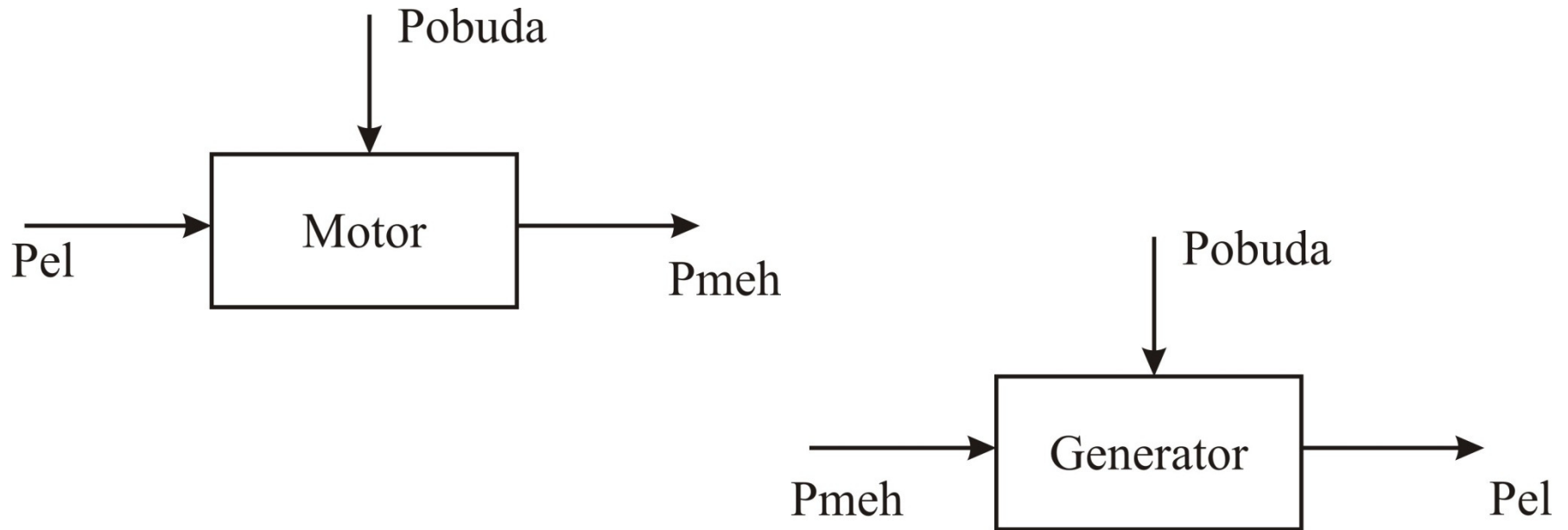


Rotacione mašine jednosmjerne struje

Definicija

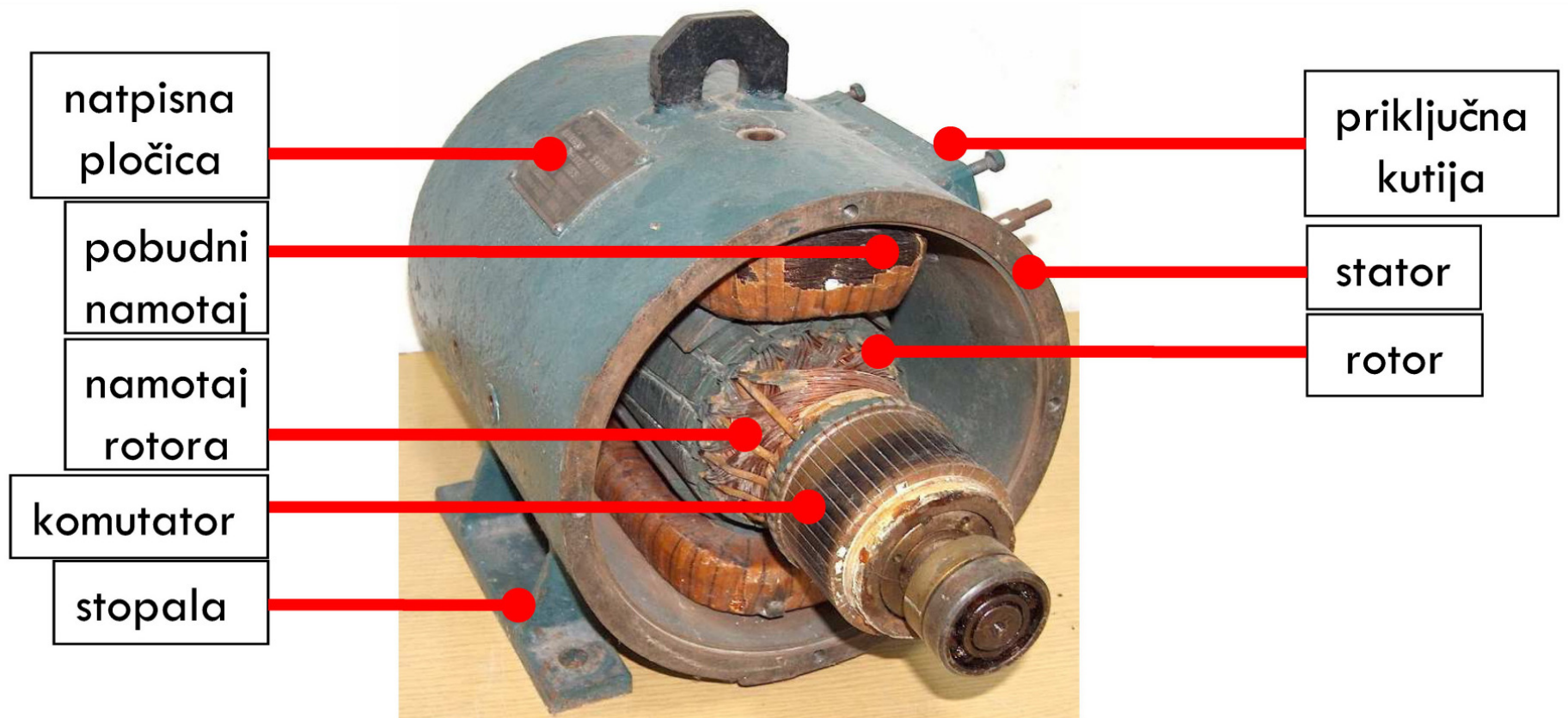
- Rotacione mašine jednosmjerne struje su reverzibilne mašine koje transformišu električnu energiju u mehaničku (motori) ili transformišu mehaničku energiju u električnu (generatori).



Osnovni dijelovi

- Osnovni dijelovi mašina za jednosmjernu struju su:
 - Stator
 - Rotor sa komutatorom

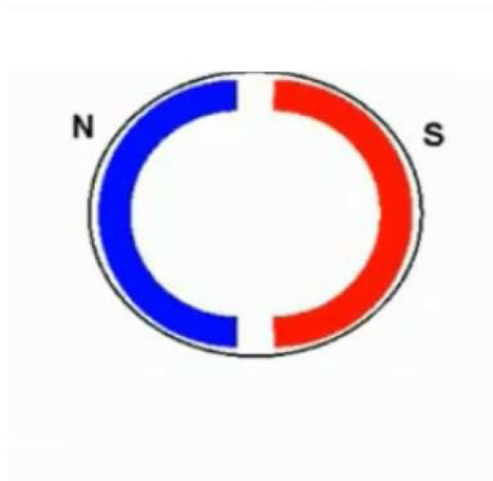
Osnovni dijelovi



Stator

- Uloga statora je stvaranje pobudnog magnetnog fluksa.
- Pobudni fluks mogu stvoriti permanentni (stalni) magneti ili namotaj u kome postoji jednosmjerna struja (elektromagnet).

