



Senzori i aktuatori

Jednosmerni motor sa nezavisnom pobudom

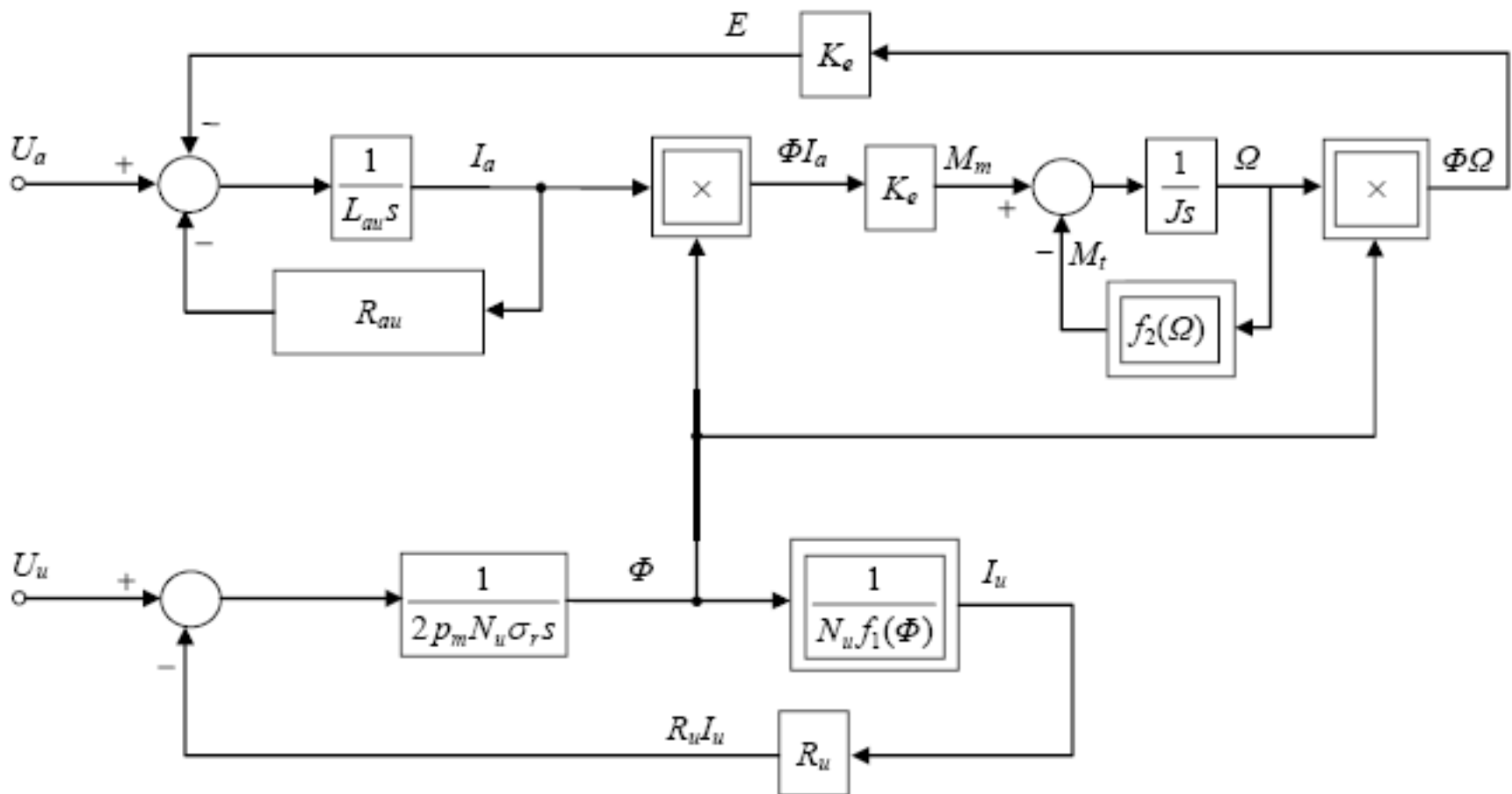


Sadržaj predavanja

- 1) Jednosmerni motor sa nezavisnom pobudom
- 2) Statičke karakteristike motora
- 3) Mehaničke karakteristike motora
- 4) Upravljačka karakteristika motora
- 5) Spoljne karakteristike motora
- 6) Elektromehaničke karakteristike motora
- 7) Rad motora u režimu kočenja
- 8) Generatorski način kočenja
- 9) Elektrodinamičko kočenje
- 10) Jednosmerni motor regulisan naponom statora
- 11) Dinamičke karakteristike jednosmernog motora
- 12) Motor opterećen generatorom

Šema jednosmernog motora sa nezavisnom pobudom

- Matematički model jednosmernog motora može biti prikazan grafički





Statičke karakteristike motora

- Statičke karakteristike se dobijaju jednačine motora, izjednačavajući sa nulom prvi izvod po vremenu.
- Za konturu nezavisne pobude sledi:

$$U_u = R_u I_u,$$
$$\Phi = \varphi_1(\Theta(t)) = \varphi_1(N_u I_u).$$

- Za stacionarno stanje konture se dobija:

$$U_a = E + R_{au} I_a.$$

- Moment motora je u stacionarnom stanju jednak momentu tereta:

$$M_m = K_e \Phi I_a = M_t.$$

Statičke karakteristike motora

- Izraz za elektromehaničku karakteristiku:

$$\Omega = \frac{E}{K_e \Phi} = \frac{U_a - R_{au} I_a}{K_e \Phi} = \Omega_0 - \Delta\Omega_i, \quad (*)$$

gde je: $\Omega_0 = \frac{U_a}{K_e \Phi}$ ugaona brzina idealnog praznog hoda [rad/s]

$\Delta\Omega_i = \frac{R_{au}}{K_e \Phi} I_a$ promena ugaone brzina usled opterećenja motora [rad/s].

