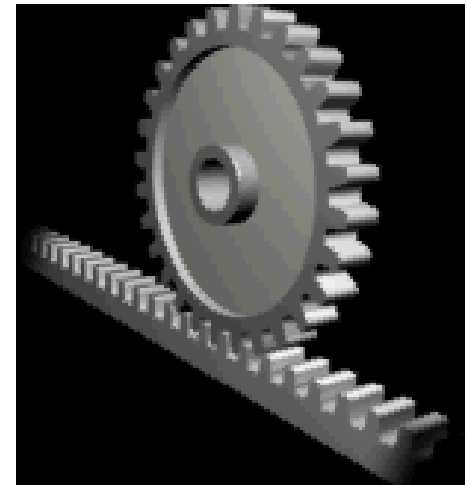
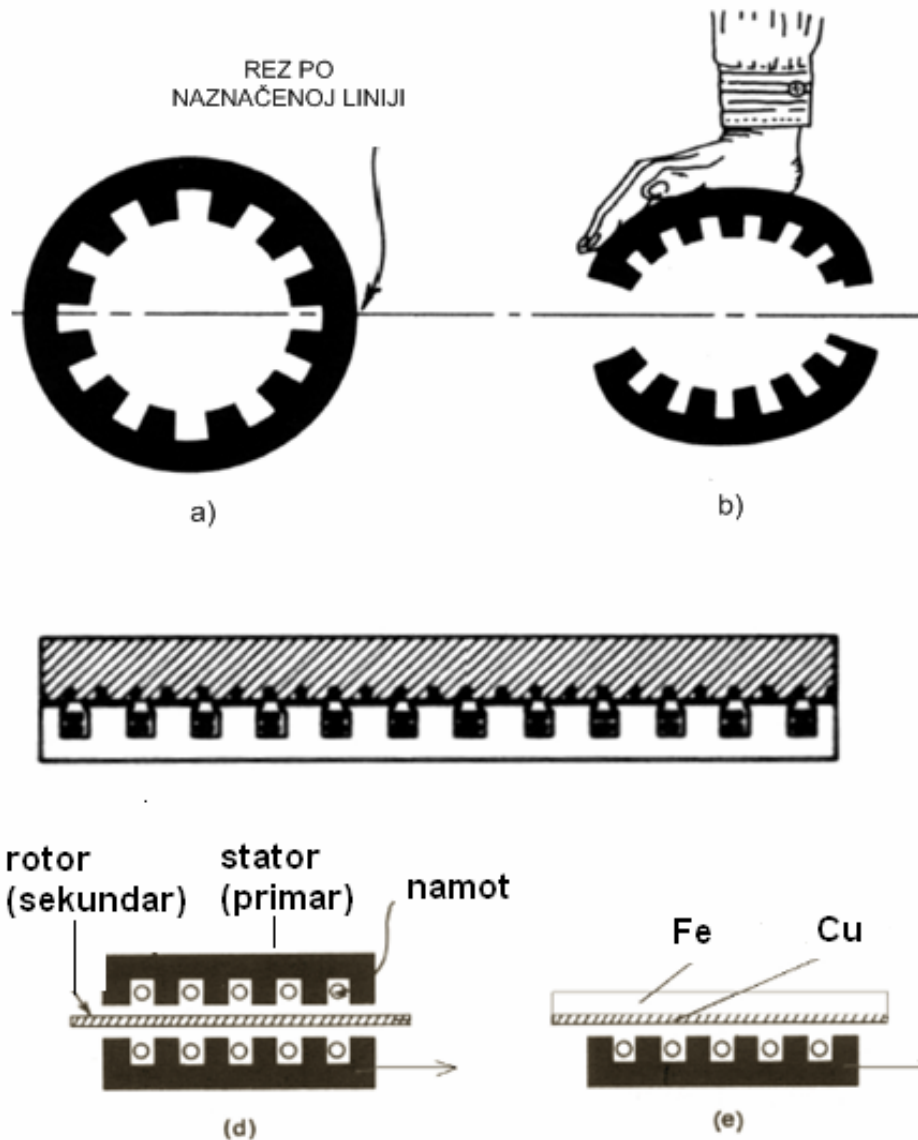


Translacijski (linearni) motori

- Ako se obod statora i rotora uz zračni raspor razvije u ravninu, **rotacijsko** gibanje se pretvara u **translacijsko**.
- Iako postavljeno načelo vrijedi za sve vrste strojeva, kao translacijski motori najčešće se koriste **asinkroni motori s punim rotorom** umjesto kaveza
- Zašto se uopće koriste translacijski motori? Odgovor – tamo gdje se traži translacijsko gibanje radnog mehanizma.
- Korištenje rotacijskog motora za translacijsko gibanje zahtijeva odgovarajući mehanički prijenosnik snage i gibanja; Primjer: zupčanik sa zupčastom letvom
- Učvršćenjem pogona zupčanika (lokomotiva) pomiče se zupčasta letva. Alternativno, ako se fiksira zupčasta letva, onda se pomiče translacijski motor koji je na pomičnoj platformi (načelo “lokomotive”)



Translacijski (linearni) motori



$$v_s = 2f\tau_p \left[m/s \right]$$

Ako polni korak s najmanje 3 utora ne može biti kraći od 5cm, kolika se najmanja brzina translacijskog polja može dobiti?

d) Dvostruki primar sa sekundarom (Cu il Al)

e) Jednostruki primar sa sekundarom od Al na podlozi od Fe

ISTOSMJERNI STROJEVI

KRATKI OPIS OSNOVNIH KOMPONENATA

Stator

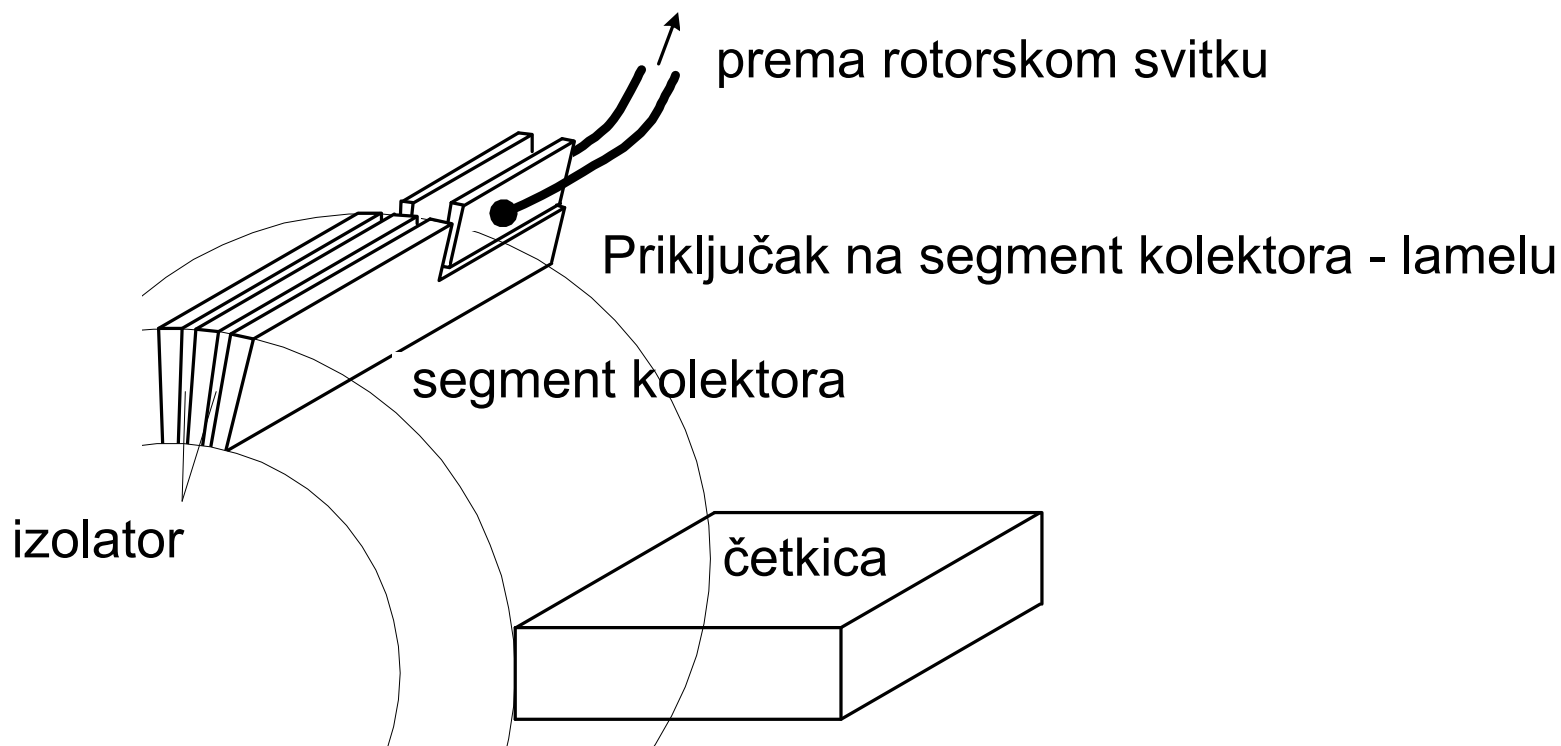
Nepokretni dio, uglavnom je masivna željezna jezgra (jaram statora) koja ne mora biti lamelirana. Glavni magnetski polovi (ili elektromagneti) su pričvršćeni za stator i osiguravaju nezavisnu uzbudu (magnetski tok). Taj tok se može mijenjati (ako se koristi elektromagnetska uzbuda), a može biti stalan (permanentni magnet)

Rotor (Armatura)

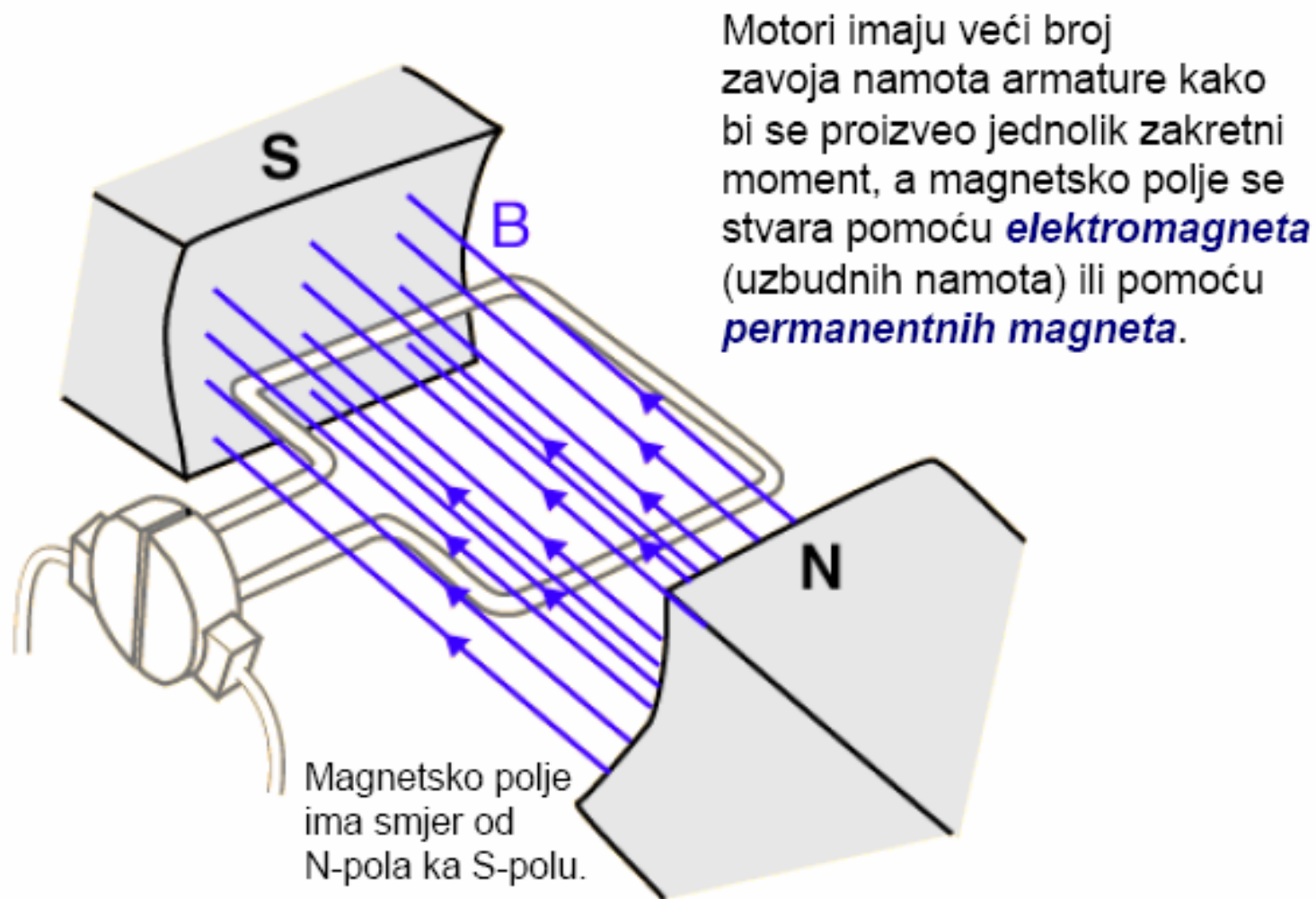
Pokretni dio, izrađen od lameliranog željeza (zbog izmjenične struje u rotoru istosmjernog stroja) u kojem se nalaze utori za smještaj vodiča rotora. Rotorski namot se sastoji iz jednog ili više svitaka od kojih je svaki spojen na segment kolektora