stalni magneti



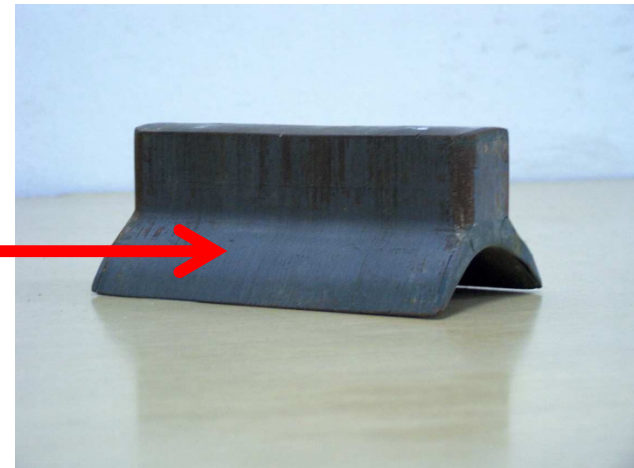
elektromagnet



Stator

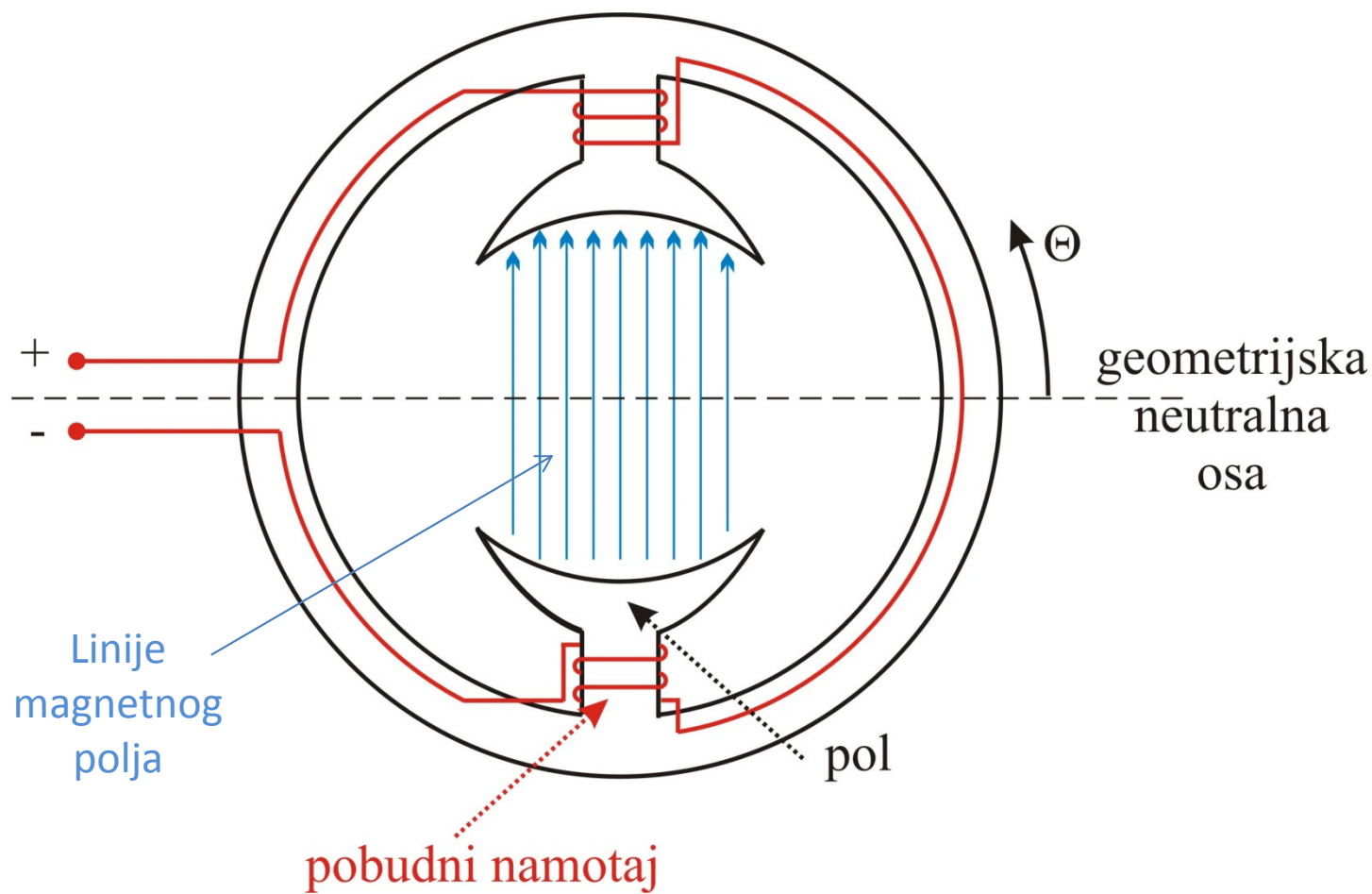
- Stator je oblika šupljeg valjka od masivnog gvožđa (ili složen od paketa limova), na čijoj su unutrašnjoj periferiji pričvršćeni polovi izrađeni od feromagnetskih limova.

Pol statora

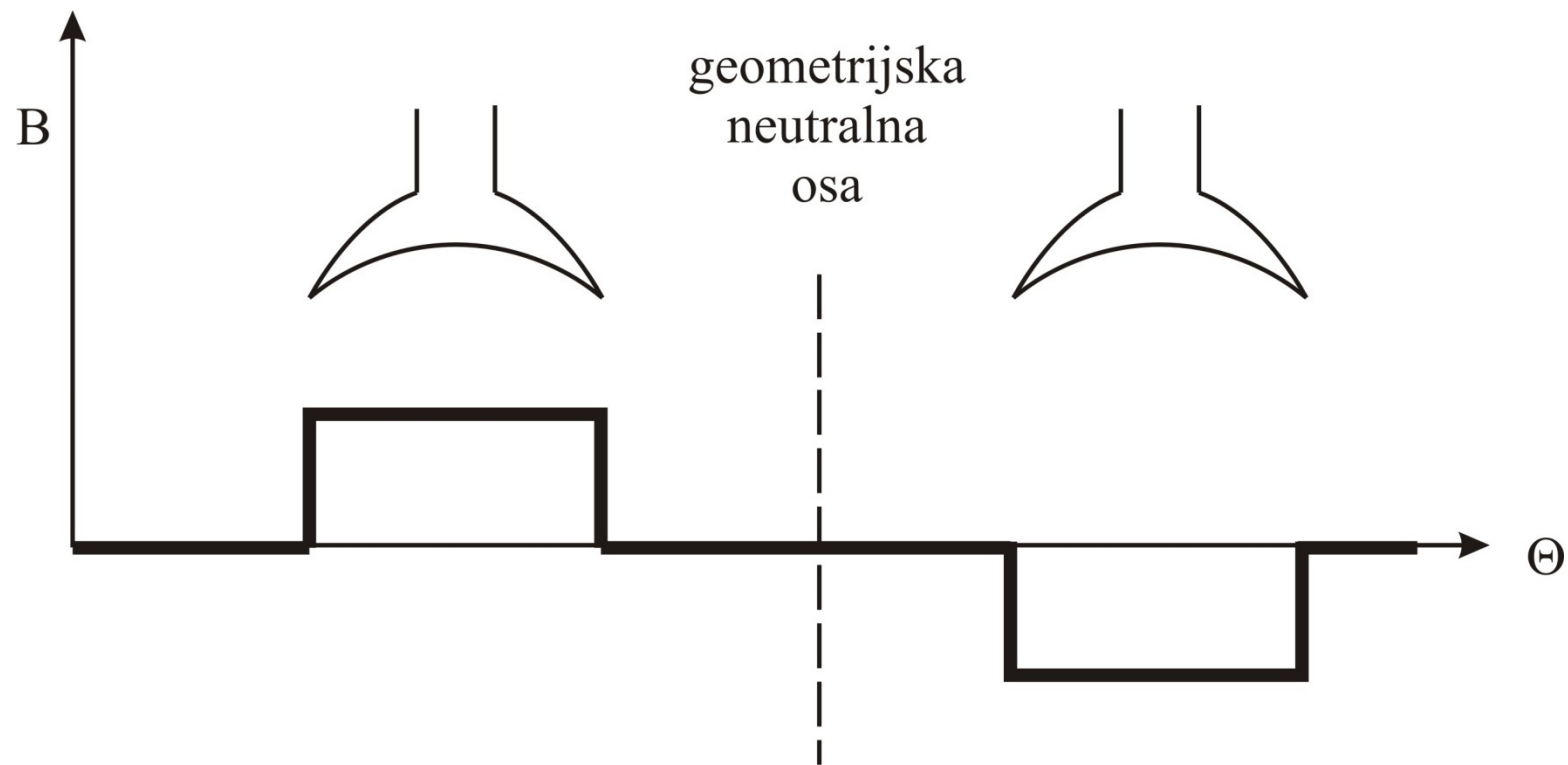


- Na polovima statora je smješten pobudni namotaj.
- Kroz pobudni namotaj se propušta jednosmjerna struja koja stvara statorsku magnetnopobudnu silu i statorski fluks. Kako je struja statora jednosmjerna to je statorski fluks stalan i nepomičan.