- Zamenom gornjeg izraza u izraz za struju, dobija se jednačina mehaničke karakteristike:

$$\Omega = \frac{U_a}{K_e \Phi} - \frac{R_{au}}{K_e^2 \Phi^2} M_m = \Omega_0 - \Delta\Omega_m, \quad (**)$$



Mehaničke karakteristike motora

- Iz jednačina (*) i (**) je vidljivo da se brzina okretanja motora Ω može menjati promenom:
 - napona statora U_a
 - otpora statora R_{au}
 - magnetnog fluksa Φ .
- Ako su otpor statora i magnetnog fluksa konstantni, mehanička karakteristika opisana izrazom (**) ima oblik prave.
- Idealna mehanička karakteristika paralelna je apscisnoj osi (pravac označen isprekidanom linijom)



Mehaničke karakteristike motora

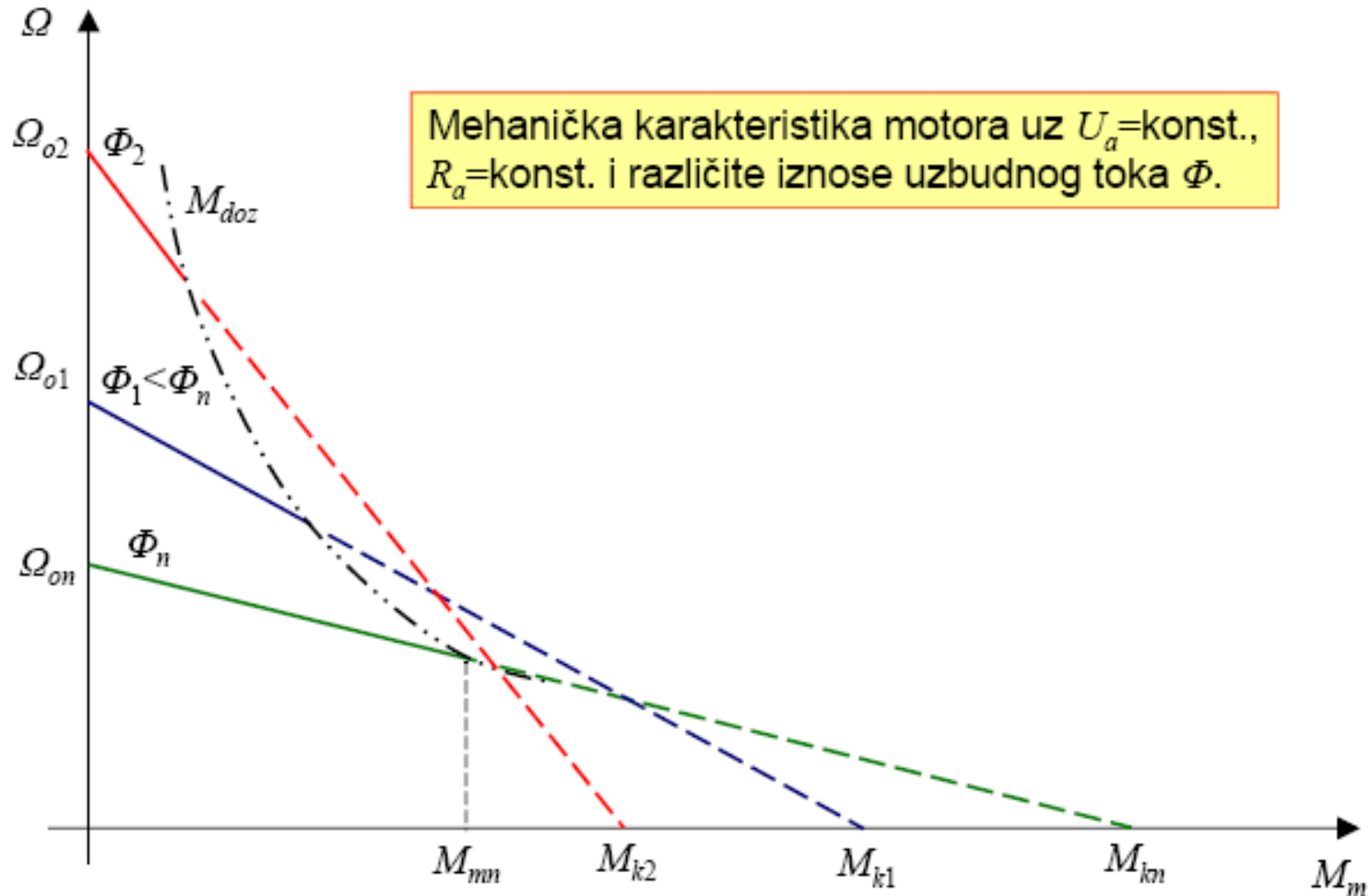
- Kod mehaničkih karakteristika prema izrazu (**) menja se brzina okretanja u praznom hodu obrnuto proporcionalno pobudnom fluksu, a nagib prave obrnuto proporcionalno kvadratu fluksa, pa se smanjenjem fluksa smanjuje i moment kratkog spoja

$$M_k = K_e I_{ak} \Phi = K_e \frac{U_{an}}{R_{an}} \Phi.$$

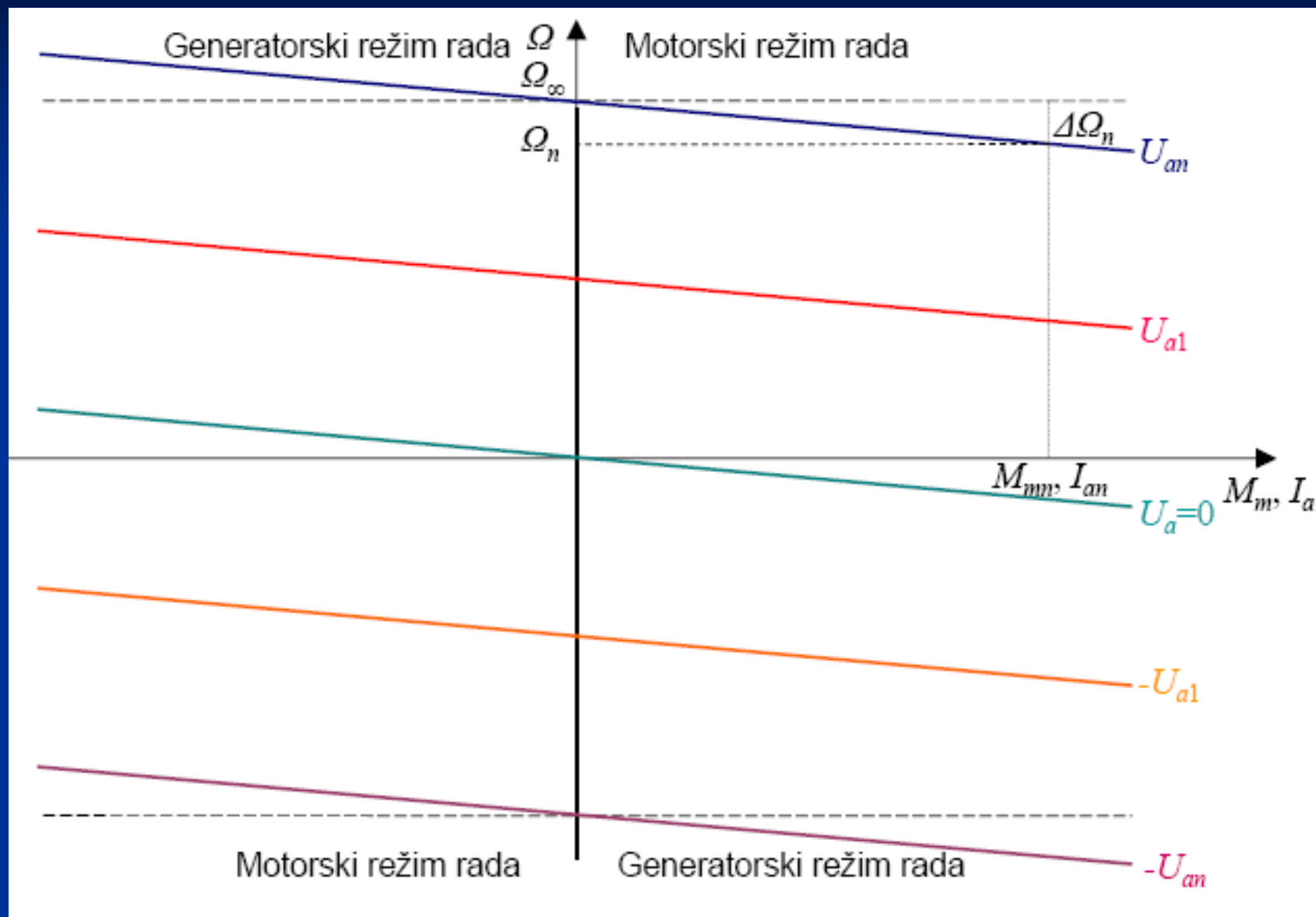
- Sa smanjenjem fluksa smanjuje se i dozvoljeni moment kojim se motor sme opteretiti:

$$M_{doz} = K_e I_{an} \Phi < M_{mn},$$

Mehaničke karakteristike motora



Mehaničke karakteristike motora





Upravljačka karakteristika motora

- Zavisnost ugaone brzine od naponu statora naziva se upravljačkom karakteristikom jednosmernog motora sa nezavisnom i konstantnom pobudom u odnosu na napon statora.
- Ova karakteristika obično ima oblik prave i obično se određuje za prazan hod ($M_m = M_t = 0$) ili nominalno opterećen motor ($M_t = M_{mn}$).

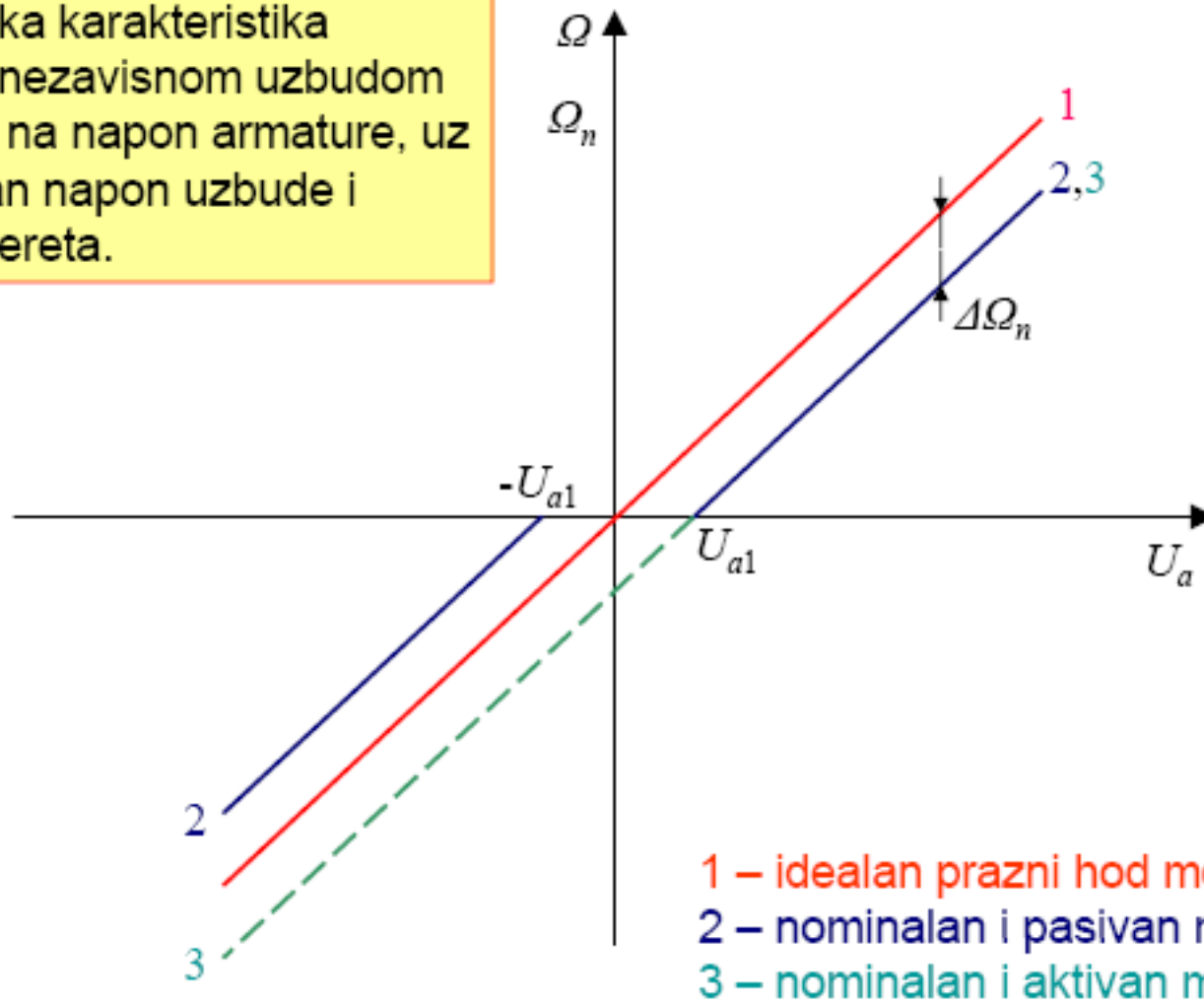


Upravljačka karakteristika motora

- Magnetni fluks se menja sa promenom struje, odnosno naponom pobude.
- Upravljačka karakteristika jednosmernog motora sa nezavisnom pobudom u odnosu na napon uzbude, uz konstantni napon statora i moment tereta, određena je izrazima $U_u = R_u \cdot I_u$, $\Phi = \varphi_1(N_u \cdot I_u)$ i (**).
- Zbog nelinearnosti krive magnećenja ($\Phi = \varphi_1(N_u I_u)$) i nelinearne zavisnosti brzine obrtanja od magnetnog fluksa (**) upravljačka karakteristika je nelinearnog oblika
- Smanjenjem napona pobude smanjuje se struja pobude i magnetni fluks, a time se prema izrazu (**) povećava ugaona brzina okretanja

