

Lekcija 4

Istosmjerni motori s permanentnim magnetima

Prof.dr.sc. Jasmin Velagić

Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Aktuatori

4.1. Svojstva permanentnih magneta

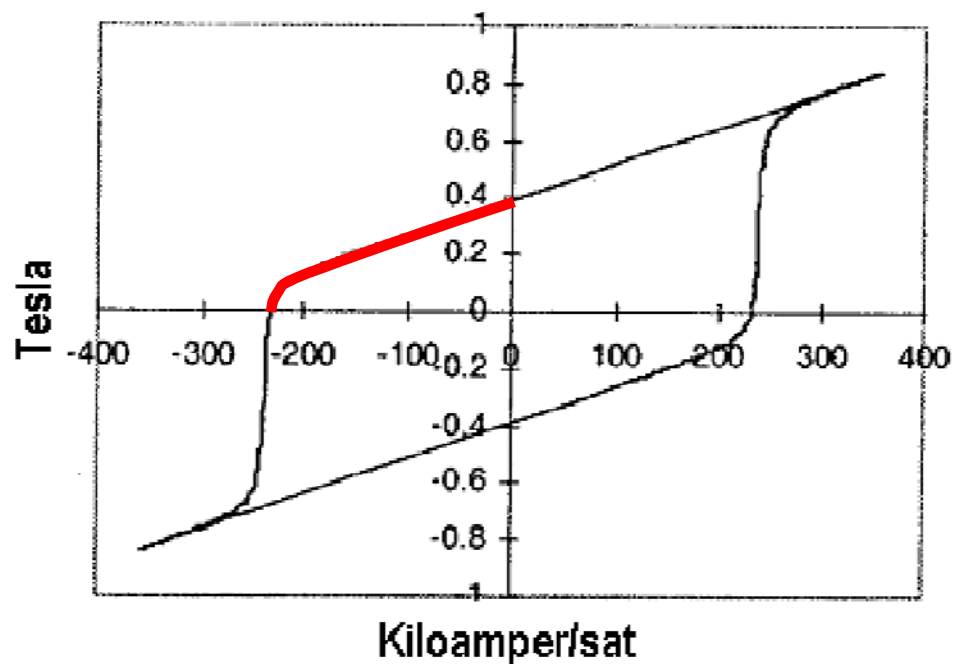
- Prednosti permanentnih magneta imaju u zadnjih nekoliko godina značajan utjecaj na razvoj električkih strojeva.
- **Ove prednosti su:**
 - *eliminiranje gubitaka u bakru,*
 - *visoka gustoća energije i efikasnost,*
 - *malen moment inercije rotora,*
 - *mogući veći zračni raspored zbog veće koercitivne sile.*
- **Nedostaci permanentnih magneta:**
 - *gubitak fleksibilnosti upravljanja magnetskim tokom,*
 - *troškovi visoke gustoće toka permanentnih magneta su visoki,*
 - *magnetske karakteristike se mijenjaju s vremenom,*
 - *gubitak magnetskih svojstava (magnetiziranja) iznad Curie-jeve temperature.*

Svojstva permanentnih magneta

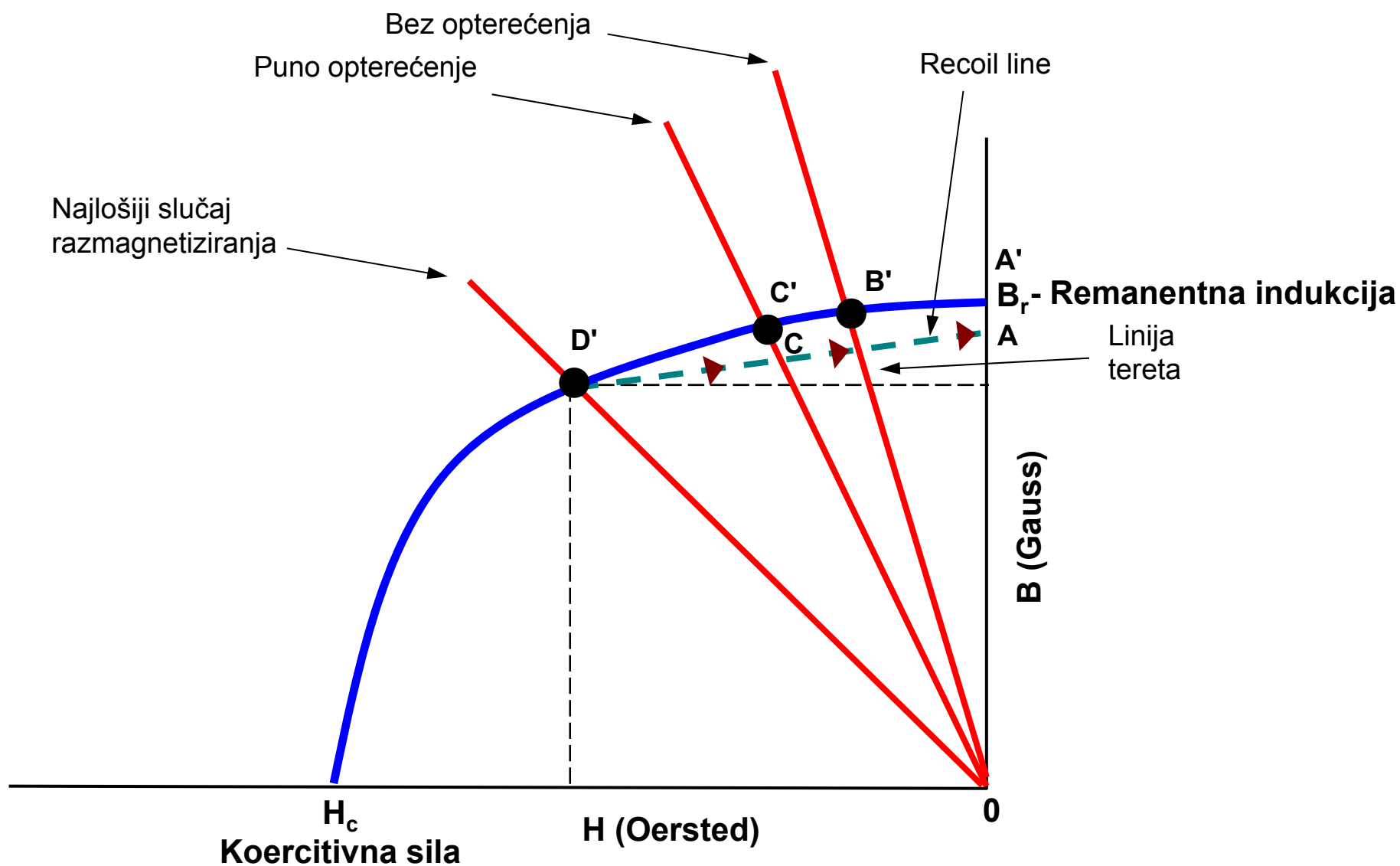
- Permanentni magnetski materijali imaju specijalne karakteristike koje se moraju uzeti u obzir pri dizajnu stroja.
- Naprimjer, najbolje performanse se postižu s lomljivom keramikom, neki materijali su **hemijski osjetljivi**, svi su **temperaturno osjetljivi** i većina ima **osjetljivost na razmagnetizirajuća polja**.
- Odgovarajući dizajn zahtijeva dobro razumijevanje materijala.

B-H petlja

- Tipična B-H petlja za permanentni magnet je prikazana na sljedećoj slici.
- Dio krivulje zbog koje se permanentni magneti koriste u dizajniranju motora je gornji lijevi kvadrant.
- Ovaj segment se naziva “**krivulja razmagnetiziranja**” i prikazana je na sljedećem slajdu.



Krivulja razmagnetiziranja



Krivulja razmagnetiziranja

- Gustoća remanentnog (zaostalog) toka B_r bit će raspoloživa ako je magnet kratko spojen.
- Međutim, sa zračnim rasporom razmagnetiziranje će rezultirati radnom tačkom bez opterećenja (tereta), B' .
- Nagib linije bez opterećenja je manji sa većim zračnim rasporom.
- S protokom struje kroz stator, nastaje sljedeće razmagnetiziranje permanentnog magneta koje uzrokuje pomicanje radne tačke prema C' , koja predstavlja puno opterećenje.
- Tranzijenti ili kvarovi stroja mogu dovesti do najlošijeg slučaja razmagnetiziranja koji vodi ka ukupnom razmagnetiziranju permanentnog magneta.
- Recoil line slijedi tranzijent koji pokazuje smanjenje gustoće magnetskog toka u usporedbi s originalnom linijom.
- Potpuno je jasna važnost upravljanja radom magneta kako bi se zadržala radna tačka van uvjeta najlošijeg slučaja razmagnetiziranja.

Razmagnetiziranje magneta motora

- Permanentni magnet se može djelimično ili potpuno razmagnetizirati djelovanjem suprotnog magnetskog polja.
- U slučaju motora s permanentnim magnetima suprotno magnetsko polje predstavlja reakciju armature, koju proizvode strujom protjecani armaturni namoti.
- Zbog toga dolazi do smanjenja pobudnog polja, koje je, međutim, do izvjesne mjere reverzibilno, tj. nestankom struje armature permanentni magneti se vraćaju u svoje prvobitno stanje.
- Ako jakost struje toliko poraste da komponenta jakosti magnetskog polja armature reakcije, koja djeluje na magnet, postane veća od vlastite koercitivne sile magneta, opadanje pobudnog polja postaje ireverzibilno.
- **Proces razmagnetiziranja funkcija je armature struje.**
- Struja razmagnetiziranja predstavlja struju koja razmagnetiziranjem permanentnih magneta smanjuje magnetsku konstantu motora za 5 %.

Razmagnetiziranje magneta motora

- Da bi se smanjila opasnost razmagnetiziranja, konvencionalno je usvojeno da se u motore ugrađuju takvi magneti koji će bez teškoće izdržati struju barem sedam puta jaču od nazivne.
- Jedan od načina da se motor zaštiti od razmagnetiziranja jest da se predvidi napajanje strujnim graničnikom.
- Drugi način je da se na čelo kućišta montira polni nastavak od mekog željeza kroz koji će, zbog smanjenja reluktancije, zatvoriti silnice reakcije armature, pa će permanentni magnet ostati pošteđen od njihova djelovanja.

Permanentnomagnetski materijali

- Prema tome, permanentni magneti koji se ugrađuju u istosmjerne motore moraju imati:
 - što veći remanentni magnetizam radi stvaranja jakog magnetskog polja,
 - što veću koercitivnu silu radi suprostavljanja utjecajima razmagnetiziranja,
 - što veći električki otpor radi sprječavanja vrtložnih struja,
 - što manji toplinski koeficijent kako bi magnetski tok bio što manje ovisan o temperaturnim promjenama.

