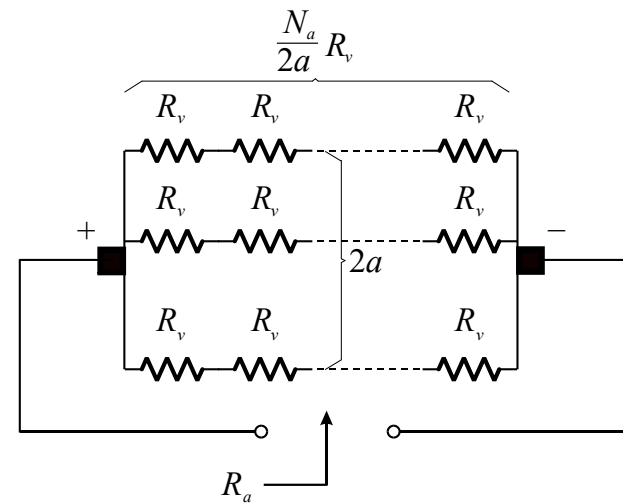
STRUJA GRANE. OTPORNOST NAMOTAJA ARMATURE

Struja kroz četkicu.

$$I_{\check{c}} = \frac{I_a}{a} = \frac{I_a}{p}$$

Struja kroz granu.

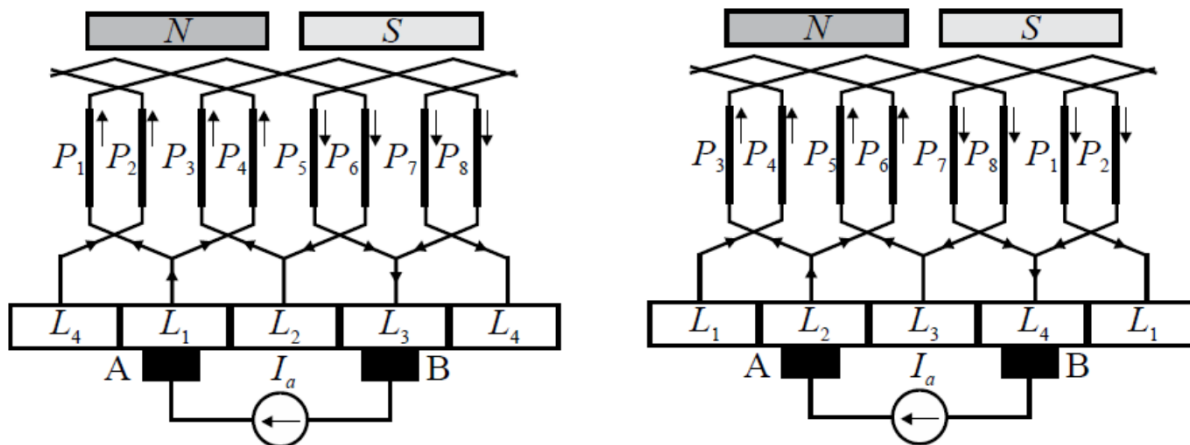
$$I_v = \frac{I_a}{2a}$$



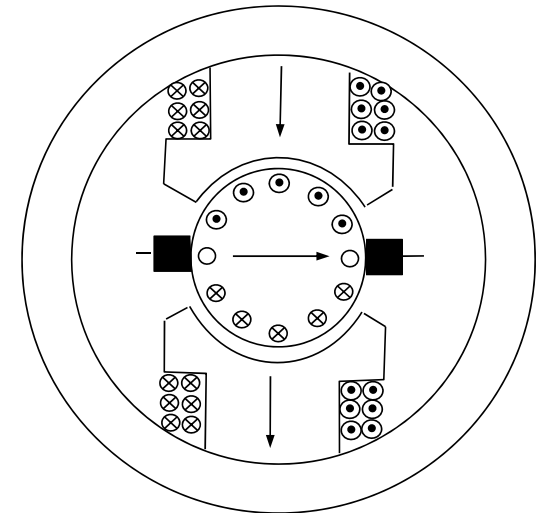
gde je a broj pari paralelnih grana. Ako se na rotoru nalazi N_a provodnika svaka grana ima otpornost $N_a / (2a) * R_v$, gde je R_v otpornost jednog provodnika. Pošto u paraleli između četkica ima $2a$ paralelnih grana ukupna otpornost namotaja armature je

$$R_a = \frac{1}{2a} \cdot \frac{N_a}{2a} R_v = N_a \left(\frac{1}{2a} \right)^2 R_v$$

POLOŽAJ ČETKICA



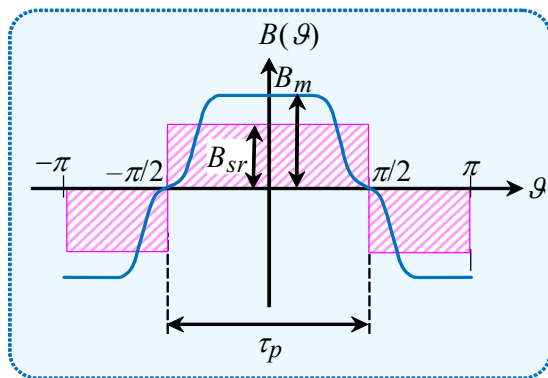
Razvijeni namotaj armature.



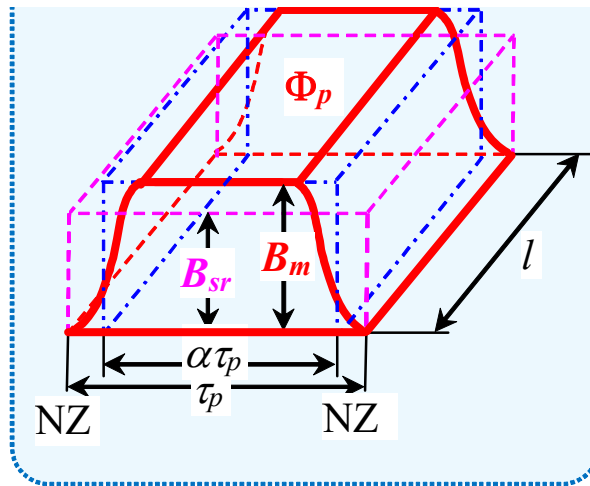
U svim provodnicima pod jednim polom struja ima isti smer. Kada provodnik prođe pod suprotan magnetni pol (uoč **provodnike 5 i 6**) menja se smer indukovane EMS u njemu, a i struja u tom provodniku promeni smer. Ove promene se dese prolaskom provodnika kroz neutralnu zonu. Promena smera indukovane EMS i struje u navojku se naziva komutacija. Navojak koji komutuje se nalazi u neutralnoj zoni. Četkice kratkospajaju navojak pri prolasku kroz neutralnu zonu.

Raspodela magnetne indukcije i fluks po polu

-knjiga pretvarači-



Prostorna raspodela magnetne indukcije ispod pola, odnosno po obimu rotora je kvazi pravougaona i menja znak u neutralnoj zoni.



Fluks po polu jednak je integralu magnetne indukcije po površini pola:

$$\Phi_p = \int_{\text{po polu}} \vec{B} \cdot d\vec{S} = l \int_0^{\tau_p} B(x) dx$$

Geom. interpretacija fluksa po polu je zapremina tela.

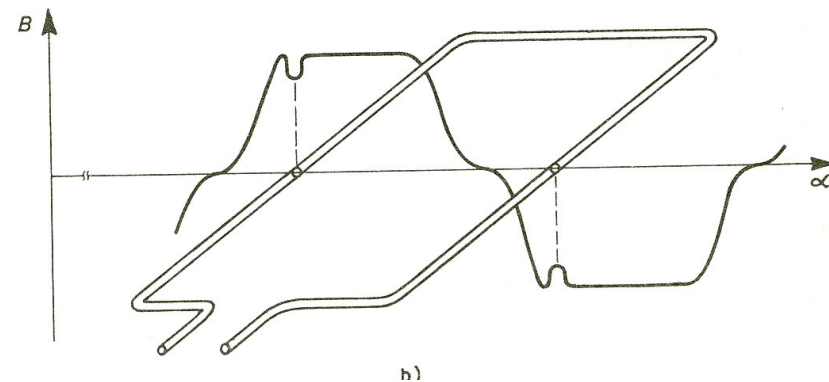
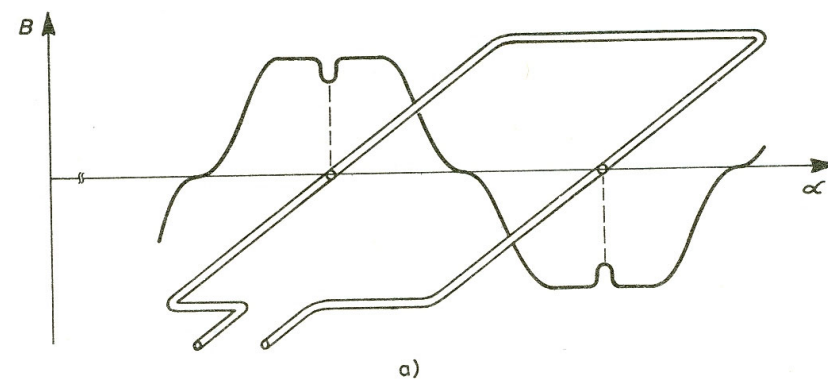
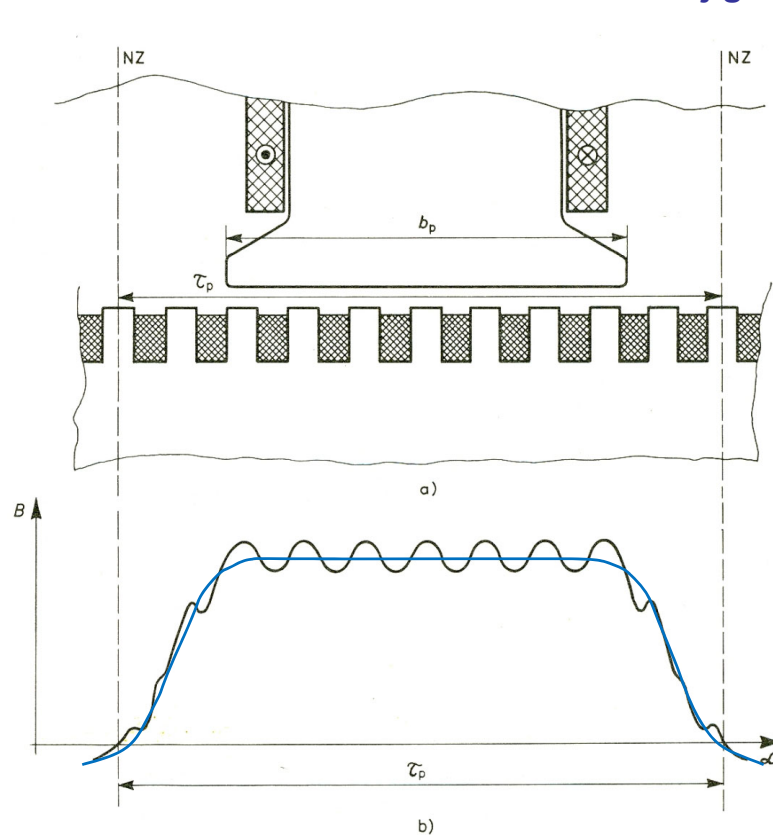
Zavisnost indukcije $B(x)$ se ne može jednostavno prikazati analitički, pa se fluks po polu izražava preko srednje ili maksimalne vrednosti indukcije.

$$\Phi_p = \tau_p \cdot l \cdot B_{sr} \quad \text{ili} \quad \Phi_p = \alpha \cdot \tau_p \cdot l \cdot B_m$$

α je faktor pokrivanja pola

$\alpha \cdot \tau_p$ je idealni polni luk.

Raspodela magnetne indukcije i fluks po polu -knjiga pretvarači-

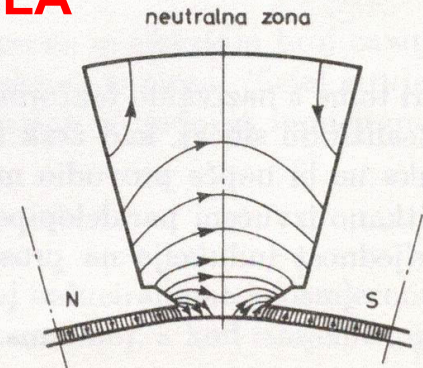


Sl. 3. a) Raspored utora na jednome polnom koraku stroja s deset utora po polu, i to u trenutku kad su neutralne zone na sredini zubi
b) Pripadni načelni raspored indukcije na obodu rotora

Zbog ožlebljenja rotora indukcija pod polom nije konstantna.

INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA

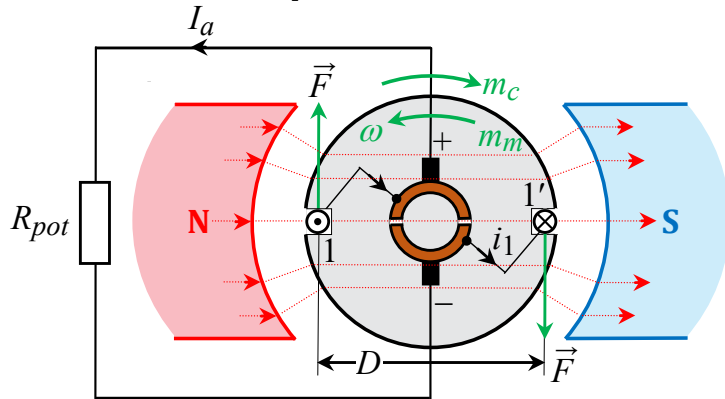
Sl. 1. Uzbudno magnetsko polje u praznom hodu istosmjernog stroja, za jedan polni korak



Za indukovanu EMS merodavan je fluks u vazdušnom zazoru ispod glavnog pola Φ_p . Obrtanjem rotora u polju fluksa pobude u armaturi se indukuje EMS. Indukovana EMS proporcionalna je magnetnom **fluksu (indukciji)** i **brzini**.

INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA

Obimna brzina provodnika rotora, i ugaona brzina rotora su međusobno povezane:



$$v = r\omega = \frac{D}{2}\omega = \frac{D}{2} \frac{2\pi n}{60} = D\pi \frac{n}{60} = 2p\tau_p \frac{n}{60}$$

$$\Phi_p = \tau_p \cdot l \cdot B_{sr} \Rightarrow B_{sr} = \frac{\Phi_p}{\tau_p \cdot l}$$

Srednja vrednost Indukovana elektromotorna sila u jednom provodniku armature:

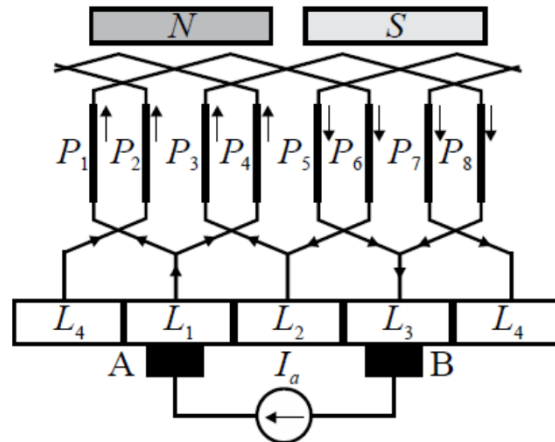
$$e_{sr} = B_{sr} \cdot l \cdot v = \frac{\Phi_p}{l \cdot \tau_p} \cdot l \cdot 2 \cdot p \cdot \tau_p \frac{n}{60} = \frac{p \cdot n}{30} \Phi_p$$

Zaključak: EMS generatora se menja promenom **brzine obrtanja** (praktično retko) ili **promenom pobude**.

Učestanost indukovane elektromotorna sila u jednom provodniku: $f = \frac{p \cdot n}{60}$

INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA

Svi navojci armature vezani su na red (način izrade samog namotaja):



Četkice dele armaturu na paralelne grane. Svakoj grani pripada $N_a/2a$ provodnika armature. EMS armature je suma e_{sr} indukovanih u svakom provodniku jedne grane:

$$E = \frac{N_a}{2a} \cdot e_{sr} = \frac{N_a}{2a} \cdot \Phi_p \cdot \frac{p \cdot n}{30} = \frac{N_a \cdot p}{2\pi \cdot a} \cdot \Phi_p \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} = K \cdot \Phi_p \cdot \omega = \psi_p \cdot \omega = \psi_f \cdot \omega$$

$$E = \psi_f \cdot \omega$$

Po svojoj prirodi ovo je ems rotacije. Zavisi od brzine i fluksa pobude (struje pobude). Znak (smer) EMS zavisi od znaka fluksa, odnosno smera obrtanja.

INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA

PRIMER: 4-polna DC mašina ima 46 žlebova i 16 provodnika po žlebu. Pri 1200ob/min EMS=480V. Koliko iznosi fluks po polu ako je armaturni namotaj:
a) petljast b) valovit.

$$\Phi_p = \frac{60E}{n \cdot N_a} \cdot \frac{a}{p}$$

$$\text{a) } \Phi_p = \frac{60 \cdot 480}{1200 \cdot 46 \cdot 16} \cdot \frac{2}{2} = 32,6 \text{mWb}$$

$$\text{b) } \Phi_p = \frac{60 \cdot 480}{1200 \cdot 46 \cdot 16} \cdot \frac{1}{2} = 16,3 \text{mWb}$$

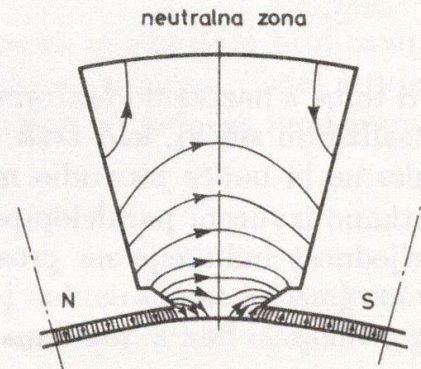
$$E = \frac{N_a}{2a} \cdot e_{sr} = \frac{N_a}{2a} \cdot \Phi_p \cdot \frac{p \cdot n}{30} = \frac{N_a \cdot p}{2\pi \cdot a} \cdot \Phi_p \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} = K \cdot \Phi_p \cdot \omega = \Psi_p \cdot \omega = \psi_p \cdot \omega = \psi_f \cdot \omega$$

INDUKOVANA ELEKTROMOTORNA SILA

PRIMER UTICAJ RASIPNOG FLUKSA: Nakon izrade električne mašine iz prethodnog primera, a usled rasipanja izmerena je EMS od samo 410V, koliko iznosi koeficijent rasipanja?

$$\sigma = \frac{\text{Ukupan fluks}}{\text{Zajednički fluks}} \cdot \frac{n}{n} = \frac{480}{410} = 1,17$$

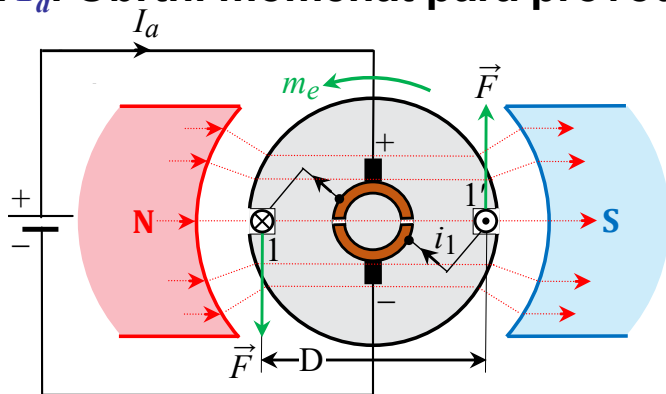
Sl. 1. Uzbudno magnetsko polje u praznom hodu istosmjernog stroja, za jedan polni korak



ZA EMS MERODAVAN JE FLUKS KOJI POSTOJI U VAZDUŠNOM ZAZORU ISPOD GLAVNOG POLA Φ_p – ZAJEDNIČKI FLUKS .

ELEKTROMAGNETNI MOMENAT – MOMENAT KONVERZIJE

Momenat DC mašine postoji kada je ona pobuđena – postoji ψ_f , a kroz namotaj armature protiče struja I_a . Obrtni momenat para provodnika sa strujom, ispod suprotnih polova pobude:



$$M_v = F \cdot D = B_{sr} \cdot I_v \cdot l \cdot D$$

$$D\pi = 2p \cdot \tau_p \quad B_{sr} = \frac{\Phi_p}{\tau_p \cdot l} \quad I_v = \frac{I_a}{2a}$$

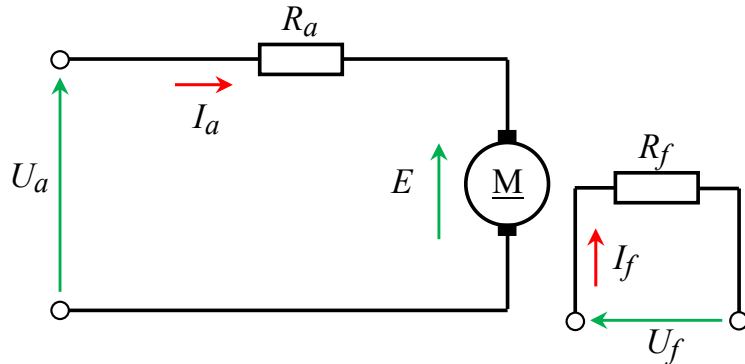
Ako je N_a broj provodnika armature onda je ukupan broj strujnih kontura koje stvaraju momenat M_v duplo manji tj. $N_a/2$. Ukupan momenat mašine – **elektromagnetni momenat** – **momenat konverzije** se dobija kada se uvaži momenat kome doprinose svi provodnici armaturnog namotaja:

$$M_c = \frac{N_a}{2} M_v = \frac{p}{2a} \frac{N_a}{\pi} \Phi_p \cdot I_a = c \cdot \Phi_p \cdot I_a = \psi_p \cdot I_a = \psi_f \cdot I_a \quad \boxed{M_c = \psi_f \cdot I_a}$$

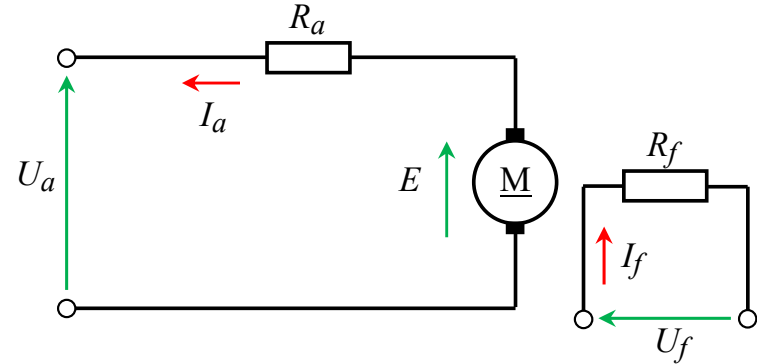
Momenat konverzije je proporcionalan sa proizvodom fluksa pobude i strujom armature. Pri konstantnom fluksu pobude momenat konverzije je srazmeran sa strujom armature. Znak (smer) momenta zavisi od smera pobudnog fluksa, odnosno smera struje armature.

MATEMATIČKI MODEL ZA USTALJENO STANJE. EKVIVALENTNA ŠEMA

Motorski režim rada:



Generatorski režim rada:



Mašina je pobuđena. U motorskom režimu rada armatura se priključuje na U_a , uspostavlja se struja I_a , javlja se pad napona na četkicama i pad napona na omskoj otpornosti R_a . Dovedenom naponu suprotstavlja se E .