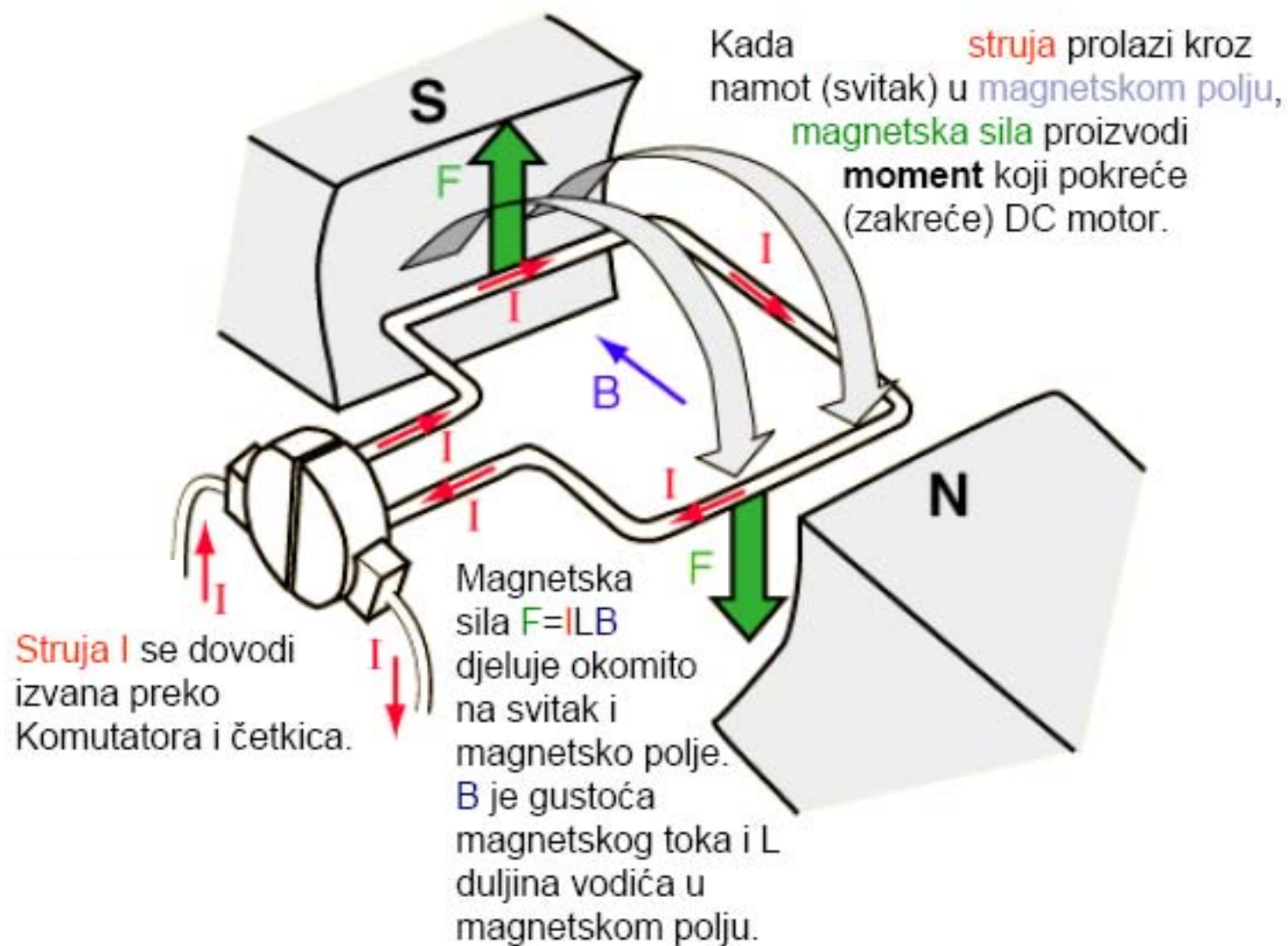
Kolektor

Segment kolektora je spojen s rotorskim zavojem (dio namota) spojnicom prikazanom na slici. Struja dolazi iz vanjskog izvora preko nosača četkica koji je priključen na kućište motora i preko spoja četkica i lamele kolektora ulazi u namot (na mjestu neutralne zone, nema induciranog napona u tom zavoju)!



Segment kolektora s četkicom- načelo rada



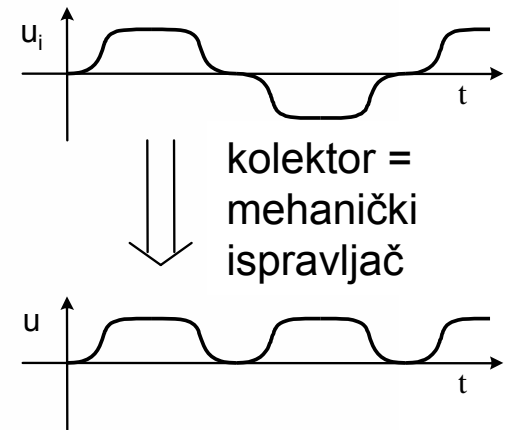
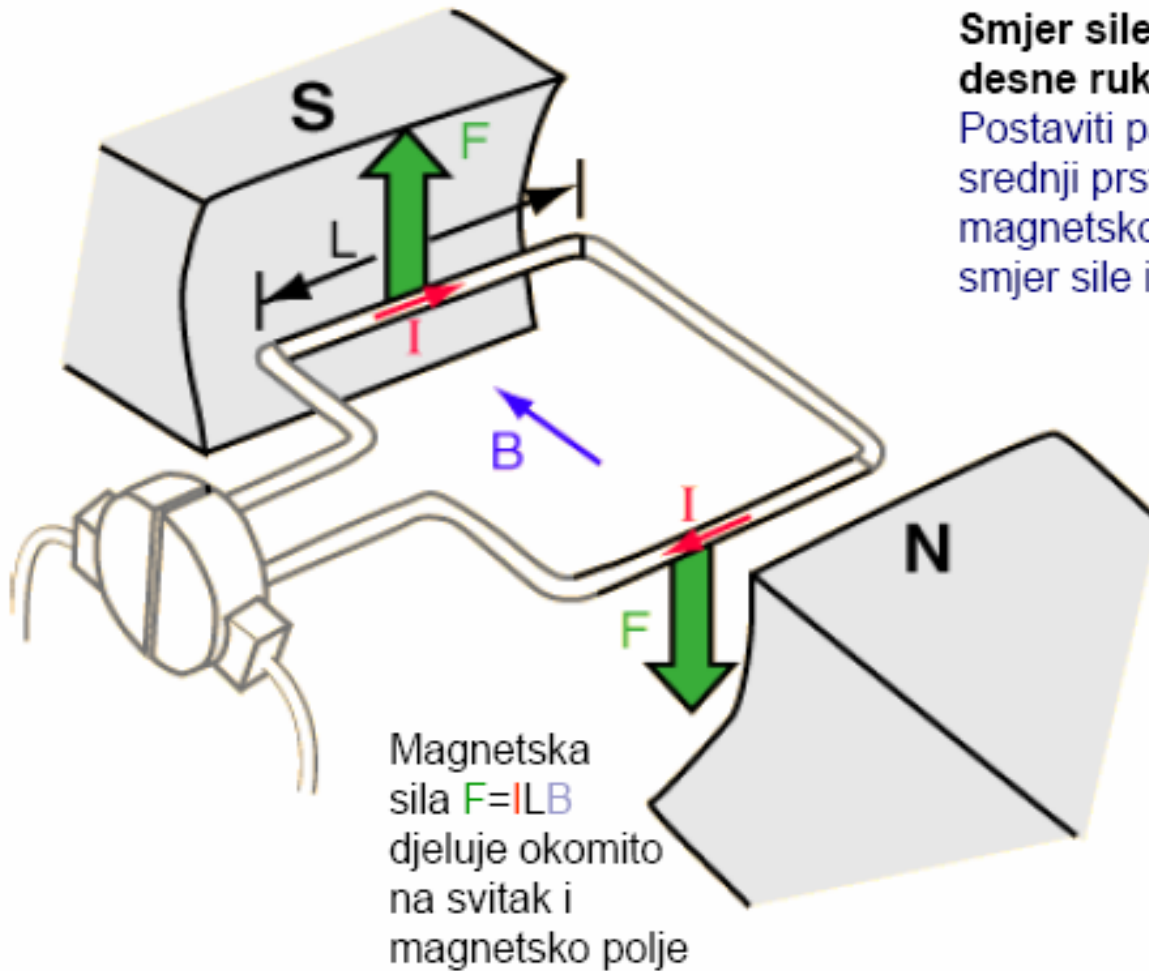


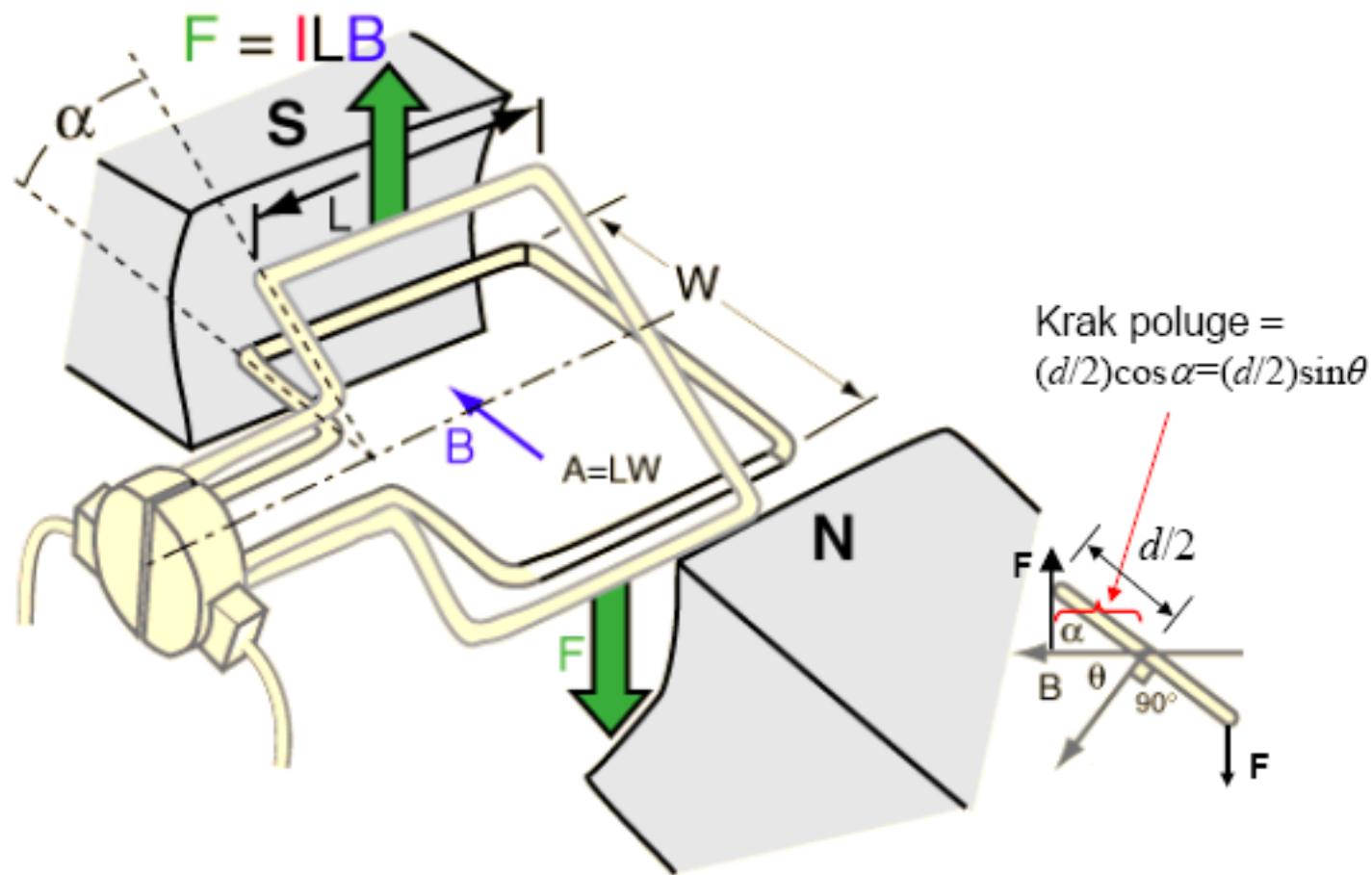
Lorenz-ov zakon sile:

$$\mathbf{F} = \mathbf{I} \times \mathbf{B}$$

Smjer sile se određuje pravilom desne ruke:

Postaviti palac u smjeru struje, srednji prst u smjeru djelovanja magnetskog polja (indukcije), tada smjer sile izlazi iz dlana.