Stator



Stator

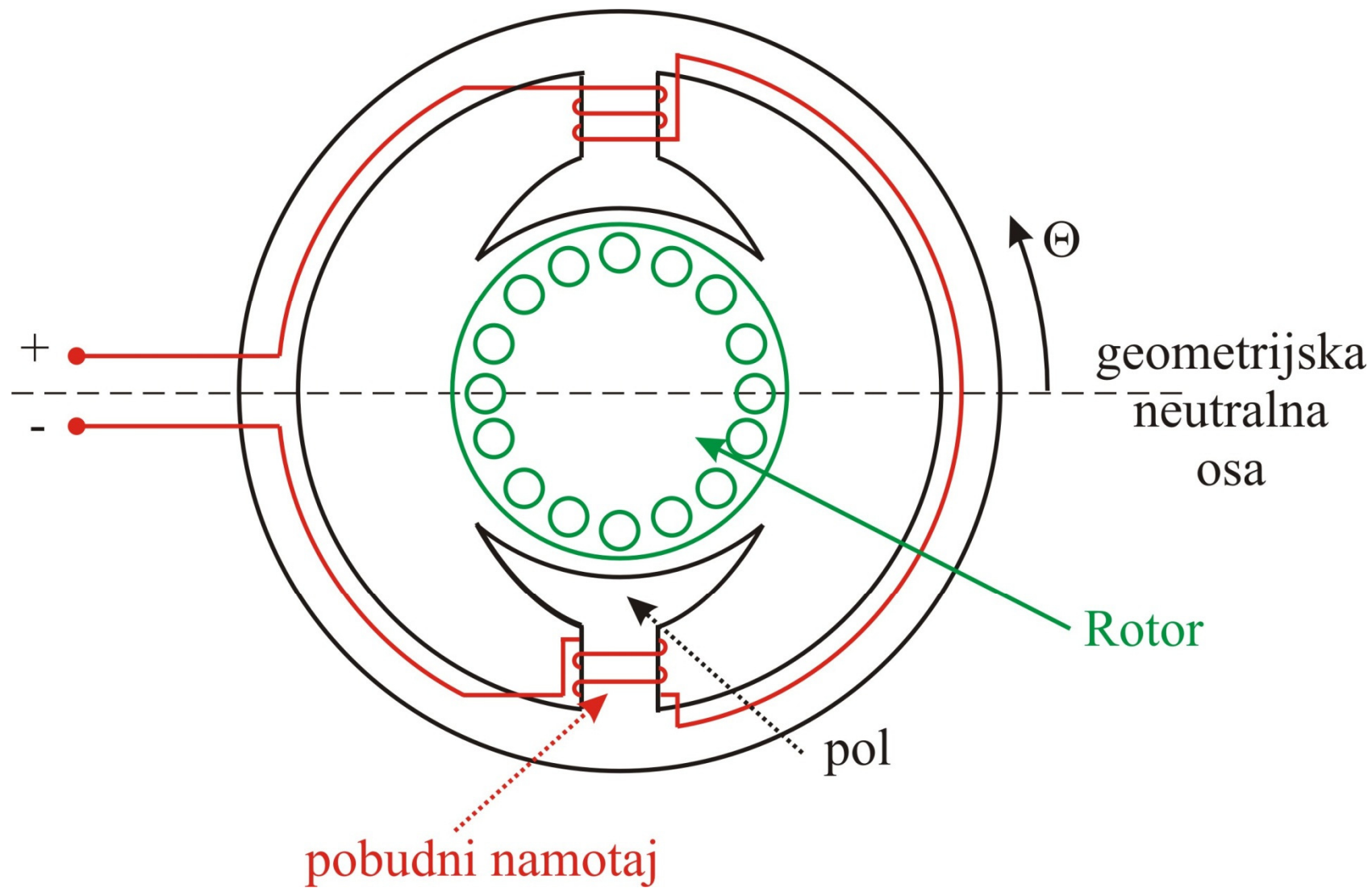


Raspodjela magnetnog polja po obimu mašine

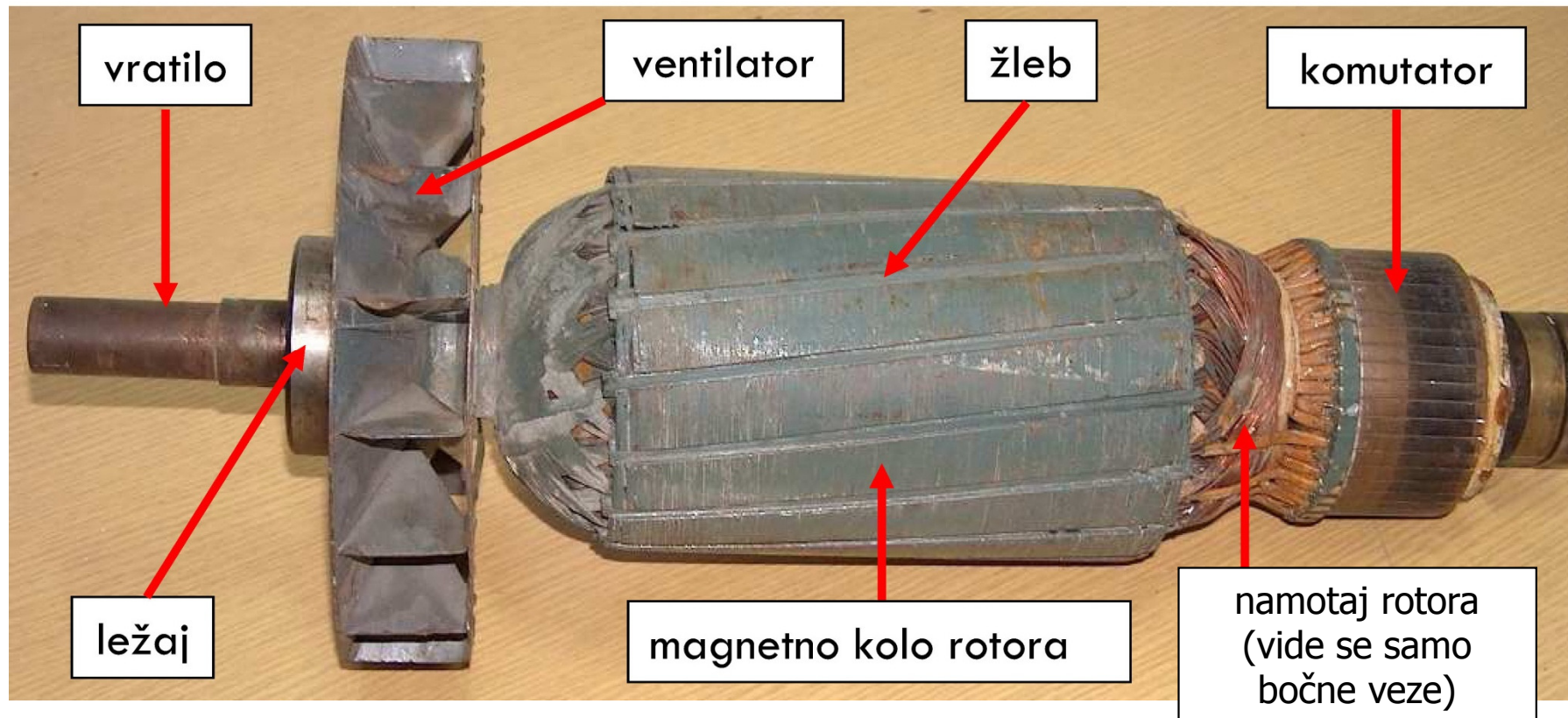
Rotor

- Rotor je cilindričnog oblika i sastavljen je od tankih feromagnetskih limova i ravnomjerno je ožljebljen po svom obimu. Nalazi se na vratilu mašine.
- U žljebove rotora je postavljen namotaj rotora.
- Počeci i krajevi namotaja rotora su izvedeni na tzv. komutator (kolektor).