Permanentnomagnetski materijali

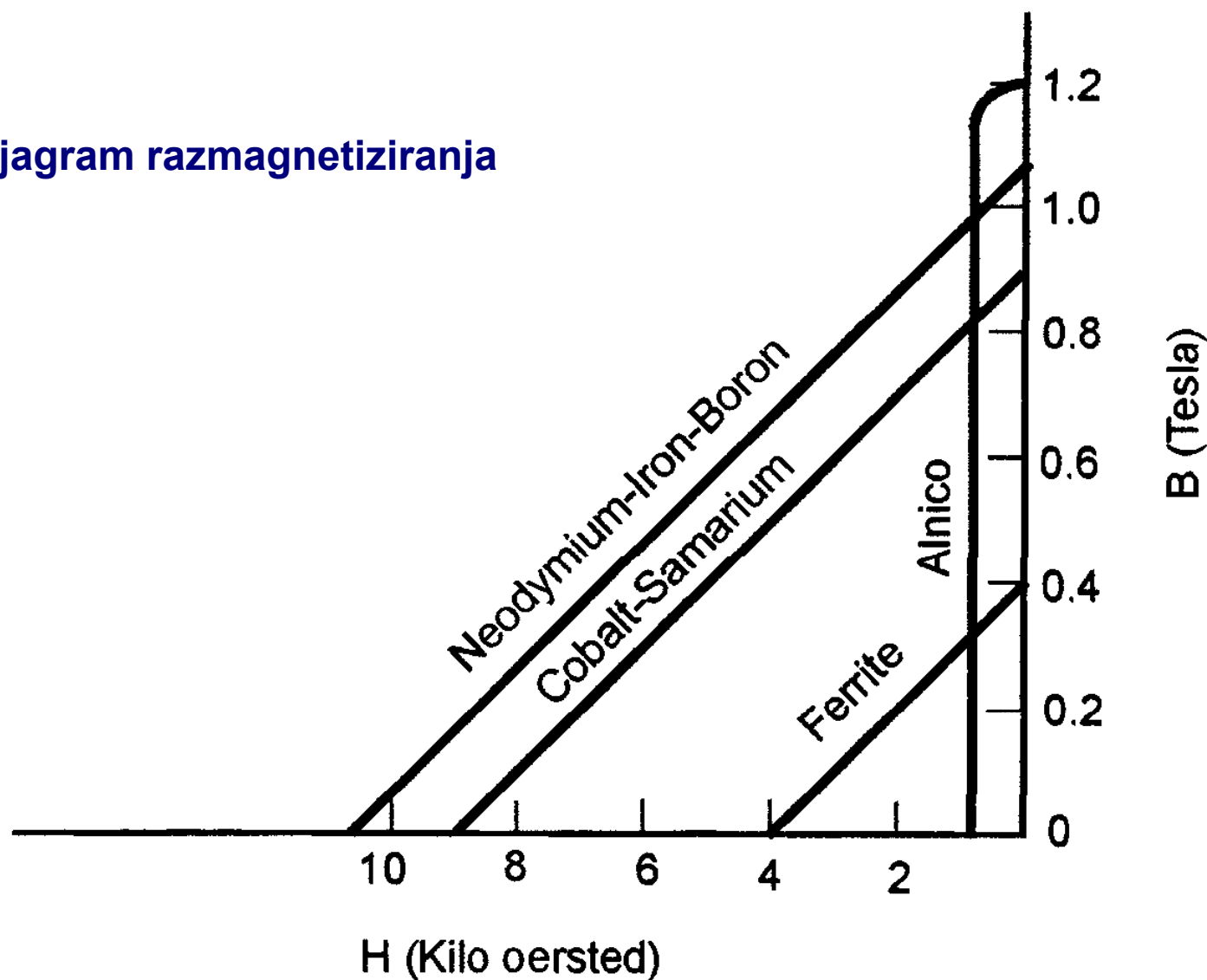
- **Alnico** – dobra svojstva ali premalena koercitivna sila i prevelika površina B-H petlje => lahko dolazi do permanentnog razmagnetiziranja.
- **Feriti** (Barij & Stroncij) – niska cijena, umjereno visoka radna temperatura (400°C) i pravolinijska krivulja razmagnetiziranja. Međutim, B_r je mali => volumen i veličina stroja trebaju biti veće.
- **Samarijum-Kobalt** (Sm-Co) – veoma dobra svojstva ali jako skup (budući da je Samarijum rijedak).
- **Neodymium-Željezo-Bor** (Nd-Fe-B) – veoma dobra svojstva osim što je Curie-jeva temperatura samo 150°C.

TABLE 3.1 ORDERING BY MEASURES USEFUL IN MOTOR APPLICATIONS

$(BH)_{max}$	B_r	H_c	Energy to magnetize	Max service temperature	Temperature stability	Relative cost to stored energy
Nd-Fe-B	Alnico	Sm-Co	Sm-Co	Alnico	Alnico	Sm-Co
SmCo	Nd-Fe-B	Nd-Fe-B	Nd-Fe-B	Sm-Co	Sm-Co	Nd-Fe-B
Alnico	Sm-Co	Ba,Sr ferrites	Ba,Sr ferrites	Ba,Sr ferrites	Ba,Sr ferrites	Alnico
Ba,Sr ferrites	Ba,Sr ferrites	Alnico	Alnico	Nd-Fe-B	Nd-Fe-B	Ba,Sr ferrites

Permanentnomagnetski materijali

Dijagram razmagnetiziranja

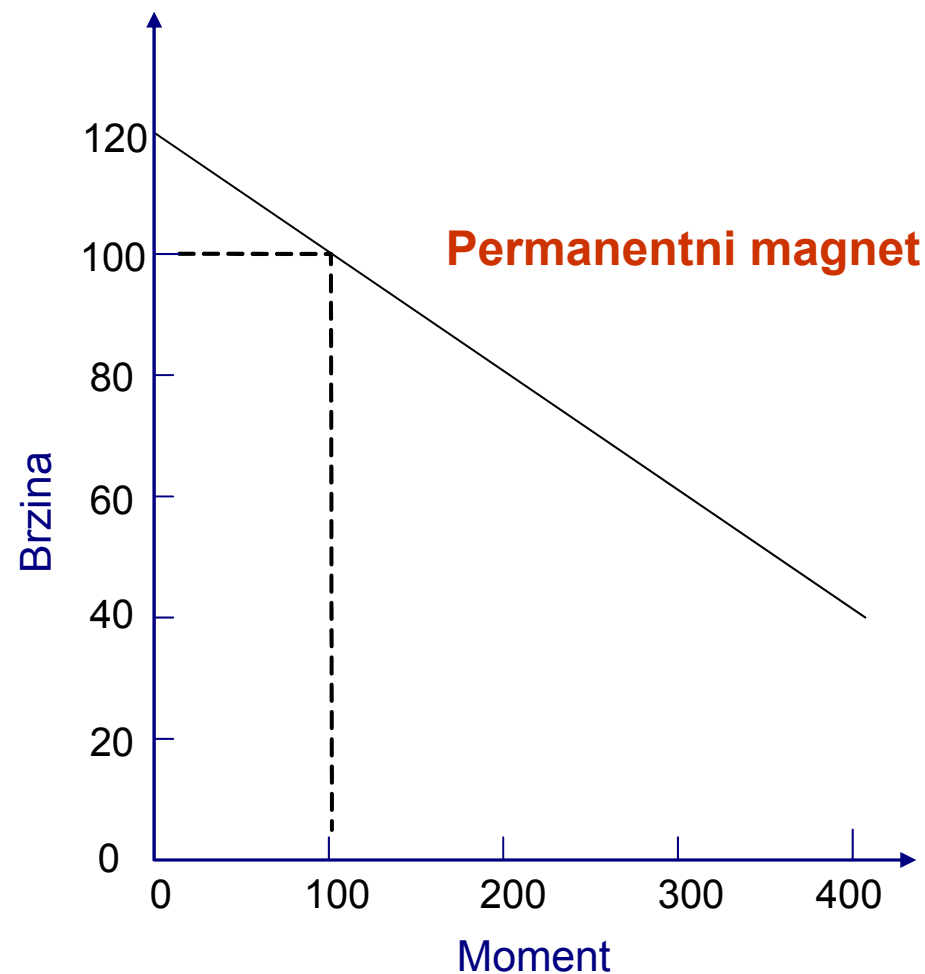
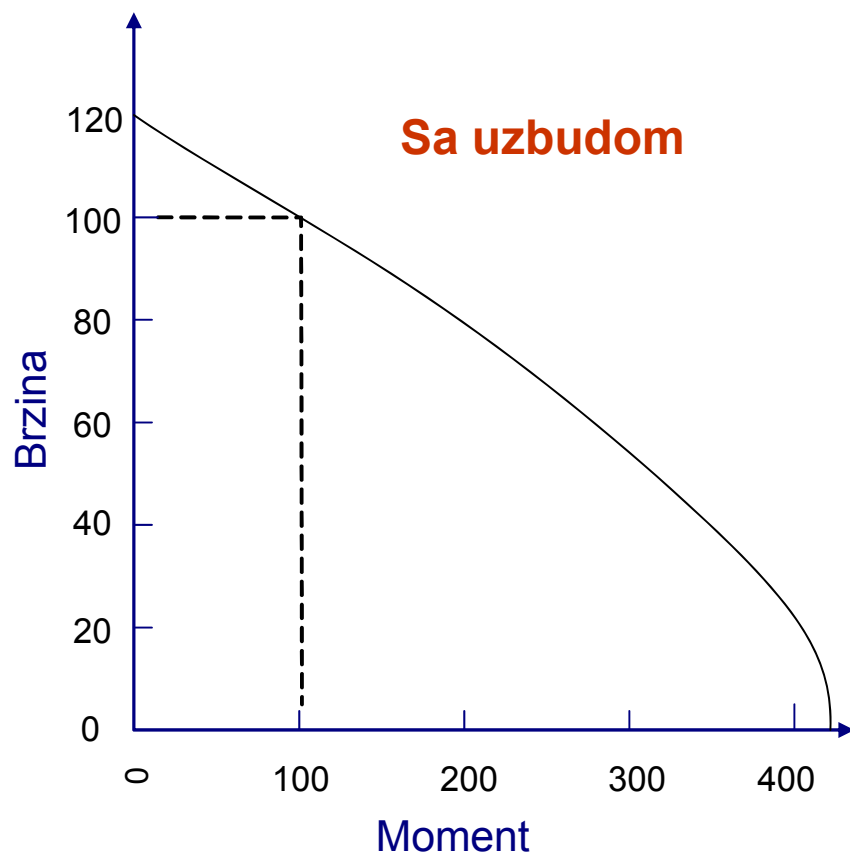


4.2. Istosmjerni motori s permanentnim magnetima

- Cilj: proizvesti motore sa što većim zakretnim momentom i što manjim momentom inercije.
- Istosmjerni motori omogućuju kvalitetnu regulaciju brzine i momenta promjenom napona, odnosno struje motora.
- Od motora se traži da troši što je moguće **manje energije**, da zauzima što **manji prostor** i ima što **manju težinu**.
- Pronalazak snažnih permanentnih magneta omogućio je osjetno poboljšanje navedenih svojstava.
- To se u prvom redu odnosi na veću **linearnost brzinsko-momentne karakteristike** koja predstavlja ovisnost brzine motora o opteretnom momentu.
- **Kod izvedbi s elektromotorom pri većim vrijednostima opteretnog momenta pojavljuje se njezino znatno zakrivljenje.**
- Kod izvedbi sa permanentnim magnetima linearnost karakteristike ostaje u cijelom području.