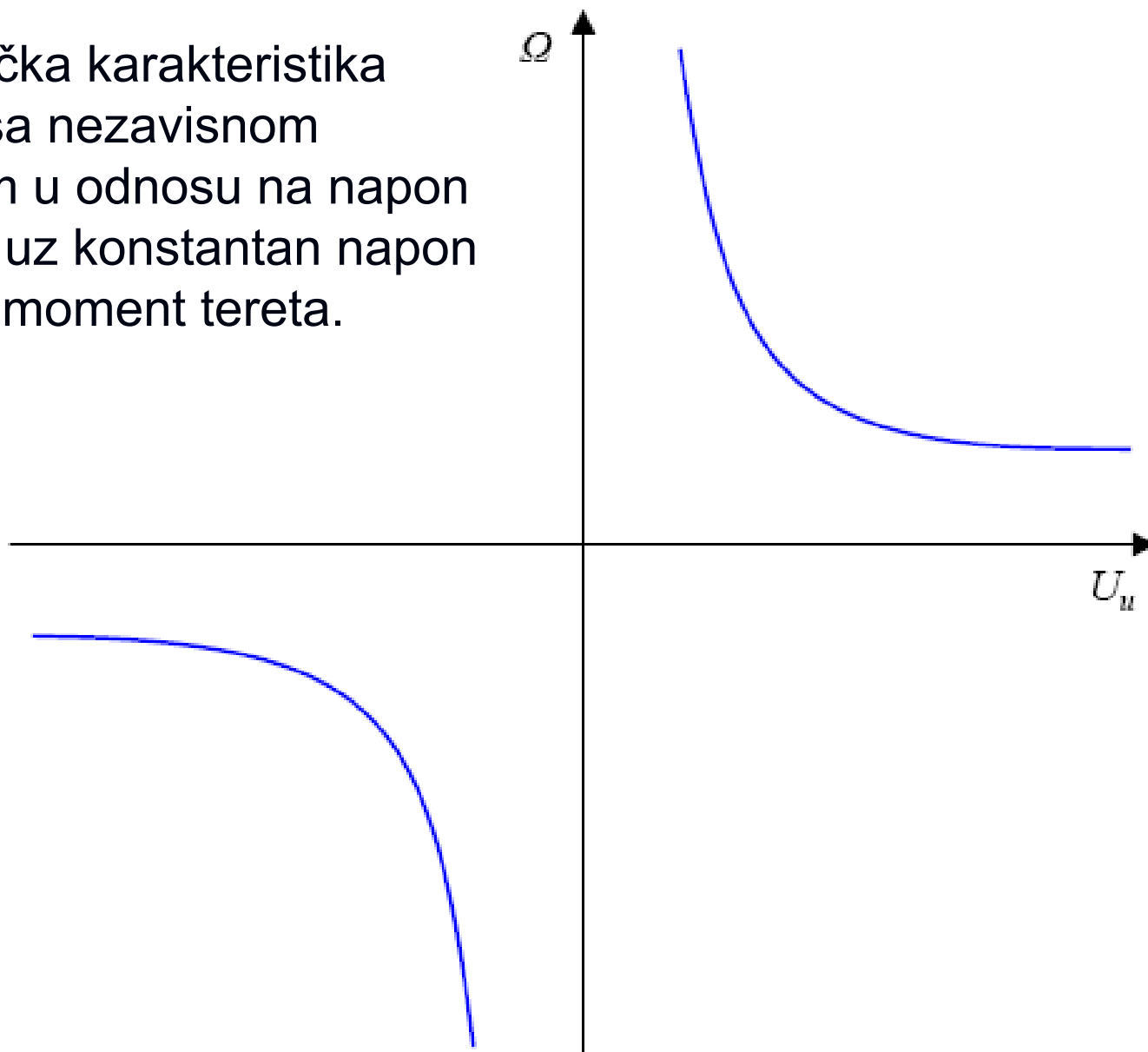
Upravljačka karakteristika motora

Upravljačka karakteristika motora s nezavisnom uzbudom u odnosu na napon armature, uz konstantan napon uzbude i moment tereta.