Rotor

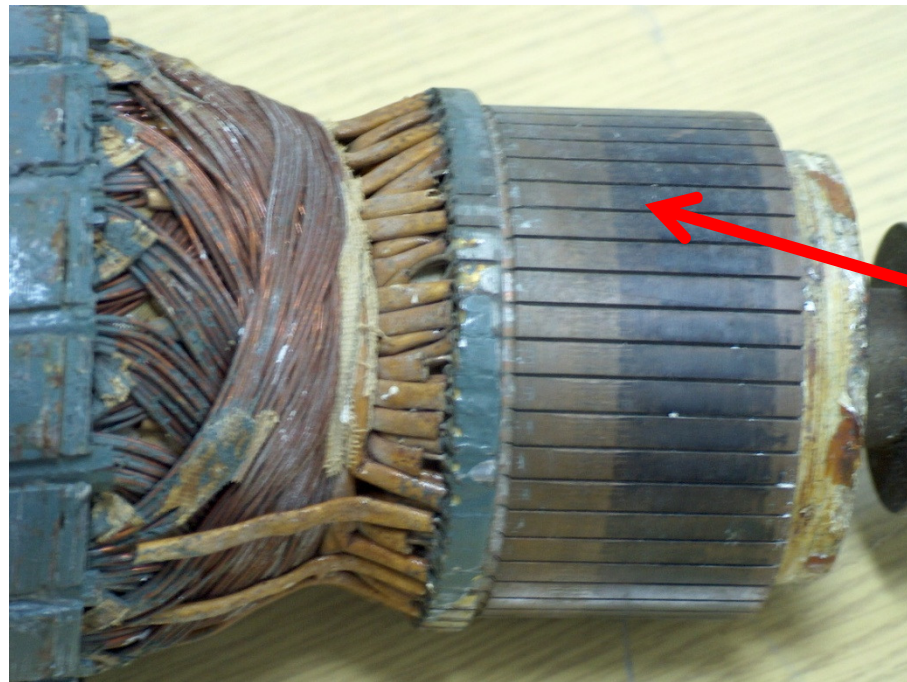


Rotor



Komutator

Komutator je sastavljen od bakarnih segmenata koji su izolovani međusobno i u odnosu na masu. Uloga komutatora je preusmjeravanje smjera struje kroz navoje rotora.

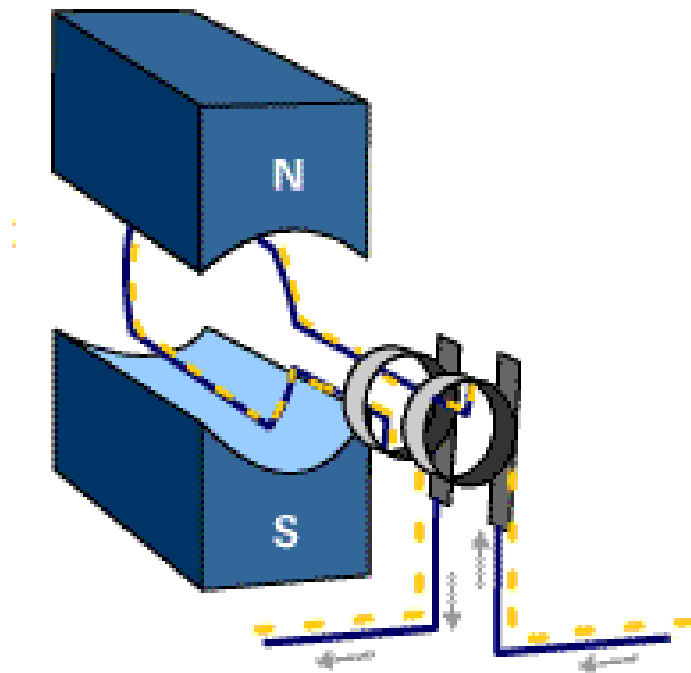


Komutator

Princip rada generatora

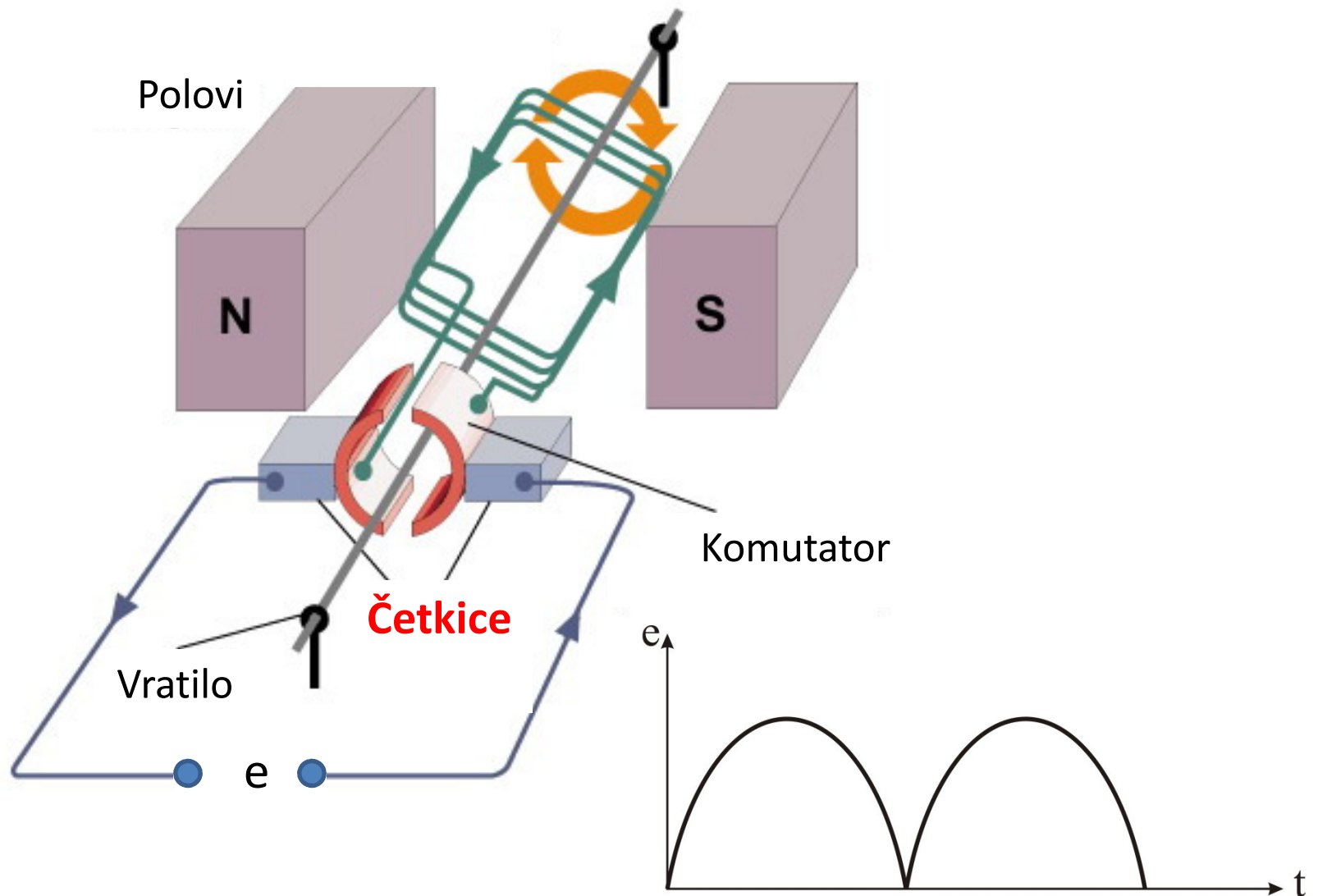
- Kod generatora jednosmjerne struje rotor se okreće preko spoljašnjeg izvora mehaničke snage (npr. preko turbine).
- Okretanjem namotaja rotora u stalnom magnetnom polju pobudnog namotaja statora dolazi do indukovanja elektromotorne sile (ems) u namotaju rotora koja je naizmjeničnog karaktera.