Momentno-brzinske karakteristike

- DC motor s uzbudnim namotom (elektromotor)
- DC motor s permanentnim magnetom



Istosmjerni motori s permanentnim magnetima

- Uzrok očuvanja linearnosti karakteristike je međudjelovanje statorskog i armaturnog (rotorskog) magnetskog polja.
- Kod motora sa permanentnim magnetima magnetski polovi statora su realizirani keramičkim nastavcima.
- Njihova permeabilnost gotovo je jednaka permeabilnosti zraka. Tako se magnetske silnice rotora nemaju razloga kroz njih zatvarati, pa nema deformiranja magnetskih tokova ni pojave nelinearnosti na brzinsko-magnetskoj karakteristici, pa ni komutacijskih poteškoća u vezi s tim (što je slučaj s elektromagnetima).
- Osim tog poboljšanja, izvedbe motora s keramičkim permanentnim magnetima *ne trebaju energijsko napajanje* elektromagnetskog svitka, kao ni sam svitak.
- **Posljedica toga je manji obujam i težina za jednaku izlaznu snagu u usporedbi s motorima sa elektromagnetima.**

Istosmjerni motori s permanentnim magnetima

- Kod motora s elektromagnetskim polovima na statoru silnice armaturnog magnetskog polja, idući linijom manjeg magnetskog otpora, savijaju se prema polnim nastavcima statora.
- Zbog toga na jednoj strani polnog nastavka nastaje zbrajanje, a na drugoj odbijanje magnetskih silnica statorskog i rotorskog polja, a time i pojačavanje magnetskog toka statora na jednoj strani polnog nastavka, i slabljenje na drugoj strani.
- Posljedica toga je ugaoni pomak vektora statorskog magnetskog toka za određeni ugao α u smjeru suprotnome okretanju rotora, u odnosu prema njegovom osnovnom položaju u stanju mirovanja.
- Posljedica ovoga je jednak ugaoni pomak tzv. neutralne osi rotora, koja je po definiciji uvijek okomita na os rotacije i na vektor statorskog polja.

Istosmjerni motori s permanentnim magnetima

- Umjesto uzбудnih namota na statoru koriste se permanentni magneti.
- **Problemi s permanentnim magnetima:**
 - Različitosti u motorima dolaze iz varijacija magnetskih materijala koji mogu biti razmagnetizirani prekomjernim temperaturama, naponima i magnetskim poljima.
 - Brzina vrtnje istosmjernog motora ovisi o kombinaciji napona i struje koji teku kroz armaturu, te o opterećenju. Brzina motora proporcionalna je naponu, dok je moment proporcionalan struji. Upravo zbog ovih svojstava se istosmjerni motor vrlo često koristi u elektromotornim pogonima koji zahtijevaju upravljanje brzinom (zahvaljujući razvoju energetske **elektronike** pojednostavilo se upravljanje brzinom i ostalih vrsta elektromotora).
 - Brzina motora se može mijenjati promjenom otpora armature, koje se izvodi dodavanjem vanjskog promjenjivog otpora spojenog u **seriju** s izvorom, ili korištenjem promjenjivog **naponskog izvora**.

Primjer 1

Za motor s nazivnim podacima:

otpor armature: $R_a = 0.6 \Omega$,

nazivna struja armature: $I_{an} = 6.5 \text{ A}$,

nazivna naponska konstanta: $K_v = 0.4 \text{ Vs/rad}$.

Potrebno je:

- a) Naći maksimalni napon za pokretanje motora iz stanja mirovanja;
- b) Izračunati maksimalni napon zaustavljanja sa brzine od 50 rad/s, a da se motor ne izloži opasnostima razmagnetiziranja.

Primjer 1

Rješenje:

Dopuštena struja iznosi sedmostrukoj nazivnoj struji:

$$I_d = 7I_{an} = 7 \cdot 6.5 = 45.5 \text{ A.}$$

U stanju mirovanja struja je ograničena jedino otporom armature, pa bi maksimalni napon mogao biti:

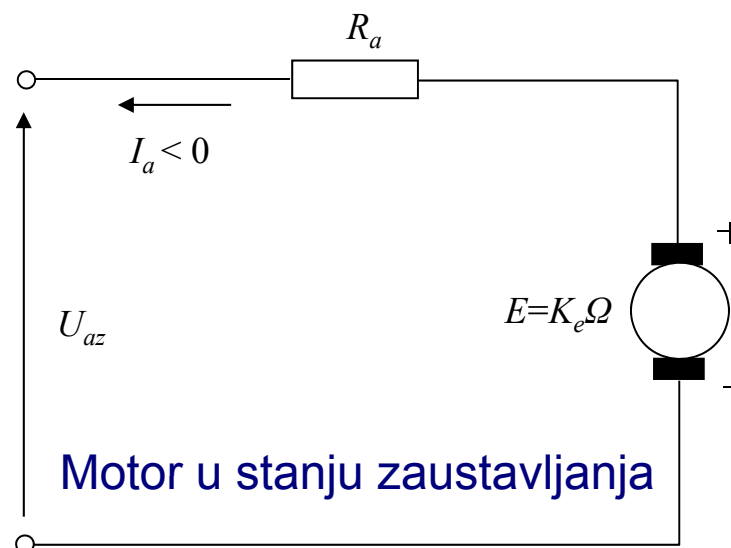
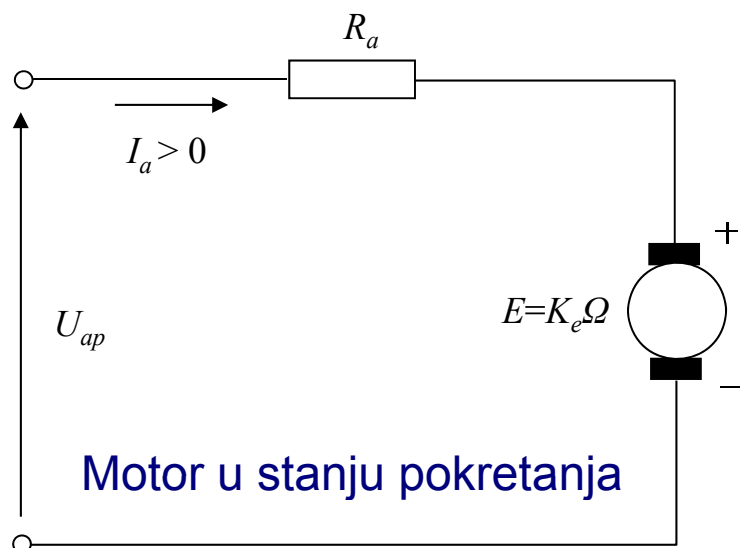
$$U_{a \max} = R_a I_d = 0.6 \cdot 45.5 = 27.3 \text{ V.}$$

Radi sigurnosti razumno je upotrijebiti deset posto manji napon, koji izlazi:

$$U_a = 0.9U_{a \max} = 0.9 \cdot 27.3 = 24.6 \approx 24 \text{ V.}$$

Pri zaustavljanju valja uzeti u obzir da se priključeni napon zaustavljanja u djelovanju zbraja s protuelektromotornom silom, kako je prikazano na sljedećoj slici.

Primjer 1



Najveća protuelektromotorna sila pojavljuje se pri najvećoj brzini, tj. u trenutku početka zaustavljanja, a vrijednost joj je:

$$E = K_v \Omega = 0.4 \cdot 50 = 20 \text{ V.}$$

Budući da je vrijednost dopuštene struje, smanjena 10 % radi sigurnosti, iznosi $45.5 \cdot 0.9 = 41 \text{ A}$, napon zaustavljanja će biti:

$$U_{az} = R_a I_a + E = 0.6 \cdot (-41) + 20 = -4.6 \text{ V.}$$

Primjeri DC motora sa četkicama

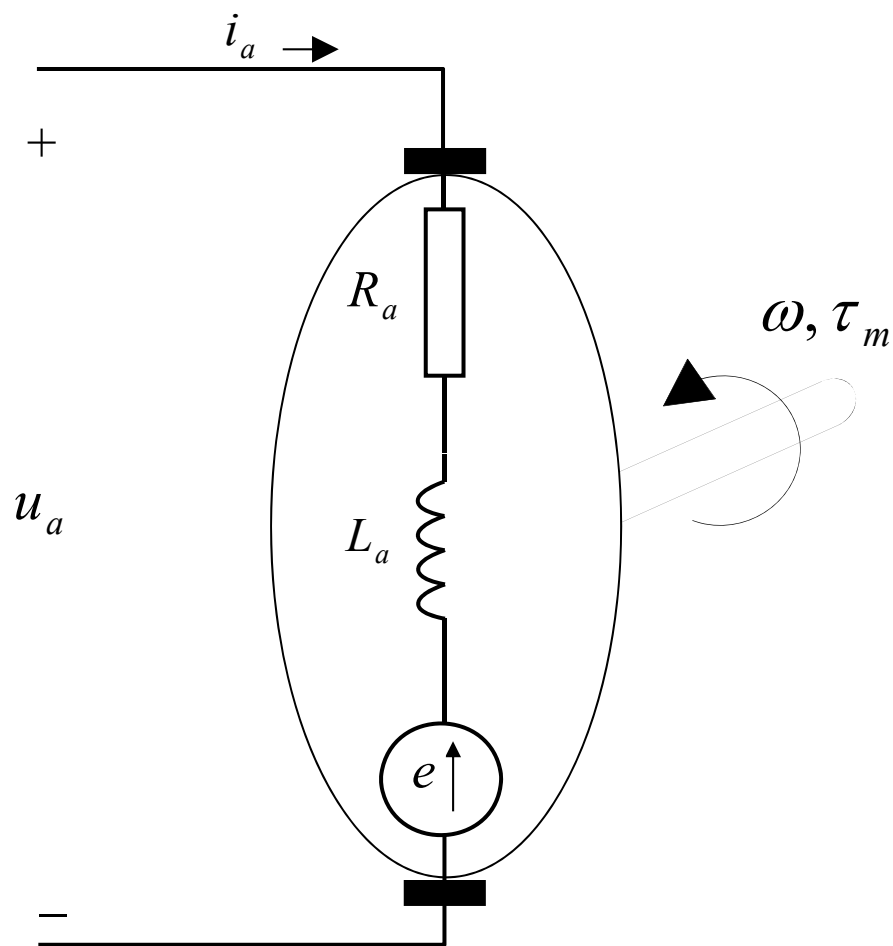
DC MOTORS



	Commercial PMDC	Coreless PMDC	DC Servo PMDC	Small Iron Core PMDC	Geared Iron Core PMDC
Series	<i>Endurance</i>	<i>CL</i>	<i>MI</i>	<i>M, MG, MT</i>	<i>IC</i>
Sizes	64, 76, 102, 121 mm (2.5", 3.0", 4.0", 4.75") dia.	29, 40, 66 mm diameter	102 mm (4") dia.	20, 22, 52 mm (0.8", 0.875", 2.05") dia.	34 mm (IC) diameter
Power or Torque	75 to 750 W (0.1 to 1.0 HP)	3 to 35 W	Up to 12.5 Nm (110 lb-in) peak	Up to 0.92 Nm (130 oz-in) stall	36 mNm; 0.15 to 0.6 Nm (geared versions)
Speed*	Up to 6000 RPM (no load)	Up to 4200 RPM	Up to 3300 RPM	Up to 17000 RPM	Up to 5800 RPM
Voltages*	12 to 220 VDC	6 to 36 VDC	Up to 100 VDC	4 to 50 VDC	6, 9, 12, 18, 24 VDC
	<i>Motor Products</i>	<i>Premotec</i>	<i>Emoteq</i>	<i>Emoteq</i>	<i>Premotec</i>

4.3. Matematički model motora

- Nadomjesna shema motora za potrebe izvođenja matematičkog modela za DC motor s permanentnim magnetom prikazana je na sljedećoj slici.