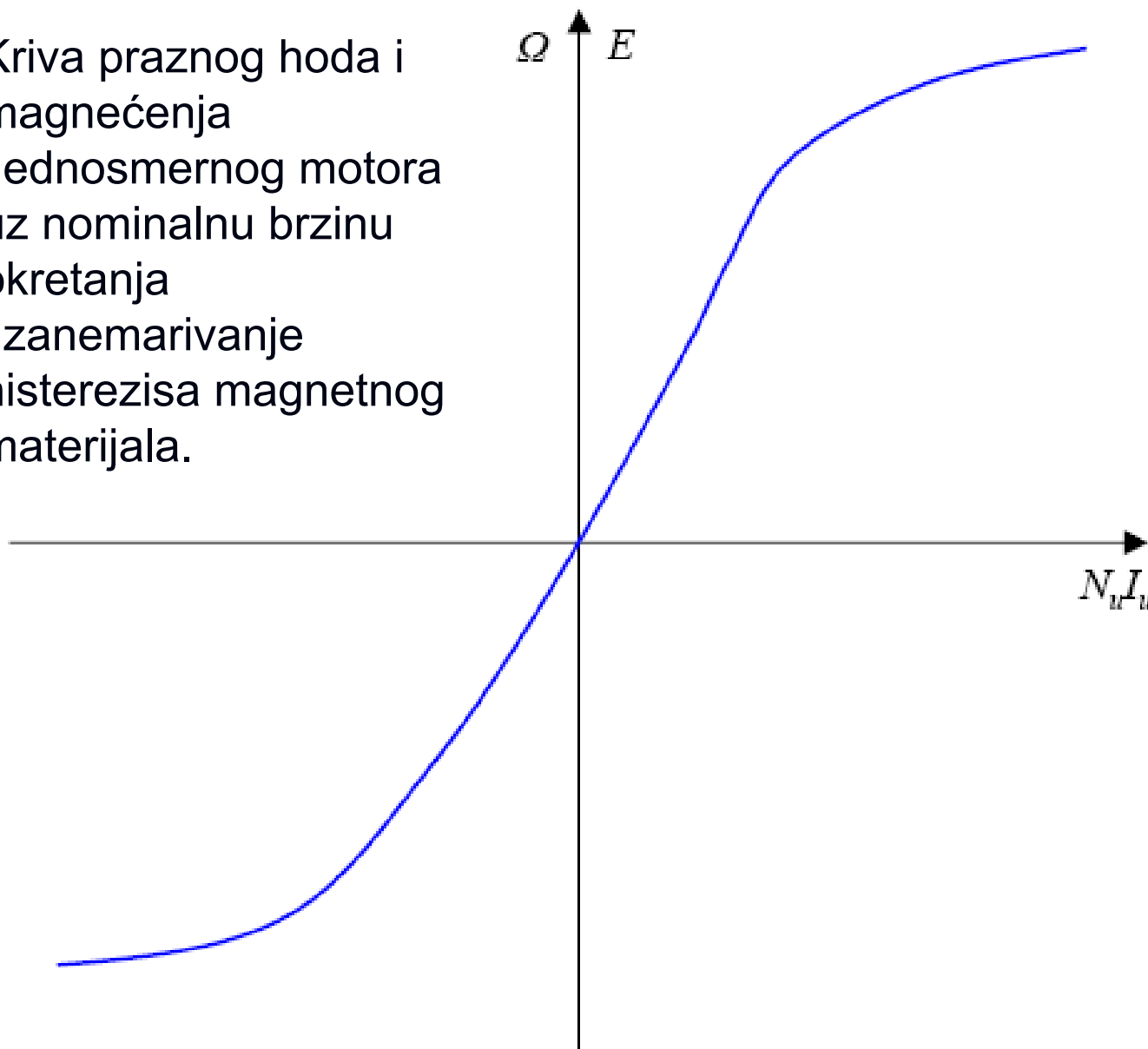
Upravljačka karakteristika motora

Upravljačka karakteristika motora sa nezavisnom pobudom u odnosu na napon pobude, uz konstantan napon statora i moment tereta.



Upravljačka karakteristika motora

Kriva praznog hoda i
magnećenja
Jednosmernog motora
uz nominalnu brzinu
okretanja
i zanemarivanje
histerezisa magnetnog
materijala.



Spoljne karakteristike motora

- Zavisnost ugaone brzine od momentu tereta uz konstantni napon statora, naziva se spoljna karakteristikom motora sa nezavisnom i konstantnom pobudom.
- Ova karaktersitika ima oblik pravca čiji nagib, odnosno koeficijent pojačanja poremećajne veličine (M_t), prema izrazu (**), iznosi:

$$\frac{\Delta\Omega}{\Delta M_t} = -K_2 = -\frac{R_{au}}{K_e^2 \Phi^2}.$$



Elektromehaničke karakteristike motora

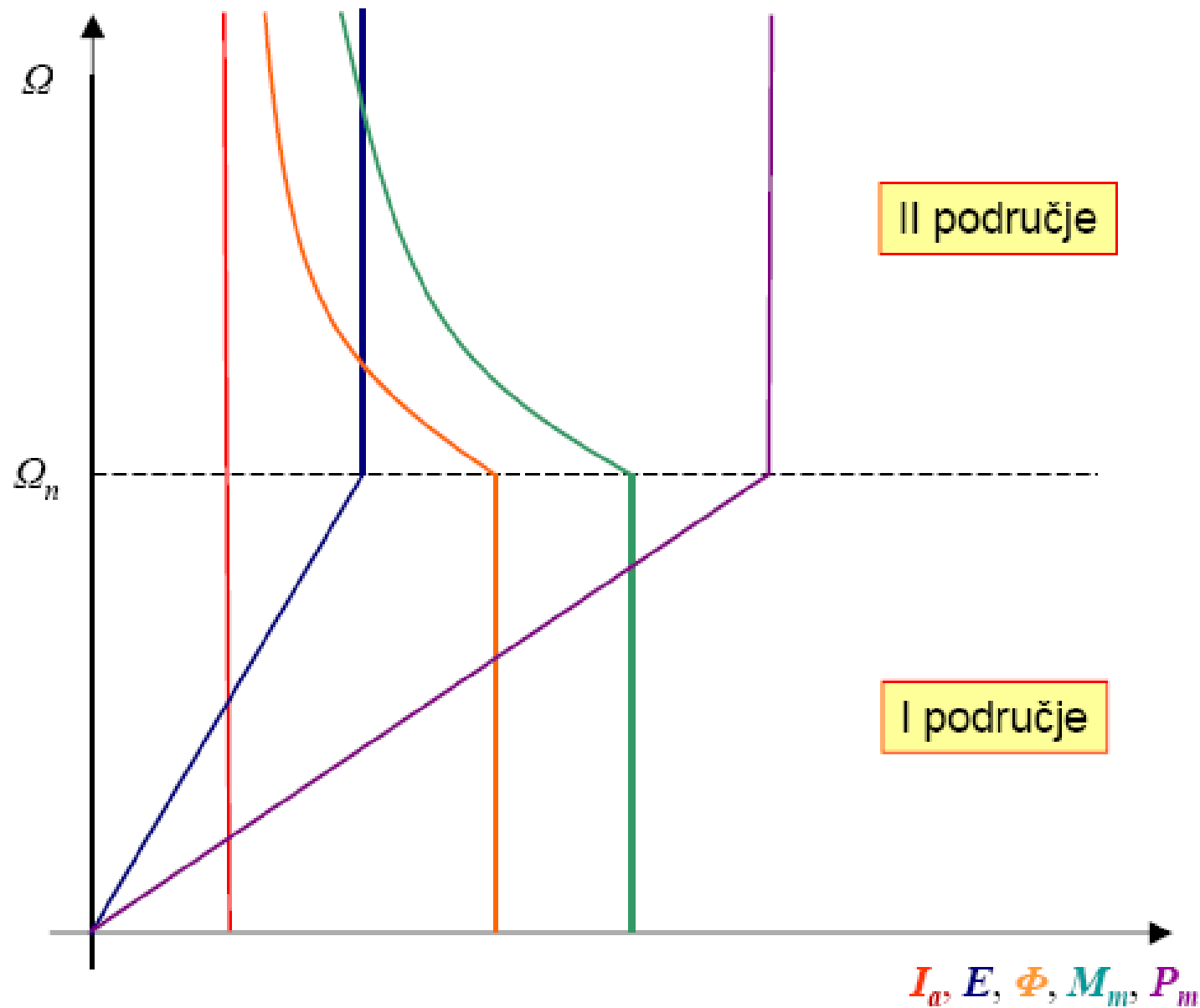
- Ako se uz konstantan napon statora i konstantnu pobudu ($\Phi = \text{konst}$) menja otpor statora menjaće se i nagib mehaničke karakteristike prema izrazu (**).
- Ovakav način menjanja brzine okretanja primenjuje se u jednostavnijim pogonima koji ne sadrže regulaciju brzine naponom statora i pobudom, pa se u statorno kolo motora dodaju otpornici, kojima se osigurava zalet i kočenje motora.
- Sledeća slika prikazuje elektromehaničke karakteristike motora za različite iznose otpora dodate u statornog kola



Spoljne karakteristike motora

- Spoljna karakteristika (zavisnost ugaone brzine od momentu tereta) jednosmernog motora sa nezavisnom pobudom, čija se brzina menja promenom napona pobude, ima oblik prave.
- U prvoj oblasti regulacija brzine obrtanja obavlja se promenom napona statora U_a uz konstantnu uzбудu ($\Phi = \Phi_n = \text{konst.}$).
- Pri tome struja statora I_a i razvijeni moment motora M_m mogu biti konstantni u čitavoj oblasti, a njihove najveće dopuštene vrednosti jednake su nominalnim iznosima ($M_{\text{doz}} = M_{\text{mn}}$).