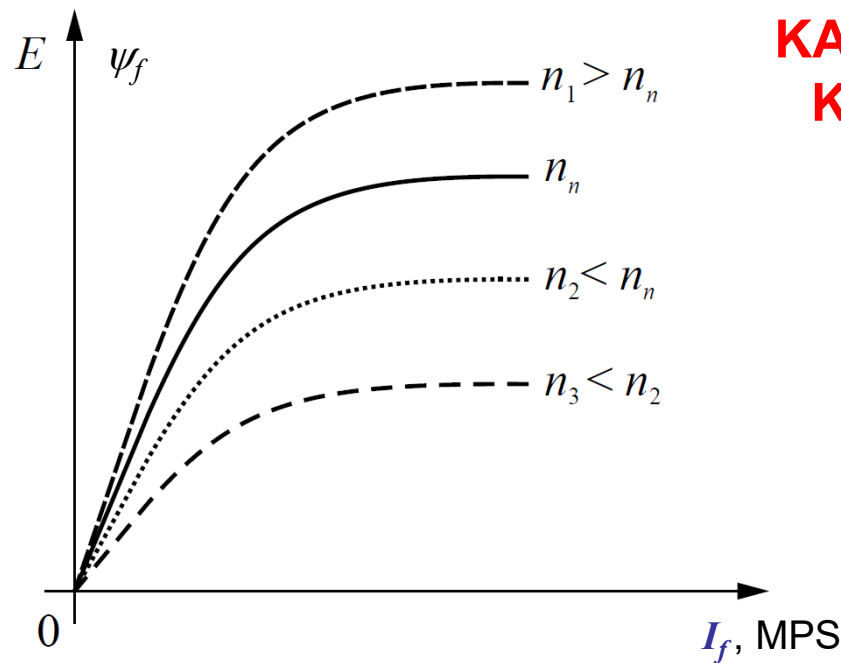
U generatorskom režimu rotor se obrće pogonskom mašinom, kada se generator pobudi uspostaviće se E . Kada se generator optereti potrošačem poteći će I_a , javlja se pad napona na četkicama i pad napona na omskoj otpornosti R_a . Jednačina naponske ravnoteže armature:

$$U_a = E + I_a \cdot R_a + \Delta U_{\check{c}}$$

$$U_a = E - I_a \cdot R_a - \Delta U_{\check{c}}$$

Jednačina naponske ravnoteže pobudnog namotaja: $U_f = R_f \cdot I_f$

Momenat konverzije: $M_c = \psi_f \cdot I_a$



KARAKTERISTIKA PRAZNOG HODA. KARAKTERISTIKA MAGNEĆENJA

MPS pobude $MPS = I_f \cdot N_f$

E je direktno proporcionalna n i ψ_f . Zbog nelinearnosti magnetnog kola, ψ_f nelinearno zavisi od I_f . Kada se rotor obrće konstantnom brzinom n a I_f menja, dobija se zavisnost $E(I_f)$. Ova zavisnost je poznata kao karakteristika praznog hoda. Ka-ka se može eksperimentalno snimiti u generatorskom praznom hodu. Rotor se obrće konstantnom brzinom, a za različite vrednosti pobudne struje na četkicama se meri indukovana E . Ka-ka praznog hoda je skalirana ka-ka magnećenja.

KARAKTERISTIKA MAGNEĆENJA

PRIMER: Data je kriva magnećenja rednog motora pri 1200ob/min. Ako je konstanta mašine $K=40$. Koliko iznosi fluks po polu ako je: a) $E=200V$ b) magnetna pobuda je 2600Anavojaka.

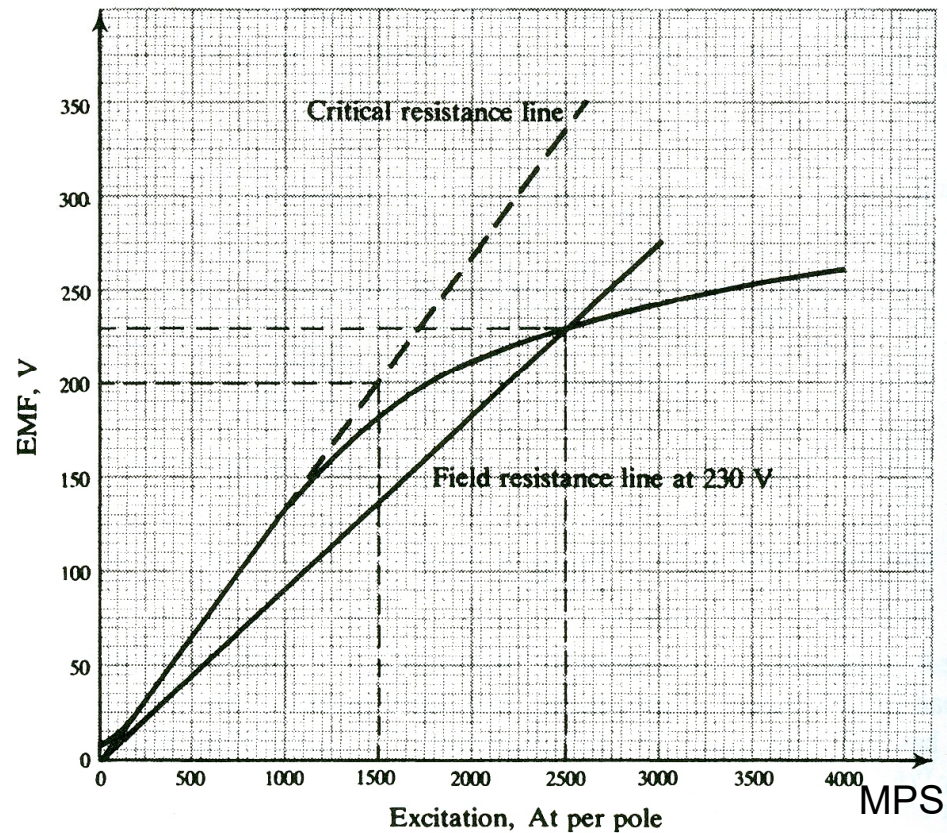
DC MACHINES

a)
$$\Phi_p = \frac{E}{K \cdot \omega} = \frac{200}{40 \cdot \frac{2\pi \cdot 1200}{60}} = 39,8 \text{ mWb}$$

b) $MPS = 2600 \text{ Anavjaka} \Rightarrow E \approx 232V$

$$\Phi_p = \frac{232}{200} \cdot 39,8 = 46,15 \text{ mWb}$$

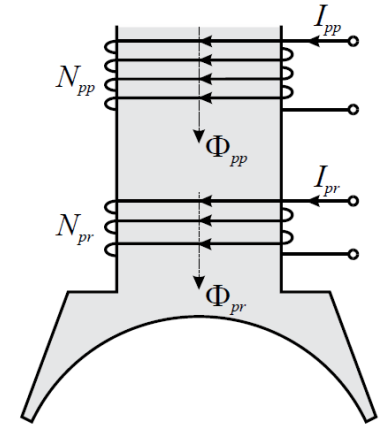
Za 8 navojaka po polu kolika je struja motora?



VRSTE MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE. VRSTE POBUDA

Na glavne polove jednosmerne mašine može biti namotano više pobudnih namotaja napajanih iz jednog ili više izvora.

Ukupna MPS jednaka je zbiru MPS koje stvaraju pojedini pobudni namotaji. MPS raznih namotaja pobude se sabiraju ako im je smer obilaženja oko pola isti, a oduzimaju ako je suprotan.



VRSTE POBUDA

Jednosmerne mašine POBUĐENE na različite načine, pod opterećenjem pokazuju različita svojstva. Poseduju različite spoljne karakteristike.

Spoljna karakteristika predstavlja zavisnost:

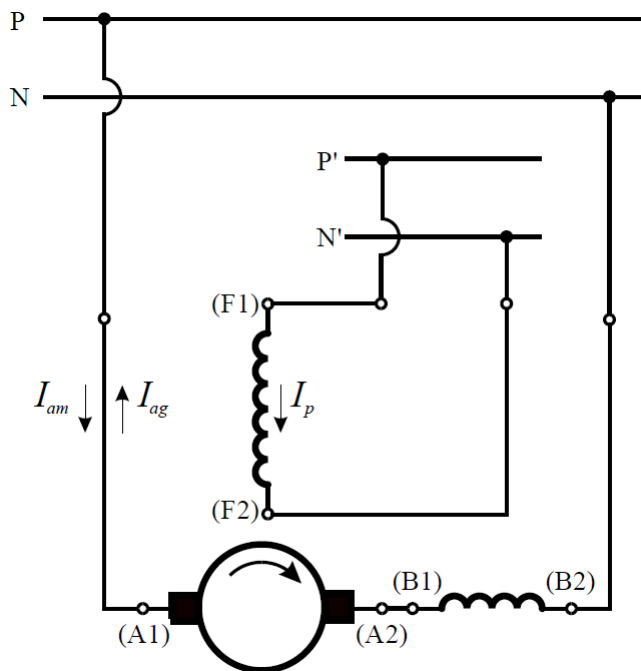
Za generator: $U-I$

Za motor: $\omega-M$ (mehanička, momentna karakteristika)

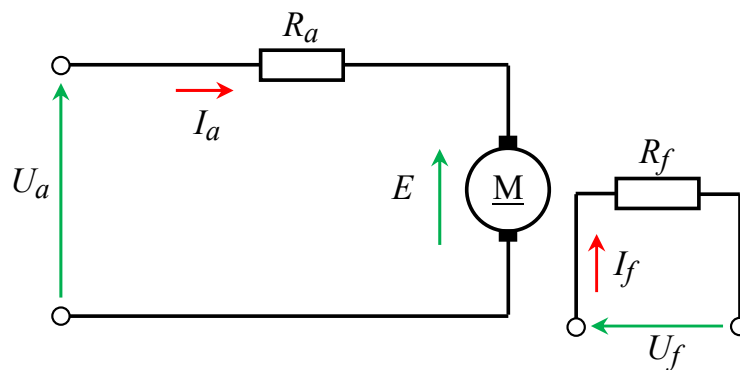
Prema načinu pobuđivanja jednosmerne mašine se toliko razlikuju da ih delimo na sledeće vrste, mašine:

- Nezavisne pobude**
- Paralelne pobude (poredne)**
- Redne pobude (serijske)**
- Složene pobude (kompaundne)**

Mašine sa nezavisnom pobudom



Način vezivanja

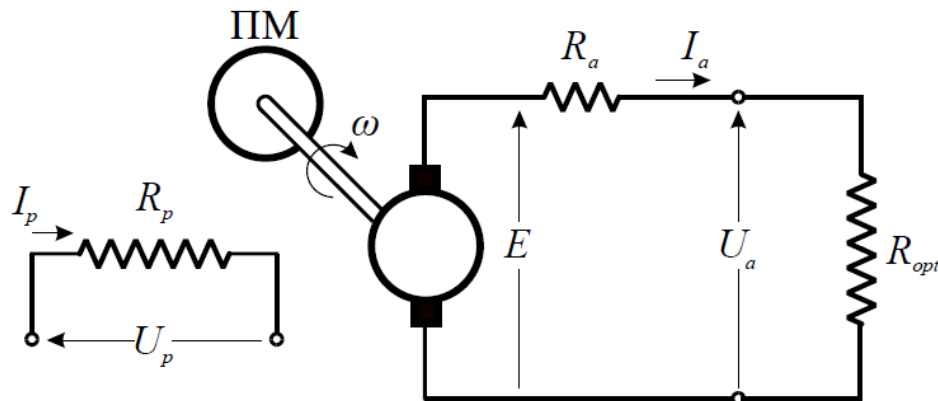


Ekvivalentna šema

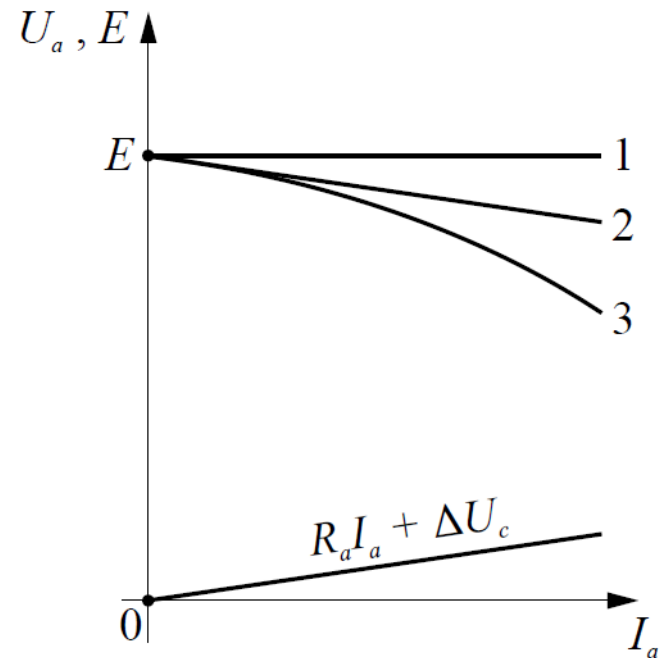
Pobudni namotaj se napaja nezavisno od armature. U_f i I_f su osetno manji u odnosu na U_a i I_a . Struja pobude iznosi $1 \div 5\% I_{an}$.

Kod ovih mašina je moguće nezavisno upravljanje fluksom pobude i strujom armature.

Generator jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom



Pogonska mašina obrće rotor. Ako je mašina pobuđena indukovaće se EMS (ka-ka 1) ako je na armaturu generatora priključen potrošač otpornosti R_{opt} poteći će struja I_a . Zbog padova napona na četkicama i omskoj otpornosti armature napon na potrošaču postaje manji od E (ka-ka 2). Kako struja opterećenja raste napon na potrošaču opada. Ovo smanjenje napona bi se moglo eliminisati povećanjem pobudne struje. Kada se uvaži reakcija armature napon brže opada (ka-ka 3).



Spoljna ka-ka generatora sa nezavisnom pobudom: $U_a = E - I_a \cdot R_a - \Delta U_{\check{c}}$

Nedostaci:

- Spoljna ka-ka je tvrda što za posledicu ima veliku struju kratkog spoja,
- Potreban je izvor napona pobude pa ne može samostalno da uspostavi napon.

Motor jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom Spoljna karakteristika

Jednačina naponske ravnoteže:

$$U_a = R_a \cdot I_a + \omega \cdot \psi_f$$

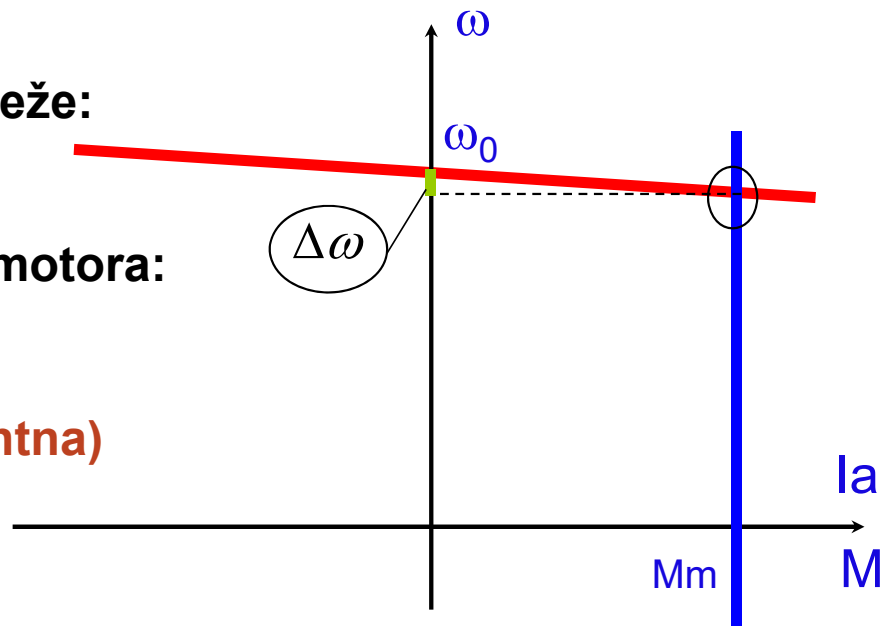
Elektromagnetni momenat motora:

$$M_e = \psi_f \cdot I_a$$

Spoljna (mehanička, momentna)
karakteristika motora:

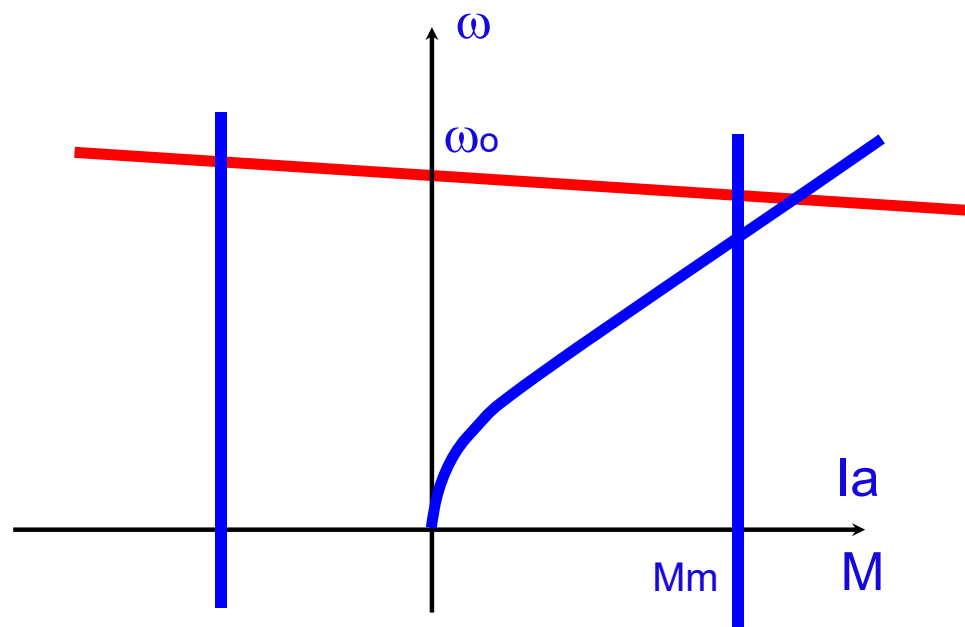
$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e$$

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega(M_m)$$



KARAKTERISTIKA JE TVRDA

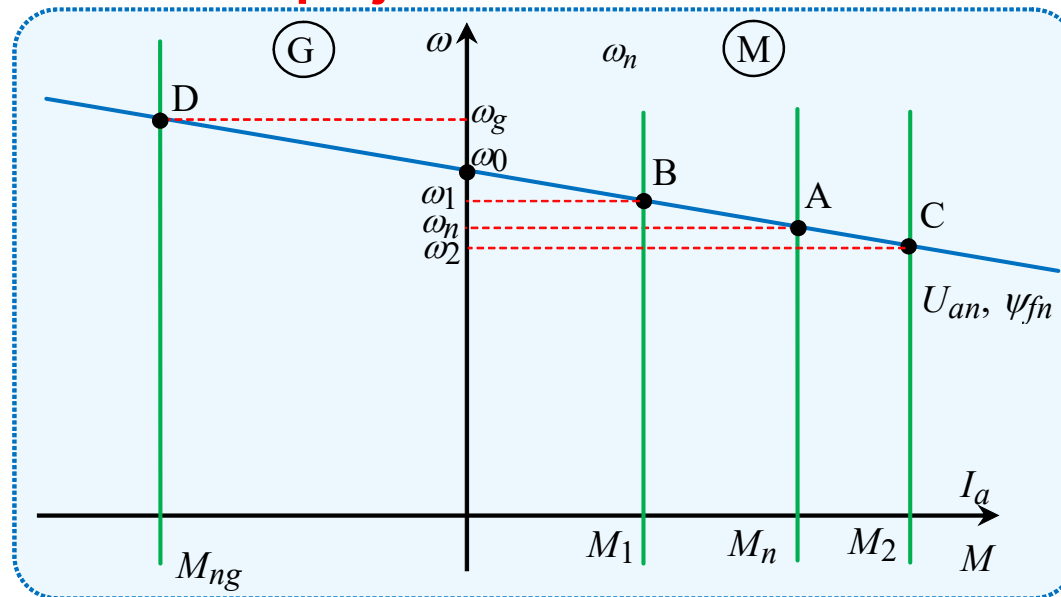
MEHANIČKA KARAKTERISTIKA MOTORA I RADNE MAŠINE



Stacionarna radna tačka se nalazi u preseku mehaničke karakteristike radne mašine i mehaničke karakteristike motora.

$$M_e = M_m$$

Motor jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom Spoljna karakteristika



Momentna ka-ka motora sa nezavisnom pobudom. Naznačeni su momenti opterećenja. **Momentna ka-ka pri nominalnim uslovima napajanja se naziva prirodna ka-ka.** A – je nominalna radna tačka. Motorski i generatorski deo ka-ke. Brzina praznog hoda. Rastom mehaničkog opterećenja brzina opada. Propad brzine u odnosu na brzinu praznog hoda je mali. Sa rastom opterećenja raste struja motora. U tački 2. $I_{a2} > I_{an}$. Da bi mašina prešla u generatorski kvadrant mehanički momenat treba da promeni znak, tačka D.

Uticaj promene napona armature i pobudnog fluksa na momentnu karakteristiku

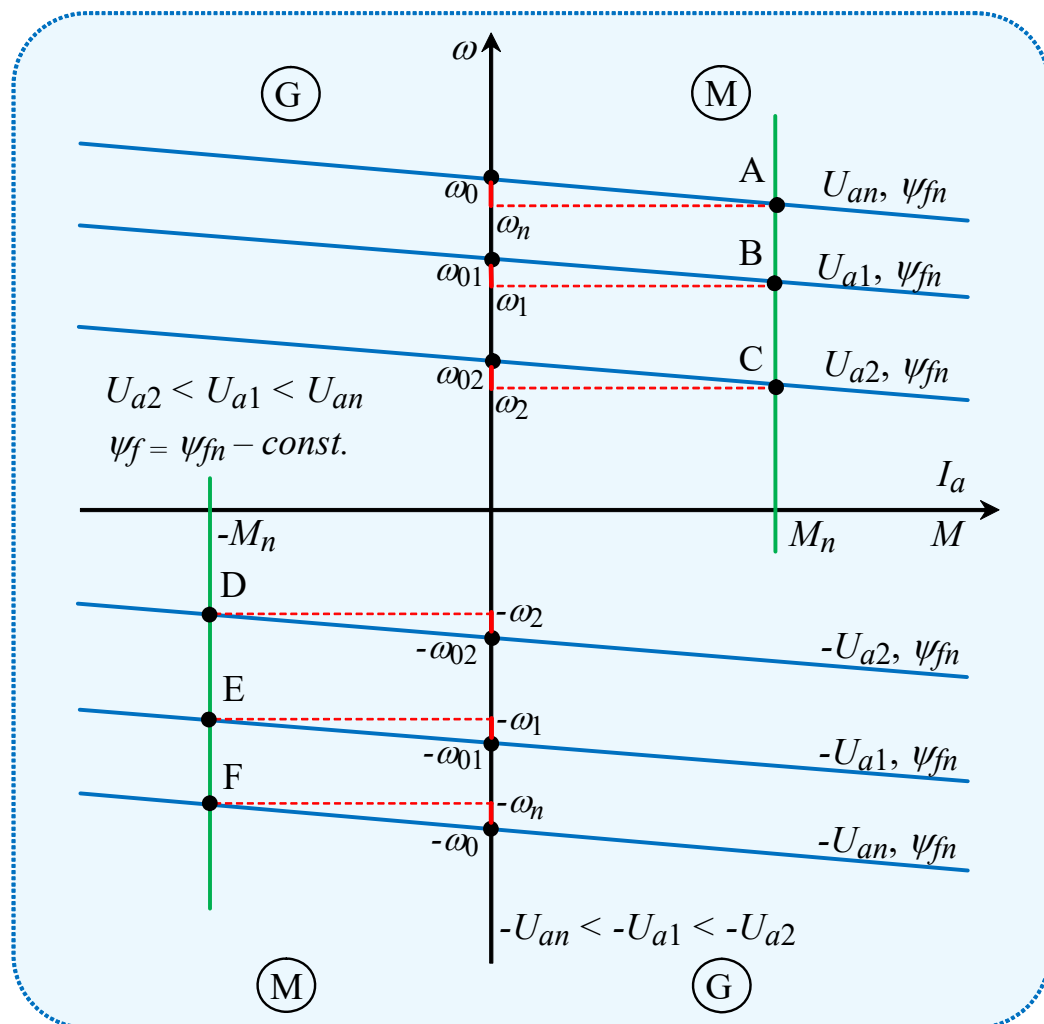
$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e$$

Momentan ka-ka zavisi od napona napajanja pobude i armature. Ako je pobudni napon konstantan konstantni su struja i fluks pobude.