Matematički model motora

- Krug armature može se opisati sljedećom naponskom jednačinom:

$$u_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e(t).$$

gdje je: R_a - ukupni otpor armaturnog kruga, [Ω],

L_a - ukupni induktivitet armaturnog kruga, [H],

i_a - vrijednost struje armature, [A],

u_a - vrijednost napona armature, [V],

e - protuelektromotorna sila, [V].

- Prema tome, napon u_a pokriva padove napona na induktivitetu i otporu armature kao i protuelektromotornu silu e .

Matematički model motora

- Protuelektromotorna sila, koja se inducira u namotu armature zbog vrtnje osovine motora proporcionalna je naponskoj konstanti i brzini vrtnje osovine motora:

$$e(t) = K_v \omega(t).$$

gdje je: K_v – naponska konstanta, [Vs],

ω – ugaona brzina vrtnje, odnosno mehanička brzina vrtnje, [1/s].

- Naponska konstanta K_v ovisi o konstrukcijskim detaljima motora i magnetskom toku namota. Izraz za K_v je

$$K_v = K_e \Phi_n$$

gdje je Φ_n nazivna vrijednost glavnog magnetskog toka po polu, [Vs].

Matematički model motora

- Mehanička ω i električka brzina vrtnje ω_e međusobno su povezane relacijom:

$$\omega_e(t) = p_m \omega(t)$$

gdje je: p_m – broj pari polova

- Primjenom Laplaceove transformacije na izraze dobivaju se *naponske jednadžbe* električnog kruga armature u domeni kompleksne varijable s (pretpostavlja se kod primjene Laplaceove transformacije da su početni uvjeti jednaki nuli.):

$$U_a(s) = (R_a + sL_a)I_a(s) + E(s)$$

$$E(s) = K_v \Omega(s)$$

Matematički model motora

- Magnetski tok Φ i struja armature prouzrokuju zakretni moment na armaturi motora (moment motora) τ_m , koji je dan sljedećim izrazom:

$$\tau_m = K_t i_a$$

gdje je: K_t – momentna konstanta motora.

- Za opis mehaničkog modela polazi se od D'Alebertova principa da je suma svih sila koje djeluju na tijela jednaka sili inercije (dinamička ravnoteža momenata):

$$\tau_m = J_m \frac{d\omega}{dt} + B\omega + \tau_t$$

gdje je: τ_m – moment motora, $[\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$,

τ_t – moment tereta, $[\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$,

J_m – moment inercije motora, $[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$,

$B\omega$ – moment viskoznog trenja, $[\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$.

Matematički model motora

- Prelazom u frekvencijsko područje dobivaju se *momentne* *jednadžbe*:

$$M_m(s) = [sJ_m(s) + B]\Omega(s) + M_t(s)$$

$$M_m(s) = K_t I_a(s)$$

- Dobivene jednadžbe motora mogu se napisati na sljedeći način:

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a + sL_a} [U_a(s) - E(s)] = \frac{\frac{1}{R_a}}{1 + s \frac{L_a}{R_a}} [U_a(s) - E(s)] = \frac{K_a}{1 + sT_a} [U_a(s) - E(s)],$$

$$E(s) = K_v \Omega(s),$$

$$\Omega(s) = \frac{1}{sJ_m + B} [M_m(s) - M_t(s)],$$

$$M_m(s) = K_t I_a(s).$$

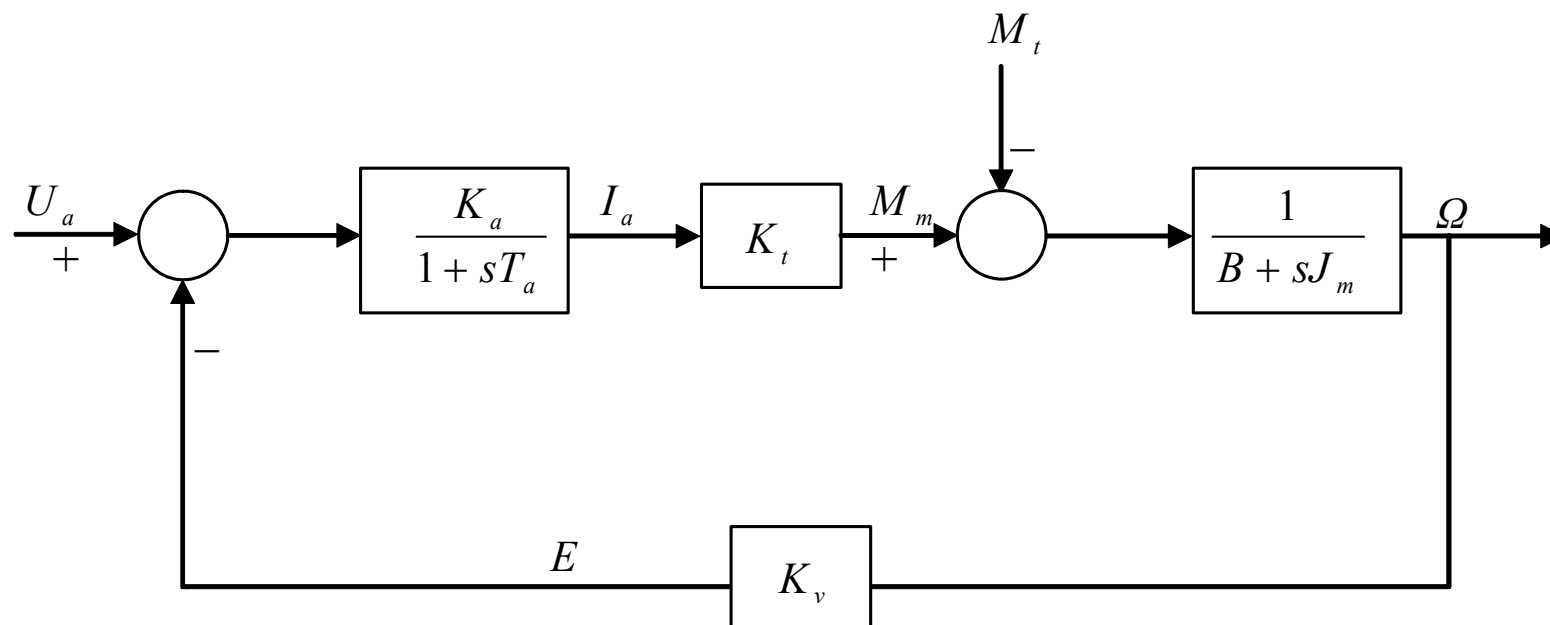
Matematički model motora

- U gornjim jednadžbama su:

$K_a = 1/R_a$ - koeficijent pojačanja armaturnog kruga, [A/V],

$T_a = L_a/R_a$ - vremenska konstanta armaturnog kruga, [s].

- Na temelju jednadžbi motora dobiva se shema kao na slici.



Matematički model motora

- Ovisnosti promjene brzine vrtnje o promjeni napona armature i momenta tereta mogu se izraziti sljedećim prijenosnim funkcijama:

$$\frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a K_t}{K_a K_t K_v + B} \frac{1}{1 + \frac{J_m + BT_a}{K_a K_t K_v + B} s + \frac{T_a J_m}{K_a K_t K_v + B} s^2}$$

$$\frac{\Omega(s)}{M_t(s)} = \frac{1}{K_a K_t K_v + B} \frac{1 + T_a s}{1 + \frac{J_m + BT_a}{K_a K_t K_v + B} s + \frac{T_a J_m}{K_a K_t K_v + B} s^2}$$

- Elektromehanička vremenska konstanta $T_m = J_m / (K_a K_t K_v + B)$ ovisi o momentu inercije.

Matematički model motora

- Budući da kod istosmjernih motora s permanentnim magnetima vrijedi da je armaturna vremenska konstanta znatno manja od elektromehaničke vremenske konstante motora ($T_a \ll T_m$), tada je opravdano zanemariti djelovanje armaturne vremenske konstante pa prijenosne funkcije poprimaju sljedeće oblike:

$$\frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a K_t}{K_a K_t K_v + B} \frac{1}{1 + \frac{J_m}{K_a K_t K_v + B} s} = \frac{K'_1}{1 + T_m s}$$

$$\frac{\Omega(s)}{M_t(s)} = \frac{1}{K_a K_t K_v + B} \frac{1}{1 + \frac{J_m}{K_a K_t K_v + B} s} = \frac{K'_2}{1 + T_m s}$$