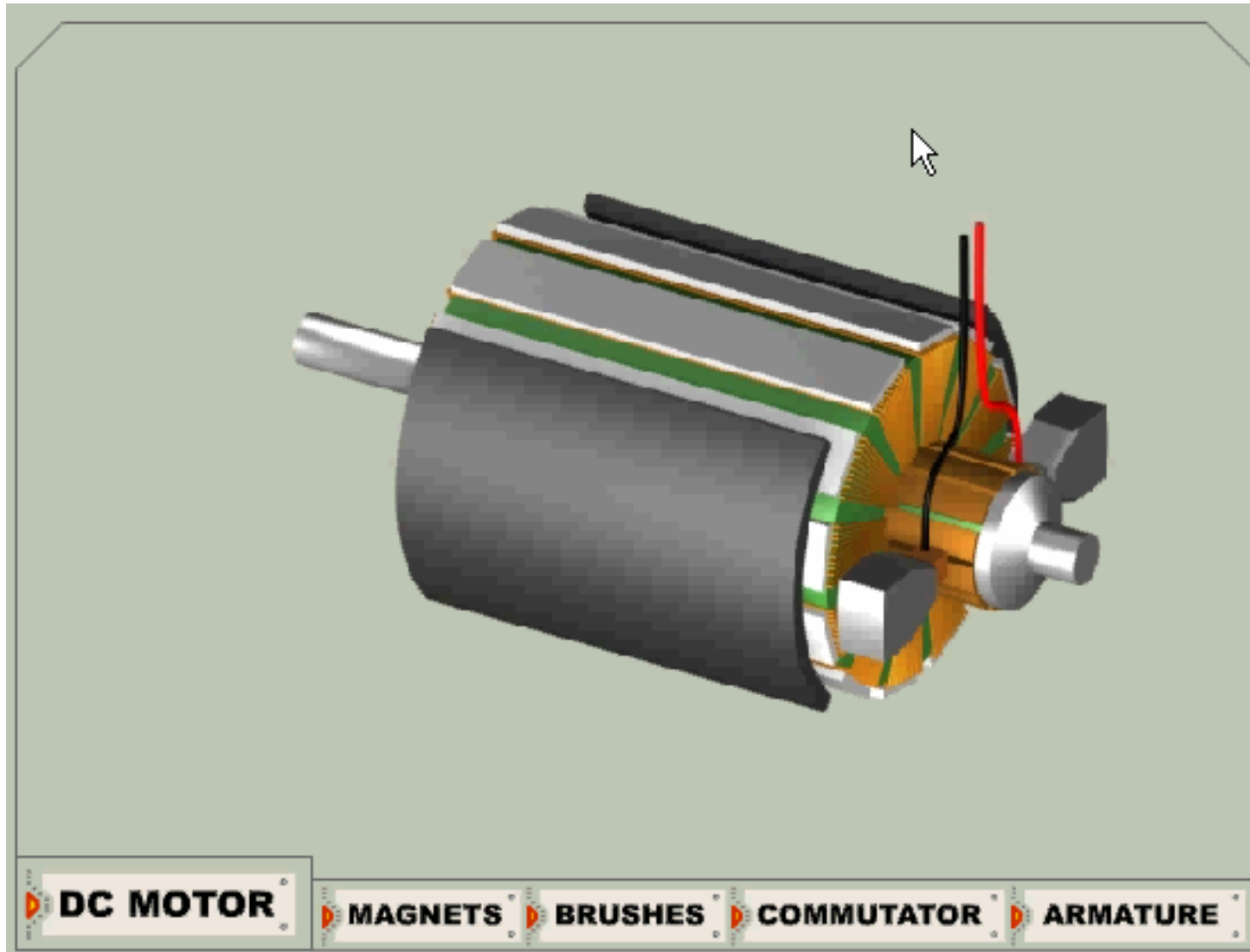




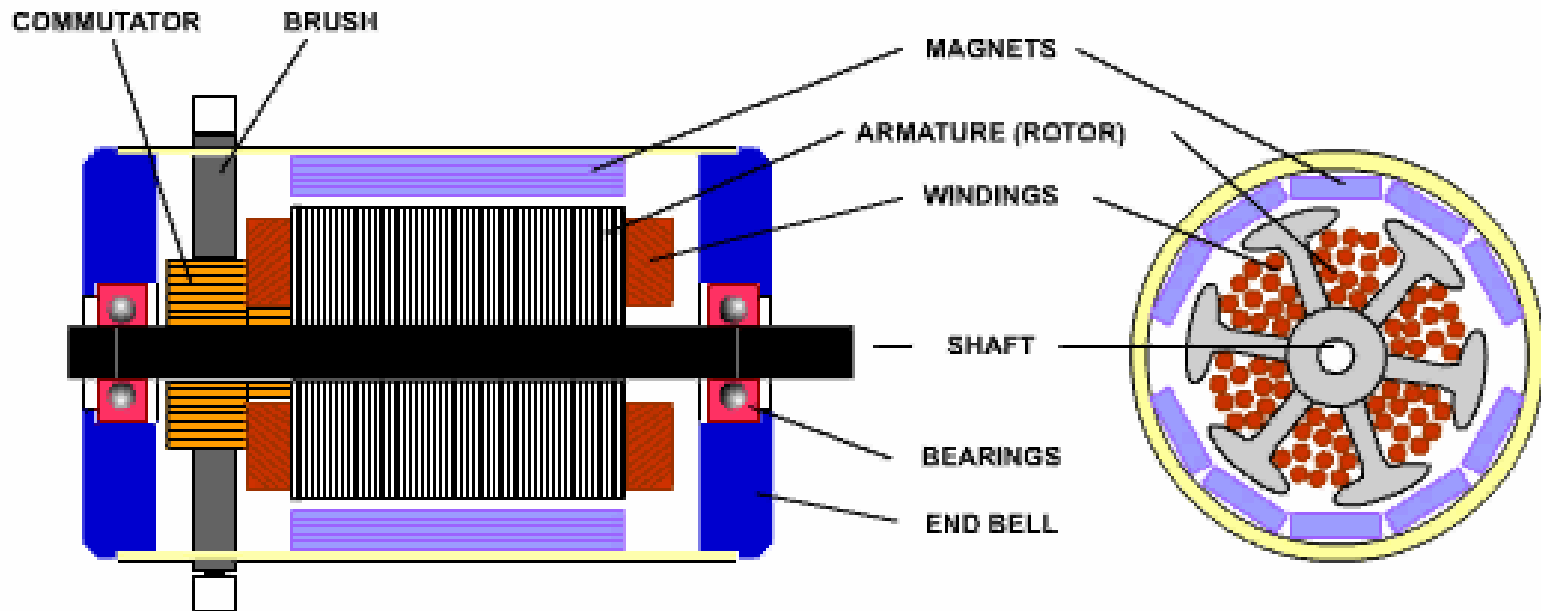
Budući da magnetska sila djeluje na krak poluge koji se mijenja po sinusnom zakonu, i zakretni moment se mijenja po istom zakonu.

DC motor – dijelovi motora

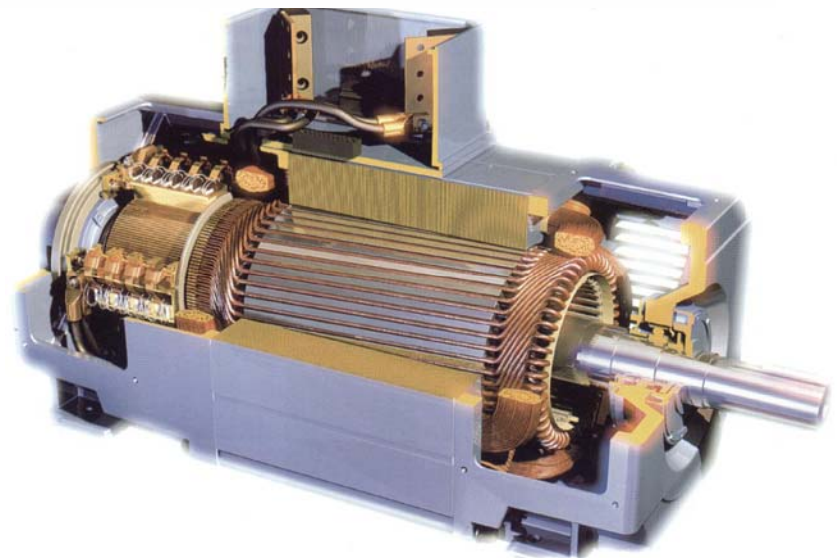
STATOR→permanentni magnet (el-magnet); **ROTOR**→armaturni namot