Tada se promenom napona armature menja brzina praznog hoda ali ne i nagib momentne karakteristike.

Promenom pobudnog fluksa menja se kako brzina praznog hoda tako i nagib momentne karakteristike.

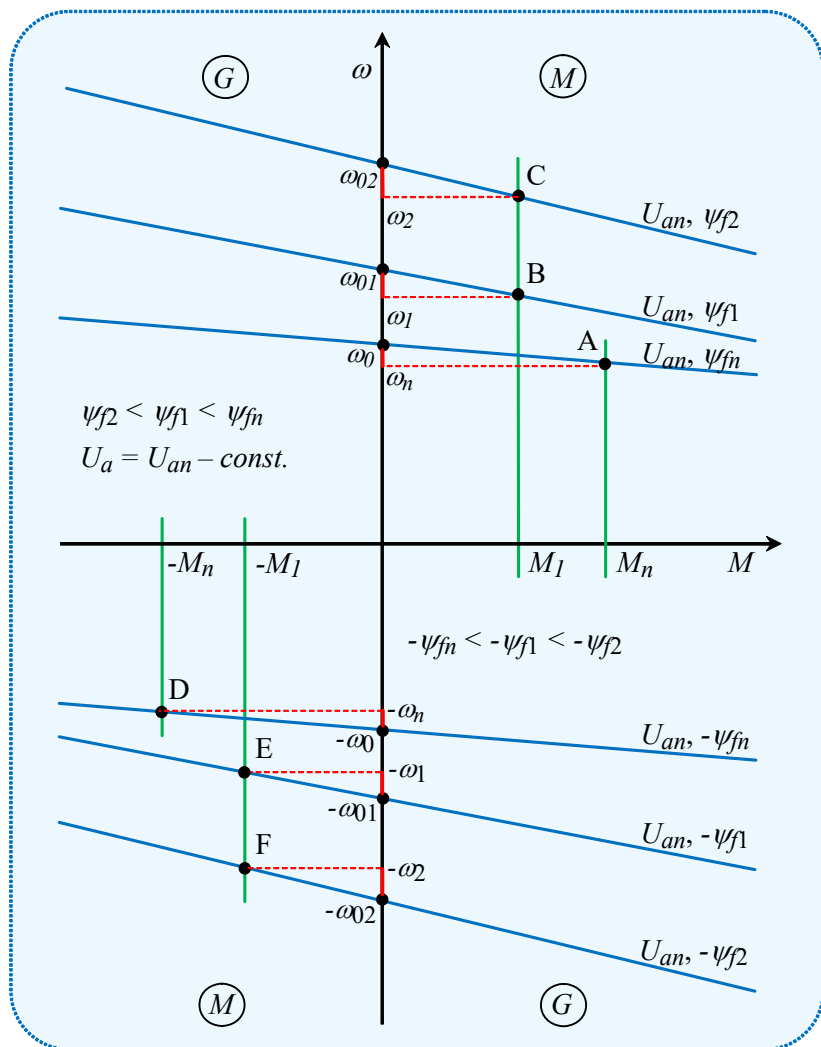
Uticaj promene napona armature na momentnu karakteristiku



$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e$$

Promenom napona armature, pri momentu opterećenja m_m , direktno se menja brzina obrtanja. Kako napon ne sme biti veći od nominalnog zaključujemo da se napon može samo smanjivati u odnosu na nominalnu vrednost. Ako se promeni polaritet napona, momentna ka-ka prelazi u 3. i 4. kvadrant. Brzina obrtanja rotora time menja smer, rotor se obrće u suprotnom smeru. Upravljanje brzinom obrtanja motora sa nezavisnom pobudom je jednostavno promenom napona armature pri konstantnom pobudnom fluksu. Da bi se promenio smer obrtanja potrebno je promeniti polaritet napona. Može se zaključiti da smer m_m određuje smer struje armature a da polaritet napona određuje smer brzine obrtanja rotora.

Uticaj promene pobudnog fluksa na momentnu karakteristiku

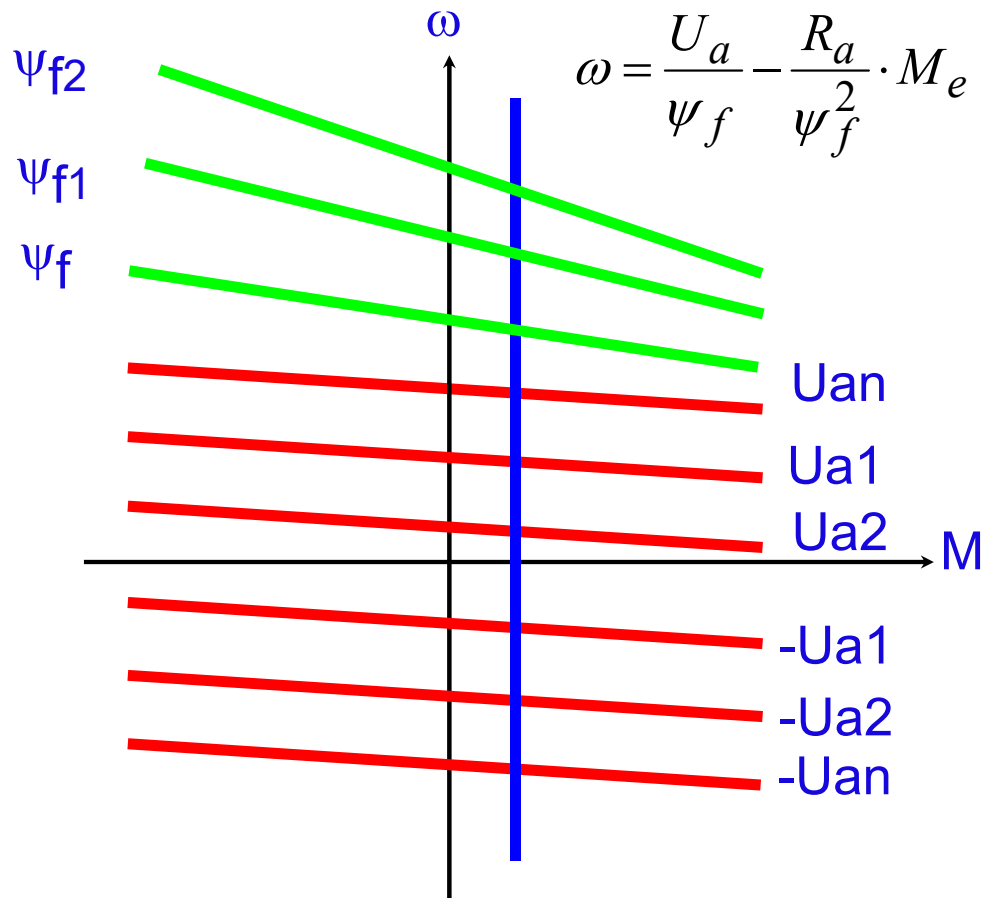


$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e$$

Familija momentnih ka-ka za promenljiv pobudni fluks pri nominalnom armaturnom naponu. Da mašina ne bi bila u zasićenju pobudni fluks se ne sme povećavati preko nominalne vrednosti. Dozvoljeno je samo smanjivanje pobudnog fluksa , struje, odnosno napona pobude ispod nominalne vrednosti. Smanjenje pobudnog fluksa ima za posledicu povećanje brzine praznog hoda i povećanje nagiba momentne karakteristike. Ukoliko napon pobude a time i struja pobude odnosno fluks pobude promene znak promeniće se i znak brzine praznog hoda a time i smer obrtanja. Momentna karakteristika se tada nalazi u trećem i četvrtom kvadrantu.

Promena smeru obrtanja se realizuje promenom polariteta U_a ili smeru pobudnog fluksa. Ovaj proces se zove reversiranje.

Upravljanje brzinom



Teorijski ako bi se fluks smanjio na vrednost nula brzina obrtanja bi bila beskonačno velika. Praktično zbog ograničenja od samih ležajeva i komutacije brzina obrtanja ne sme biti veća od neke maksimalne brzine, koja je najčešće jednaka dvostrukoj vrednosti nominalne brzine.

Dva su upravljačka ulaza za upravljanje brzinom obrtanja: **napon indukta** i **pobudni fluks**.

PRIMER: Motor DC struje sa NP pokreće RM kojoj se momenat opterećenja menja po zakonu $M=1,2 \cdot \omega$. Da li motor može trajno da pokreće ovu radnu mašinu ako se očekuje varijacija napona mreže od $\pm 10\%$ nominalnog napona? Nominalni podaci motora: 220V, 110A, 112rad/s $R_a=0,14\Omega$.

$$\psi_{fn} = \frac{U_{an} - R_a \cdot I_{an}}{\omega_n} = \frac{220 - 0,14 \cdot 110}{112} = 1,827 \text{Vs}$$

A: U_{an} , ψ_{fn} , $I_a = 1,2\omega / \psi_{fn}$

$$U_{an} = R_a \cdot I_{an} + \omega \cdot \psi_{fn} = R_a \frac{1,2\omega}{\psi_{fn}} + \omega \cdot \psi_{fn}$$

$$\omega = \frac{U_{an}}{R_a \frac{1,2}{\psi_{fn}} + \psi_{fn}} = 114,645 \text{rad/s}$$

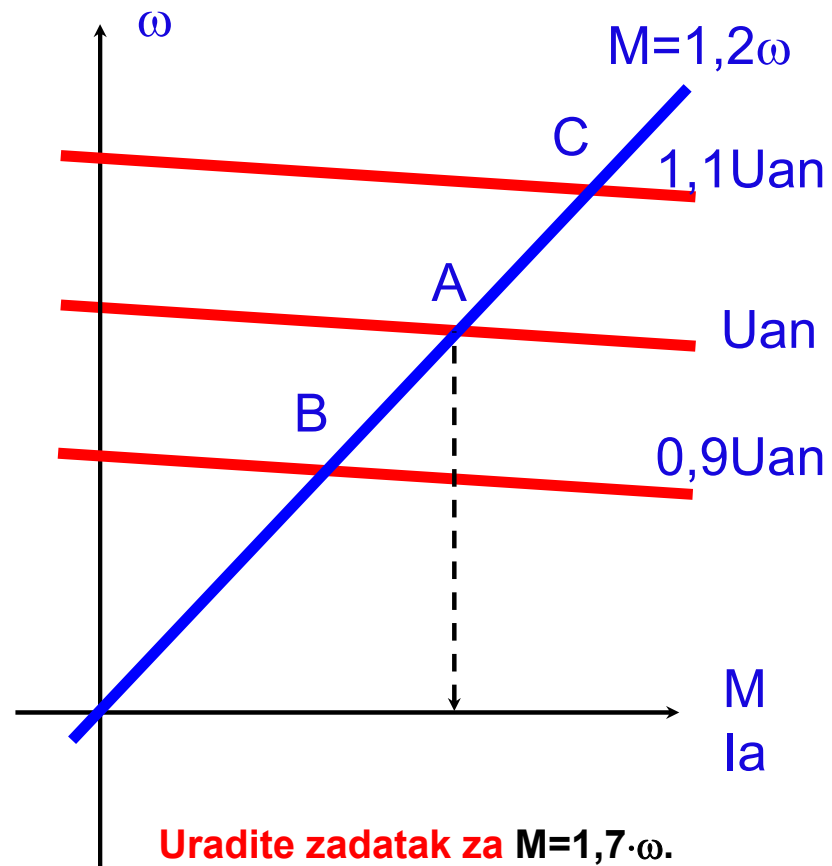
$$I_a = \frac{1,2 \cdot \omega}{\psi_{fn}} = \frac{1,2 \cdot 114,645}{1,827} = 75,3 \text{A}$$

B: $0,9U_{an}$, ψ_{fn} , $I_a = 1,2\omega / \psi_{fn}$

$$\omega = \frac{0,9 \cdot U_{an}}{R_a \frac{1,2}{\psi_{fn}} + \psi_{fn}} = 0,9 \cdot 114,645 = 103,18 \text{rad/s}$$

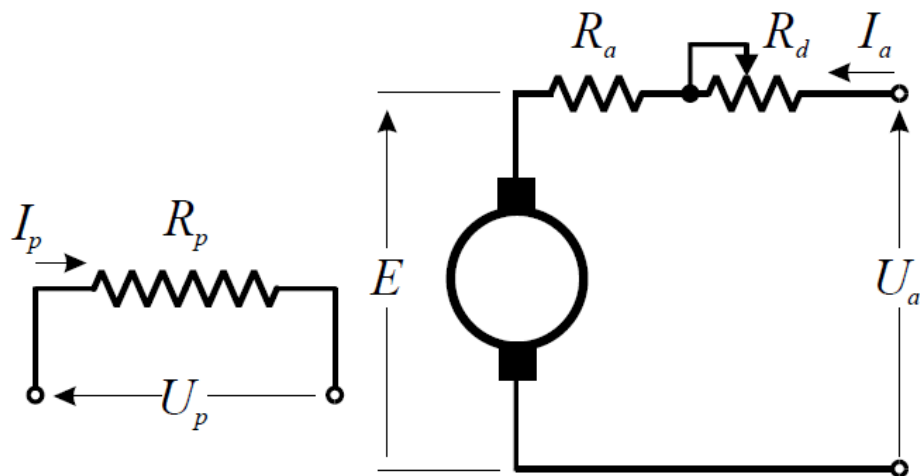
$$I_a = \frac{1,2 \cdot \omega}{\psi_{fn}} = \frac{1,2 \cdot 103,18}{1,827} = 67,77 \text{A}$$

C: $1,1U_{an}$, ψ_{fn} , $I_a = 1,2\omega / \psi_{fn}$



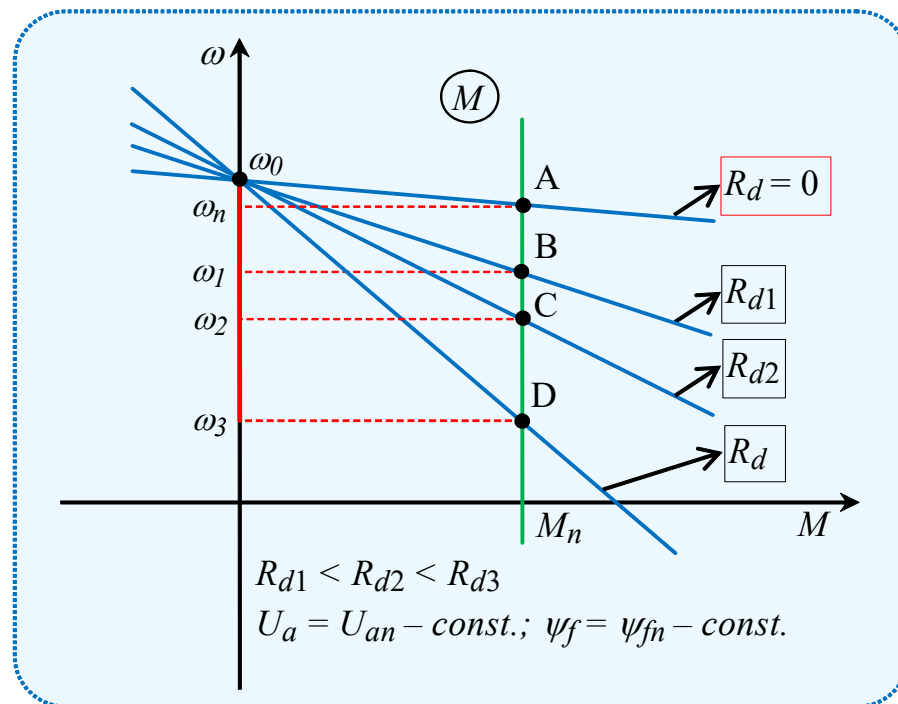
Uticaj dodatne otpornosti u kolu armature na momentnu karakteristiku

Promenom **otpornosti dodatnog otpornika u kolu armature**, brzina praznog hoda se ne menja ali se menja nagib momentne karakteristike.

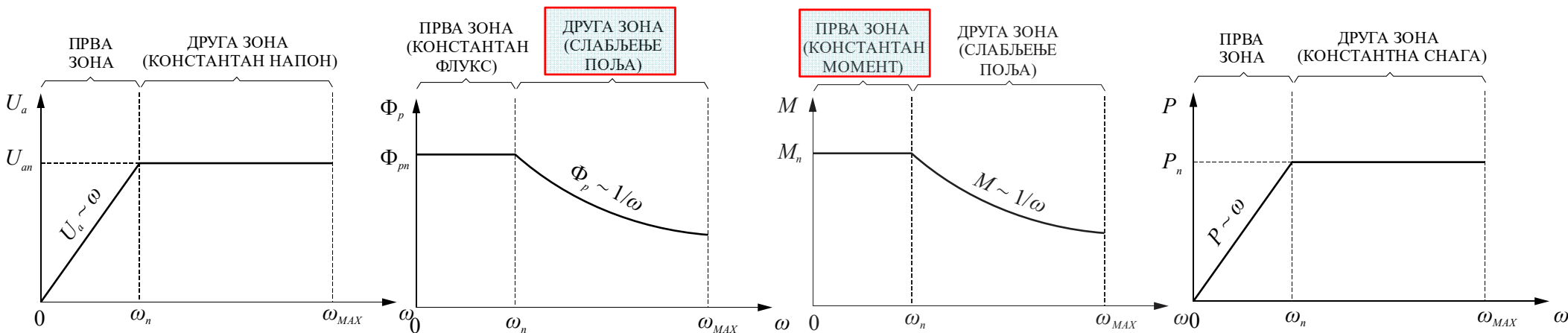


$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a + R_d}{\psi_f^2} \cdot M_e$$

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega(M_m)$$



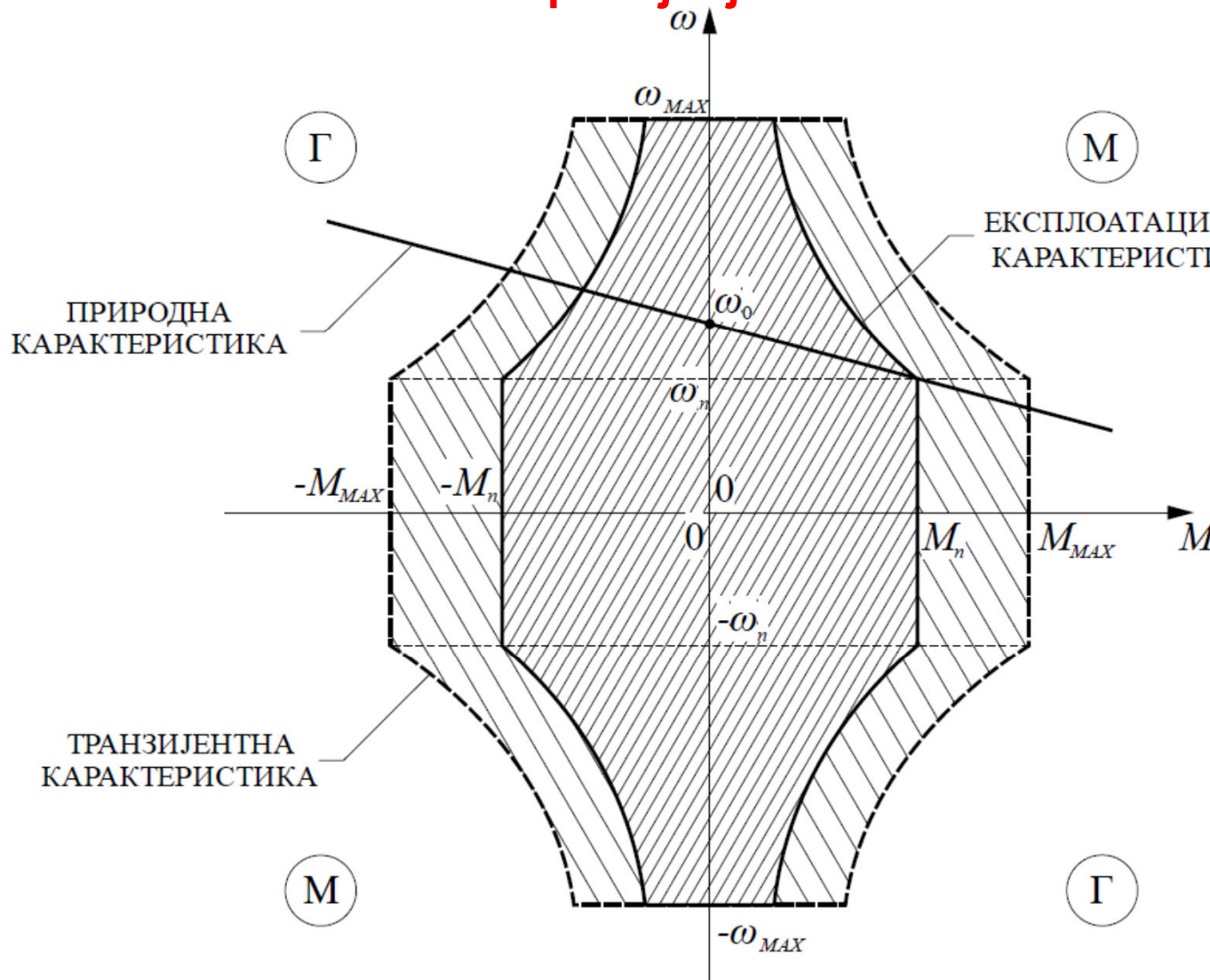
Upravljanje brzinom u širokom opsegu



•Dva su nezavisna načina upravljanja brzinom obrtanja: pomoću napona armature i pomoću fluksa pobude. Promenom napona armature od nule do nominalne vrednosti pri konstantnom fluksu pobude, brzina obrtanja se menja od nule do nominalne brzine. Kada se dostigne nominalan napon armature on se mora zadržati na nominalnoj vrednosti kako izolacija ne bi bila naponski ugrožena. Kako bi se brzina obrtanja povećala preko nominalne vrednosti potrebno je smanjivati pobudni fluks. Pobudni fluks se smanjuje obrnuto proporcionalno sa brzinom time je postignuto da je indukovana ems konstantna. Upravljanje brzinom se deli na dve zone: 1. zona je do nominalne brzine gde je fluks nominalan a napon armature se linearno menja sa brzinom 2. zona preko nominalne brzine u njoj se fluks smanjuje sa porastom brzine. Ova zona se uobičajeno zove zona slabljenje polja.