Matematički model motora

- Također, budući da je koeficijent viskoznog mehaničkog trenja B redovno mnogo manji od koeficijenta viskoznog električkog trenja $K_v K_t / R_a$ ($B \ll K_v K_t / R_a$) tada vrijedi:

$$K_a K_v K_t = \frac{K_v K_t}{R_a} \gg B \quad \Rightarrow \quad T_m = \frac{J_m}{K_a K_t K_v}$$

tj. B se može zanemariti u gornjim izrazima, pa se dobiva:

$$\frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{K_1}{1 + T_m s}$$

$$K_1 = 1/K_v,$$

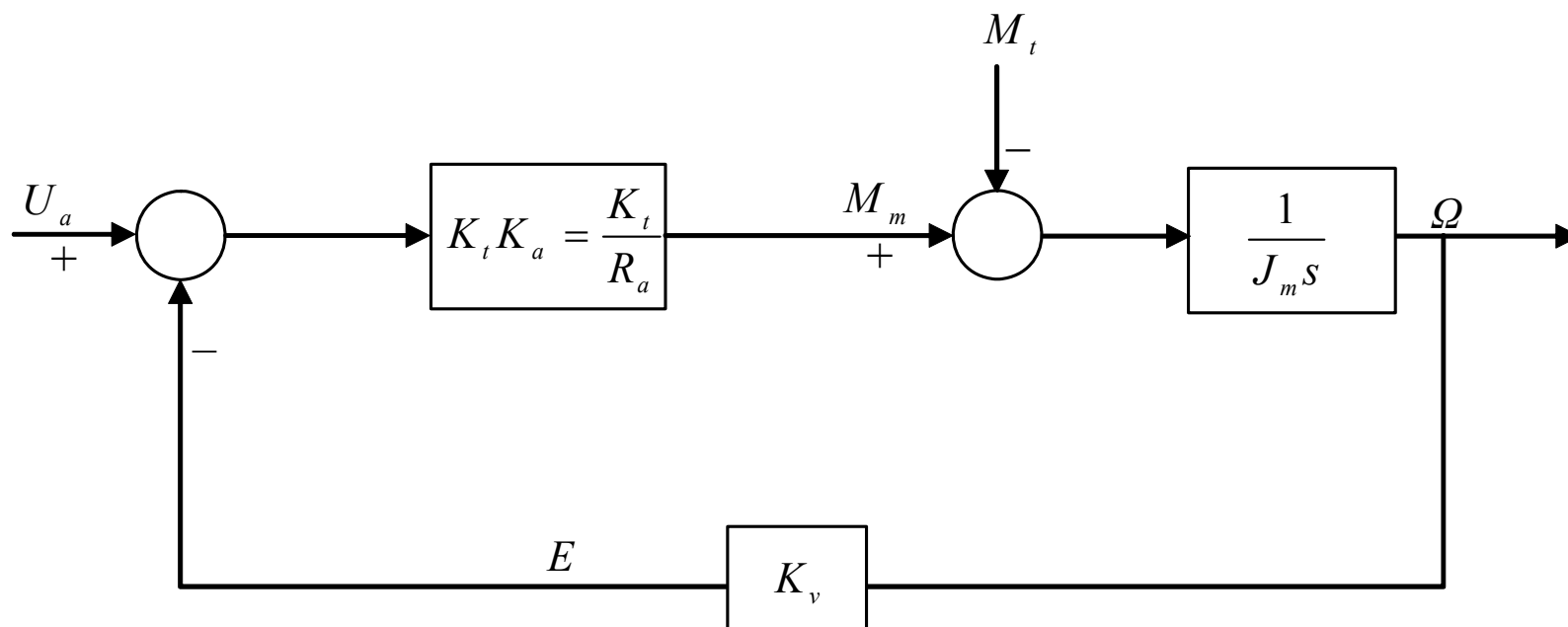
$$K_2 = 1/K_a K_t K_v,$$

$$T_m = J_m / (K_a K_t K_v).$$

$$\frac{\Omega(s)}{M_t(s)} = -\frac{K_2}{1 + T_m s}$$

Matematički model motora

- Uzimajući u obzir navedena zanemarenja, dobiva se pojednostavljena strukturna shema istosmjernog motora prikazana na sljedećoj slici.



4.4. DC motor bez četkica

▪ Ograničenja motora sa četkicama:

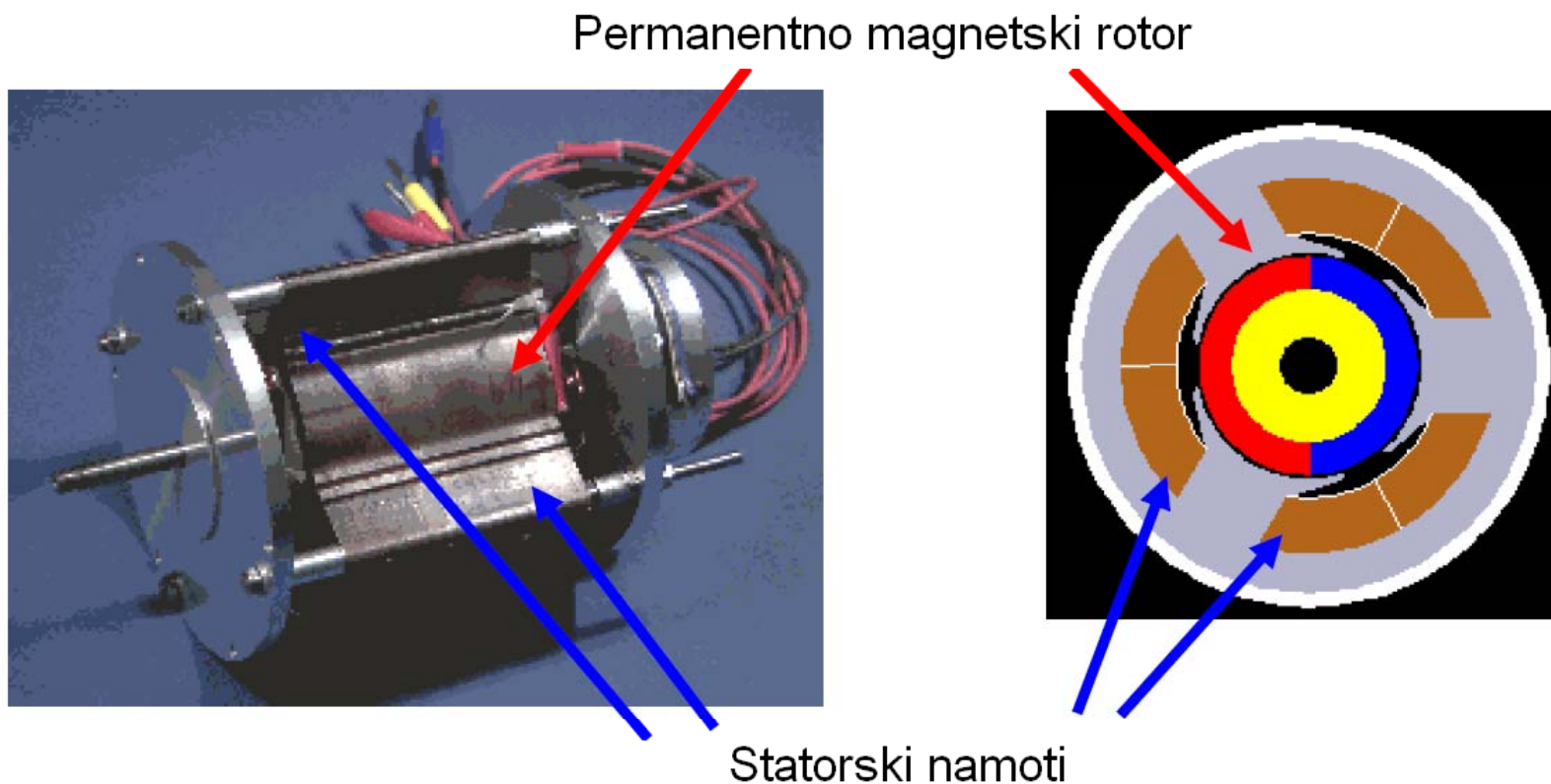
- Električna veza između rotora i izvora istosmjerne struje se ostvaruje tako da se izvor istosmjerne struje spoji na grafitne četkice koje kliču po komutatoru. Prilikom prelaska četkice s jedne na drugu lamelu komutatora postoji trenutak kada se izvor nalazi u kratkom spoju usljed čega dolazi do **iskrenja četkica**.
- Iskrenje četkica dovodi do polaganog uništavanja grafitnih četkica, ali i do **oksidacije** i **trošenja komutatora**, pa je to glavni nedostatak ove vrste motora.
- Iskrenje se pojačava ukoliko se povećava: **brzina vrtnje motora** (pri velikim brzinama teško održavati kontakt četkica s komutatorom), napon, opterećenje, odnosno struja kao posljedica povećanja napona ili opterećenja.
- Iskrenje osim samog uništavanja komutatora i četkica za posljedicu ima i stvaranje **čujnog** i **električkog šuma**.
- Kod velikih strojeva **komutator je skup** i zahtijeva preciznu ugradnju mnogih dijelova.

DC motor bez četkica

- Na rotoru su smješteni permanentni magneti, a stator se sastoji od namota.
 - predstavlja oblik AC motora s električkom komutacijom.
- Motori ne sadrže četkice ili komutator
 - mnogo efikasniji, manje trenje.
 - mogu se pogoniti većim brzinama bez rizika oštećenja četkica, što nije slučaj sa DC motorom s četkicama.
- Kroz statorske namote se propušta struja koja dovodi do zakretanja rotora.
- Strujom koja prolazi kroz statorske namote se upravlja izvana elektroničkom sklopom, tzv. elektroničkim komutatorom, koji zamjenjuje klasični komutator.