Princip rada generatora

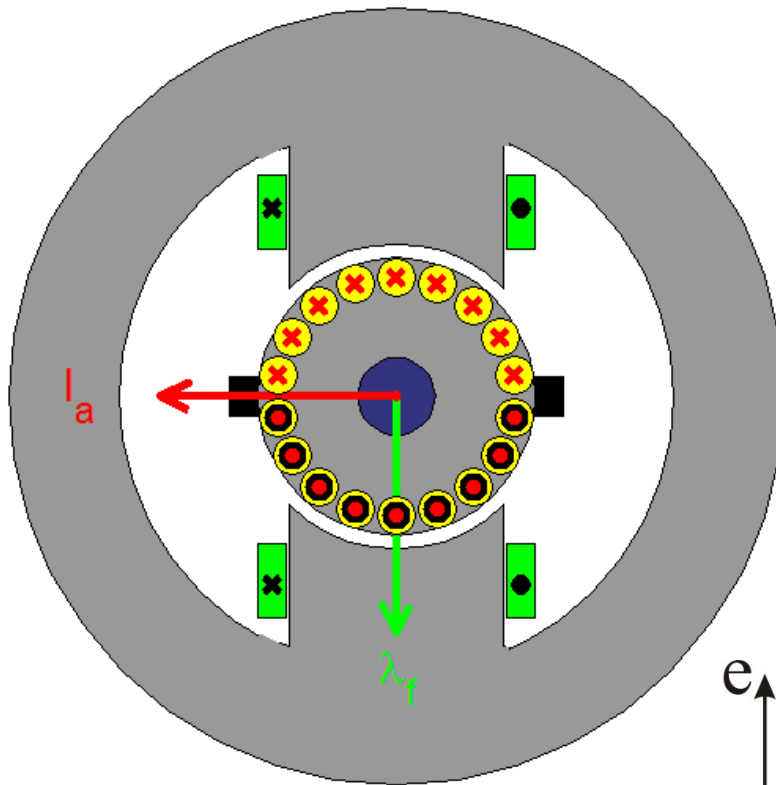


Međutim, primjenom komutatora i četkica na izlazu se dobija ems jednosmjernog karaktera.

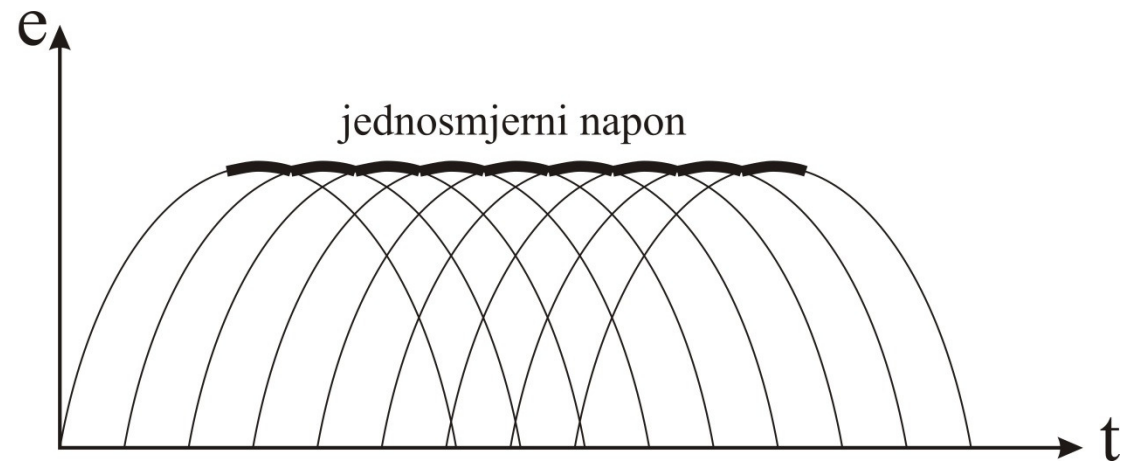
Princip rada generatora



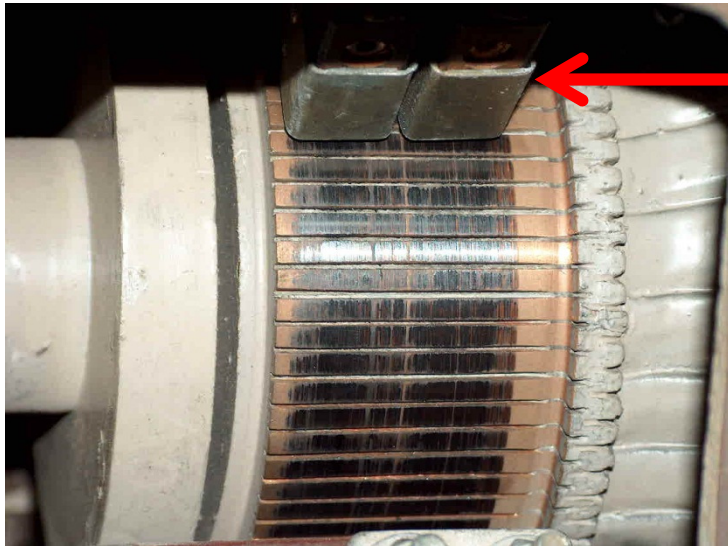
Princip rada generatora



Primjenom većeg broja
navojaka dobija se:

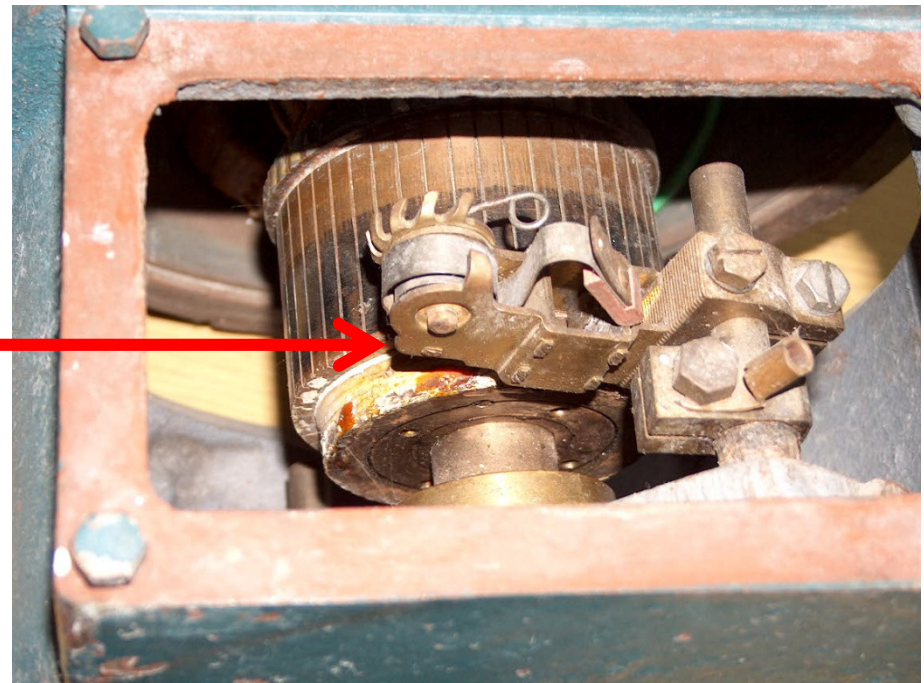


Četkice



Četkice

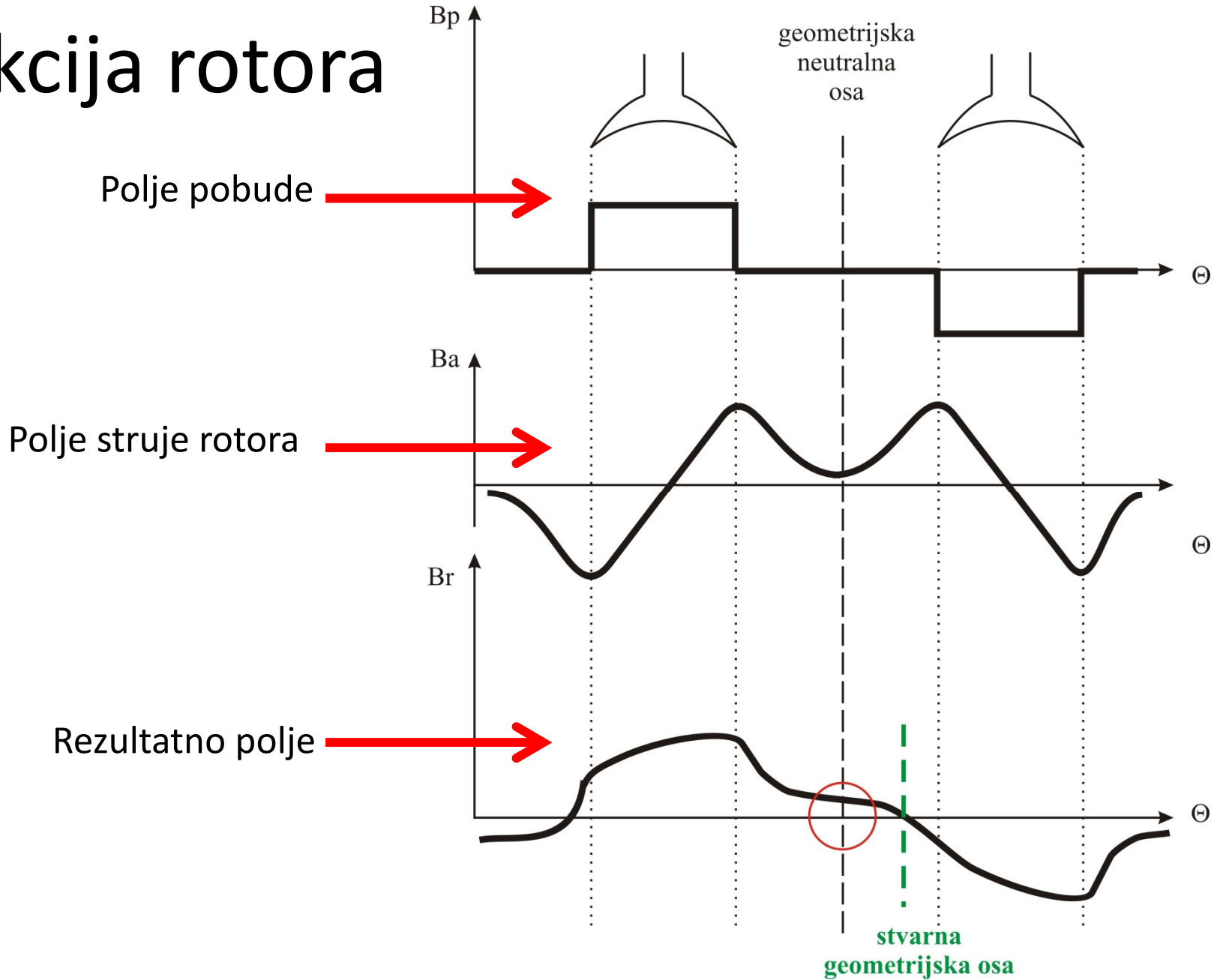
Držači četkica sa oprugom



Reakcija rotora

- Kada na generatoru nije priključeno opterećenje kroz namotaj rotora ne prolazi struja.
- Međutim, kada se na generator priključi opterećenje, kroz rotor protiče struja.
- Struja kroz rotor stvara svoje magnetno polje koje se suprotstavlja polju pobude. Ovo polje se naziva **reakcija rotora ili reakcija armature**.
- Rezultantno polje se dobija superponiranjem polja pobude i polja rotora.

Reakcija rotora



Reakcija rotora - posljedice

- Kao što se vidi sa prethodne slike, reakcija rotora ima sljedeće negativne posljedice:
 - ❖ Deformacija magnetnog polja usljed čega dolazi do **deformacije izlaznog napona**.
 - ❖ U geometrijskoj neutralnoj osi pojavljuje se određeno magnetno polje. Ovo polje izaziva indukovanu ems usljed čega se javlja **varničenje na četkicama**.

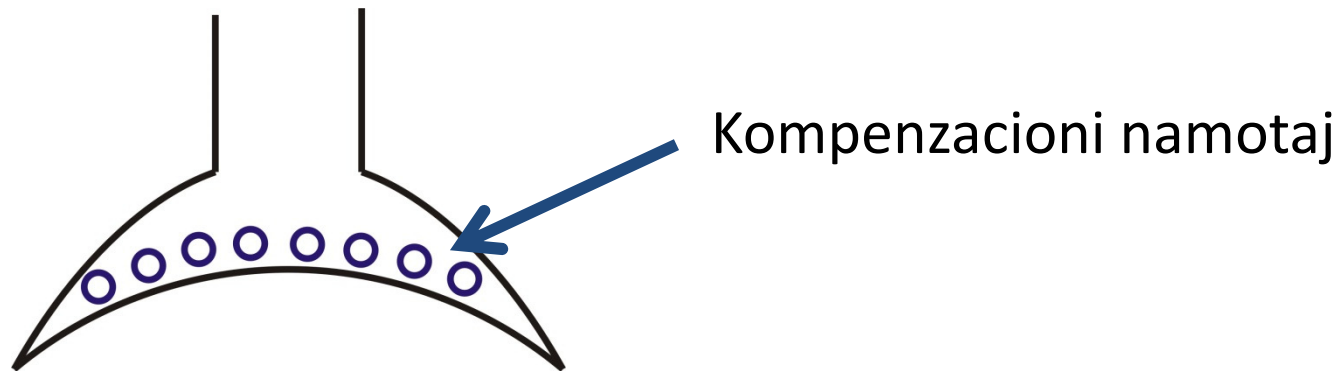
Poništavanje reakcije rotora

- Sa slike raspodjele magnetnog polja rotora vidi se da treba izvršiti poništavanje reakcije armature:
 - Ispod polova statora
 - U osi u kojoj su postavljene četkice
- Što je struja rotora veća, to treba i da je poništavanje polja reakcije rotora veće.