Spoljne karakteristike motora

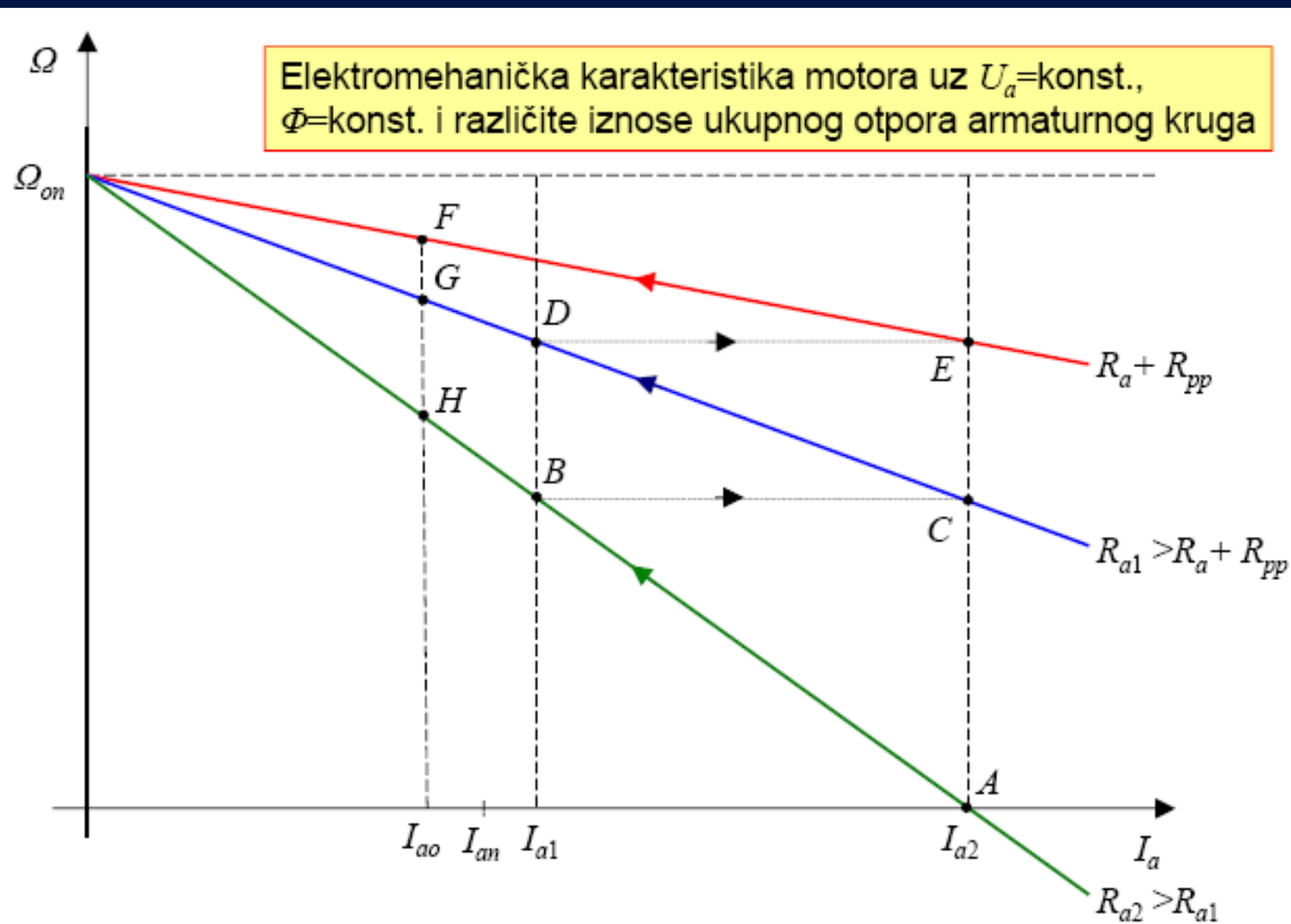




Spoljne karakteristike motora

- U drugom području brzina okretanja se menja sa promenom napona pobude (magnetskog fluksa) uz konstantni napon statora ($U_a = U_{an} = \text{konst.}$).
- Opseg brzine okretanja u drugom području ograničen je pogoršanim uslovima komutacije i povećanim zahtevima na mehaničku realizaciju statora motora kod većih brzina okretanja i obično iznosi (2 - 3) : 1.
- Pri tome se do nominalne brzine okretanja regulacija obavlja naponom statora (I područje), a iznad nominalne brzine naponom pobude (II područje).