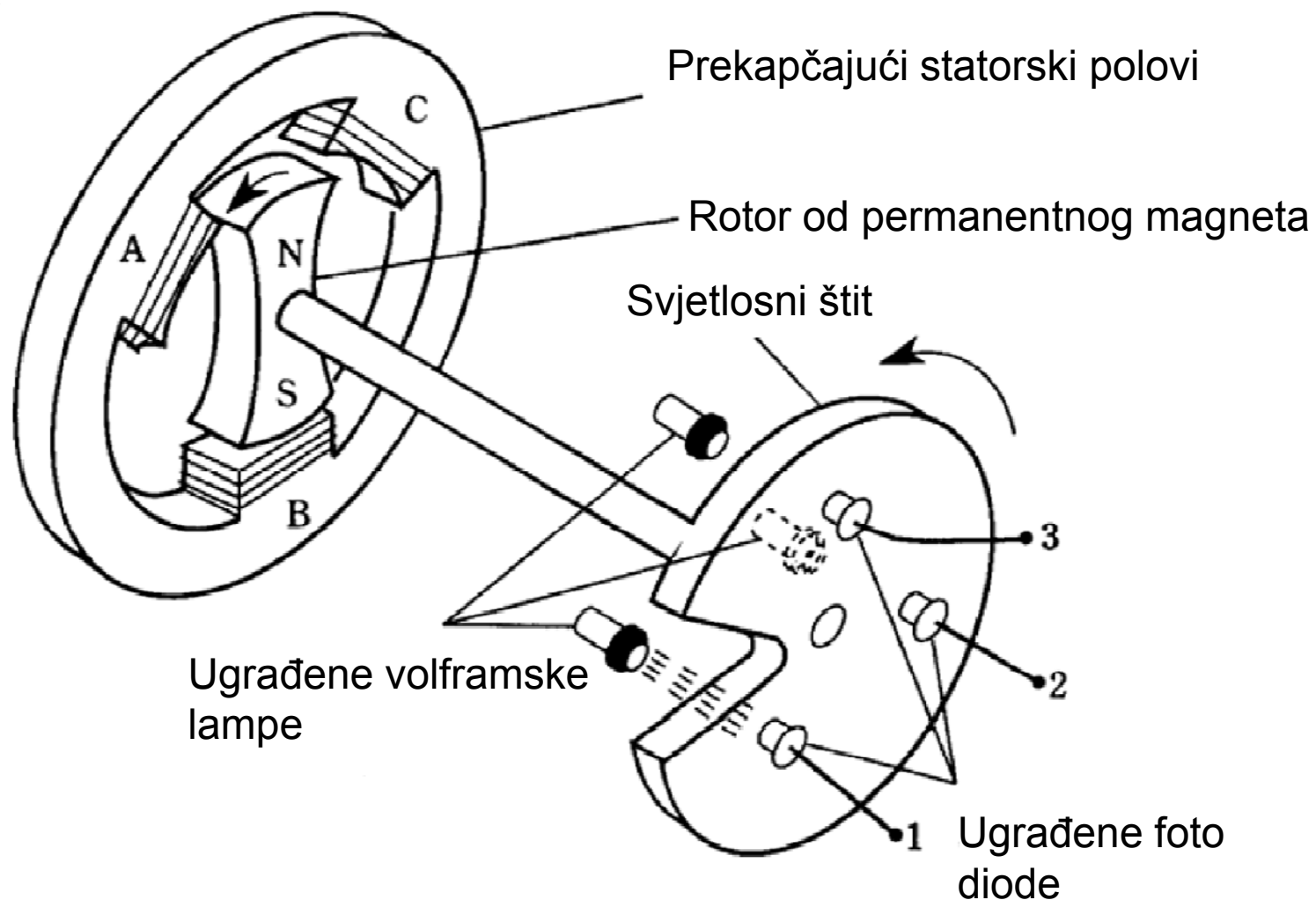
DC motor bez četkica

- Uloga komutatora: promjena polariteta u vodičima ovisno o njihovom položaju u odnosu na uzbudno polje.
- Presjek DC motora bez četkica:



DC motor bez četkica

- Mehanički raspored dijelova motora

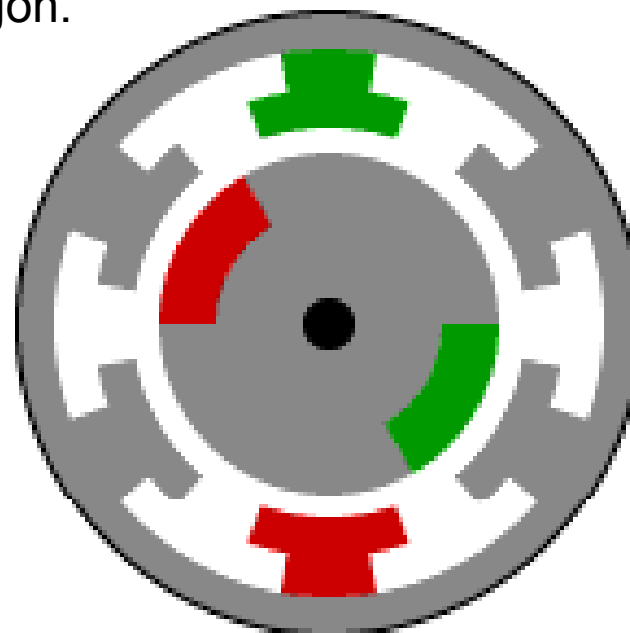
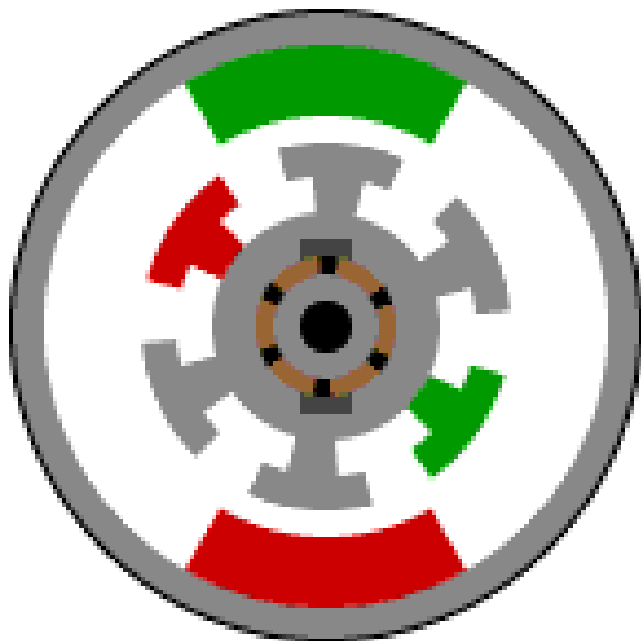


DC motor bez četkica

- Da bi se moglo ispravno odrediti kroz koji namot će elektronički komutator poslati struju, i struju kojeg smjera, takav motor mora imati senzor položaja rotora na osnovu čega se upravlja radom samog komutatora (zahtijeva se dodatna elektronika i senzori položaja).
- Ovaj senzor koristi Hall-ov efekat.
- Brz odziv brzine vrtnje.
- Efikasnost istosmjernog motora bez četkica je 85-90%, dok je istosmjernog motora s četkicama 75-80%.
- Dodatni energetske prekidači u pojačalu zahtijevaju znatne dodatne troškove.
- Koriste se u aplikacijama gdje se zahtijevaju velika područja brzina.

DC motor bez četkica

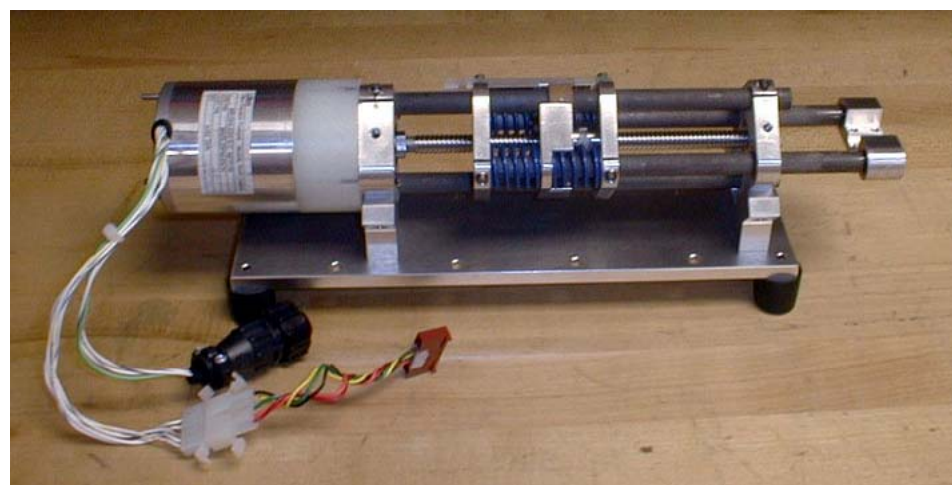
- DC motor s permanentnim magnetom i s četkicama
 - Permanentni magneti na statoru, namoti u utorima armature (na rotoru).
 - Umjesto uzбудnih namota na statoru, uzбудu predstavljaju permanentni magneti na statoru.
- DC motor s permanentnim magnetom bez četkica:
 - Permanentni (trajni) magneti na rotoru, koji predstavljaju uzбудu.
 - Statorski napon polifazan (namoti na statoru).
 - Veća efikasnost, manje trenje, manji električki šum, zahtijeva elektronički pogon.



Primjer DC motora bez četkica

Proizvođač Micromomo:

- DC motor bez četkica: dimenzije 16mm x 28mm
- Brzina 65,000 rpm (obrtaja u minuti)
- Moment: 50 mNm
- Snaga: 11 W
- Napon: 12 V