•Momenat mašine je srazmeran proizvodu struje armature i pobudnog fluksa. U prvoj zoni fluks je nominalan pa mašina može da razvija momenat koji je manji ili jednak nominalnom, kako struja armature ne bi bila veća od nominalne. Zato se prva zona uobičajeno zove zona konstantnog momenta. Kako u drugoj zoni fluks opada to mašina može da razvija momenta koji je manji od nominalnog kako ne bi bila strujno ugrožena. Za nominalnu vrednost struje armature momenat koga motor razvija mora da opada obrnuto srazmerno sa brzinom. Mehanička snaga na vratilu je jednaka proizvodu momenta i brzine. U prvoj zoni snaga je proporcionalna sa brzinom dok je u drugoj konstantna.

Upravljanje brzinom u širokom opsegu



Kada se uzme u obzir da mašina radi u motorskom i generatorskom režimu rada, da se može obrtati u oba smera tada prethodno prikazane zavisnosti definišu **eksploatacionu oblast** u ω - M ravni. Unutar ove oblasti su napon armature i fluks pobude manji ili jednaki svojim nominalnim vrednostima.

Mašinama se dozvoljavaju kratkotrajna preopterećenja ali da mašina ne bude termički ili mehanički ugrožena. Obično se dozvoljava da struja armature kratkotrajno bude $1,5 \div 1,8 I_{an}$, a što se preslikava u isti toliki porast momenta. Stoga se definiše **tranzijentna oblast**.

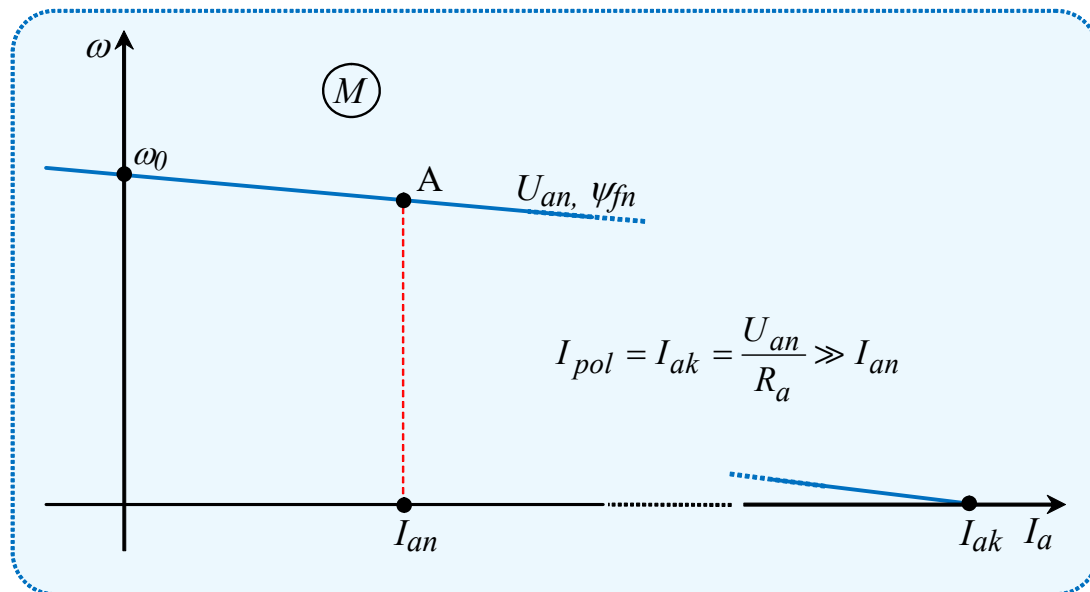
Pokretanje motora jednosmerne struje sa nezavisnom pob.

Pokreću se pri nominalnoj pobudi, uspostavi se nominalan fluks u mašini, a zatim se dovede napon armature. Ako bi u trenutku polaska motoru nametnuli nominalan napon armature, struja armature bi bila višestruko veća od nominalne vrednosti. U trenutku pokretanja indukovana ems ima vrednost nula pa je struja polaska:

$$I_{ak} \approx \frac{U_{an}}{R_a} \gg I_{an}$$

MOTOR BI BIO UNIŠTEN!!!

Velika polazna struja I_{ak} može da ošteti komutator i četkice.

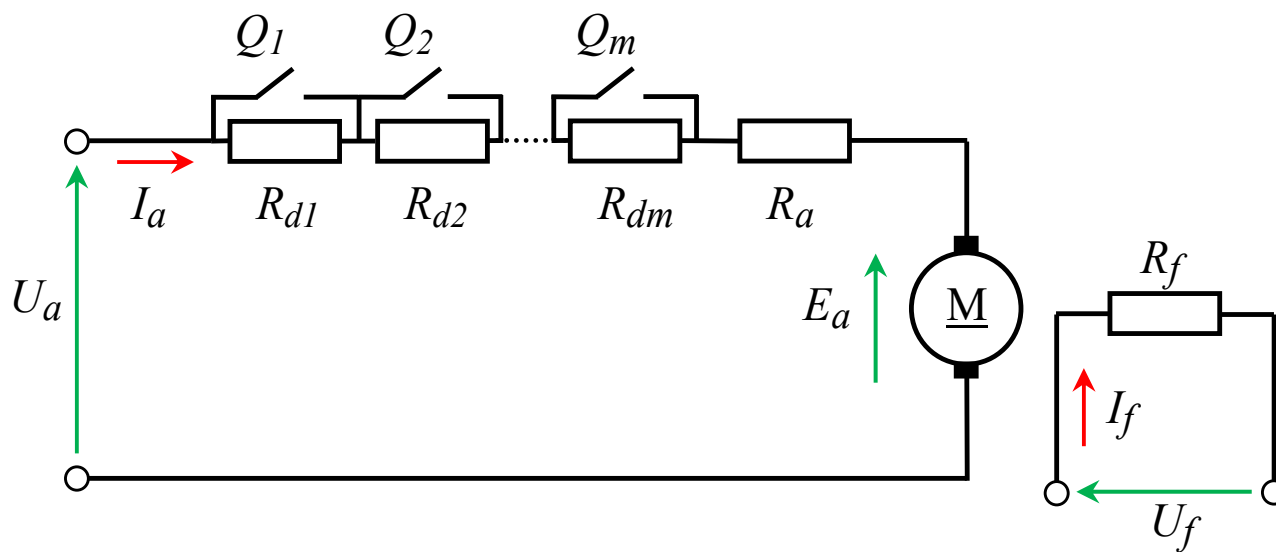


Pokretanje motora jednosmerne struje sa nezavisnom pob.

Navedeni problem prevelike struje polaska $I_{ak} \approx \frac{U_{an}}{R_a} \gg I_{an}$ može se rešiti na dva načina:

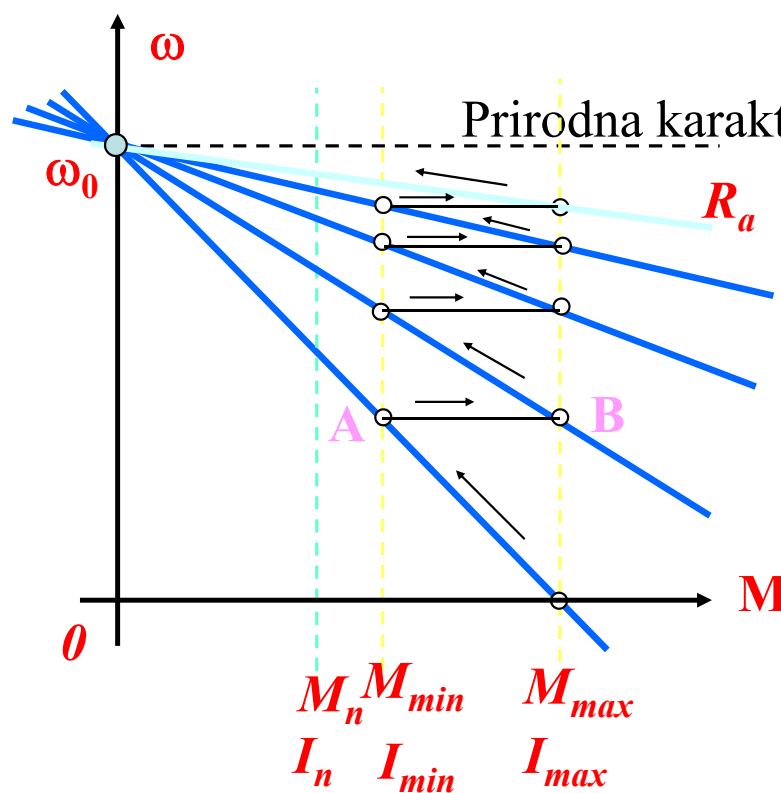
1. Dodavanjem dodatnog otpornika u kolo armature.

$$I_{ak} \approx \frac{U_{an}}{R_a + R_d}$$



Pokretanje motora jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom

U trenutku polaska u kolo armature se veže otpornik kako bi se pomoću njega ograničila struja polaska na maksimalnu prihvatljivu vrednost. Kako se motor zaleće to se njegova vrednost postepeno smanjuje održavajući struju armature ispod maksimalno prihvatljive vrednosti.



Proračun otpornika u kolu indukta

$$\omega = 0 \quad U = U_n \quad I = I_{\max}$$

početna vrednost otpora rotorskog kola

$$R_m = \frac{U}{I_{\max}} = R_a + \sum_1^m R_{dm}$$

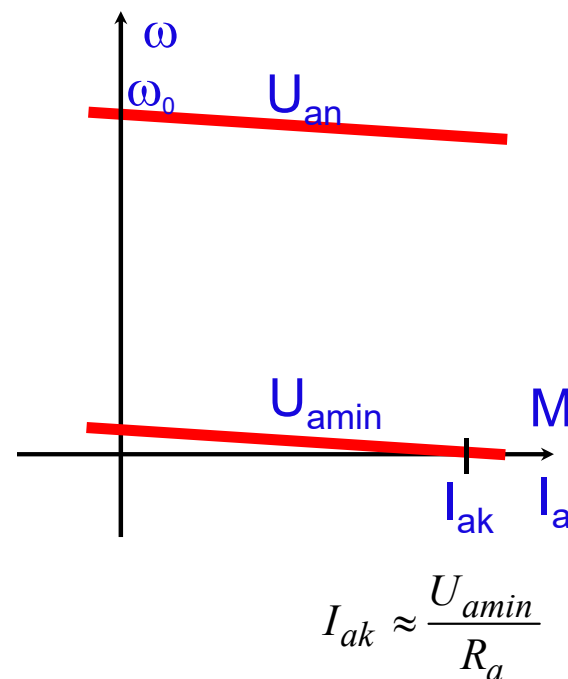
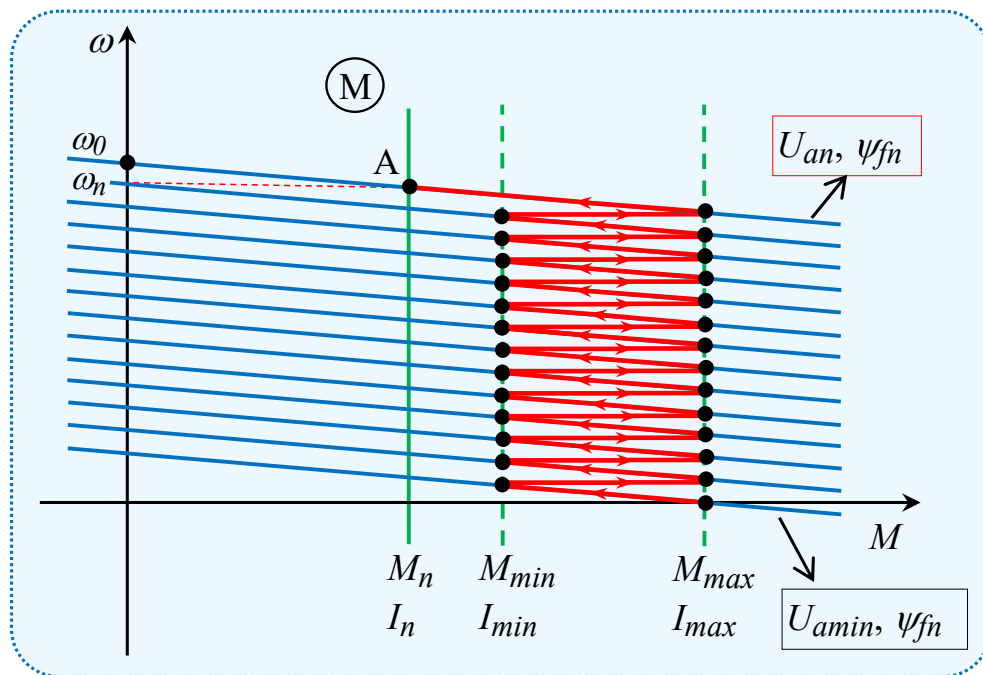
Minimalna vrednost struje, tačka A i
maksimalna vrednost struje tačka B

$$I_{\min} = \frac{U - E_m}{R_m} \quad I_{\max} = \frac{U - E_m}{R_{m-1}}$$

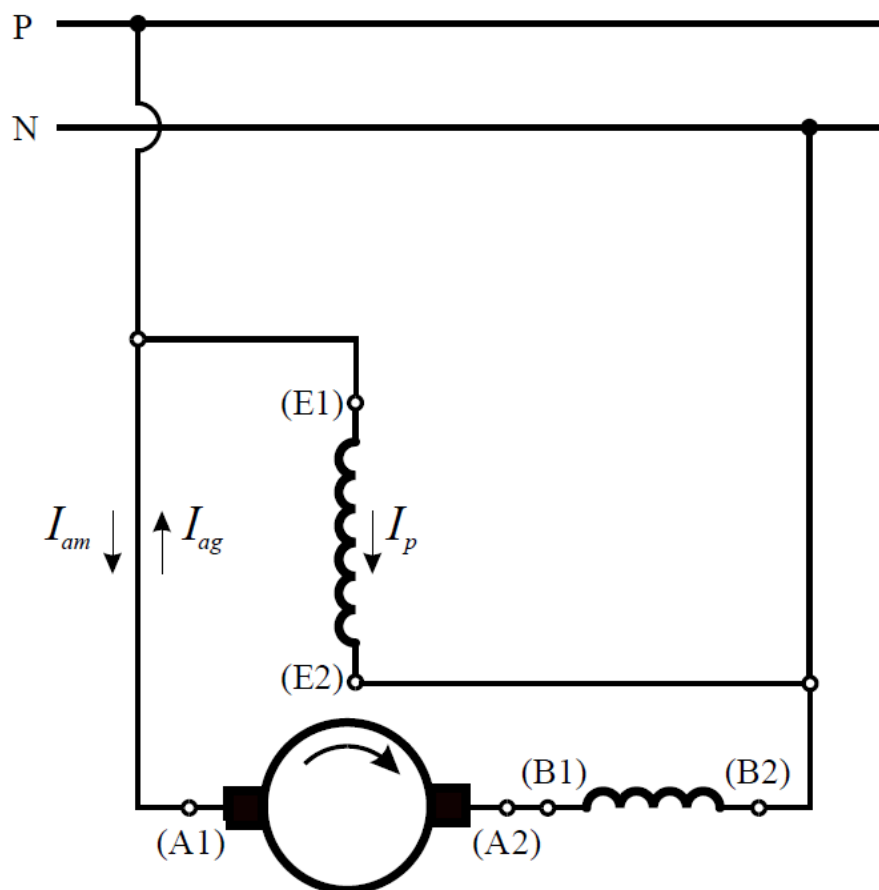
Pokretanje motora jednosmerne struje sa nezavisnom pob.

2. Pokretanjem motora sa sniženim naponom.

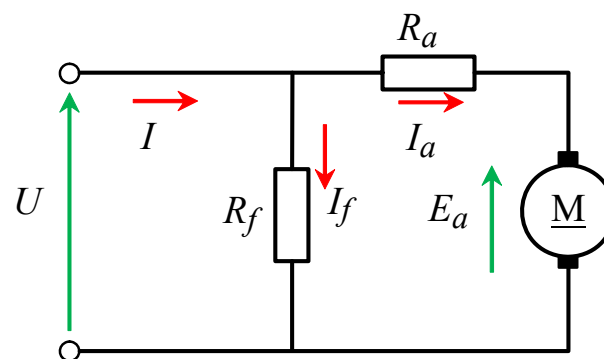
U trenutku polaska priključi se napon armature U_{amin} tako da se pomoću njega ograniči struja polaska na maksimalnu prihvatljivu vrednost I_{amax} . Kako se motor zaleće to se vrednost napona armature povećava održavajući struju armature ispod maksimalno prihvatljive vrednosti.



Mašine sa paralelnom pobudom



Način vezivanja



Ekvivalentna šema

Motor jednosmerne struje sa paralelnom pobudom

Spoljna karakteristika

Spoljna (momentna) karakteristika motora sa paralelnom pobudom je ista kao ka-ka motora sa nezavisnom pobudom, s tim da je nešto mekša.

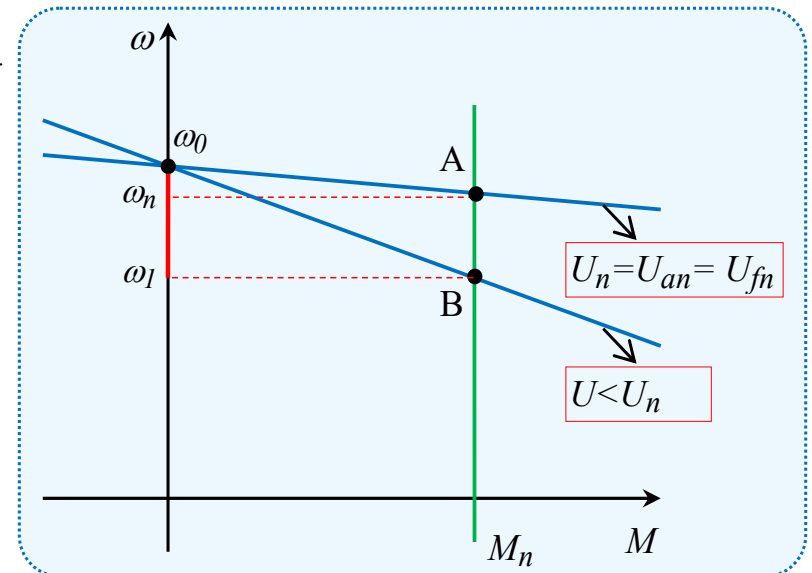
$$\omega = \frac{U_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e \qquad \omega = \omega_0 - \Delta\omega(M_m)$$

Promenom U_a menja se struja pobude. Ako je magnetno kolo linearno direktno sa promenom napona armature menja se fluks pobude, dok brzina praznog hoda ostaje približno konstantna.

$$\omega_0 = \frac{U_a}{\psi_f} \propto \frac{U_a}{I_f} \propto \frac{U_a}{U_a/R_f} \qquad \Delta\omega = \frac{R_a}{\psi_f^2} \cdot M_e \propto \frac{1}{(U_a/R_f)^2}$$

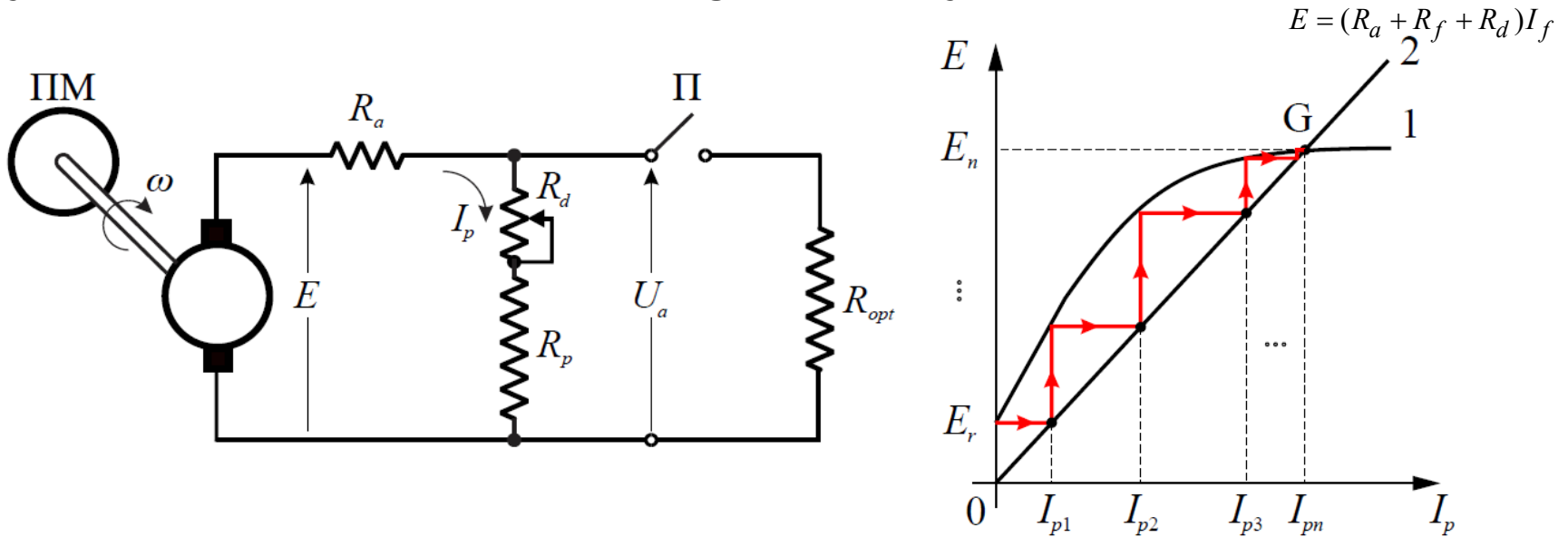
Kod paralelne pobude smanjenje napona armature može dovesti do toga da struja armature postane veća od nominalne.

Da li će motor reversirati promenom polariteta napona armature?