Poništavanje reakcije rotora

- **Poništavanje reakcije rotora ispod polova:**

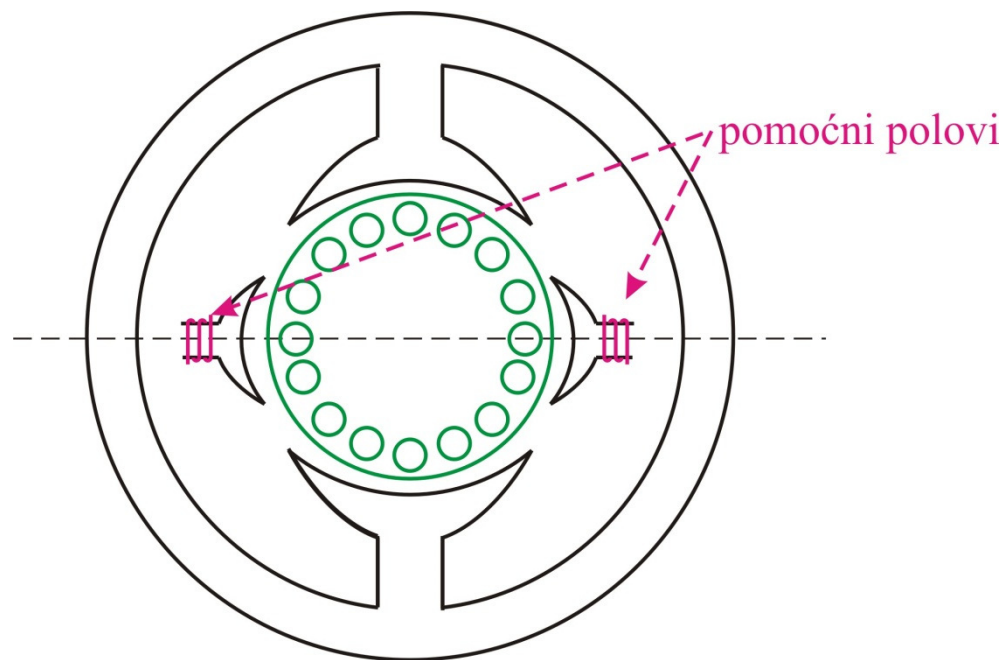
U polove statora se dodaju provodnici koji su vezani na red sa namotajem rotora tako da struja, prolazeći kroz njih, stvara magnetno polje koje je suprotnog smjera od reakcije rotora. Ovi provodnici u polovima statora se nazivaju **kompensacioni namotaj**.



Poništavanje reakcije rotora

- Poništavanje reakcije rotora u geometrijskoj neutralnoj osi

Dodaju se dodatni polovi koji se postavljaju u osi četkica. Oko ovih polova se postavlja namotaj koji je vezan na red sa namotajem rotora tako da kroz njega prolazi struja rotora. Ona stvara magnetno polje koje je suprotnog smjera od smjera polja reakcije rotora u toj osi. Ovi polovi se nazivaju **pomoćni polovi**.



Osnovne jednačine

$$E = c \cdot \phi \cdot \omega$$

gdje je:

C – konstanta koja zavisi od geometrijskih karakteristika mašine

Φ – rezultatni fluks u mašini

ω – brzina obrtanja rotora

$$U = E \pm R_a \cdot I_a \quad \text{- Napon na krajevima rotora}$$

gdje je:

znak „+“ – za motor

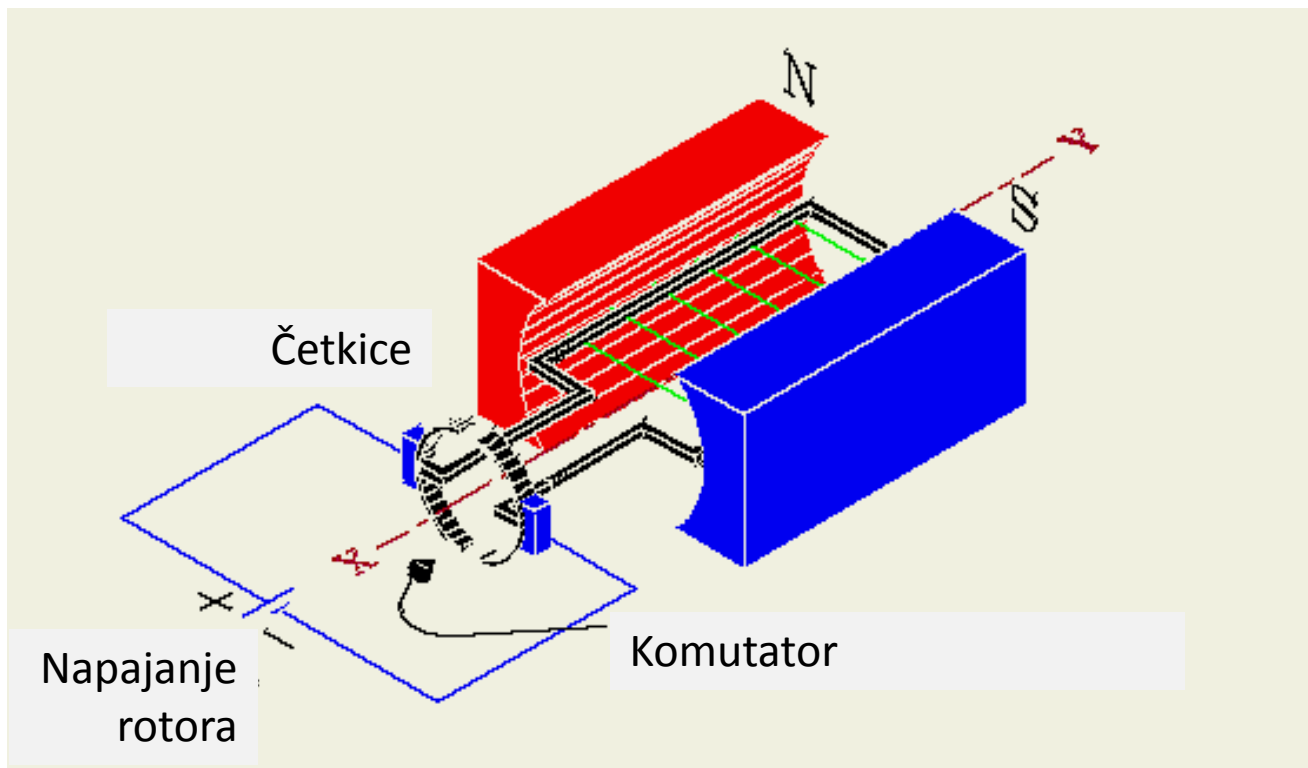
znak „-“ – za generator

$$R_a = R_{\text{rotora}} + R_{\text{kompensacionog namotaja}} + R_{\text{pomoćnih polova}}$$

Princip rada motora

- Princip rada motora je sličan principu rada generatora, s tim što se kod motora namotaj rotora priključuje na izvor jednosmjerne struje. Ova struja preko četkica i komutatora prolazi kroz provodnike rotora.
- Namotaj rotora se nalazi u magnetnom polju pobude. Kada kroz njega protiče električna struja dovedena iz spoljašnjeg izvora jednosmjernog napona nastaje sila koja deluje na provodnike rotora, a zbog kružnog oblika rotora nastaje elektromagnetni moment i rotor se okreće stvarajući mehaničku energiju.