Specifikacije DC motora bez četkica

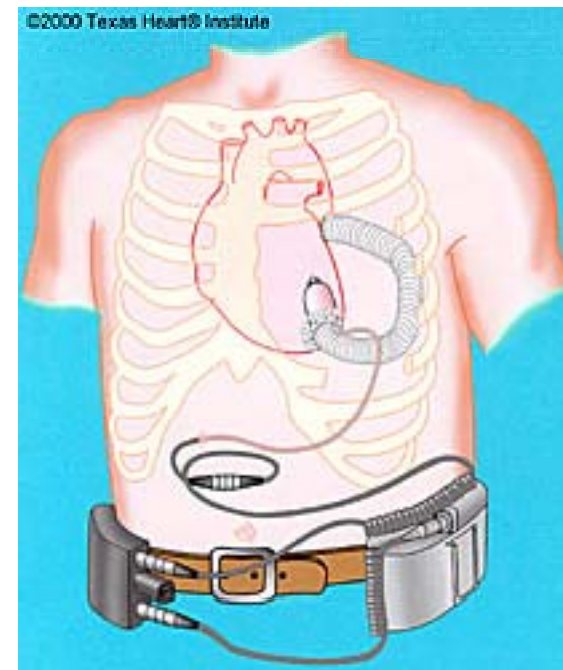
BRUSHLESS MOTORS



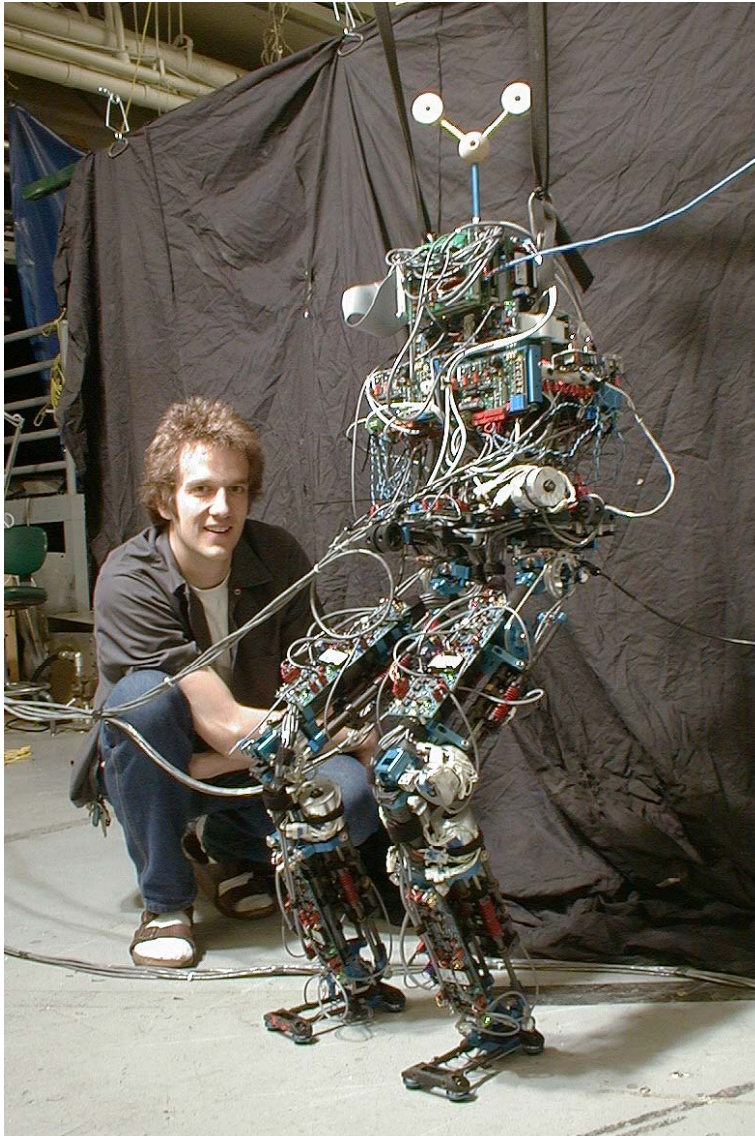
	Direct-Drive Torque	BLDC Servo	Small BLDC	Specialty BLDC	Small Step & Synch
Series	<i>Megaflux</i>	<i>Quantum</i>	<i>BL</i>	<i>CM</i>	<i>ST & SY</i>
Sizes	170 to 792 mm (6.7" to 31.2") diameter	NEMA 17, 23, 34, 56 (43, 58, 86, 142 mm diameter)	21, 54, 68, 70 mm diameter	Motors & motor-encoders to customer specification	35, 51, 56 mm diameter
Power or Torque	7mNm to 2020Nm (1 oz-in to 1490 lb-ft)	80mNm to 14Nm (12 oz-in to 10.4 lb-ft)	1 to 200 W; 2 to 150 W (drive-on-board)	1 mNm at 26 mm dia. (1.1") to > 2000 Nm at 800 mm (31")	10 to 125 mNm (ST holding); 4 to 33 mNm (SY)
Speed*	Up to 2660 RPM (no load)	UP to 29000 RPM (no load)	Up to 10000 RPM (no load)	As required, to greater than 30000 RPM	300, 600 RPM @ 60Hz (SY)
Voltages*	48, 150, 300 VDC	24, 40, 130, 300 VDC	6, 12, 24, 36, 42 VDC	As required, to 300 VDC	5, 12 VDC (ST); 24, 48, 110, 220 VAC (SY)
	<i>Emoteg</i>	<i>Emoteg</i>	<i>Premotec</i>	<i>COPI</i>	<i>Premotec</i>

Primjene DC motor bez četkica

- Medicina: centrifuge, ortoskopski hirurški alati, respiratori, stomatološki hirurški alati, transportni pumpni sistemi (npr. ubrizgavanje inzulina).
- Modeli aviona, automobila, brodova, helikoptera.
- Mikroskopi.
- CD, DVD i kasetni pogoni.
- Umjetno srce.



Primjene DC motor bez četkica



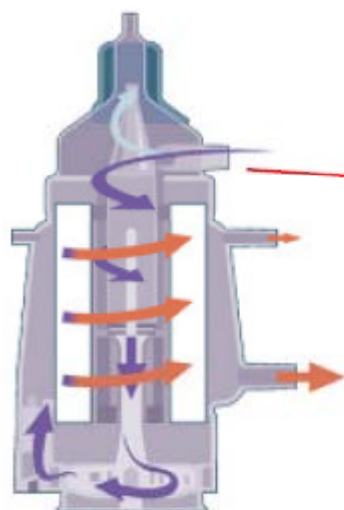
12 stupnjeva slobode
28 kg(62 lbs)
0.97 m(38 in) duljina noge