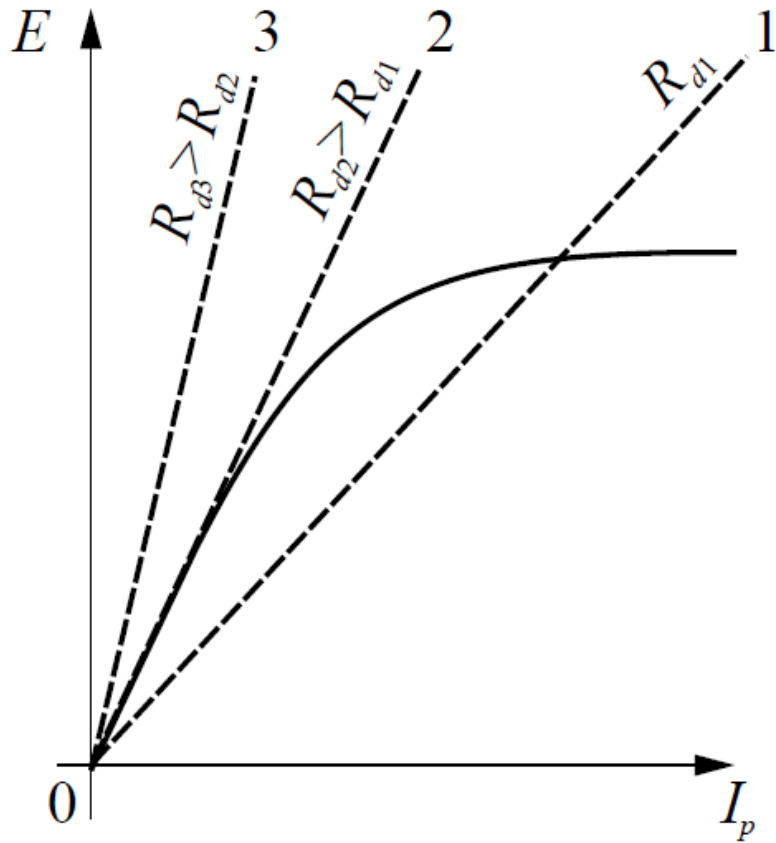
Generator jednosmerne struje sa paralelnom pobudom

Zahvaljujući procesu samopobuđivanja mašine sa paralelnom pobudom se mogu koristiti kao autonomni generatori. Rotor se obrće pogonskom mašinom, usled remanentne indukcije uspostaviće se ems E_r , koja će uspostaviti malu pobudnu struju. Ova struja će uspostaviti fluks koji se sabira sa remanentnim usled čega se indukuje veća ems itd.



Radna tačka je u preseku: 1- karakteristika praznog hoda, 2- karakteristika pobudnog kola pravac samopobude. Nakon što se uspostavi napon zatvori se prekidač i priključi potrošač.

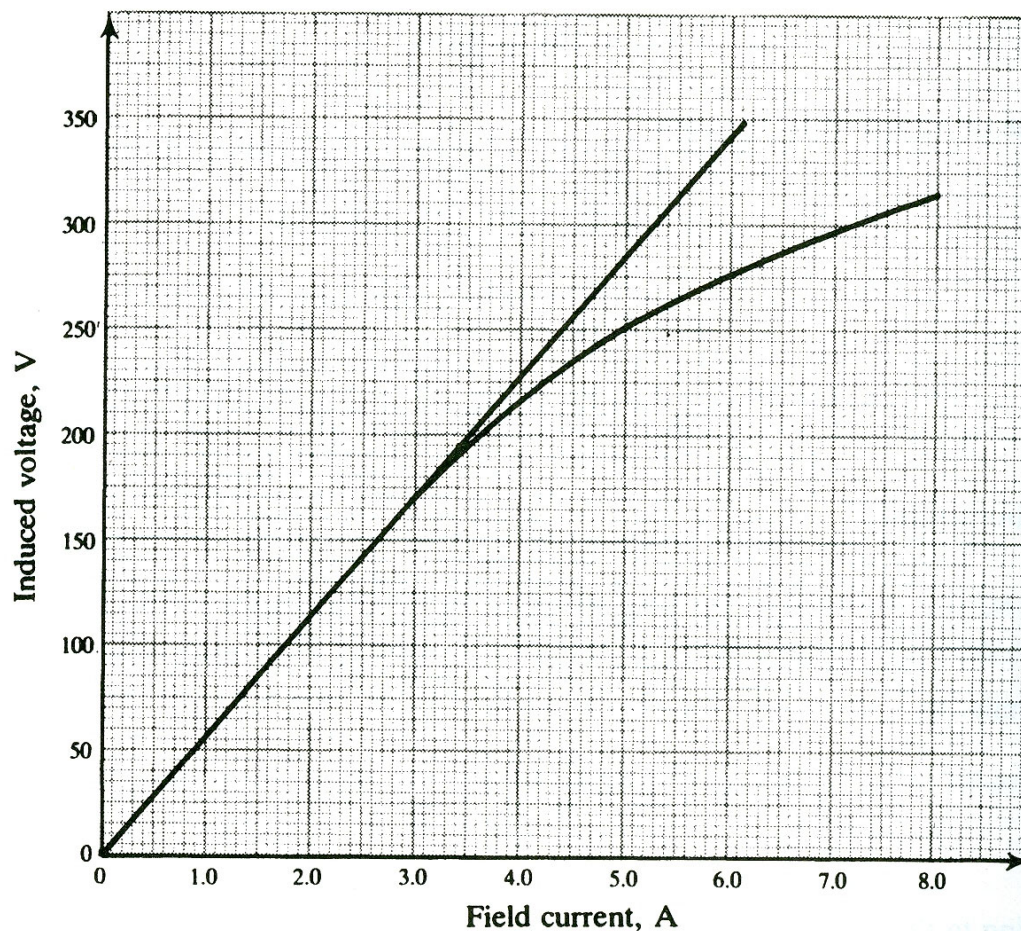
Generator jednosmerne struje sa paralelnom pobudom



Pomoću dodatnog otpornika u kolu pobude menja se nagib ka-ke pobude čime se menja radna tačka što pruža mogućnost da se koriguje napon na izlazu generatora. Povećanjem dodatnog otpornika raste nagib karakteristike što može da dovede do neuspešnog samopobuđivanja. Karakteristika 1. daje stacionarnu tačku, ka-ka 2 tangira ka-ku praznog hoda a za 3. nema preseka.

PRIMER: Generator jednosmerne struje sa paralelnom pobudom ima poznatu ka-ka magnećenja. Koliko iznosi kritična vrednost otpornosti u pobudi iznad koje se generator neće pobuditi? Koliko iznosi napon na priključcima generatora u praznom hodu i kolika je tada struja pobude?

VV1

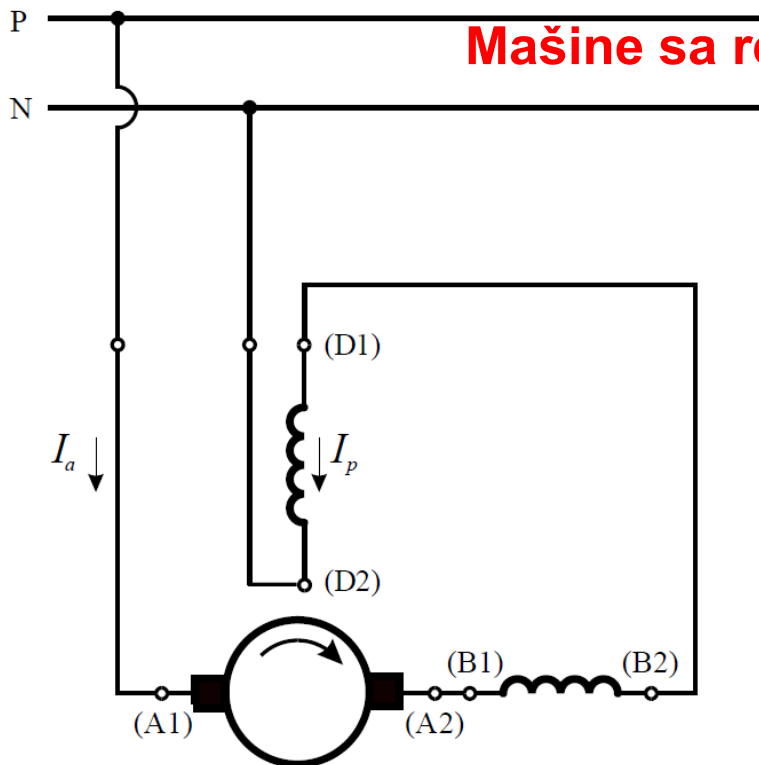


Slide 53

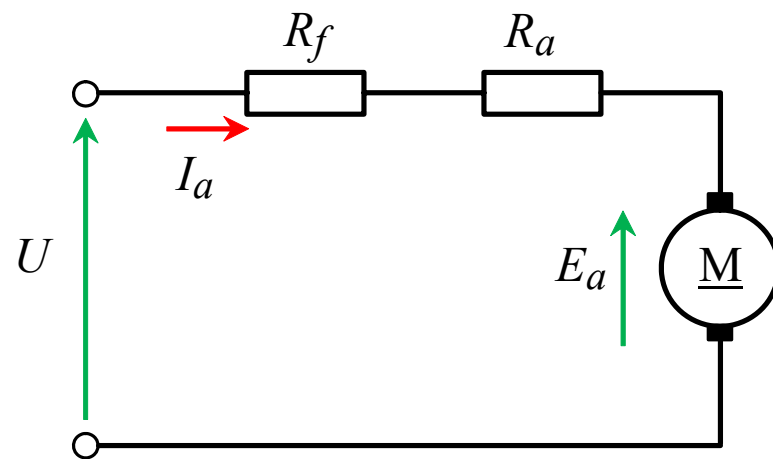
VV1

56oma, 250V

Veran Vasić, 17.02.2009.



Način vezivanja



Ekvivalentna šema

Da li će motor reversirati promenom polariteta napona armature?

Motor jednosmerne struje sa rednom pobudom

Spoljna karakteristika

Pretpostavimo da je motor nezasićen:

$$\psi_f = L_f \cdot I_a$$

Jednačina naponske ravnoteže:

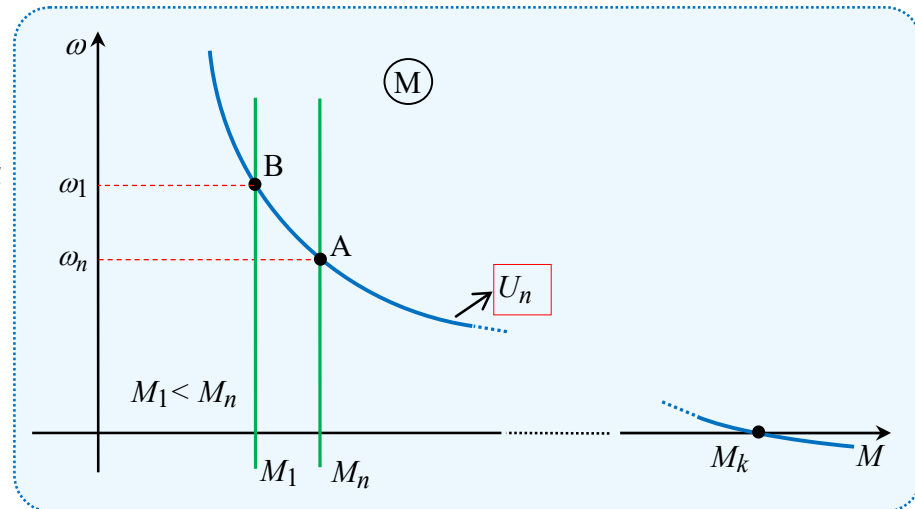
$$U_a = R_u \cdot I_a + \omega \cdot \psi_f = (R_u + \omega \cdot L_f) \cdot I_a$$

Elektromagnetni momenat motora:

$$M_e = \psi_f \cdot I_a = L_f \cdot I_a^2$$

Spoljna (mehanička) karakteristika motora:

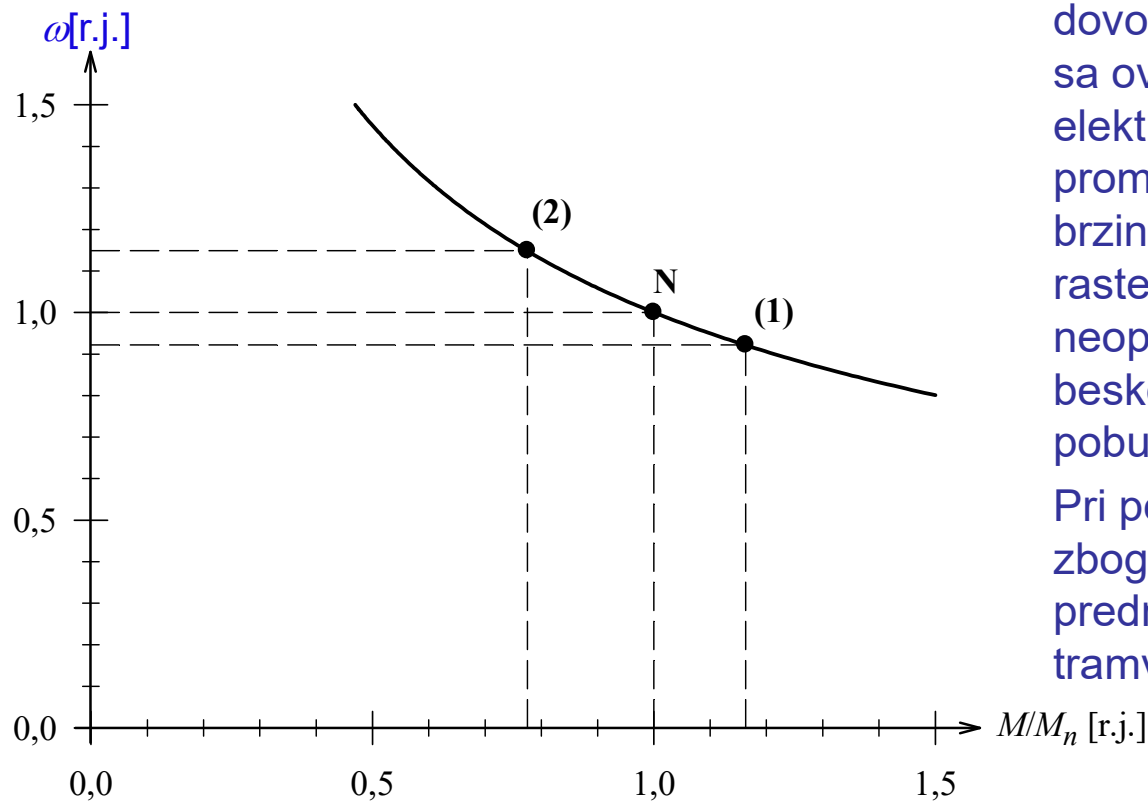
$$\omega = \frac{U_a}{\sqrt{M_{af} \cdot M_e}} - \frac{R_u}{L_f}$$



KARAKTERISTIKA JE MEKA

Motor jednosmerne struje sa rednom pobudom

Spoljna karakteristika



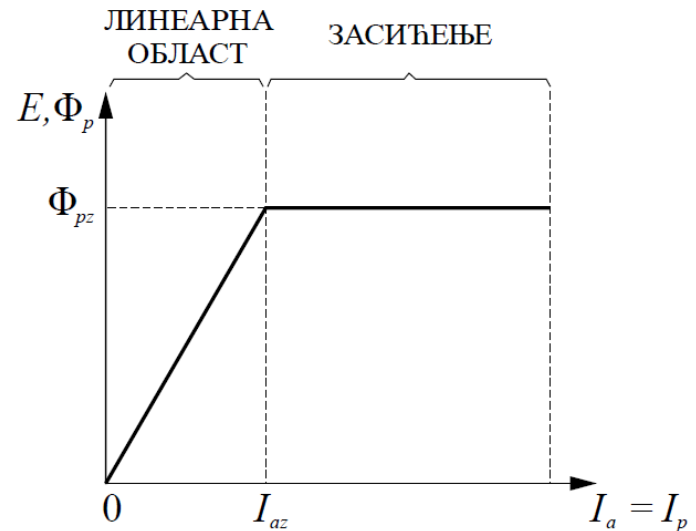
Momenta ka-ka je meka, male promene momenta dovode do velikih promena brzine i obrnuto. Motor sa ovakvom ka-kom je pogodan da se koristi u električnoj vuči gde je potrebno da se dobije velika promena momenta motora pri maloj promeni brzine (motor na uzbrdici). Kako se motor rasterećuje brzina obrtanja raste. Teorijski neopterećen motor sa rednom pobudom bi imao beskonačnu brzinu obrtanja. Motor sa rednom pobudom se ne sme pustiti u rad neopterećen. Pri pokretanju ovaj motor razvija veliki momenat zbog čega ova mašina dobro ubrzava što je prednost za primenu u električnoj vuči (vozovi, tramvaj, trolejbus).

Uticaj nelinearnosti magnetnog kola

Kod mašina sa rednom pobudom struja pobude jednaka je struji armature. Struja armature (pobude) menja se u širokom opsegu sa promenom momenta opterećenja.

Za male vrednosti struje motora, fluks i EMS zavise linearno od struje.

Kada usled opterećenja struja motora poraste magnetno kolo zasiti tj. fluks postaje konstantan. Tada se motor sa rednom pobudom ponaša kao motor sa nezavisnom pobudom.



Univerzalni motor

Univerzalni motor je vrsta motora sa rednom pobudom namenjena za rad pri naizmeničnom naponu napajanja. Univerzalni motor može da radi i sa jednosmernim i sa naizmeničnim naponom, pa je po ovome dobio ime. Kod motora sa rednom pobudom namotaji pobude i armatura su vezani na red. Kada kroz njih protiče naizmenična struja istovremeno će se menjati znak fluksa pobude i smer struje armature. Na taj način se postiže srednja vrednost momenta konverzije različita od nule. Kada se kroz namotaj motora propusti naizmenična struja trenutna vrednost momenta konverzije

$$m_e(t) = \psi_f \cdot i_a(t) = c_r \cdot i_a^2(t) = c_r \cdot I_2^2 \sin^2(\omega t) = c_r \cdot \frac{I_m^2}{2} (1 - \cos(2\omega t))$$

ima srednju vrednost različitu od nule i naizmeničnu komponentu. Pobudni fluks univerzalnog motora je vremenski promenljiv zbog čega se moraju preduzeti koraci za smanjenje gubitaka u gvožđu. Ovo je razlog zašto se magnetno kolo statora izrađuje od paketa limova. Namenjeni su za malu snagu, imaju velike brzine obrtanja, male mase, dimenzije i cene.

PRIMER: Na glavne polove paralelnog generatora potrebno je ugraditi rednu pobudu sa kojom se napon generatora u praznom hodu povećava sa 230V na 240V pri nazivnom opterećenju. Struja paralelne pobude u ph. je 5A a pri nazivnom opterećenju i željenih 240V potrebno je 6,5A. Paralelna pobuda ima 1000navojaka/polu a struja armature je 500A pri nominalnom opterećenju. Potrebno je odrediti a) MMF redne pobude b) broj navojaka redne pobude.

a) Pri 230V $MMF = i_{fp} \cdot N_{fp} = 5 \cdot 1000 = 5000$

Za željenih 240V pri nominalnom opterećenju:

$$MMF = i_{fp} \cdot N_{fp} = 6,5 \cdot 1000 = 6500$$

MMF serijske pobude treba da iznosi :

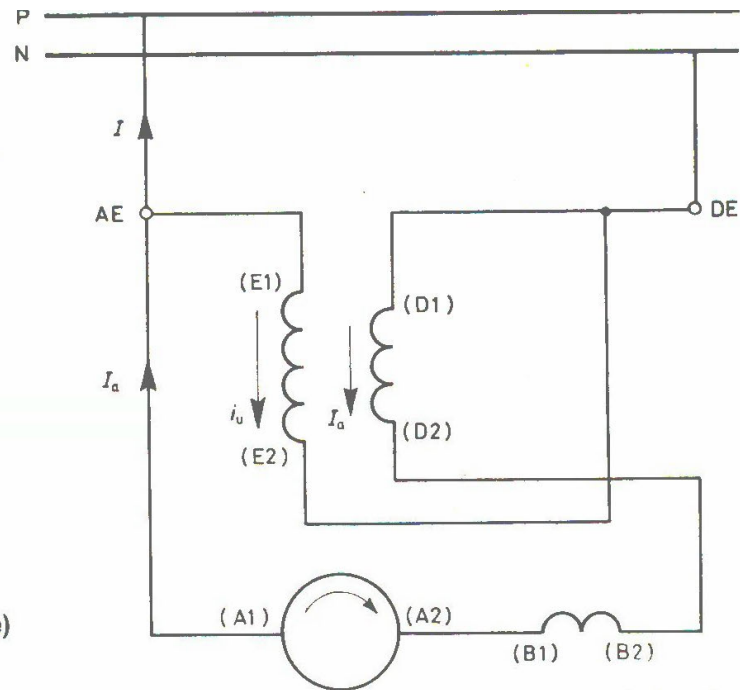
$$MMF_s = 6500 - 5000 = 1500$$

b) Broj navojaka redne pobude $N_{fr} = \frac{MMF}{I_a} = \frac{1500}{500} = 3 \text{Navojka}$

DOBILI SMO OD PARALEL. GENERATORA SLOŽENU POBUDU GENERATORA.

Koliko će iznositi napon generatora pri nominalnom opterećenju ako se redna pobuda greškom veže tako da ima demagnetišuće dejstvo tj. da urušava osnovni fluks paralelne pobude?

KOMPAUNDNI GENERATOR



Si. 12. Kompaundirani generator (s pomočnim polovima, bez kompenzacije)

STRUKTURA GUBITAKA MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE

Ekonomski optimum ne daje najlakšu i najjeftiniju mašinu, već mašinu kojoj su troškovi snage gubitaka smanjeni na račun nešto povećanih dimenzija.

Gubici: Mehanički, u gvožđu, električni.

Mehanički gubici:

- Gubici na trenje
- Gubici na ventilaciju
- Mehaničke gubitke na kolektoru

ELEKTRIČNI GUBICI

-Gubici u odgovarajućim namotajima. Zavise od kvadrata struje kroz taj namotaj.

-Električni gubici na kolektoru.

- Nastaju pri prolasku struje kroz prelaznu otpornost $R_{\check{c}}$ koja ima inverznu zavisnost od struje.
- Ne mere se.
- Određuju se kao:

$$P_{el\check{c}} = \Delta U_{\check{c}} \cdot I_a$$

gde je $\Delta U_{\check{c}} = 0,3 \text{ V}$ za metalgrafitne

$\Delta U_{\check{c}} = 1 \text{ V}$ za grafitne.

SNAGA GUBITAKA KOD MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE

GUBICI U GVOŽĐU

Gubici u gvožđu postoje u zubcima i jarmu rotora kao i u gvožđu glavnih polova. Proporcionalni su masi gvožđa, $B_{\max}^2$, $f^{1,3}$. Zavise od kvaliteta limova upotrebljenih za izradu magnetnog kola.

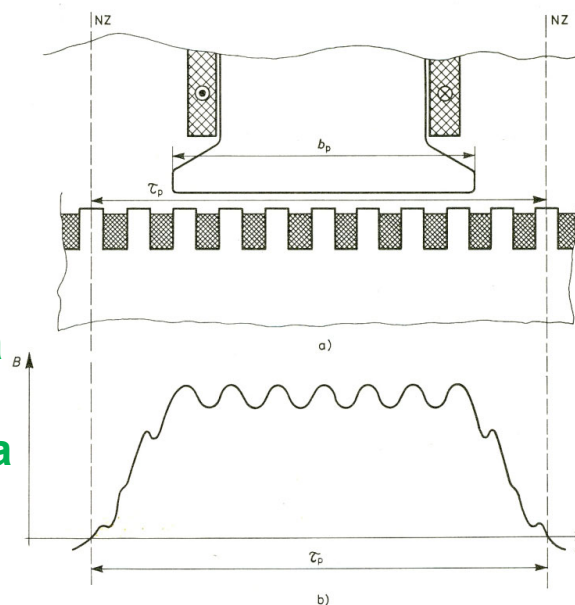
Gubici u gvožđu u zupcima rotora ne zavise od opterećenja kod kompenzovanih mašina, dok kod nekompenzovanih mašina rastu sa opterećenjem zbog porasta $B_{\max}$ usled reakcije armature.

Gubici u gvožđu glavnih polova. Indukcija pod polom ima pulsacije usled ožlebljenosti rotora. Ovi gubici proporcionalni su kvadratu magnetne indukcije pulsacije.