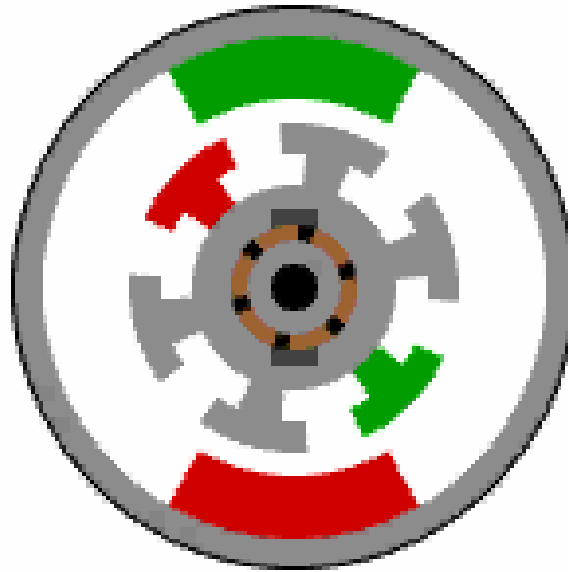
DC motor – uzdužni i poprečni presjek



Suvremena izvedba DC motora



DC motor – funkcija pojedinih dijelova stroja



CRVENO → Magnet ili namot s obilježjem “**N**” pola

ZELENO → Magnet ili namot s obilježjem “**S**” pola

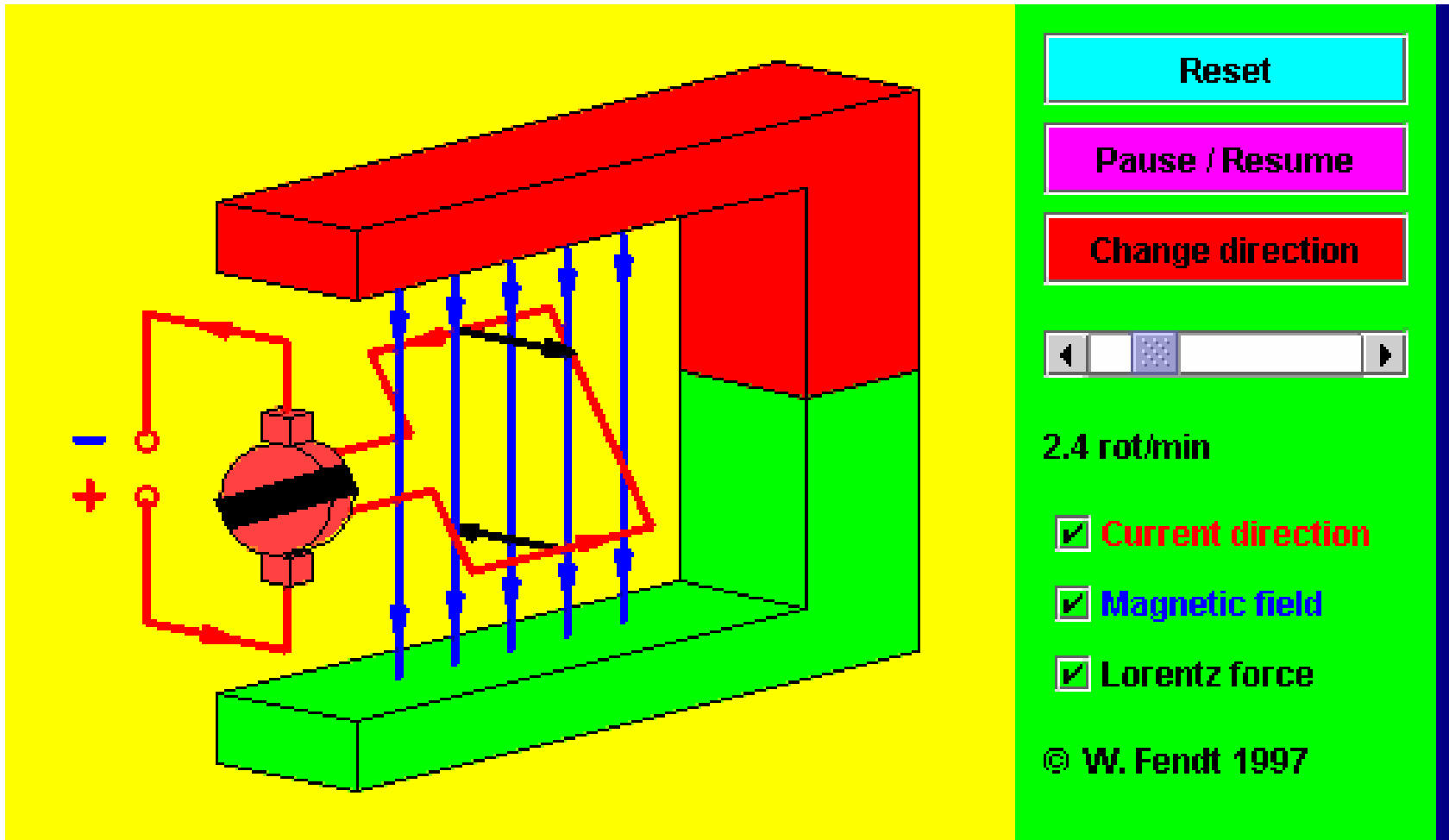
Stator je sastavljen iz više dijelova permanentnog magneta

Rotorski namoti su spojeni na lamele kolektora (**smeđa boja**), 3 para polova

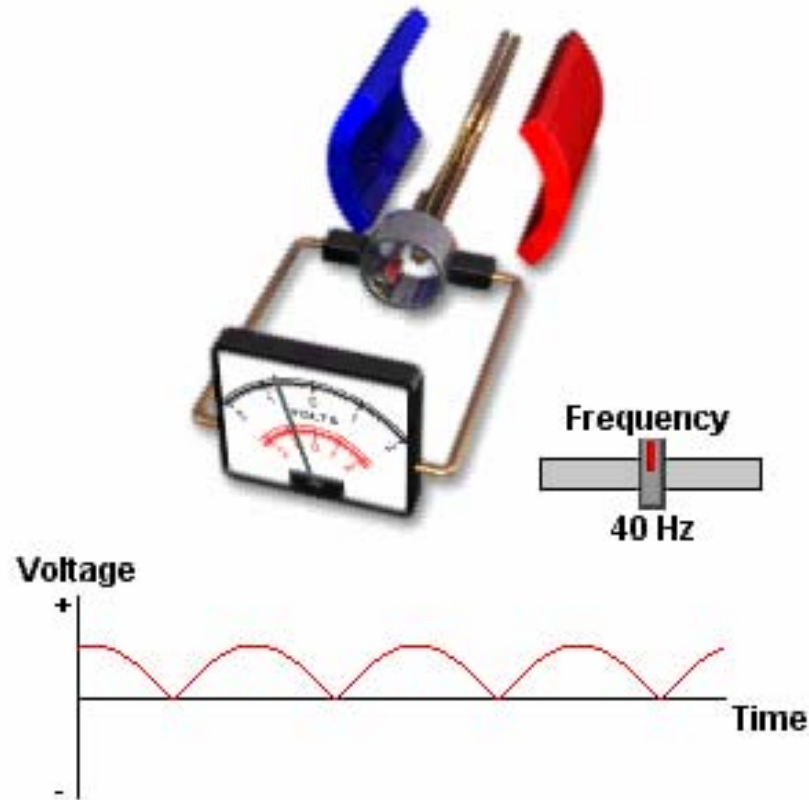
Četkice su **tamno-sive**.

Razmak između lamela je **crni** prostor.

DC motor – prikaz stvaranja momenta i brzine vrtnje rotora

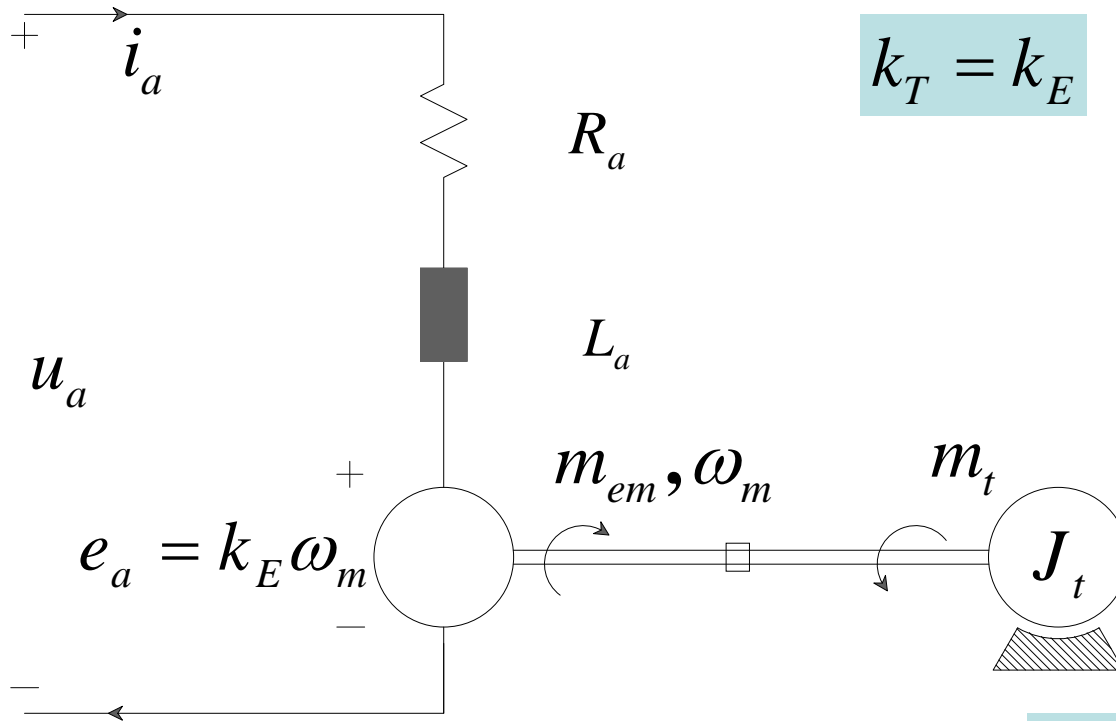


DC stroj kao GENERATOR istosmjernog napona



Sustav “četkica-kolektor” ispravlja **IZMJENIČNI** inducirani napon armaturnog namota u **ISTOSMJERNI** napon na četkicama

DC motor – matematički model



$$e_a = k_E \omega_m$$

$$u_a = e_a + R_a i_a + L_a \frac{di}{dt}$$

$$m_{em} = k_T i_a$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J_{eq}} (m_{em} - m_t)$$

Stacionarno stanje

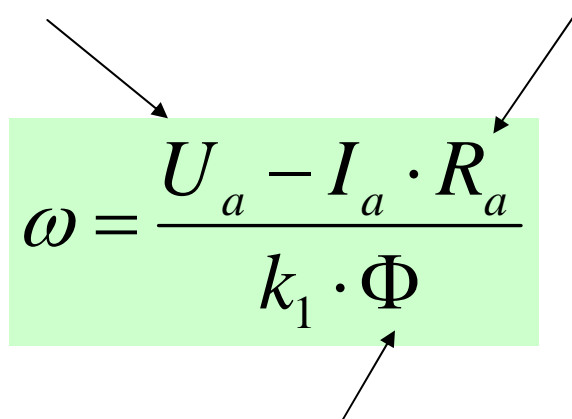
$$I_a = \frac{M_{em} (= M_t)}{k_T}$$

$$\omega = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_1 \cdot \Phi} = \frac{U - I_a \cdot R_a}{k_E}$$

Kako mijenjati brzinu vrtnje istosmjernog stroja ?

(1) Promjenom **napona** armature

(3) Promjenom **otpora** armature

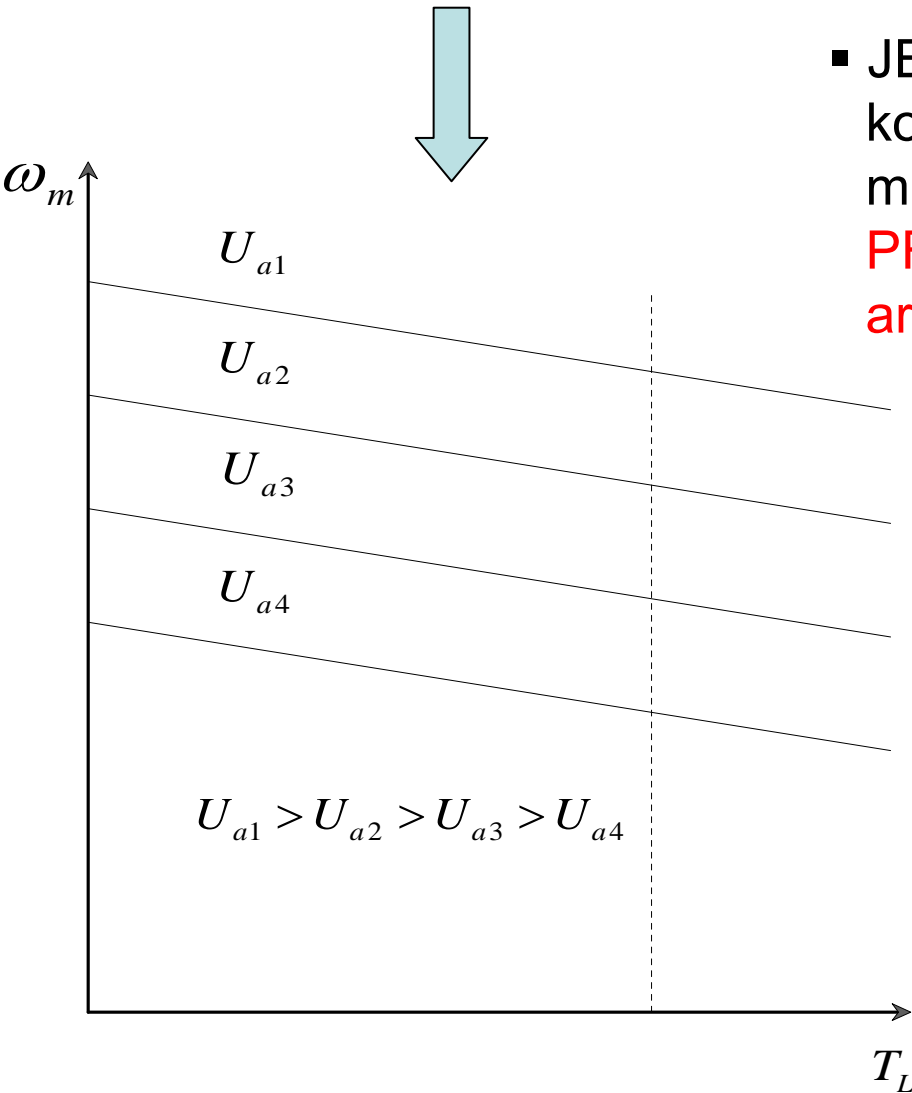

$$\omega = \frac{U_a - I_a \cdot R_a}{k_1 \cdot \Phi}$$

(2) Promjenom **uzbude** (magnetskog toka)