Elektromehaničke karakteristike motora





Rad motora u režimu kočenja

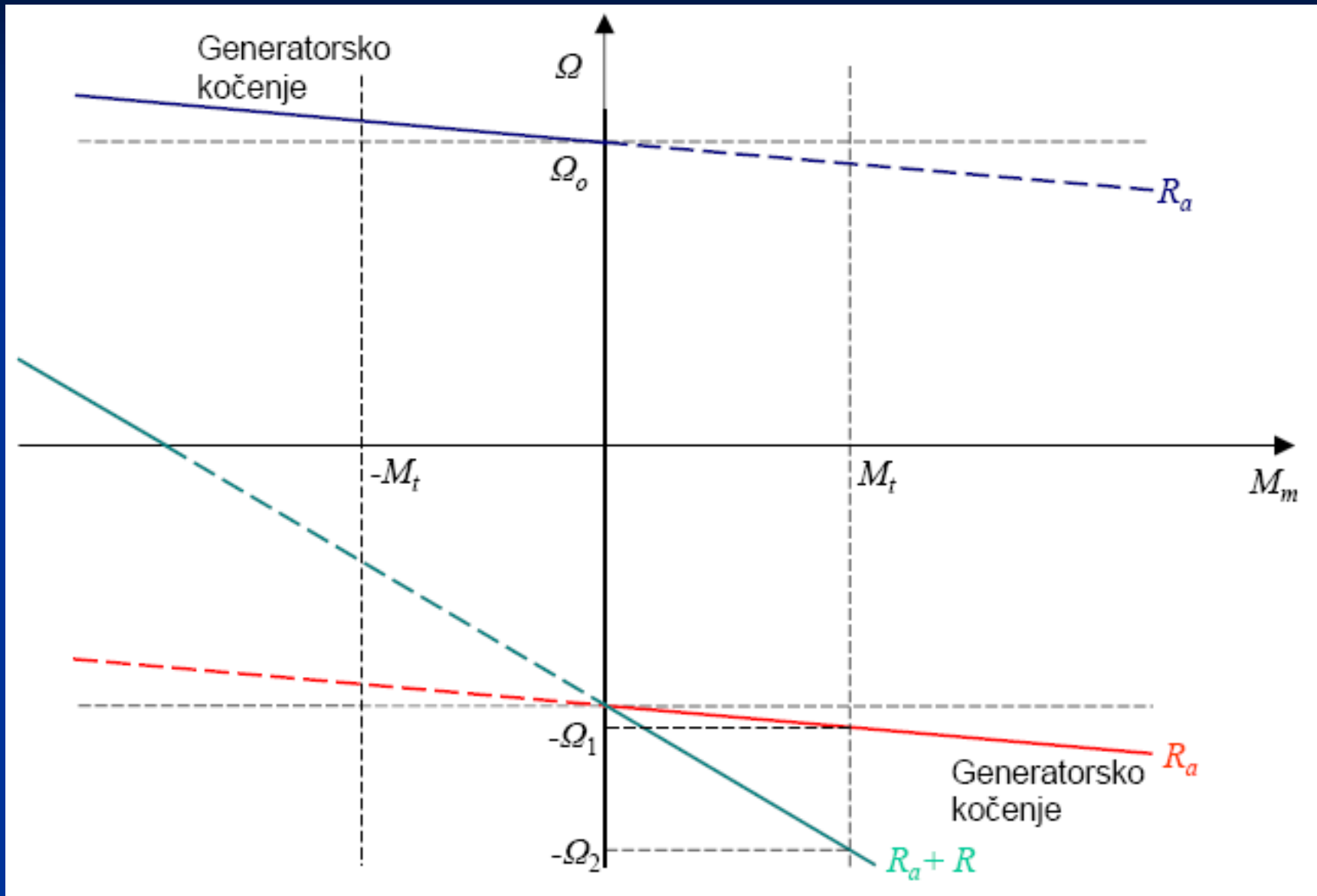
- Kada je radni mehanizam kojeg pokreće motor potrebno brzo i tačno zaustaviti primjenjuje se kočni režim rada motora.
- U tom režimu su razvijeni moment i brzina okretanja motora suprotnog smera
- Načini kočenja jednosmernog motora sa nezavisnom uzбудom su
 - generatorski,
 - suprotni struji,
 - elektrodinamički ili otporni.



Generatorski način kočenja

- Ako radni mehanizam deluje na motor tako da brzina okretanja postane veća od brzine okretanja idealnog praznog hoda, tada će struja statora i moment motora promeniti smer u odnosu na motornki režim rada.
- U tom slučaju motor se nalazi u generatorskom kočionom stanju, pri čemu se mehanička energija radnog mehanizma pretvara u električnu i vraća u izvor umanjena za gubitke u motoru.
- Stanju kočenja sa vraćanjem energije u izvor odgovaraju delovi mehaničke karakteristike u drugom i četvrtom kvadrantu

Generatorski način kočenja





Generatorski način kočenja

- Ovaj se način kočenja primenjuje npr. kod dizalica i u električkom transportu (vuča, dizalice i slično), kada je moment tereta aktivan (potencijalan), a brzina kočenja veća od brzine praznog hoda.
- Brzina okretanja pri generatorskom kočenju povećava se od Ω_1 na Ω_2 dodavanjem otpora R u statorno kolo motora

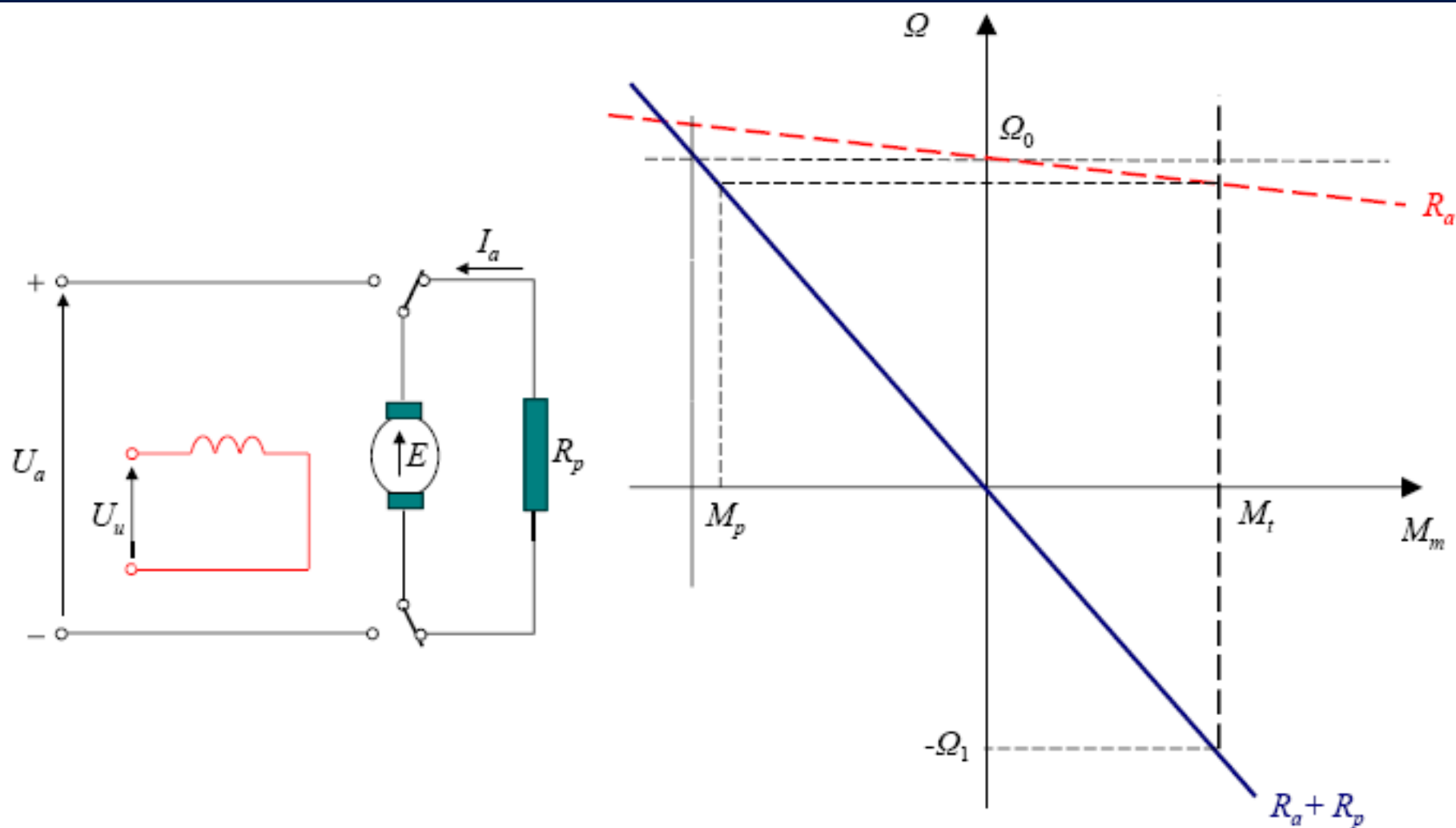
Elektrodinamičko kočenje

- Elektrodinamičko kočenje nastaje kada se pri nekoj brzini motora dođe do kontakta između napona napajanja i otpornik R_p , a pobuda ostane nepromenjena.
- Motor se zbog inercije nastavlja vrti u istom smeru, pa se kao posledica indukovane elektromotorne sile u statornom namotaju javlja struja:

$$I_{ap} = -\frac{E}{R_a + R_p}, \quad U_a = 0.$$

- Smer struje je suprotan smeru struje koji je bio u motornom režimu rada, pa je i smer delovanja momenta motora suprotan brzini okretanja.