DODATNI GUBICI

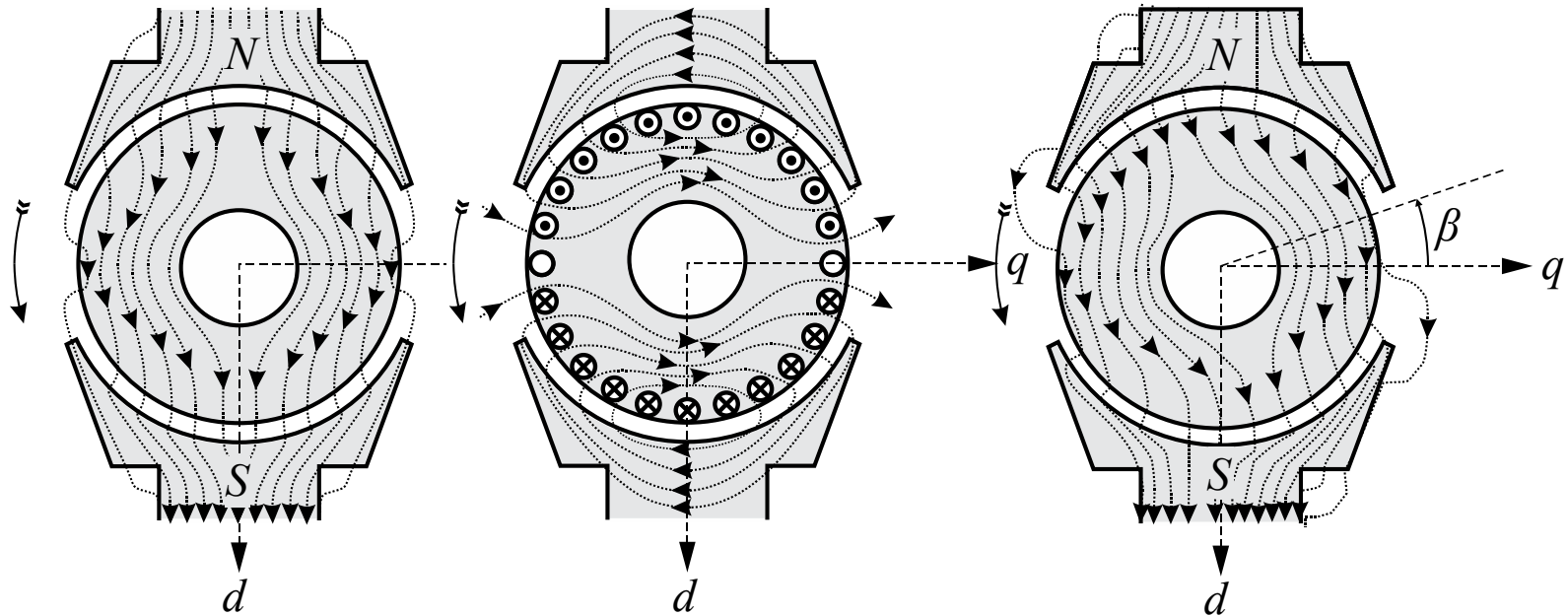
-Dodatni gubici u armaturnom namotaju nastaju zbog delovanja polja armature (reakcije indukta). Struja armature ima naizmeničan karakter. Ovi se gubici pojavljuju zbog potiskivanja struje u provodnicima izazvanim poprečnim rasipnim poljem.

-Zavise od kvadrata struje armature, omskog otpora armature naizmeničnoj struji.



Sl. 3. a) Raspored utora na jednome polnom koraku stroja s deset utora po polu, i to u trenutku kad su neutralne zone na sredini zubi
b) Pripadni načelni raspored indukcije na obodu rotora

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)



Pojednostavljen prikaz magnetnog polja kod mašine jednosmerne struje:

a) prazan hod, polje potiče samo od pobudne struje

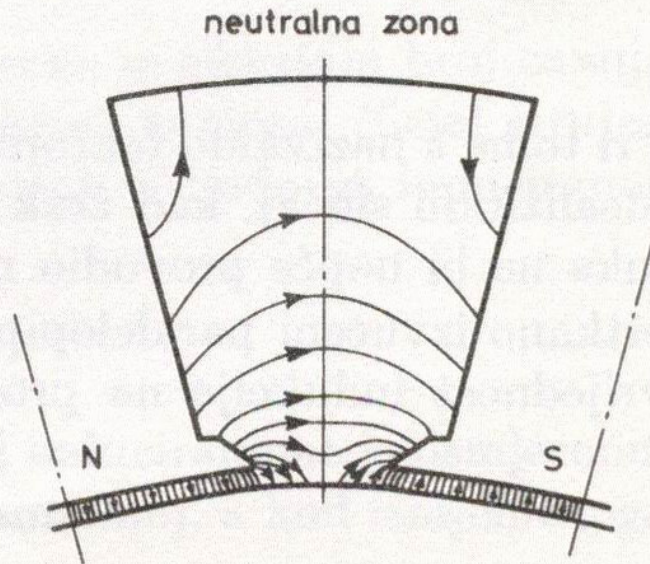
b) mašina je nepobuđena sa strane polova, ali je pobuđena strujom armature. Zahvaljujući komutatoru fluks armature je nepokretan u odnosu na fluks pobude i sa njime se može sabirati.

c) pobuđena i opterećena mašina. Rezultantno polje je superpozicija pobudnog i armaturnog polja.

Fluks pobude deluje u pravcu polova statora – direktna ili d osa (*direct*),

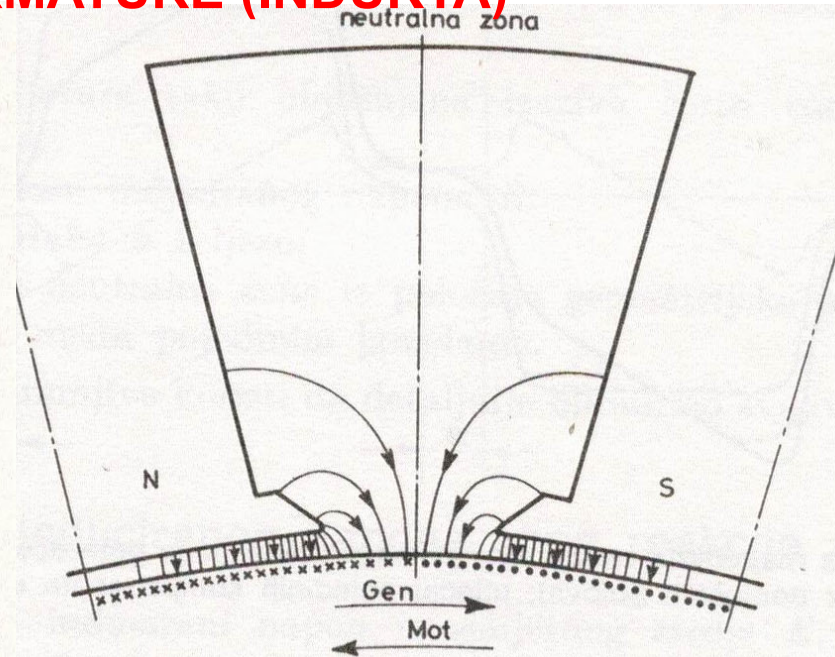
Fluks reakcije armature deluje u ortogonalnoj osi – poprečna ili q osa (*quadrature*)

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)



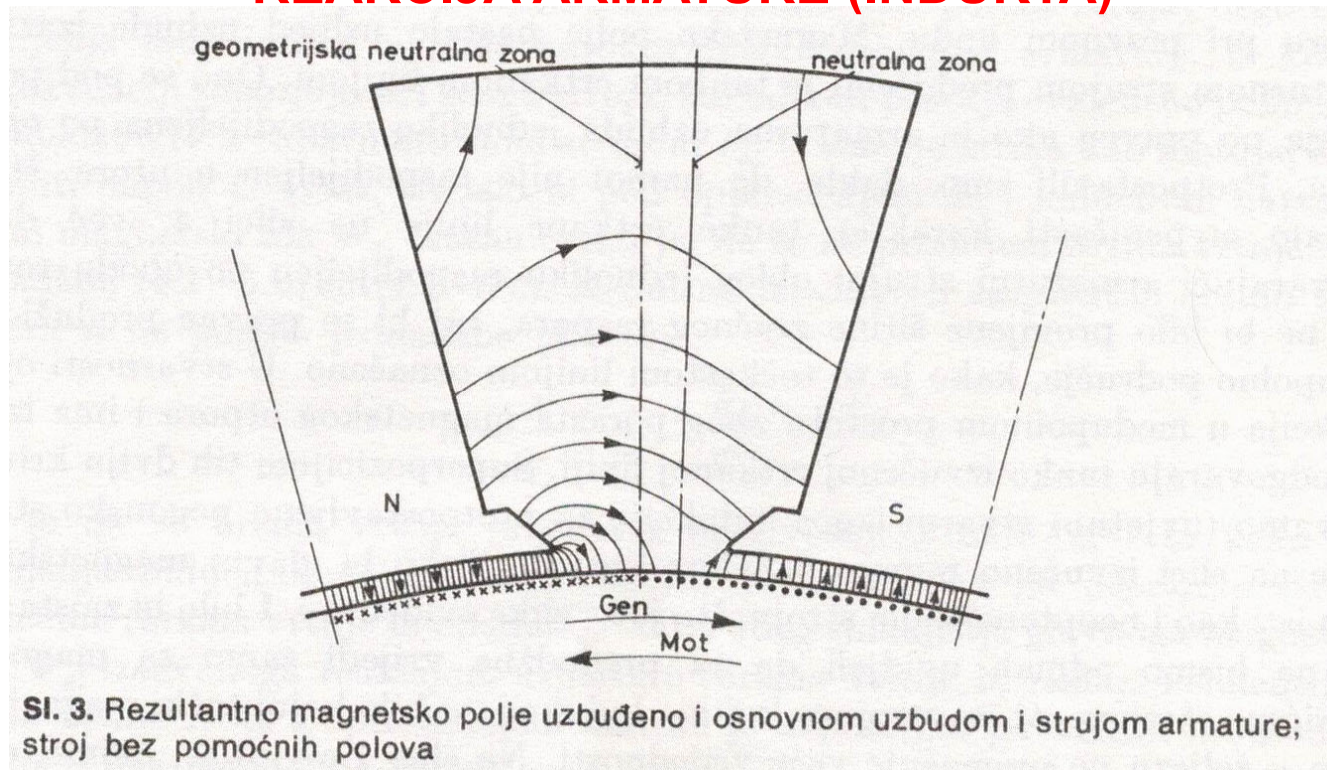
Magnetno polje u praznom hodu.

Neutralna zona se nalazi na simetrali međupolnog prostora.



Magnetno polje od struje armature. Nepobuđeni glavni polovi.

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)

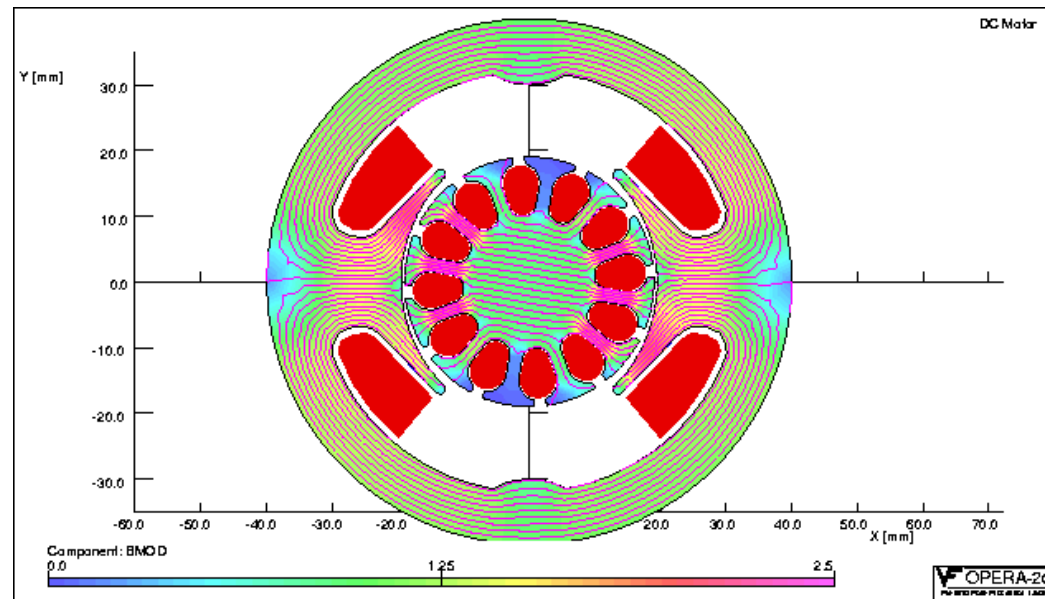


Proticanjem struje armature nastaje rotorski fluks koji utiče na oblik polja u zazoru. Ova pojava se naziva reakcija armature.

Zbog reakcije armature, indukcija ispod jednog kraja pola postaje veća nego ispod drugog kraja, što dovodi do izobličenja fluksa.

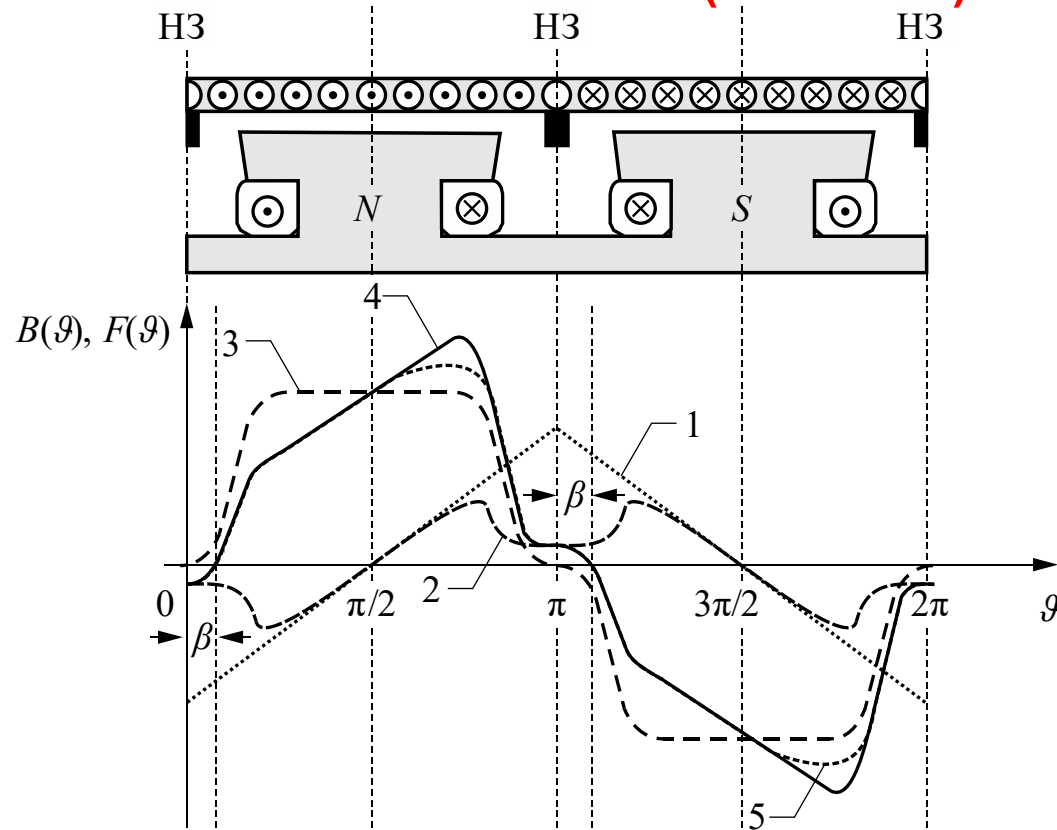
Neutralna zona se pomerila iz geometrijske neutralne zone.

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)



Zbog reakcije armature, indukcija ispod jednog kraja pola postaje veća nego ispod drugog kraja, što dovodi do izobličenja fluksa.

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)



Pojednostavljen prikaz magnetnog polja kod mašine jednosmerne struje. **Magnetno polje u zazoru kao superpozicija pobudnog polja i polja reakcije.**

- 1 – MPS armature; 2 – Magnetna indukcija reakcije armature;
- 3 – Magnetna indukcija pobude; 4 – rezultatna magnetna indukcija;
- 5 – rezultatna magnetna indukcija (uvaženo zasićenje)

REAKCIJA ARMATURE (INDUKTA)

Osnovne neugodne i neželjene posledice reakcije armature:

- Smanjenje resultantnog fluksa, što umanjuje indukovanu elektromotornu silu E , umanjuje silu na provodnik sa strujom (momenat).
- Pomak stvarne neutralne zone iz geometrijske neutralne zone. Ovaj pomak zavisi struje armature – opterećenja. Provodnici navojka koji komutuje su izloženi magnetnoj indukciji pa se komutacija odvija pod lošim okolnostima postoji indukovana ems.
- Povećanje indukcije u rotoru $\Rightarrow$ povećanje gubitaka u gvožđu.
- Porast napona između lamela. Napon između susednih lamela komutatora, raste sa rastom indukcije. Ako pređe 35V dolazi do preskoka između dve susedne lamele. Usled ugljene prašine luk može da se proširi po celom komutatoru – kružna vatra koji oštećuje komutator.

POMAK NEUTRALNE ZONE USLED REAKCIJA ARMATURE

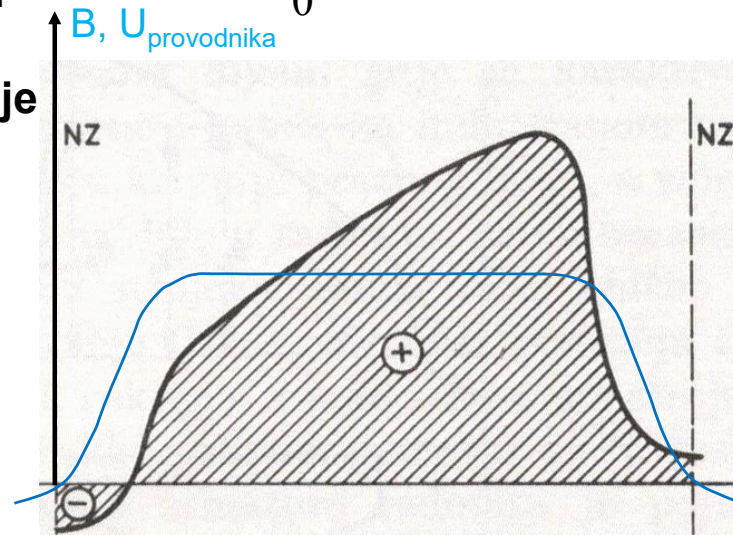
-Zbog reakcije armature, električna neutralna zona je pomaknuta iz geometrijske neutralne zone.

Podsećanje. EMS je proizvod brzine i fluksa po polu (prostorni integral indukcije preko polnog koraka).

Zbog reakcije armature smanjio se fluks po polu u odnosu na vrednost u praznom hodu.

Pojedini vektori napona provodnika u granama koje ograničavaju četkice se poništavaju jer se nalaze pod magnetnom indukcijom suprotne magnetne polarnosti. Posledica: **EMS je manja nego u praznom hodu.**

$$\Phi_p = l \int_0^{\tau_p} B(x) dx$$



-Zbog pomeranja stvarne neutralne zone iz geometrijske, navojak koji komutuje zahvaćen je glavnim fluksom, EMS u navojku je različita od nule. Posledica je loša komutacija – iskrenje na četkicama.

POVEĆANJE GUBITAKA U GVOŽĐU USLED REAKCIJA ARMATURE

Gubici u gvožđu armature zavise od:

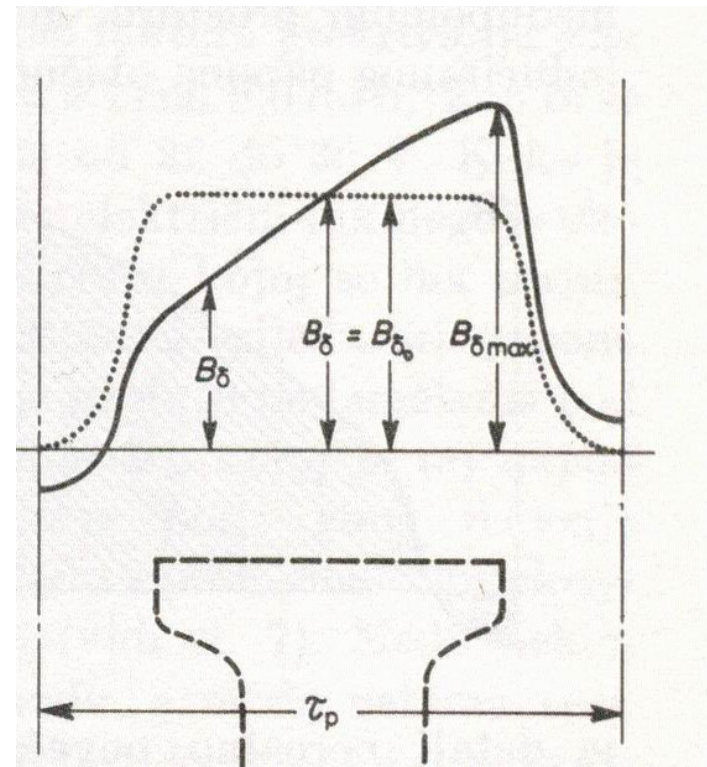
-Učestanosti struje u armaturi:

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

-Maksimalne indukcije u gvožđu:

$$B_{\delta \max}$$

Reakcija armature (poprečno polje) nema praktičnog uticaja na gubitke u gvožđu statora (jarma).



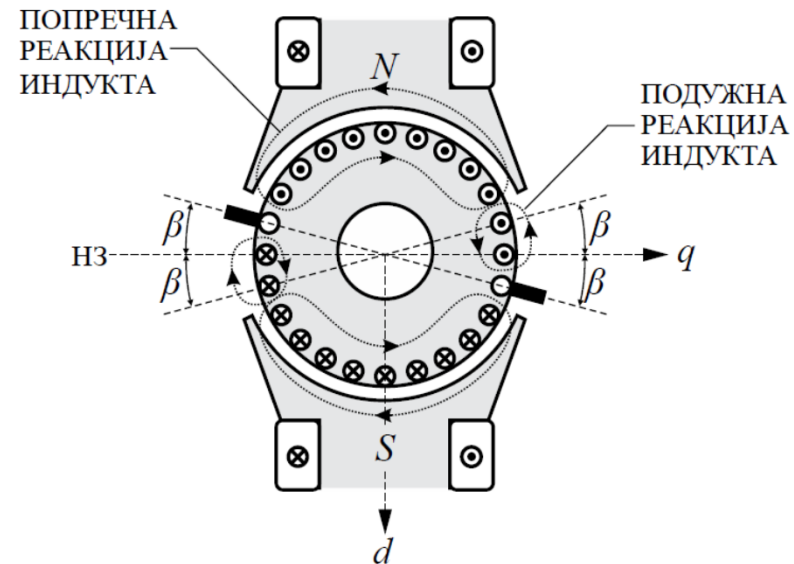
Magnetna indukcija u vazдушnom zazoru.

SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE

Postoji više načina za umanjeње ili eliminaciju reakcije armature koji se razlikuju po složenosti izrade kao i po efektima postignutim pri suzbijanju reakcije. Preduzima se sledeće u cilju suzbijanja reakcije armature: pomak četkica u el. neutralnu zonu, dodavanje kompaundnog, komepnzacionog namotaja i namotaja pomoćnih polova. Neki od ovih načina se mogu kombinovati.

SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – POMAK ČETKICA

Najjednostavniji način za suzbijanje uticaja reakcije armature na proces komutacije je pomeranje četkica u stvarnu neutralnu zonu. Sa porastom struje armature raste i reakcija armature. Neutralna zona se pomera za ugao β koji zavisi od struje armature. Problem sa pogoršanim uslovima komutacije se može umanjiti ili čak eliminisati pmeranjem četkica iz geometrijske neutralne zone u stvarnu neutralnu zonu – poznato kao pomak četkica.

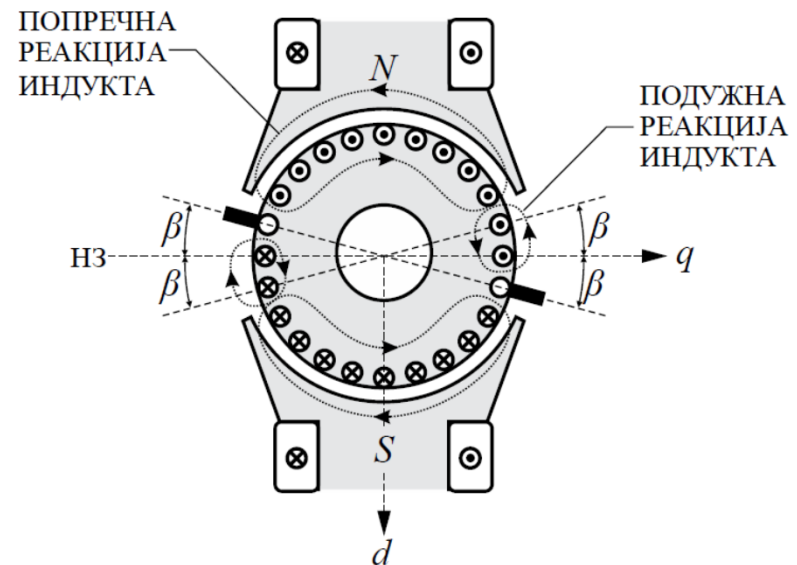


SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – POMAK ČETKICA

Pomak četkica u električnu neutralnu zonu ima sledeće loše efekte:

-Neutralna zona se pomera u prostoru sa promenom struje armature (opterećenja). Pomak četkica vredi samo za jednu vrednost struje armature. Ako bi se pomak četkica koristio za suzbijanje armature bilo bi potrebno četkice pomerati sa promenom opterećenja. Ovo se ne primenjuje.

-Magnetno polje struje armature nastalo pomeranjem četkica iz geometrijske neutralne zone pored poprečne komponente ima i podužnu. Podužna komponenta smanjuje glavno magnetno polje.



SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – kompaundni namotaj

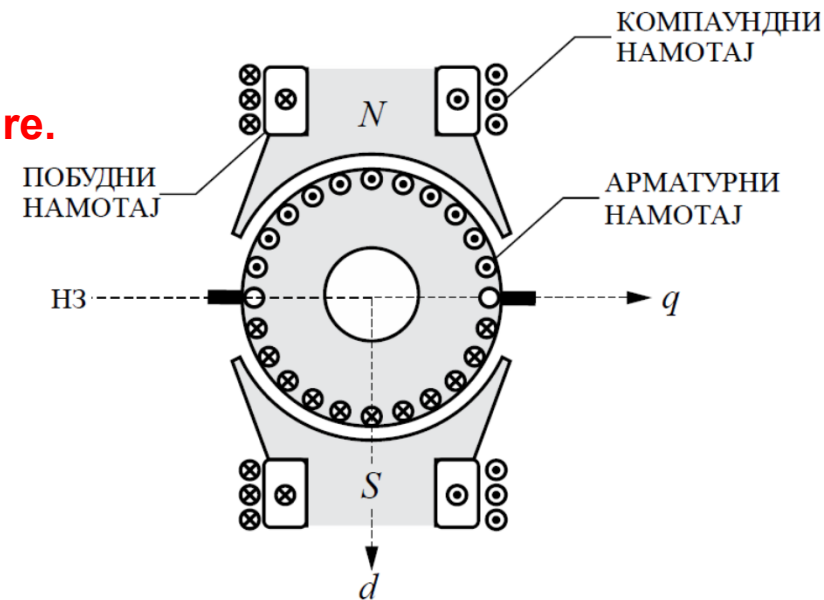
Da bi se umanjio efekat smanjenja ukupnog fluksa u zazoru usled reakcije armature može se dodati kompaundni namotaj koji je vezan na red sa armaturom. Kroz njega teče struja armature i ovaj namotaj stvara fluks proporcionalan reakciji armature. Fluks kompaundnog namotaja deluje u pravcu pobudnog fluksa tj. u pravcu d-ose. Sa porastom struje armature raste i reakcija armature, ali raste i fluks koji potiče od kompaundnog namotaja, tako se anulira ili umanjuje smanjenje ukupnog fluksa a koje je izazvano reakcijom armature.

Eliminiše gubitak E usled reakcije indukta.

Ne doprinosi eliminaciji drugih nedostataka reakcije armature.

Povećava gubitke u gvožđu i napon između lamela.

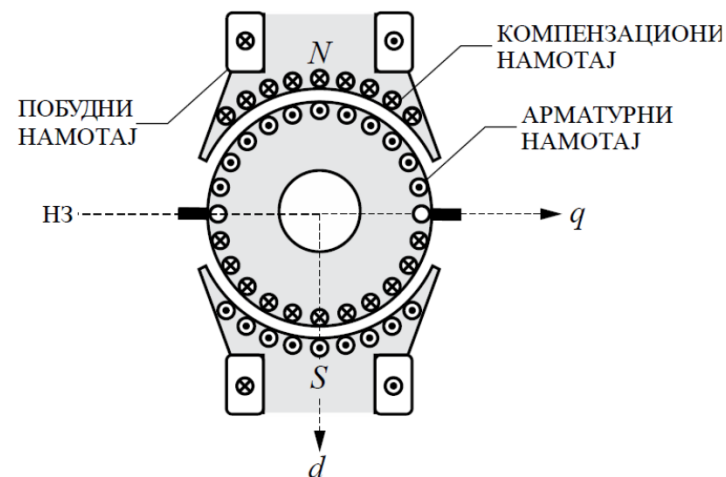
Primenjuje se kod manjih, srednjih a ponekada i kod velikih mašina.



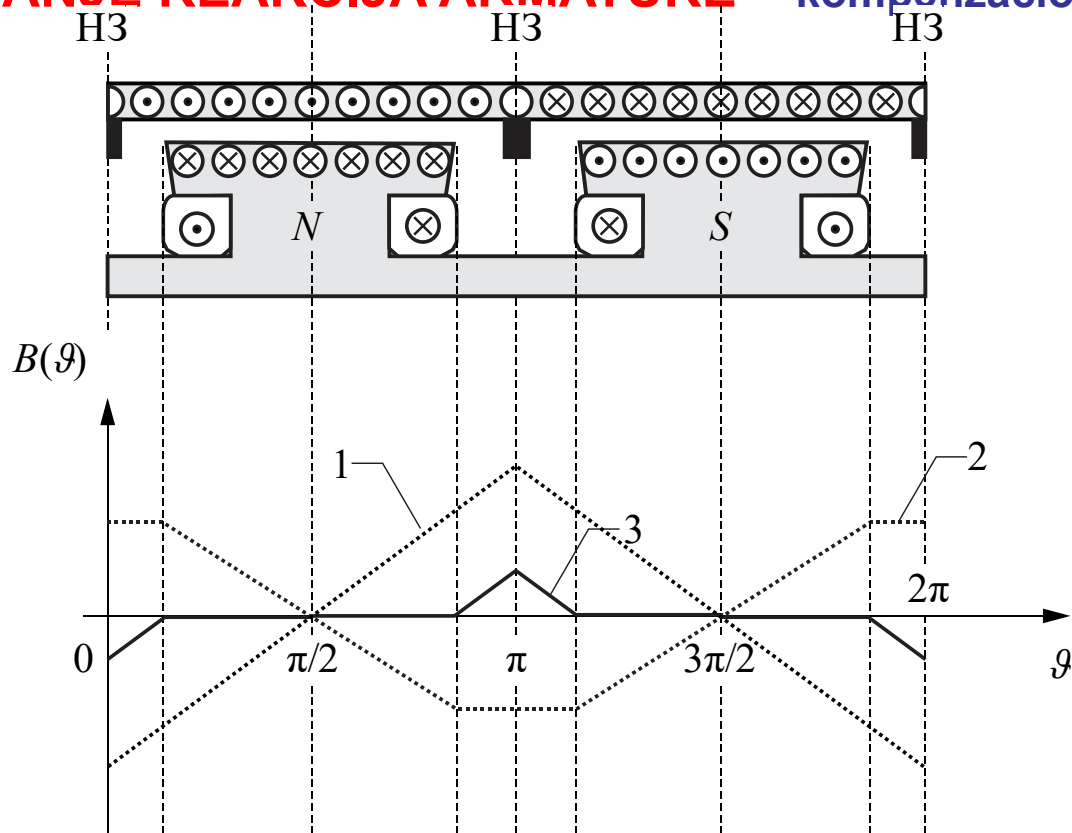
SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – kompenzacioni namotaj

Najdelotvorniji ali i najskuplji način eliminacije reakcije armature je dodavanje kompenzacionog namotaja. Kompenzacioni namotaj se smešta u žlebove koji su aksijalno postavljeni duž polnih papuča. Vezan je na red sa armaturom, tako da kroz njega teče struja armature koja stvara fluks koji deluje u q- osi koji je suprotnog smera u odnosu na reakciju armature. **Polje kompenzacionog namotaja u potpunosti poništava polje reakcije armature u zazoru ispod glavnih polova.**

Kompenzacionim namotajem se ne poništava dejstvo reakcije armature u međupolnom prostoru.



SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – kompenzacioni namotaj



Raspodela MPS namotaja indukta i kompenzacionog namotaja u zazoru

- 1 – MPS sila armature; 2 – MPS kompenzacionog namotaja;
- 3 – rezultatna MPS armature i kompenzacionog namotaja.

SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – kompenzacioni namotaj

Kompenzacionim namotajem eliminisano je izobličenje polja usled reakcije armature u vazдушnom zazoru ispod glavnih polova.

Eliminisano je povišenje napona na lamelama i povećanje gubitaka u gvožđu.

Eliminiše se gubitak napona usled pomaka NZ.

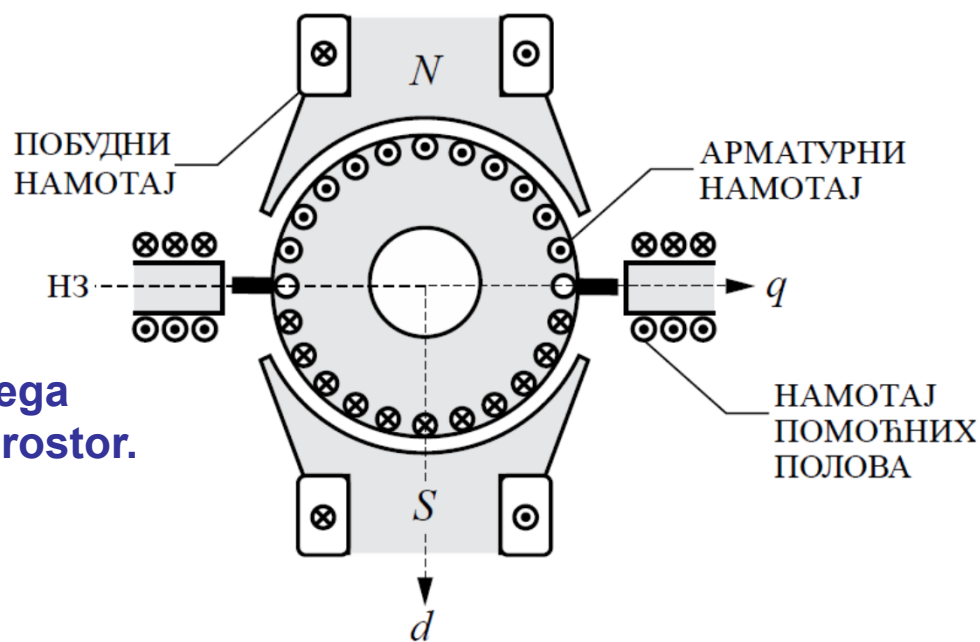
Nedostatak je visoka cena. Potrebno je puno prostora, materijala i skupih alata za izradu žlebova u polnim papučama.

Izvodi se samo kod pogona sa teškim uslovima rada. Kod svih velikih mašina i mašina sa čestim preopterećenjima.

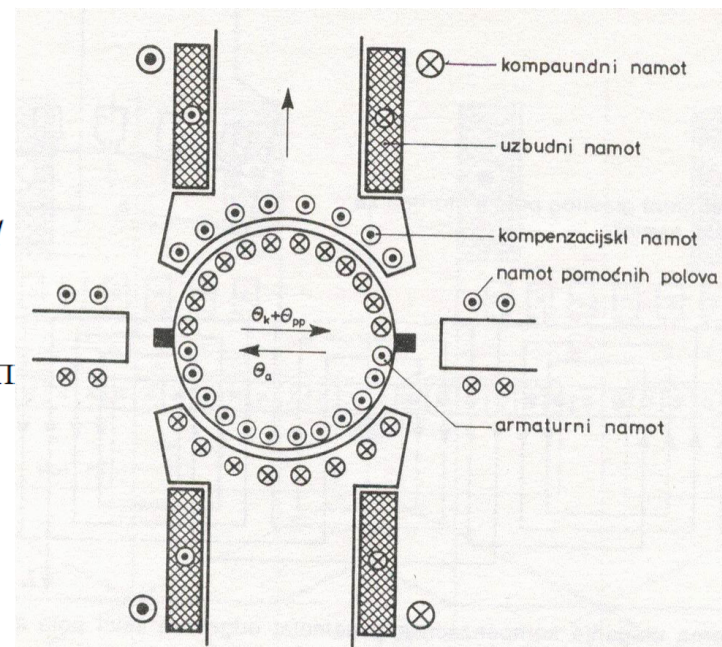
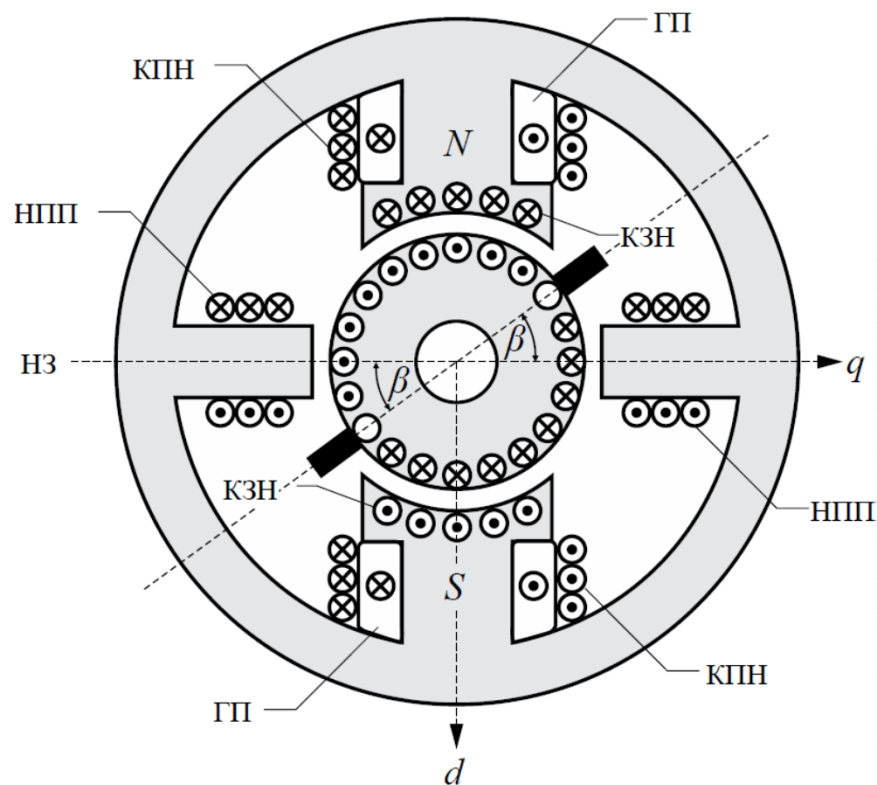
SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE – Namotaj pomoćnih polova

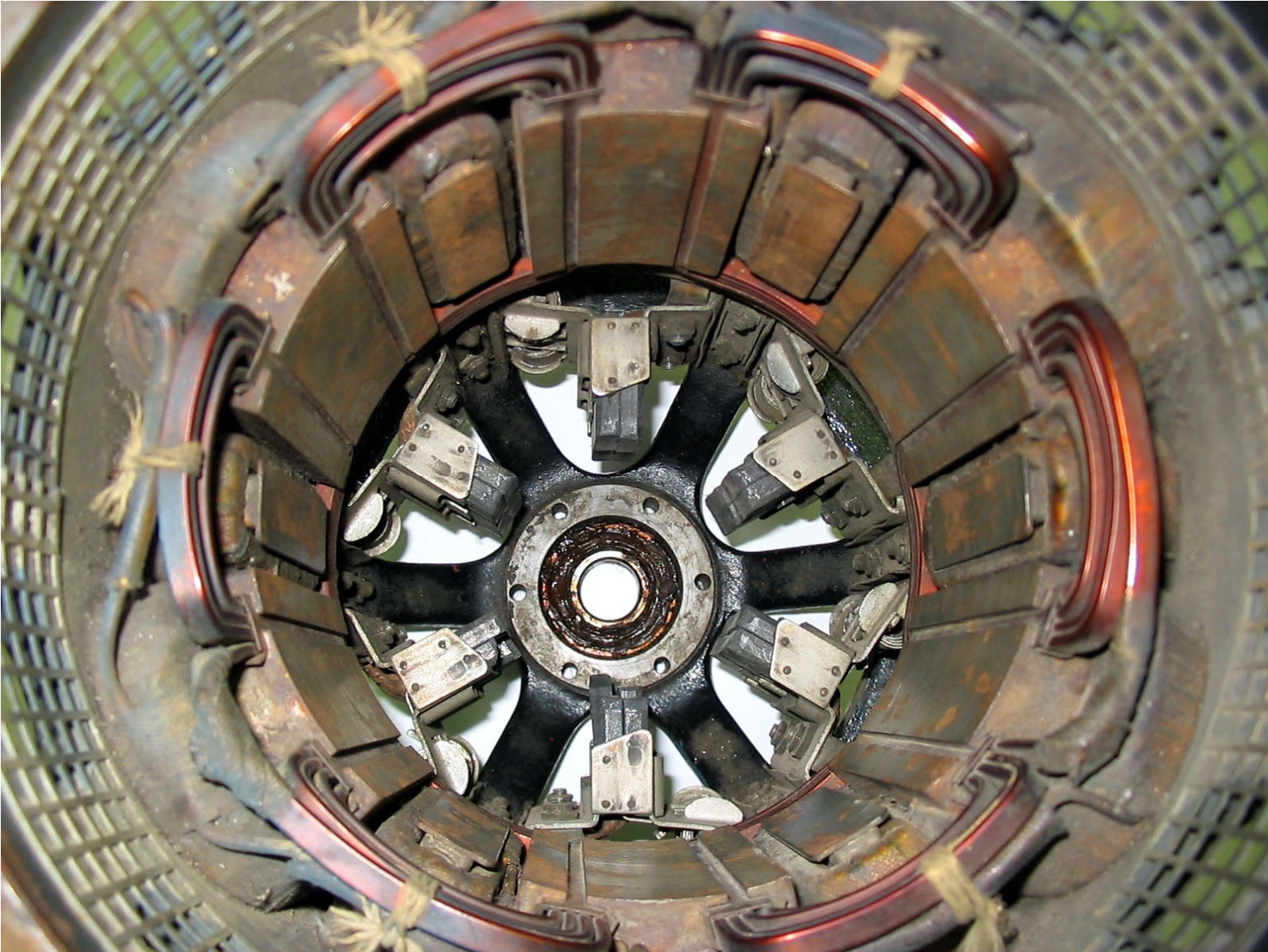
Pomoćni polovi se postavljaju u međupolni prostor tj. u pravcu q -ose. Vezani su na red sa armaturom. Pomoćni polovi pre svega rešavaju problem komutacije a ne reakcije indukta. Fluks pomoćnih polova deluje u pravcu q - ose ali u suprotnom smeru od fluksa reakcije armature. Poništava fluks reakcije armature u neutralnoj zoni.

Njihovo delovanje je pre svega ograničeno na međupolni prostor.