(1) Promjenom napona armature

- Povijesno gledano, prvo kvalitetno rješenje upravljanja bez značajnijih gubitaka je kao na slici (Ucrtati reg. transformator, diodni ispravljač i DC motor). Slika!
- Za veće snage se kasnije koristi sustav izmjenični AM koji vrti istosmjerni stroj kao generator (IG), koji je električki napaja istosmjerni motor (IM) s nezavisnom uzбудom. Regulacijom uzbudne struje IG-a regulira se direktno napon armature IM-a koji ima konstantnu uzбудu (slika)
- Nova rješenja su sa mrežnim pretvaračem u armaturnom krugu motora kojim se osigurava 4Q pogon (slika)

DC motor – Vanjske karakteristike



- JEDNOSTAVNOST upravljanja → uz konstantno opterećenje brzina vrtnje se mijenja približno **PROPORCIONALNO s NAPONOM armature**

$$\omega_m = \frac{u_a - \cancel{i_a R_a}}{\underbrace{k_1 \Phi}_{\text{Konst.}}} \approx k u_a$$

(2) Promjenom uzbude (magnetskog toka)

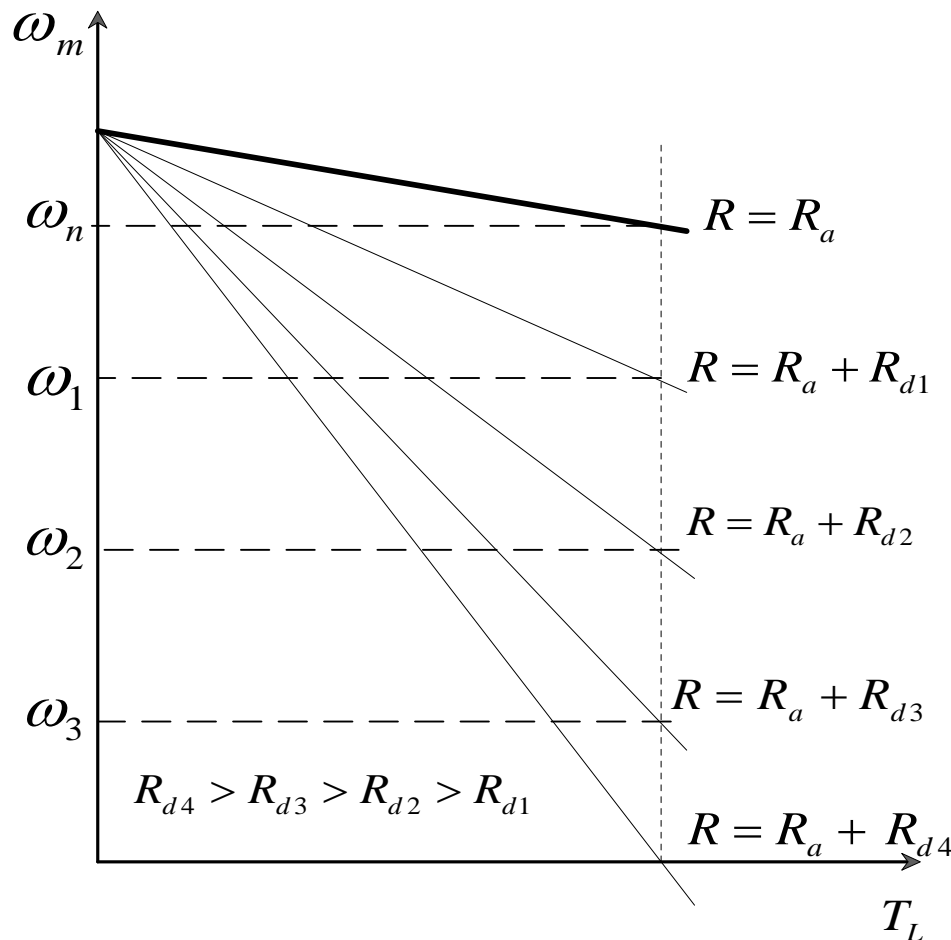
- Jednostavan način koji vrijedi samo onda ako uzbuda nije izvedena pomoću permanentnih magneta. Ako je uzbuda izvedena pomoću elektromagneta, promjenom uzbudne struje proporcionalno se mijenja i magnetski tok (sve do zasićenja magnetskog kruga)
- Uzbudna struja se prije mijenjala mijenjajući otpor uzbudnog kruga s promjenljivim otpornikom. Gubici, razvija se toplina na otporniku. Zbog topline se mijenja i ukupan otpor namota uzbude pa se ne može osigurati ni konstantan magnetski tok (radnu točku stalno treba podešavati!)
- Nova rješenja koriste usmjerivački sklop energetske elektronike koji može vrlo jednostavnu regulirati konstantnu uzbudnu struju a s time i tok

(3) Promjenom otpora armature

- Mijenjajući otpor armature mijenja se nagib karakteristika $n=f(M)$. Pri tome se brzina praznog hoda ne mijenja.
- Nekada se koristilo značajno u istosmjernoj vuči gdje su se radne točke i u motorskom i u kočnom režimu podešavale promjenom otpora u armaturnom krugu (primjer tramvaja, još uvijek je jedna serija takvih tramvaja u redovnom prometu u Zagrebu).
- Loša energetska bilanca, veliki dio energije se pretvara u toplinu na regulacijskim otpornicima

DC motor – Vanjske karakteristike

- U seriju s armaturnim namotom postavlja se otpornik (otpornici)
- Promjenom iznosa tog otpornika mijenja se nagib vanjske karakteristike
- Ako se pretpostavi konstantan moment opterećenja



- Rotorski otpornik u funkciji startera (pokretača)
- Za pokretanje se polazi od najvećeg dodatnog otpornika R_{d1} (brzina=0) do kratko spojenog dodatnog otpora, $R_d=0$
- Veliki gubici u otpornicima, neekonomično

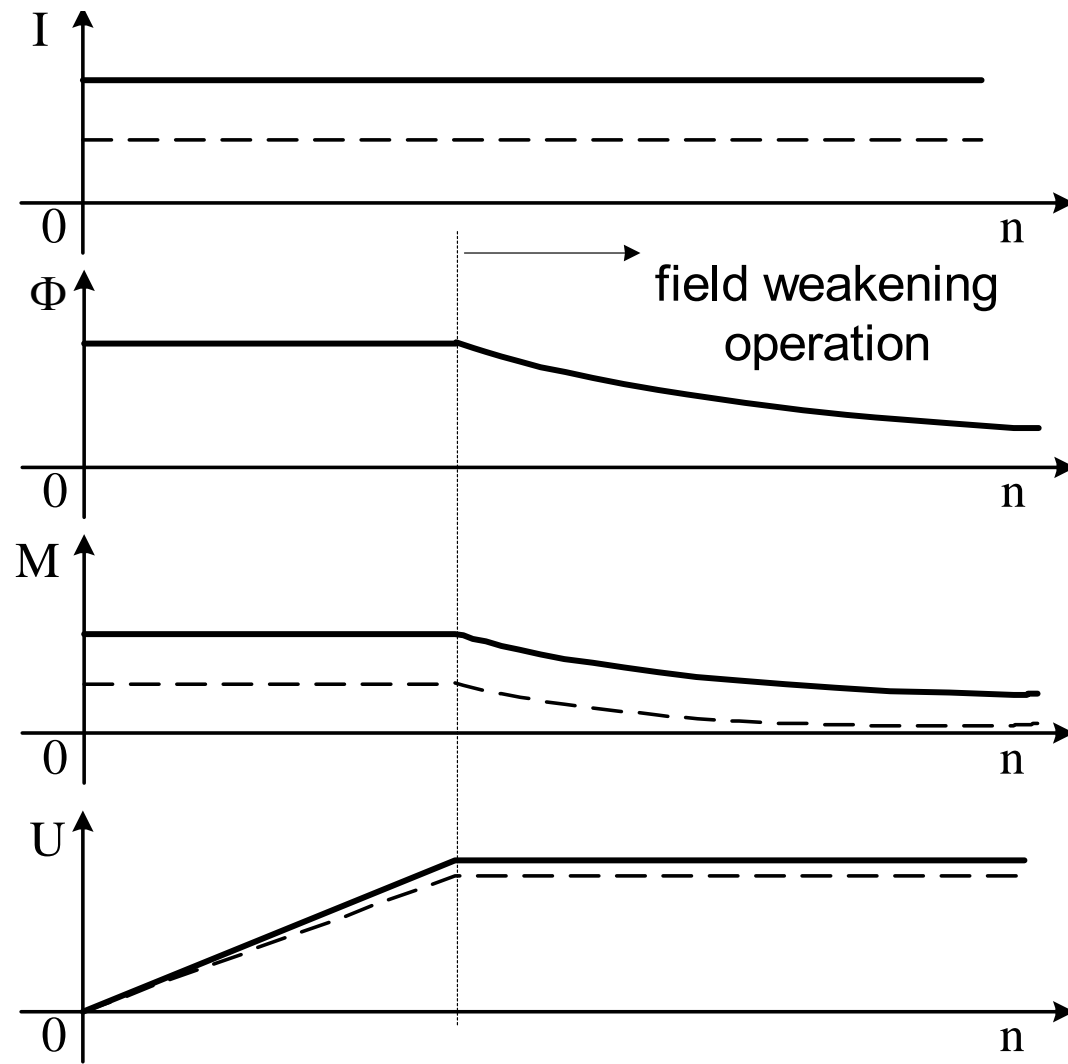
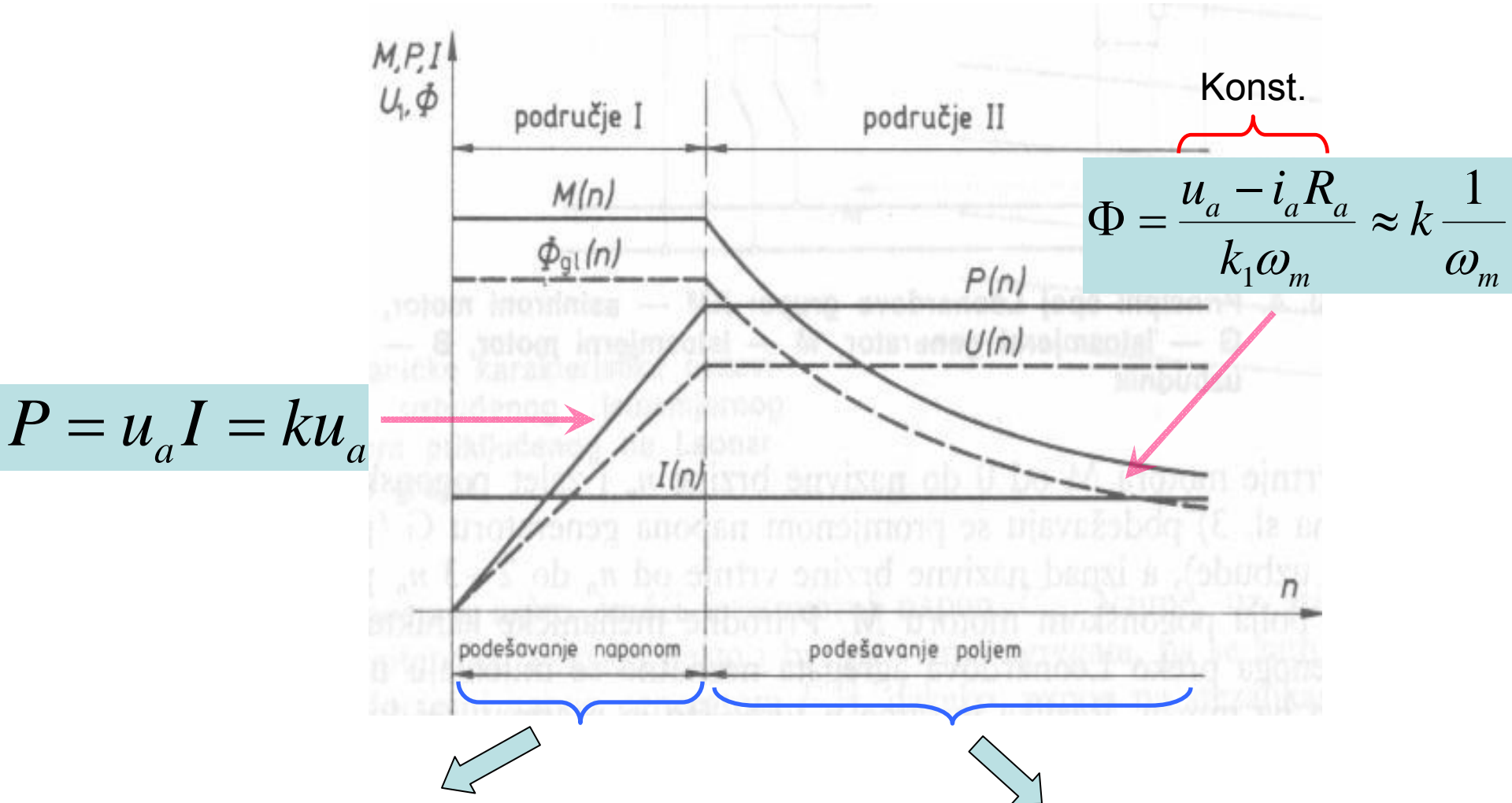