Primjene DC motor bez četkica

Cardiopulmonary Heart Bypass System

*Magnetically-Coupled Heart
Bypass Pump Motor*

An Emoteq Application



Disposable oxygenator
module driven by Allied
Motion's motor and drive



Custom Brushless
Pump Drive Motor



ECM Brushless
Drive Module



Innovative
compact
CPB System

Primjene DC motor bez četkica

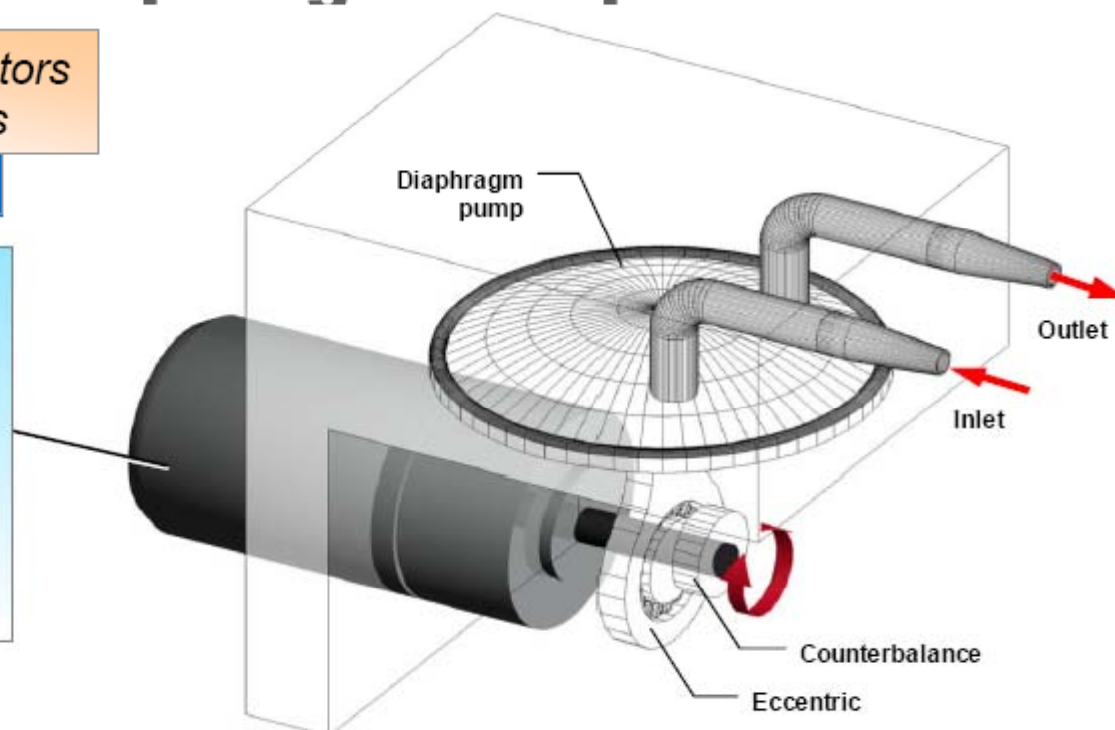
Medical Diaphragm Pump Motor

*Small Reliable BLDC Motors
for Diaphragm Pumps*

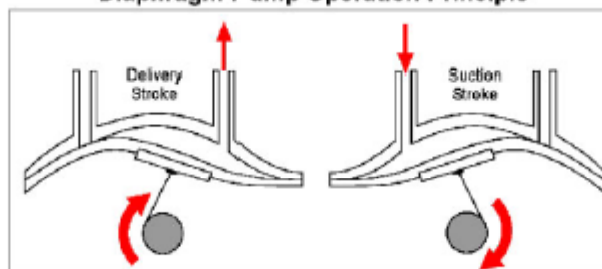
A Premotec Application



**BL48 BLDC Motor with
Integrated Drive
Electronics**



Diaphragm Pump Operation Principle



Primjene DC motor bez četkica

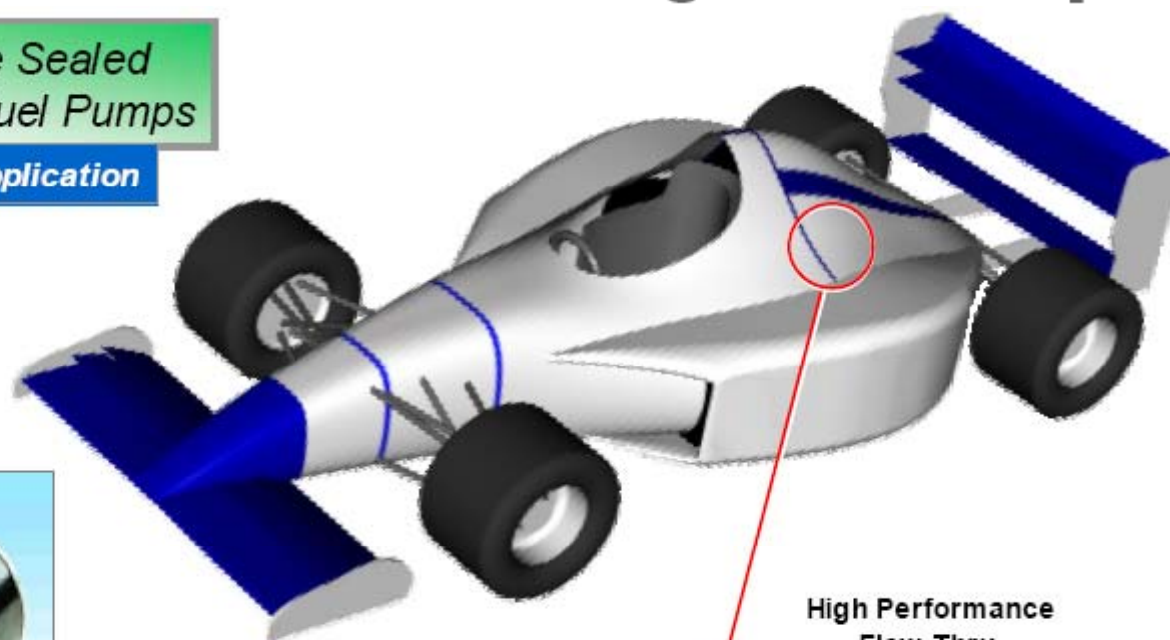
Automotive & Marine Racing Fuel Pumps

*High Performance Sealed
Motors for Racing Fuel Pumps*

A Motor Products Application



Endurance 30 DC
Fuel Pump Motor

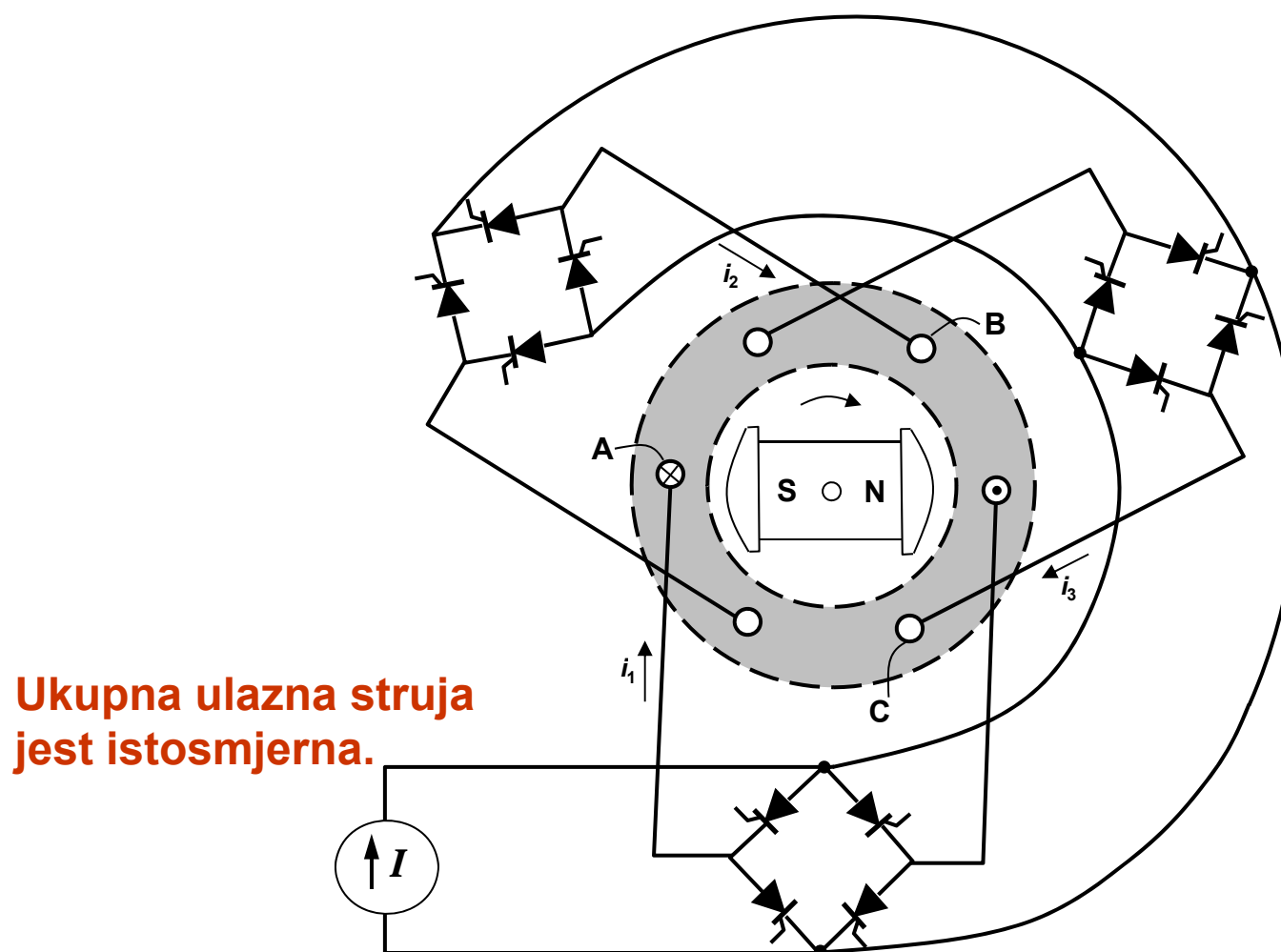


High Performance
Flow-Thru
Racing Fuel Pump



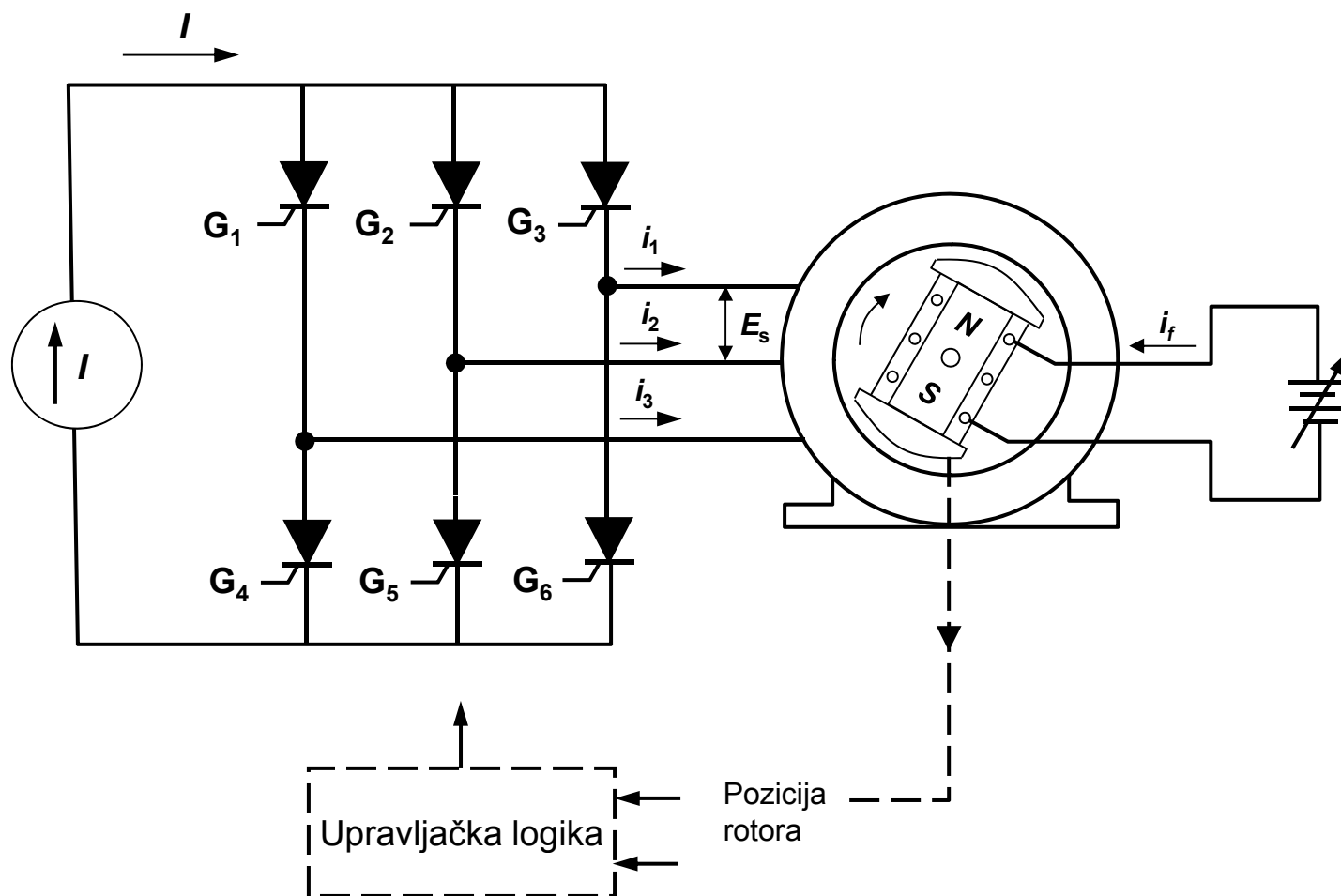
4.5. Upravljanje DC motorom bez četkica

- Napajanje DC motora bez četkica.



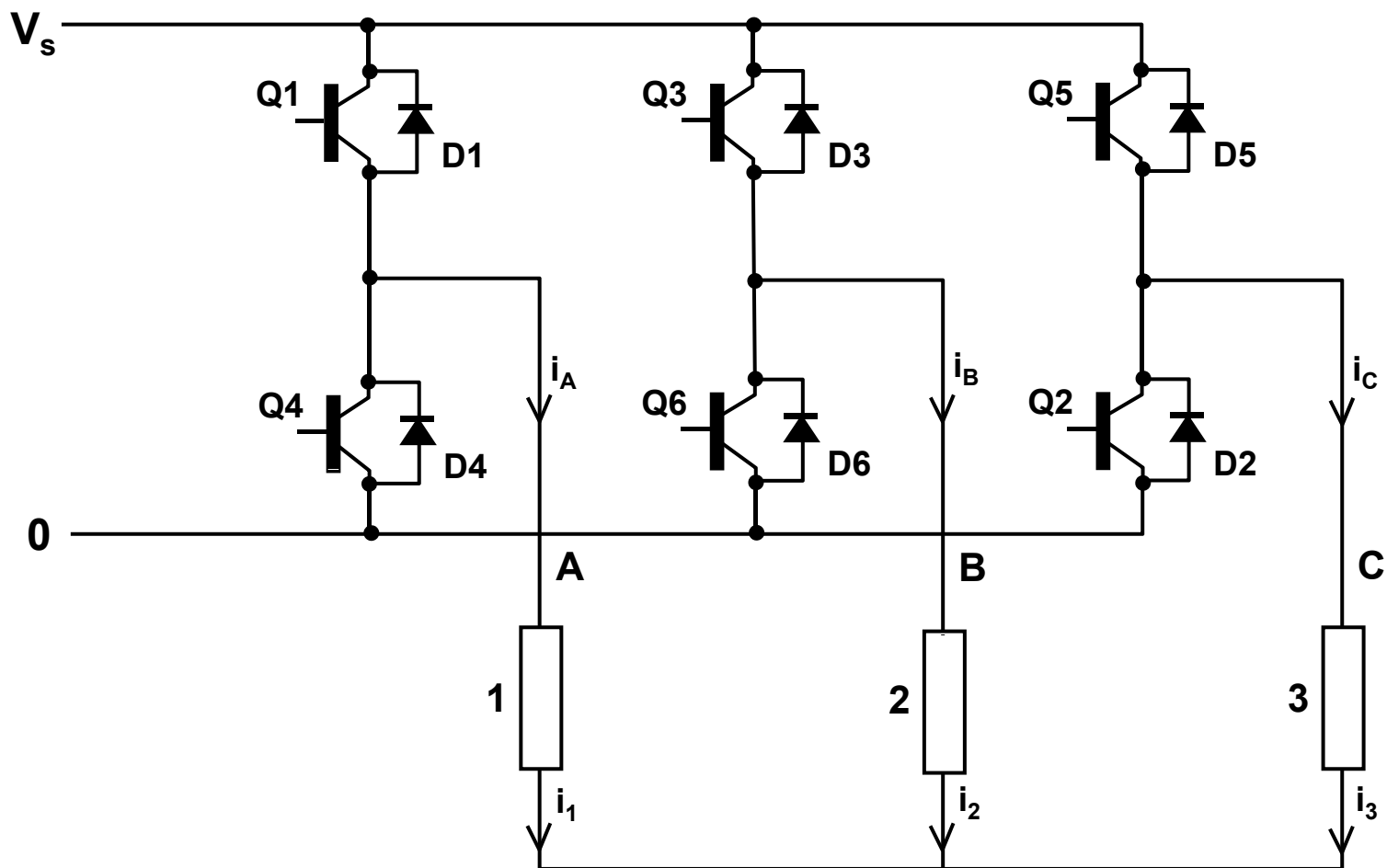
Upravljačka struktura

- Blok shema upravljačkog kruga DC motora bez četkica.



Pretvarački sklop

- Pretvarački sklop je prikazan na sljedećoj slici.



Oblici faznih struja

- Oblici faznih struja u ovisnosti od položaja rotora (uzbudnog toka).