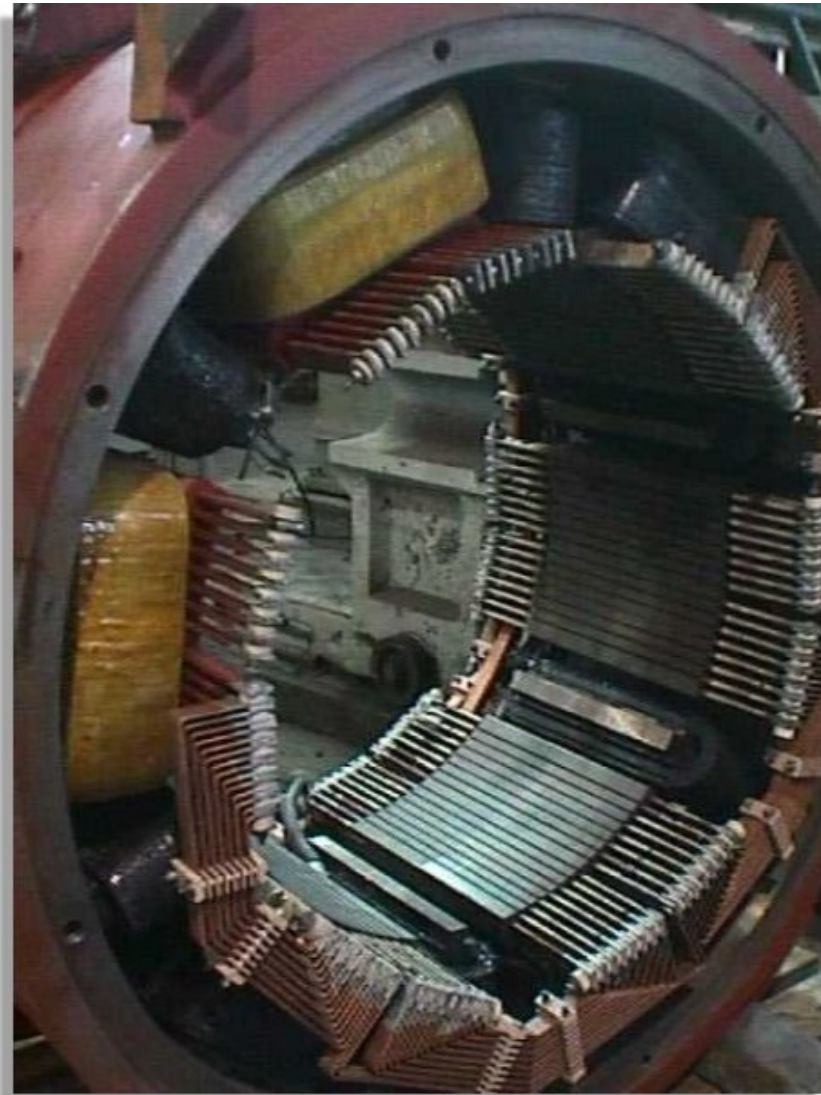


SUZBIJANJE REAKCIJA ARMATURE







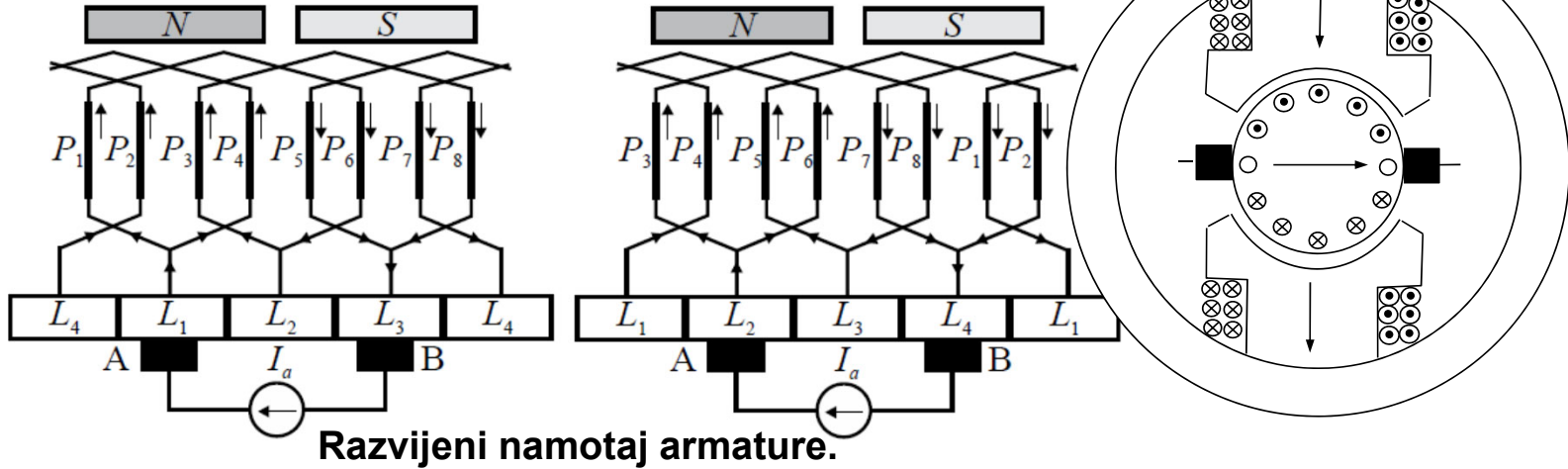








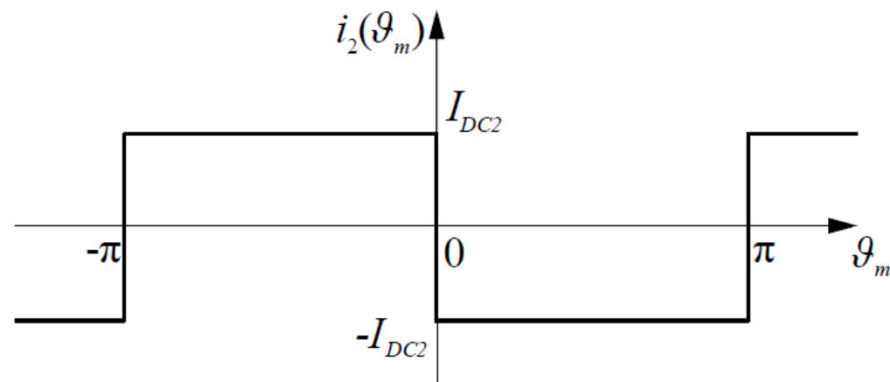
OSNOVE KOMUTACIJE



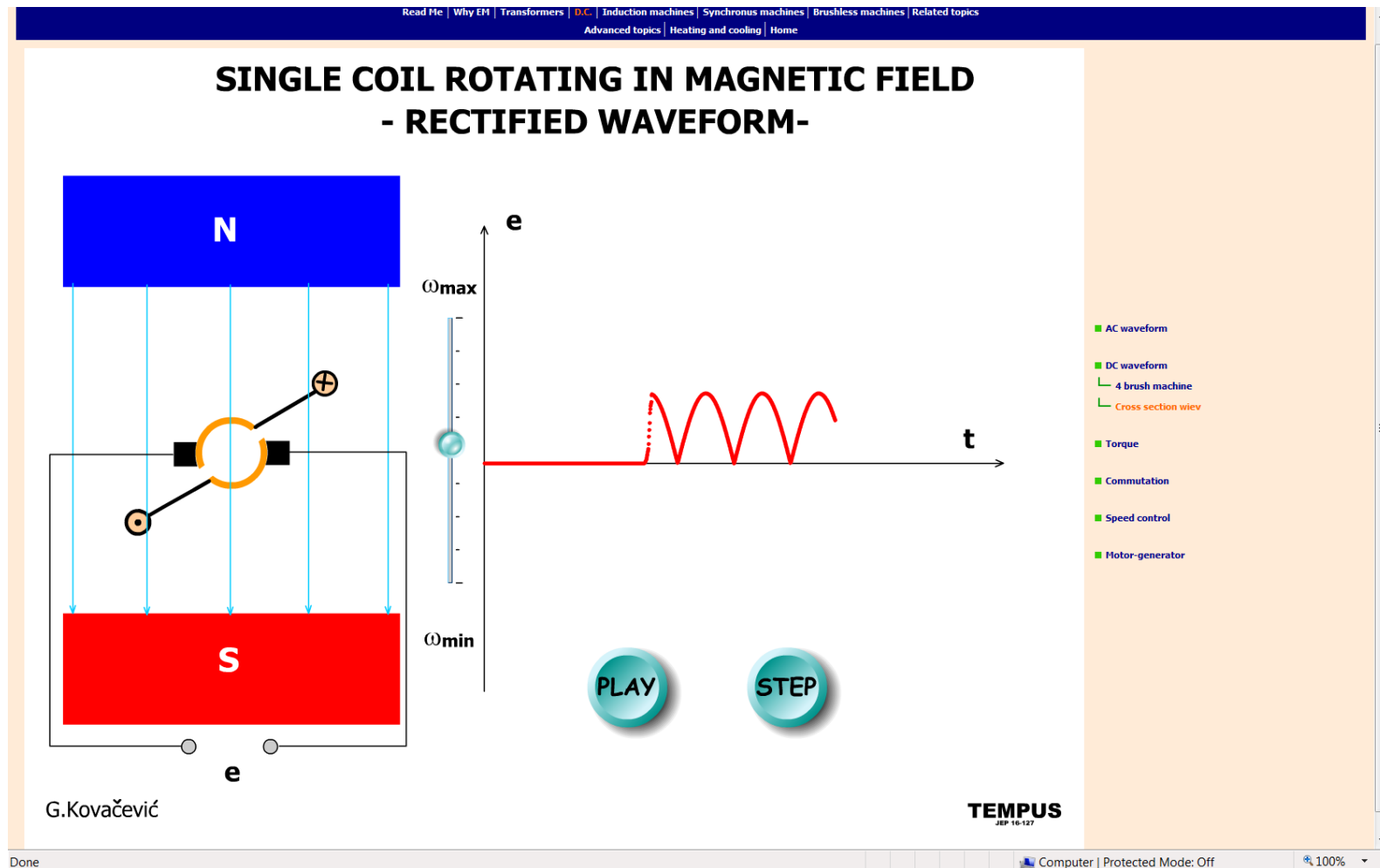
Kada L1 napusti četkicu A provodnici 1 i 5 će promeniti polove, tada i struja u njima menja smer.

Komutacija je proces tokom kojeg struja menja smer u provodnicima koji prolaze kroz neutralnu zonu. U teorijskom i idealnom slučaju struja bi trebalo da trenutno promeni smer, a da se komutacija obavlja u neutralnoj zoni u kojoj nema indukcije, pa ni indukovane EMS.

U stvarnosti je drugačije.

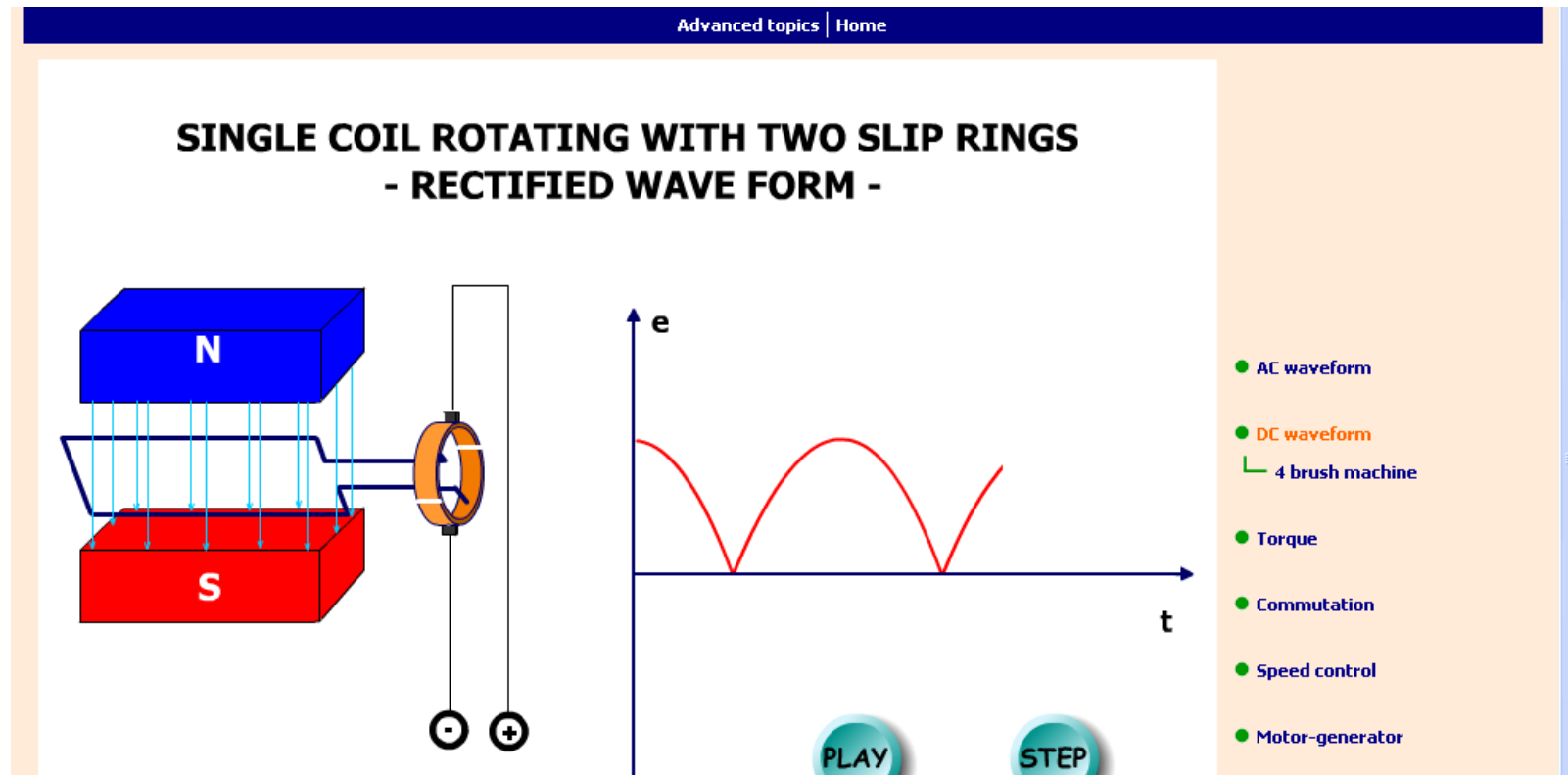


OSNOVE KOMUTACIJE



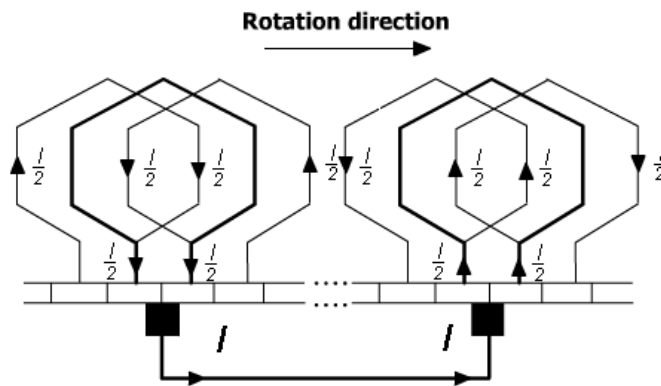
OSNOVE KOMUTACIJE

Komutacija predstavlja skup pojava koje se dešavaju prilikom promene smera indukovano napona (struje) u sekciji tokom prolaska kroz neutralnu zonu. U NZ četkica kratko spaja navojak ali to ne predstavlja teškoću jer je tu gde je navojak indukcija je jednaka nuli, $B=0$. Tokom komutacije u praznom hodu ne prekida se nikakva struja. To je slika komutacije u ph. Pod opterećenjem slika komutacije je komplikovanija.



OSNOVE KOMUTACIJE

Commutation proces



Move brush position to see
current direction changing.

G.Kovačević

TEMPUS
JEP 16-127

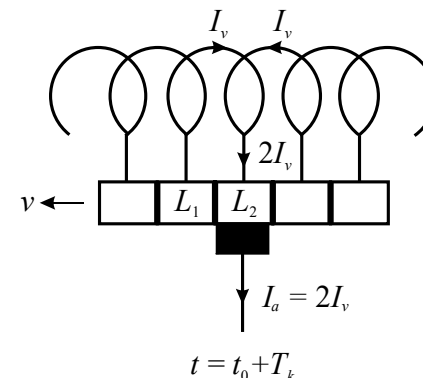
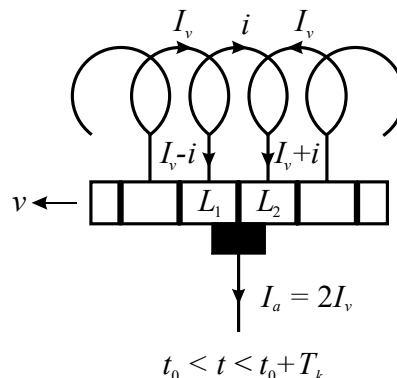
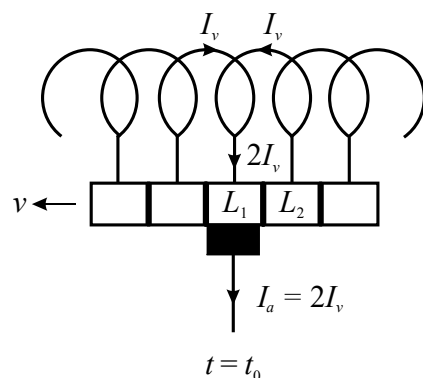
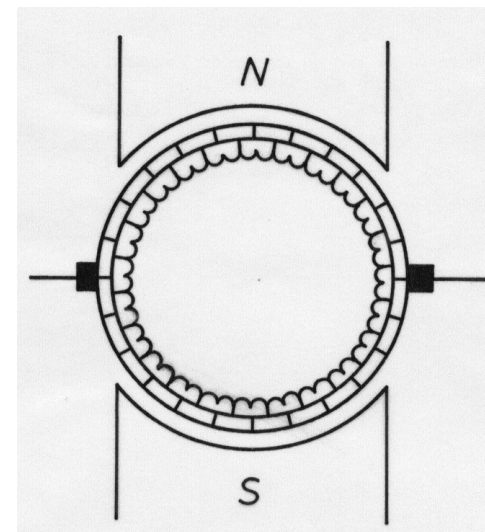
- AC waveform
- DC waveform
- Torque
- Commutation
- Speed control
- Motor-generator

OSNOVE KOMUTACIJE

Do prolaska sekcije kroz NZ, odnosno nailaska njene lamele pod četkicu, njome teče struja one grane kojoj sekcija pripada. Nakon prolaska ispod četkice sekcija pripada drugoj grani pa u njoj teče struja suprotnog smeru. **Tokom komutacije struja navojka mora pasti na nulu pa porasti na suprotnu stranu.**

Nakon prolaska navojka ispod četkice navojak pripada drugoj grani armaturnog namotaja pa je struja kroz navojak promenila smer.

U nepovoljnim uslovima komutacija je praćena iskrenjem pod četkicama → oštećuje četkice i komutator.

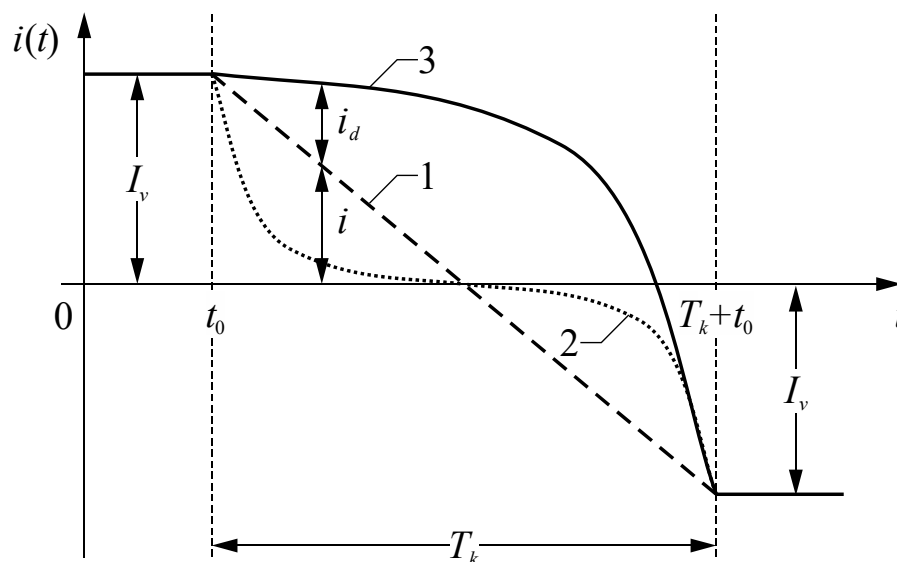


Karakteristični položaji sekcije tokom komutacije

Komutacija započinje kada je lamele L2 nalegla na četkicu i traje sve dok četkica kratko spaja L1 i L2 odnosno dok L1 ne napusti četkicu.

OSNOVE KOMUTACIJE

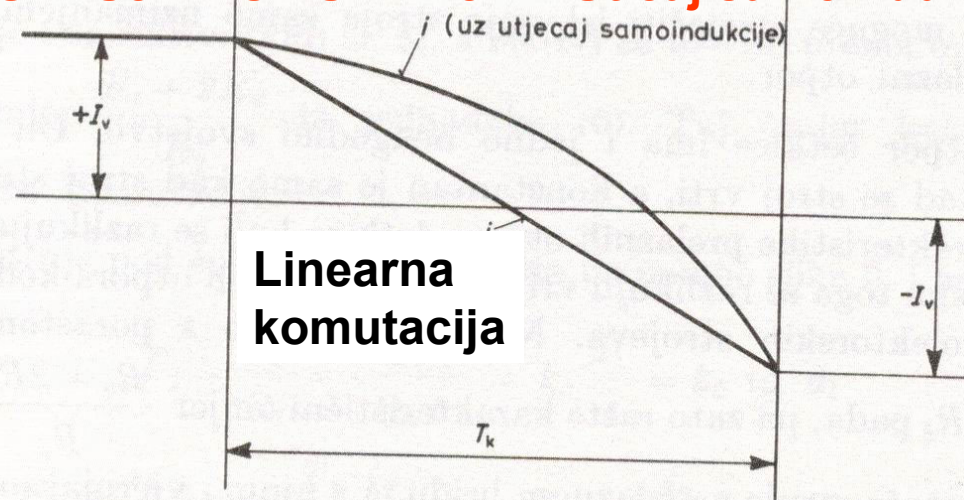
U najjednostavnijem slučaju kada se zanemare svi efekti osim omskih otpornosti lamela i četkica promena struje tokom komutacije je linearna (1). Ako se uvažuje i omske otpornosti provodnika i bočnih veza (2) struja brže opada, a sporije se uspostavlja u odnosu na linearnu komutaciju.



Krive komutacije uz različite vrednosti uticajnih veličina: linearna (1), uvažen uticaj omskih otpornosti (2), i potkomutacija (3)

Ako se uvažuje postojanje indukovanih elektromotornih sila samoindukcije navojka koji komutuje, struja značajno sporije opada, a i sporije raste, (3), jer se samoinduktivnost protivi promeni struje.

STRUJA KOMUTACIJE – Uticaj samoindukcije



Sl. 8. Utjecaj samoindukcije na komutaciju

Za vreme komutacije menja se struja u sekciji tokom komutacije što izaziva promenu magnetnog fluksa pa se kao posledica, u sekciji koji komutoje ems samoindukcije. Struja indukta u navojku koji komutuje stvara EMS koja se opire promeni struje zato se promena struje zaostaje za onom koja bi se imala prema linearnoj komutaciji. Ovo odstupanje od linearne komutacije zovemo potkomutacija. Delovanje samoindukcije uzrokuje dalje povećanje gustine struje pod izlaznom ivicom četkice-dolazi do pogoršanja komutacije. Uticaj je znatno veći od uticaja malog prelaznog otpora, pa se uticaj samoindukcije mora suzbiti - pomoćni polovi.

STRUJA KOMUTACIJE – Uticaj samoindukcije

Zbog postojanja indukovane EMS samoindukcije uslovi komutacije su se jako pogoršali jer je porasla gustina struje na odlaznoj ivici četkice.

Glavni razlog postojanja pomoćnih polova je da suzbiju loše dejstvo EMS samoindukcije na komutaciju.

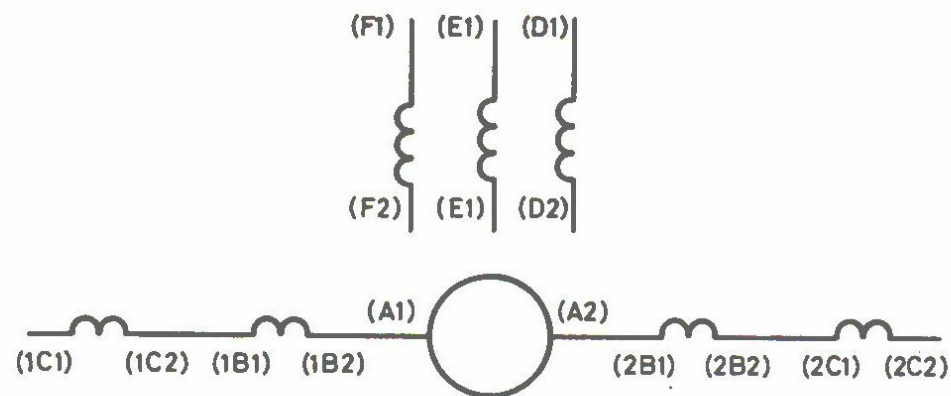
Slide 92

VVV1

Slika 9 128str

Veran Vasic, 18.12.2003.

OZNAKE STEZALJKI MAŠINA JEDNOSMERNE STRUJE



Sl. 1. Položaj i oznake stezaljki pojedinih namota istosmjernog stroja