Fig. 3.5.16: Characteristics for controlled drive with variation of armature voltage and field weakening

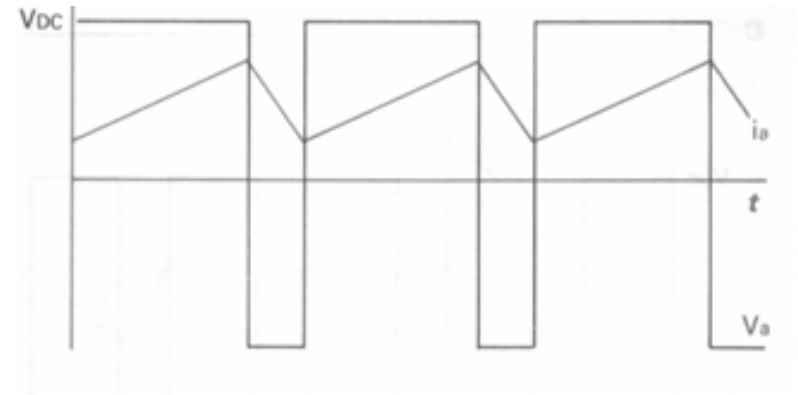
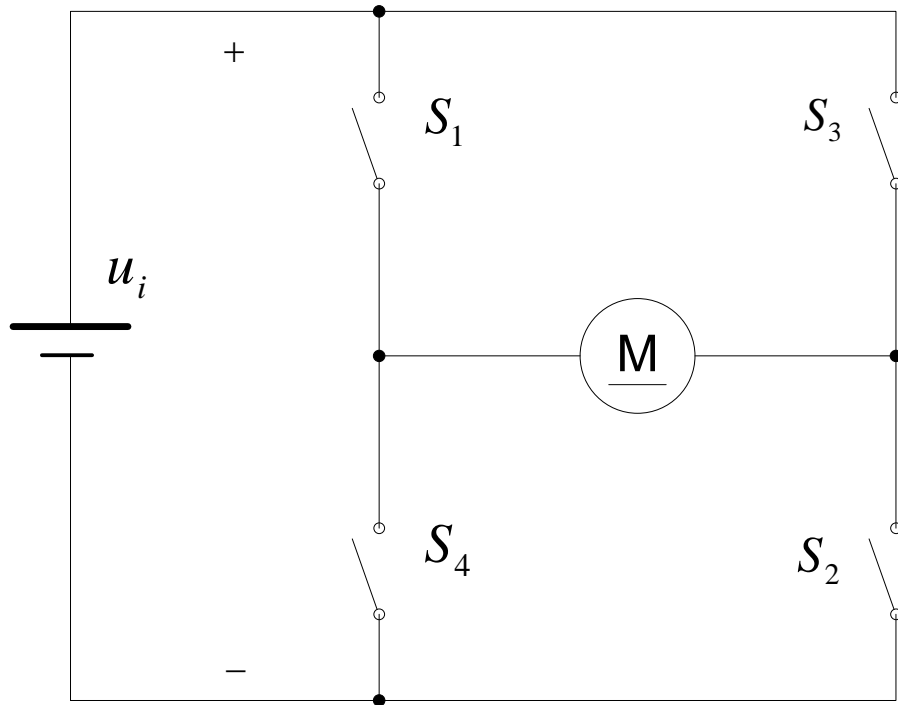
DC motor – Karakteristike regulacije



Područje **KONSTANTNOG MOMENTA**
konstantan → UZBUDNI TOK
mijenja se → NAPON armature

Područje **KONSTANTNE SNAGE**
konstantan → NAPON
mijenja se → UZBUDNI TOK

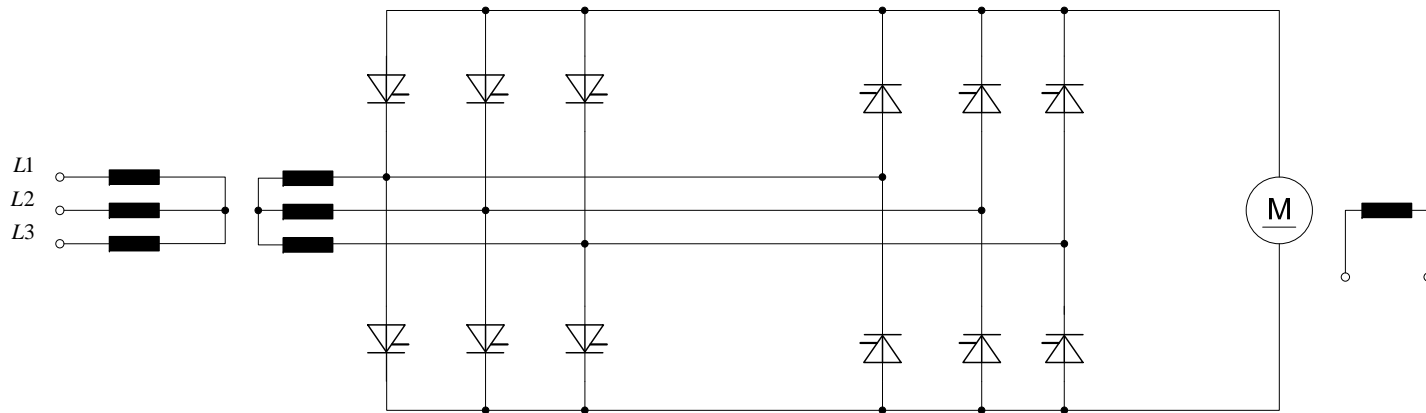
DC motor - upravljanje



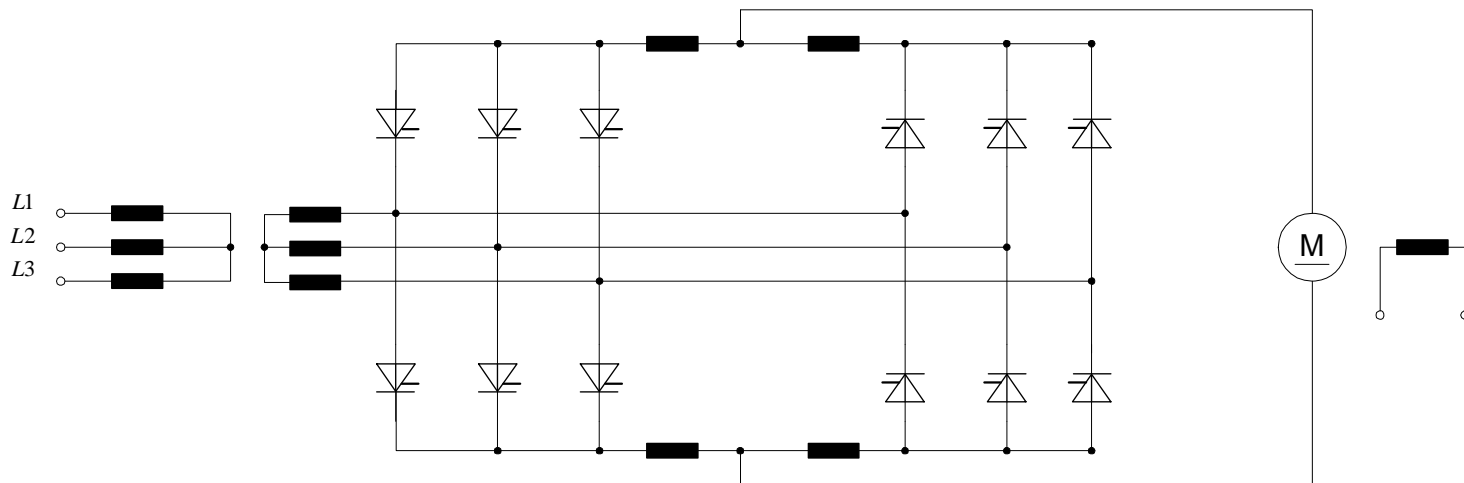
Valni oblici napona na motoru
 U_a i struje motora I_a

Upravljanje iz autonomnog izvora

DC motor - upravljanje



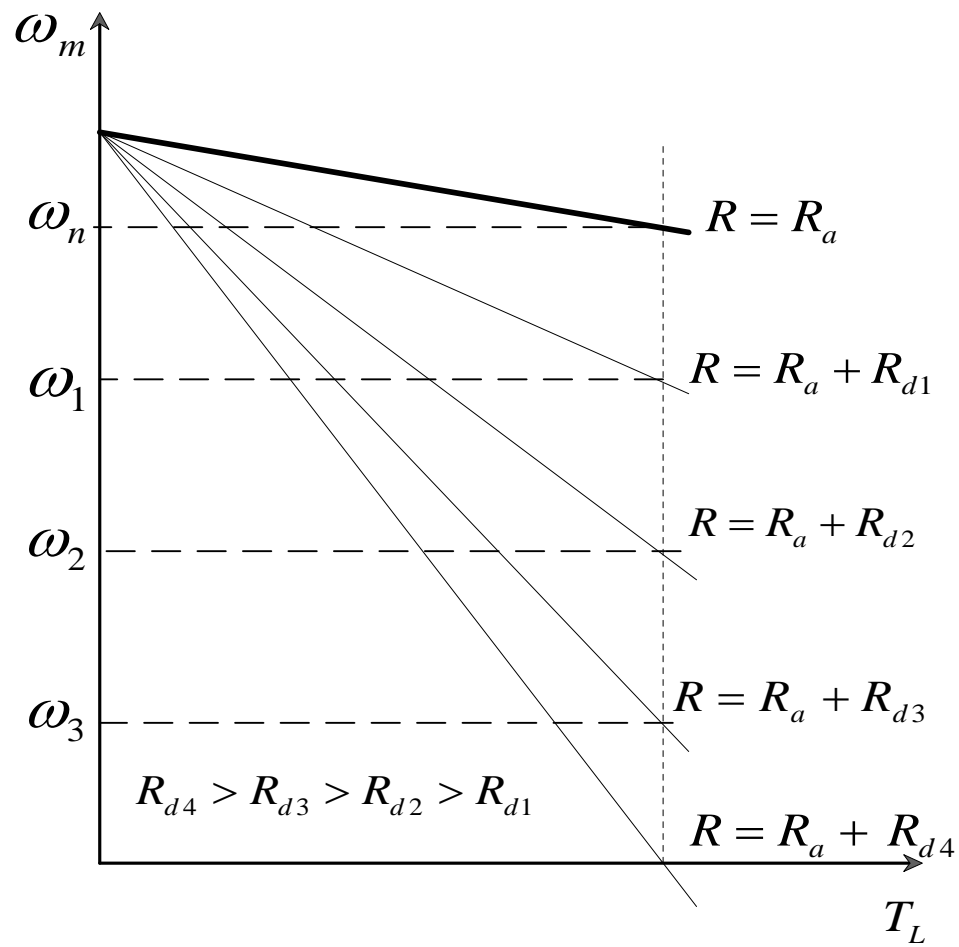
Antiparalelni spoj usmjerivača s vremenskim zatezanjem prilikom reverziranja, (bez kružnih struja)



Antiparalelni spoj usmjerivača bez vremenskog zatezanjem prilikom reverziranja (s kružnim strujama).