Princip rada motora

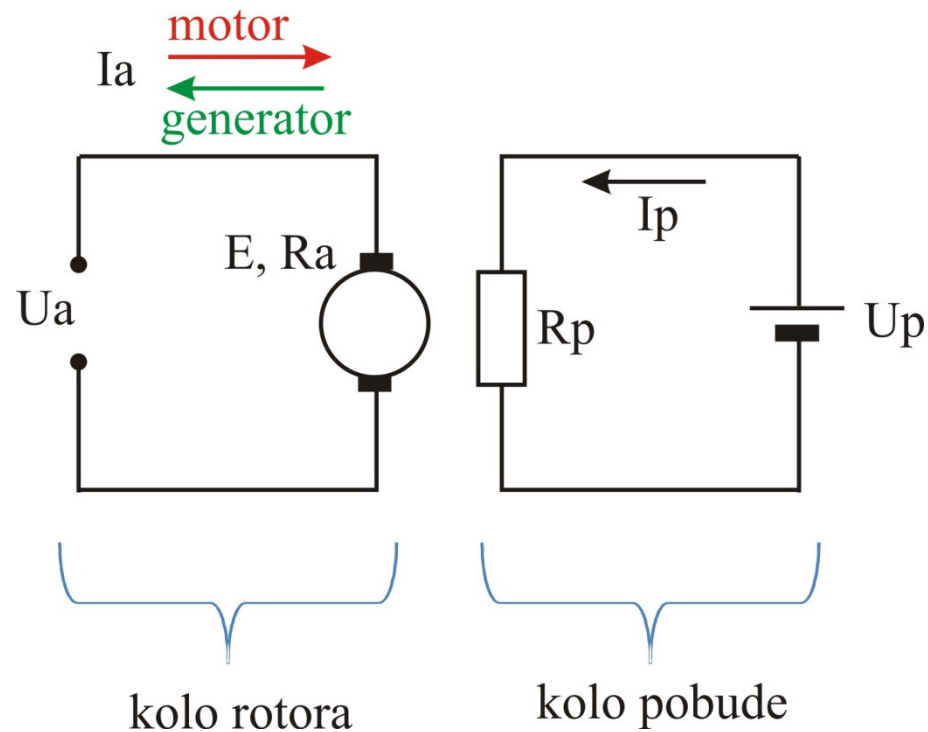




Podjele

- Prema načinu spajanja namotaja pobude i namotaja rotora, razlikuju se sljedeće osnovne vrste jednosmjernih komutatorskih mašina:
 - **sa nezavisnom pobudom**, kod koje je namotaj pobude spojen na poseban spoljni izvor napona, koji je potpuno nezavisan od prilika u mašini. Namotaj rotora se napaja iz drugog izvora jednosmjernog napona.
 - **sa paralelnom pobudom**, kod koje je pobudni namotaj spojen paralelno sa namotajem rotora i priključeni su na izvor jednosmjernog napona.
 - **sa rednom (serijskom) pobudom**, kod koje je pobudni namotaj spojen na red sa namotajem rotora i priključeni su na izvor jednosmjernog napona.
 - **sa složenom pobudom** (kombinacija redne i paralelne pobude).

Mašine sa nezavisnom pobudom

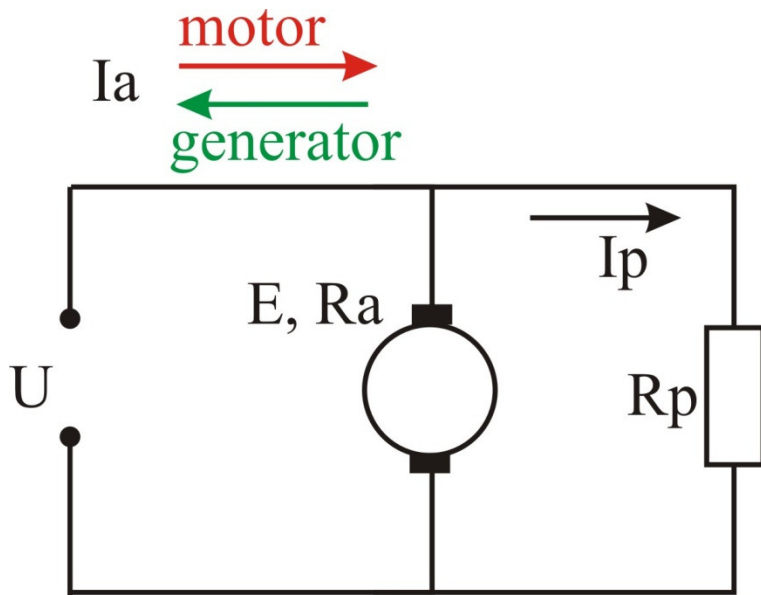


$$U_a = E - R_a \cdot I_a \rightarrow \text{generator}$$

$$U_a = E + R_a \cdot I_a \rightarrow \text{motor}$$

$$U_p = R_p \cdot I_p$$

Mašine sa paralelnom pobudom

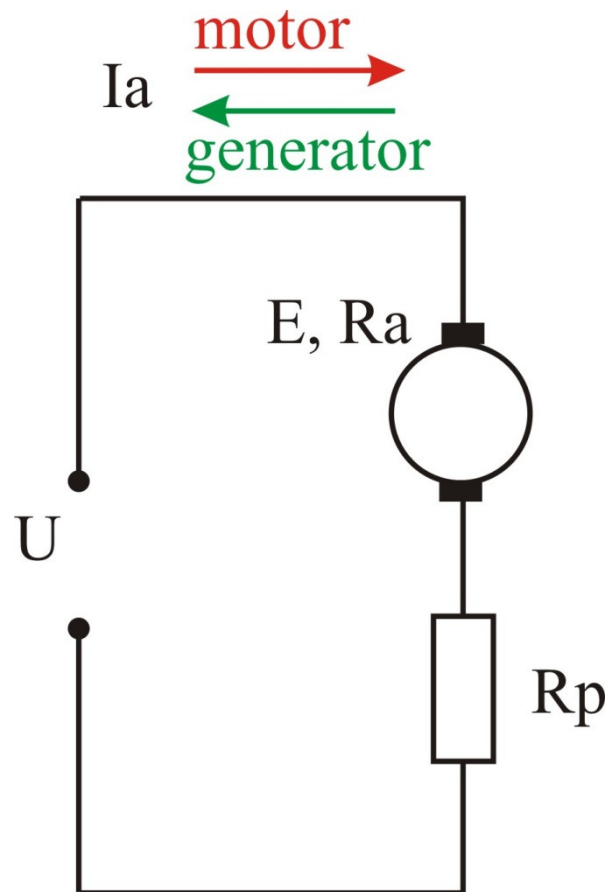


$$U = R_p \cdot I_p$$

$$U = E - R_a \cdot I_a \rightarrow \text{generator}$$

$$U = E + R_a \cdot I_a \rightarrow \text{motor}$$

Mašine sa rednom pobudom



$$U = E - (R_a + R_p) \cdot I_a \rightarrow \text{generator}$$

$$U = E + (R_a + R_p) \cdot I_a \rightarrow \text{motor}$$

Promjena smjera obrtanja motora

- Iz principa rada motora jasno je da se smjer obrtanja motora može promijeniti na jedan od sljedeća dva načina:
 - ❖ promjenom smjera struje pobude
 - ❖ promjenom smjera struje rotora
- Kod motora sa rednom pobudom jedini način promjene smjera obrtanje je prevezivanje jednog namotaja (pobude ili rotora)

Puštanje motora u rad

$$\left. \begin{array}{l} E = c \cdot \phi \cdot \omega \\ U = E + R_a \cdot I_a \end{array} \right\} \rightarrow I_a = \frac{U - c \cdot \phi \cdot \omega}{R_a}$$

Kada se motor pušta u rad tada je $\omega=0$.

Iz prethodne relacije je jasno da je tada struja kroz rotor I_a ograničena samo malim otporom R_a usljed čega je ta struja vrlo velika i može izazvati oštećenja provodnika.

Iz prethodne relacije se nameću dva načina za rješenje ovog problema:

- Smanjenje napona U (u praksi se ovaj način rijetko primjenjuje, osim kod motora sa nezavisnom pobudom)
- **Dodavanje otpora u kolu rotora**

Puštanje motora u rad

$$I_a = \frac{U - c \cdot \phi \cdot \omega}{R_a + R_d}$$

- U praksi, ne dodaje se jedan otpornik, nego se koristi više sekcija otpornika koje se postepeno isključuju kako se motor ubrzava do radne brzine.

Regulacija brzine motora

$$\left. \begin{array}{l} E = c \cdot \phi \cdot \omega \\ U = E + R_a \cdot I_a \end{array} \right\} \rightarrow \omega = \frac{U - R_a \cdot I_a}{c \cdot \phi}$$

- Iz prethodne relacije se vidi kako se, uz konstantan napon napajanja U , može promijeniti brzina obrtanja motora:
 - ❑ Promjenom otpora u kolu rotora (dodaje se otpor u kolu rotora) čime se mijenja struja I_a .
 - ❑ Promjenom otpora u kolu pobude, čime se mijenja pobudna struja a time i fluks ϕ .