Literatura

1. <http://www.physclips.unsw.edu.au/jw/electricmotors.html#DCmotors>
2. <http://electronics.howstuffworks.com/motor.htm>
3. **R.Wolf."Osnove električnih strojeva", str.220-246, Školska knjiga, Zagreb, 1985.**



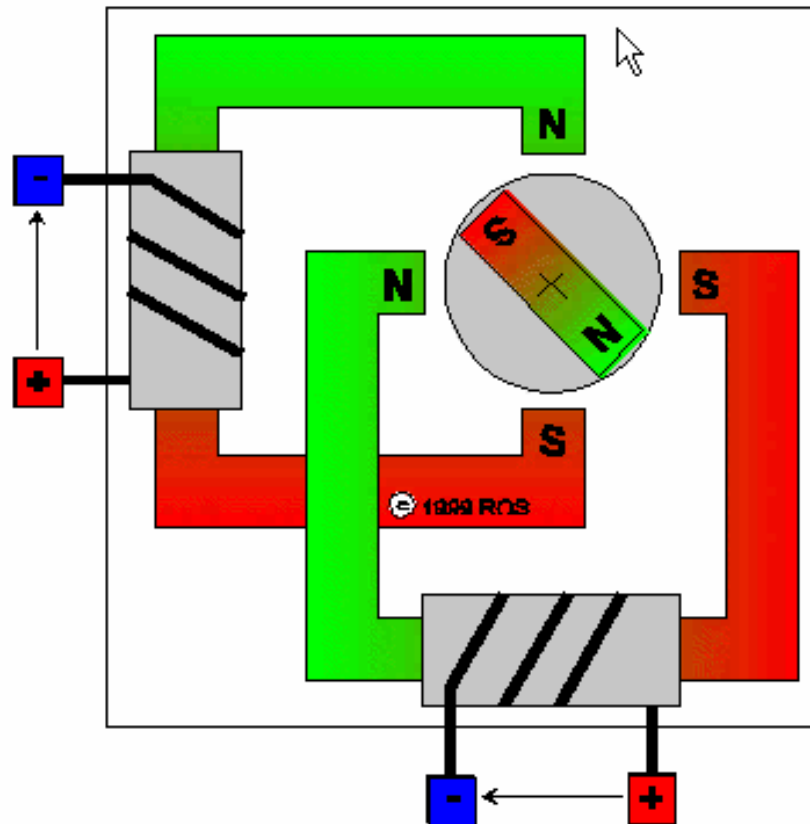
Koračni motori

- ☞ Koračni motori su elektromehanički pretvornici energije, koji *pulsnu* električnu pobudu pretvaraju u *koračni mehanički pomak (rotacijski ili translacijski)*.
- ☞ *Koračnim brzinama* kod komercijalnih motora se kreće od oko 100 do preko 10.000 koraka u sekundi [k/s].
- ☞ Na malim *koračnim brzinama* rotor se *zaustavlja na svakome koračnom položaju*. Na srednjim brzinama nema zaustavljanja rotora na svakome koračnom položaju, ali kutna *brzina oscilira ovisno o položaju*. Na velikim koračnim brzinama kutna brzina prelazi u *kontinuirano gibanje*.

Tipovi koračnih motora:

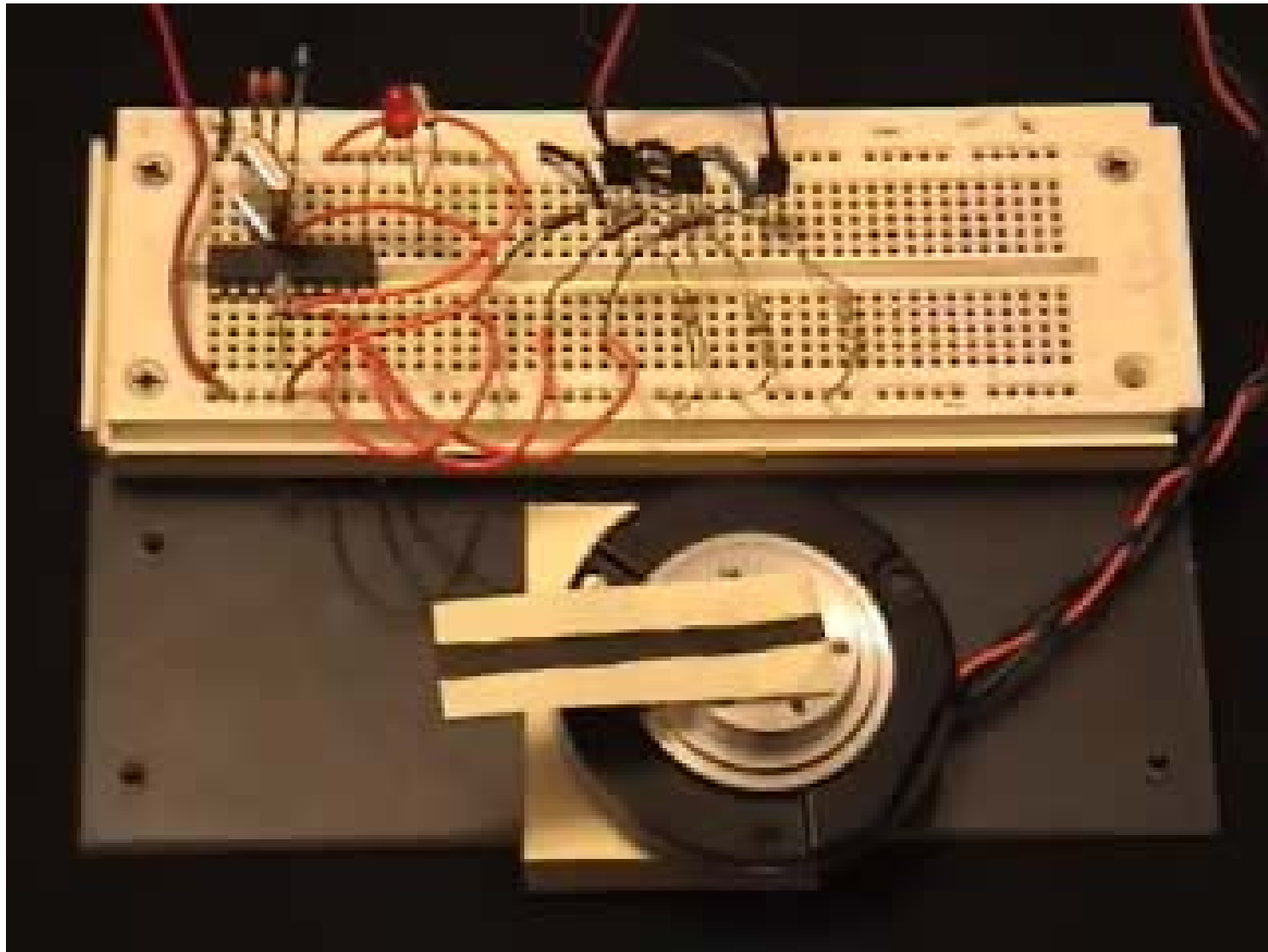
- permanentnomagnetski;
- koračni motori s promjenljivom reluktancijom;
- hibridni koračni motori.

Koračni motor – načelo rada



Prekidački dvofazni koračni motor

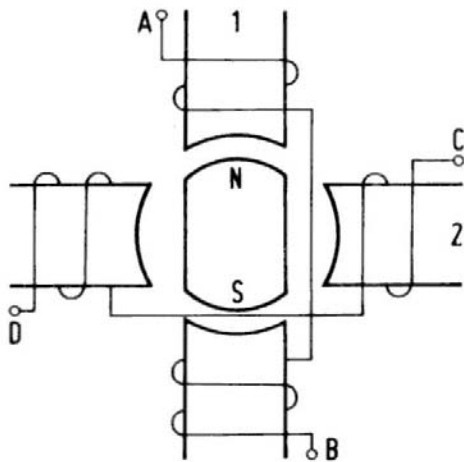
Koračni motor- Animacija



Koračni motori

Permanentnomagnetski koračni motori (1)

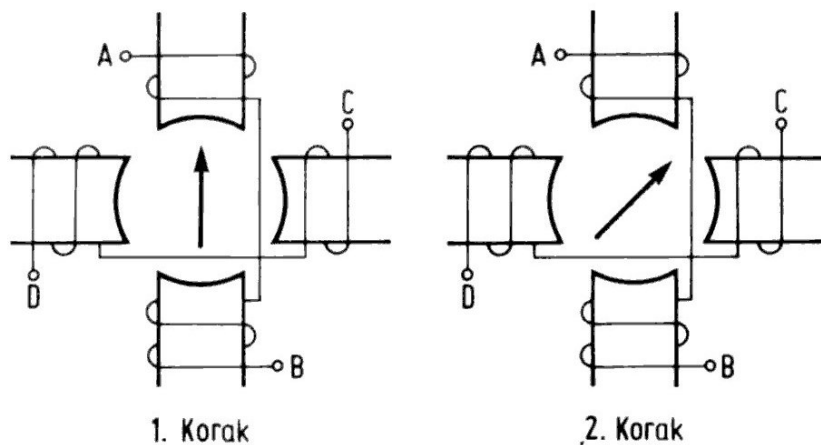
- ➡ Radijalno magnetizirani **permanentnomagnetski rotor** i **višefazni stator**
- ➡ **Uzastopnim ukapčanjem** ili okretanjem smjera **struje pojedinih statorskih faza** ili njihovih kombinacija po određenom redoslijedu, **rezultantno magnetsko polje statora se skokovito mijenja** u jednome ili u drugom smjeru.
- ➡ Rotor se postavlja **u smjeru rezultantnoga statorskog polja** - **koračna rotacija**.



Korak	FAZA 1		FAZA 2	
	A	B	C	D
1.	+(+)	-(-)	0(0)	0(0)
2.	0(0)	0(0)	+(-)	-(+)
3.	-(-)	+(+)	0(0)	0(0)
4.	0(0)	0(0)	-(+)	+(-)

Dvofazni permanentnomagnetski koračni motor – **koračni hod**.
(oznake u zagradama → drugi smjer brzine vrtnje)

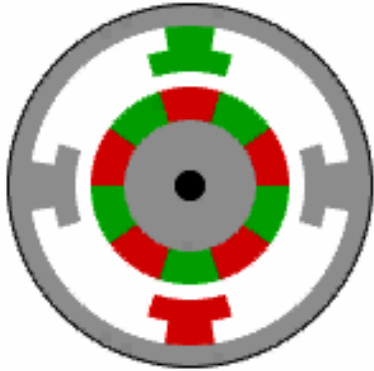
Koračni motori - Permanentnomagnetski (2)



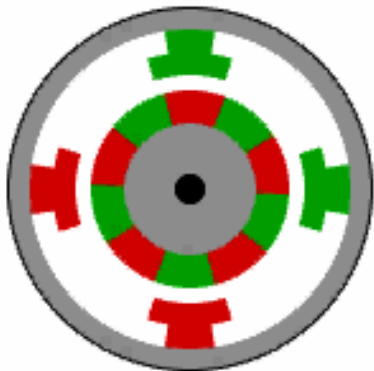
Korak	FAZA 1		FAZA 2	
	A	B	C	D
1.	+(+)	-(-)	0	0
2.	+(+)	-(-)	+(-)	-(+)
3.	0	0	+(-)	-(+)
4.	-(-)	+(+)	+(-)	-(+)

Dvofazni permanentnomagnetski koračni motor – *polukoračni hod*

Koračni motori - Permanentnomagnetski (2)



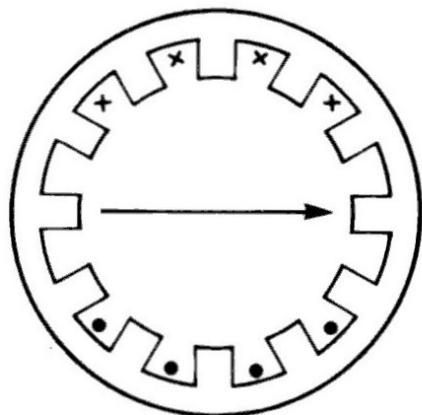
Koračni hod



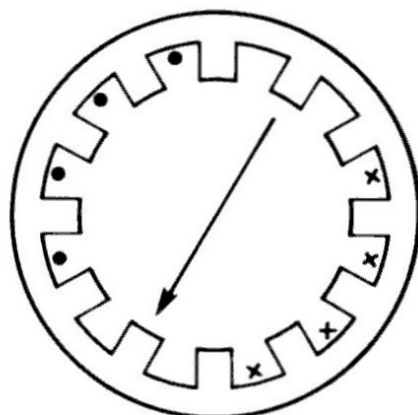
Polukoračni hod

Koračni motori

Permanentnomagnetski koračni motori (3)



1. Korak



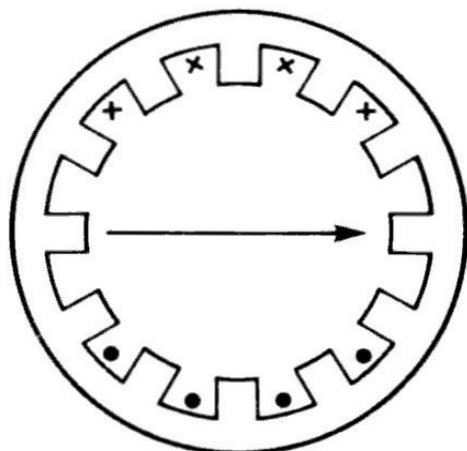
2. Korak

Korak	FAZE		
	I	II	III
1	+	0	0
2	0	+	0
3	0	0	+

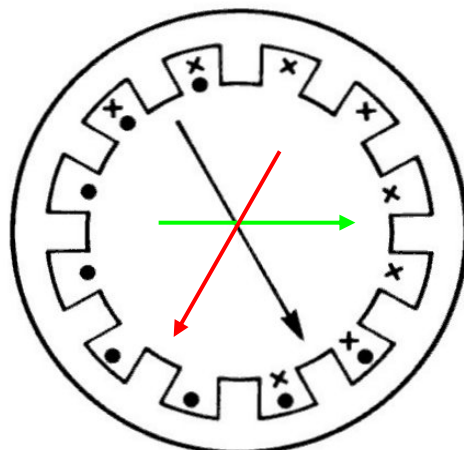
Trofazni permanentnomagnetski koračni motor – *koračni hod* od $2\pi/3$

Koračni motori

Permanentnomagnetski koračni motori (4)



1. Korak



2. Korak

Korak	FAZE		
	I	II	III
1	+	0	0
2	+	+	0
3	0	+	0
4	0	+	+
5	0	0	+
6	+	0	+

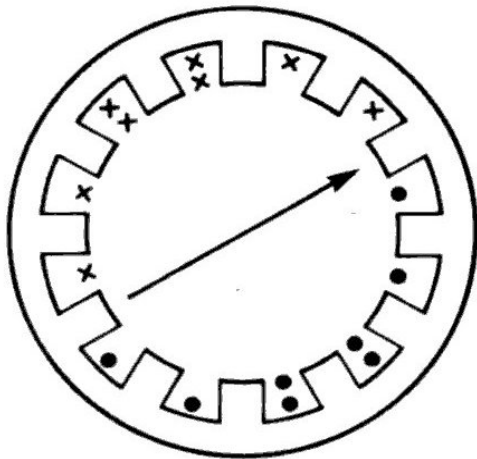
Trofazni permanentnomagnetski koračni motor – *koračni hod* od $\pi/3$.

Zelena strelica (I faza), Crvena strelica (II faza),

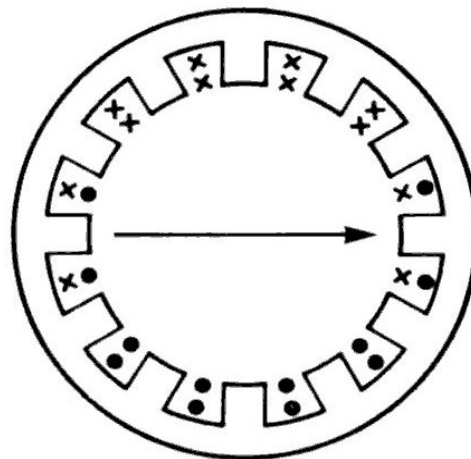
Crna strelica-rezultantno protjecanje

Koračni motori

Permanentnomagnetski koračni motori (5)



1. Korak



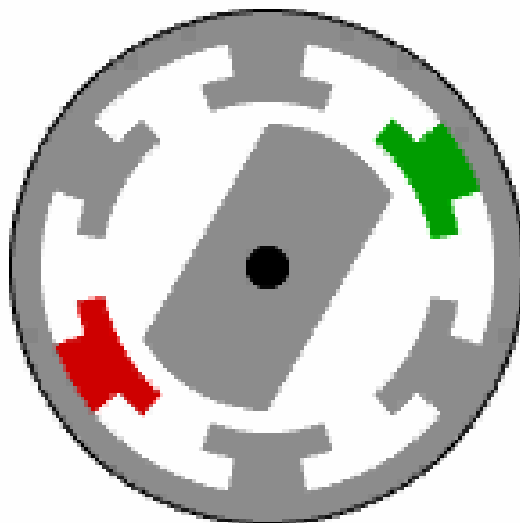
2. Korak

korak	FAZE			korak	FAZE		
	I	II	III		I	II	III
1	+	-	0	7	-	+	0
2	+	-	-	8	-	+	+
3	+	0	-	9	-	0	+
4	+	+	-	10	-	-	+
5	0	+	-	11	0	-	+
6	-	+	-	12	+	-	+

Trofazni permanentnomagnetski koračni motor – *koračni hod* od $\pi/6$.
 Nakon pobude s dvije faze slijedi uvijek pobuda sve tri faze

Koračni motori - Reluktantni (1)

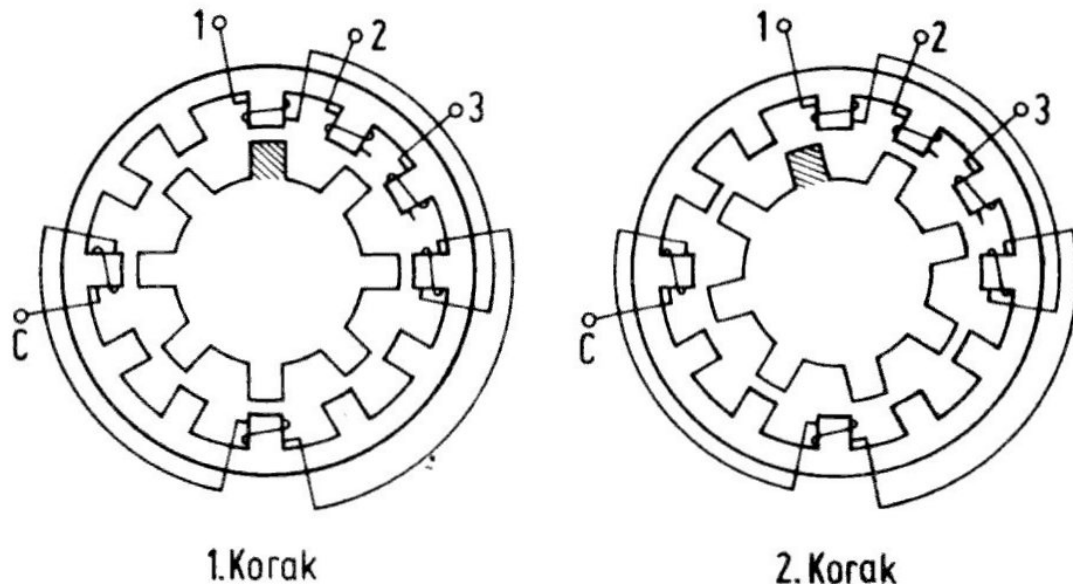
- ➡ Imaju **nazubljeni višefazni namotani stator** i **nazubljeni rotor od mekog željeza**.
- ➡ **Kut koračanja** im ovisi o **broju zuba statora i rotora**, o **načinu namatanja statorskih faza** te **načinu njihove pobude**.
- ➡ Trofazna verzija, na primjeru (slijedeći slide) ima dvanaest statorskih i osam rotorskih zuba, pa **zubni kut** među statorskim zubima iznosi 30° , a među rotorskim 45° .



Napomena: Rotor
NIJE permanentni
magnet već željezo

Prekidački reluktantni

Koračni motori - Reluktantni (2)



korak	FAZE		
	1.	2.	3.
I	+(+)	0(0)	0(0)
II	0(0)	0(+)	+(0)
III	0(0)	+(0)	0(+)

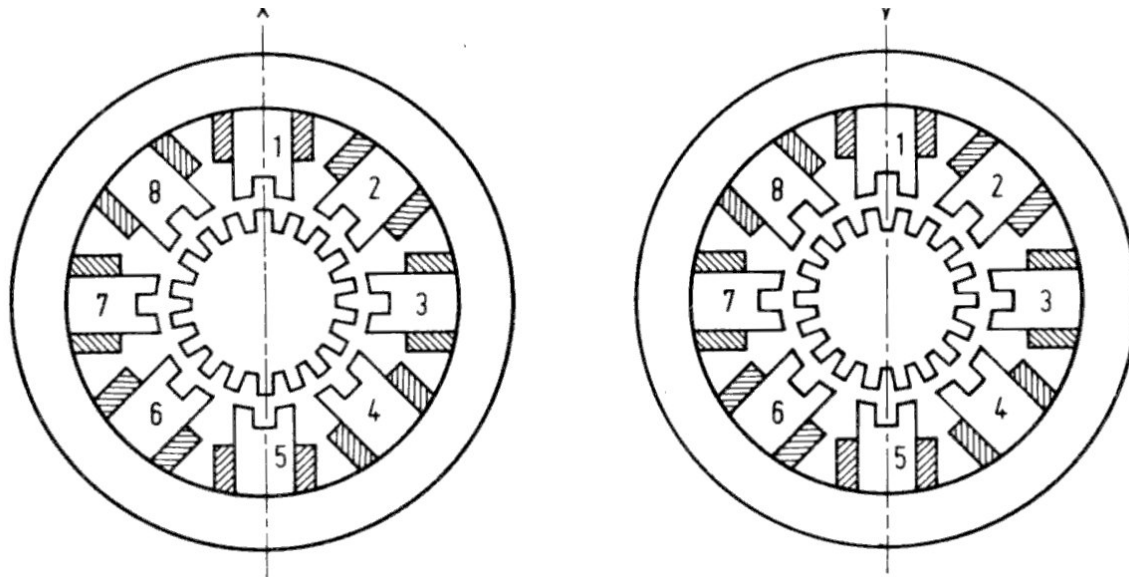
Trofazni koračni motor s promjenljivom reluktancijom.

- ☞ Pobuđivanjem faza prema slici, rotor se zakreće za **15°** ($45^\circ - 30^\circ$) u smjeru suprotnom od redoslijeda ukapčanja faza (u lijevu stranu).
- ☞ *Naizmjeničnim pobuđivanjem jedne pa dvije faze*, npr. kad se poslije faze 1. zajednički pobude faze 1. i 2., postiže se **polukoračni pomak od 7,5°** u lijevom smjeru

Koračni motori

Hibridni koračni motori

- Kombinacija načela na kojima se zasniva rad *permanentnomagnetskih* i motora *s promjenljivom reluktancijom*.
- S *nazubljenim statorom* na kojem se nalaze elektromagnetski svici i *nazubljenim rotorom* postižu se dobra svojstva *promjenljive reluktancije* i *permanentnoga magnetskog polja*.
- Zubi su najčešće *istoimeni permanentni magneti* ali ponekad mogu biti i *bez uzbuđe*



Poprečni presjek osampolnoga hibridnog motora, dva susjedna položaja

Koračni motori – vanjska karakteristika (primjer)