Elektrodinamičko kočenje



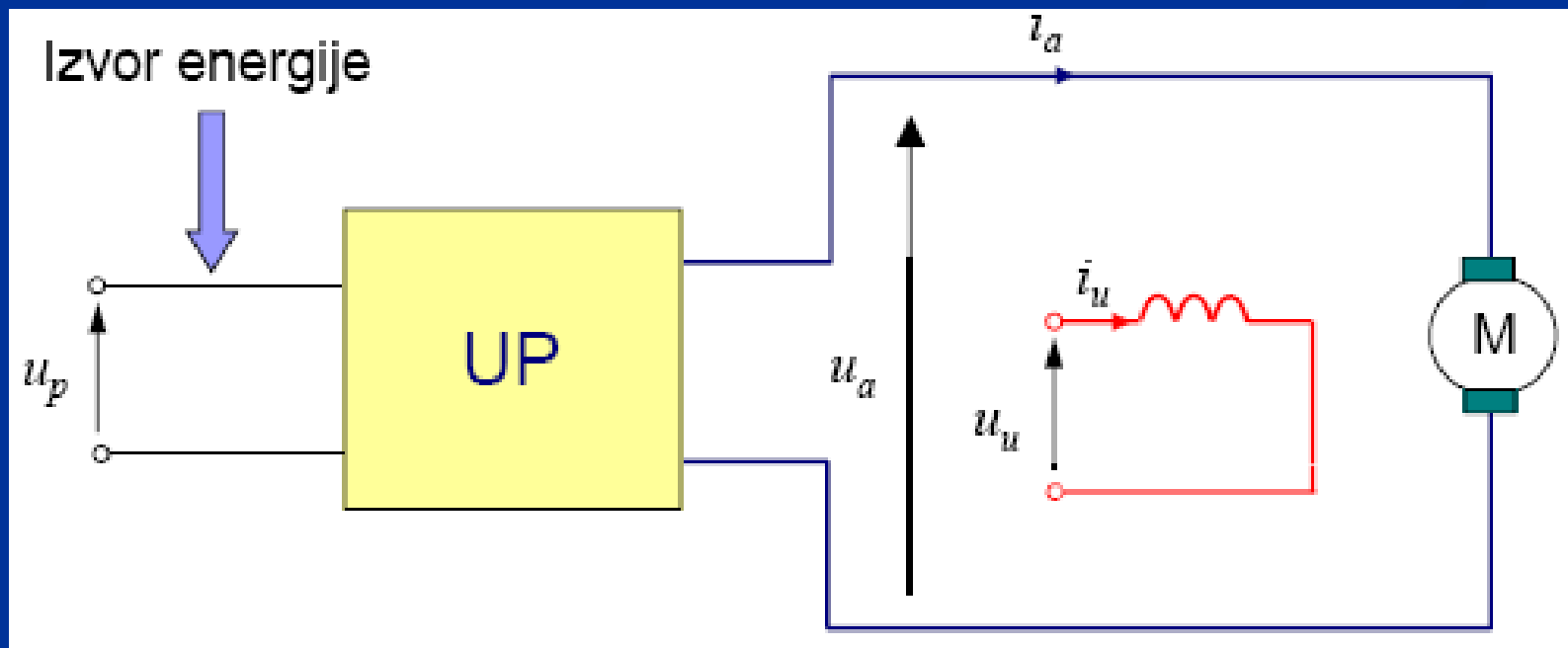


Jednosmerni motor regulisan naponom statora

- Brzina okretanja jednosmernog motora menja se promenom napona statora.
- Pri tome se brzina okretanja idealnog praznog hoda Ω_0 menja proporcionalno naponu statora, a promena brzine okretanja $\Delta\Omega$ usled opterećenja ne zavisi od napona statora, pa elektromehaničke i mehaničke karakteristike formiraju familiju paralelnih prava.
- Najpovoljnije statičke i dinamičke karakteristike dobijaju se regulacijom nezavisno pobuđenog jednosmernog motora pomoću napona statora.
- Na taj se način troše mali gubici energije u prelaznom procesu.

Jednosmerni motor regulisan naponom statora

- Promena napona statora izvodi se pomoću upravljivih pretvarača, odnosno pojačavača snage.
- Danas se upravljivi pretvarači manjih snaga izrađuju pomoću tranzistora ili tiristora, a pretvarači većih snaga pomoću tiristora.





Dinamičke karakteristike jednosmernog motora

- U regulisanim jednosmernim elektromotornim pogonima često se koristi povratna veza statorske struje zbog poboljšanja dinamičkih karakteristika motora.
- Za analizu i sintezu sistema u tom je slučaju potrebna prenosna funkcija statorne struje je

$$\frac{I_a(s)}{U_a(s)} = \frac{K_a T_m s}{1 + T_m s + T_a T_m s^2}, \quad T_m = \frac{J_u R_{au}}{K^2}.$$

- Ako je elektromehanička vremenska konstanta T_m mnogo veća od vremenske konstantne statornog kola, tada je prelazna pojava statorne struje određena vremenskom konstantom statornog kola:

$$\frac{I_a(s)}{U_a(s)} \cong \frac{K_a}{1 + T_a s}.$$



Motor opterećen generatorom

- Često se za eksperimentalno određivanje statičkih i dinamičkih karakteristika jednosmernog motora za opterećenje motora koristi jednosmerni generator sa nezavisnom i konstantnom pobudom.
- Ugaona brzina generatora jednaka je brzini motora.
- Uz zanemarenje vremenski konstante moment opterećenja ima oblik:

$$M_t(s) = K_t \Omega(s).$$

- Za računanje koeficijenta K_t često se koristi sledeća relacija:

$$K_t(s) = \frac{M_g(s)}{\Omega(s)} = \frac{K(I_a - I_{a0})}{\Omega},$$

- gde je I_{a0} – struja statora motora uz neopterećen generator ($R_t \rightarrow \infty$)

Blok šema motora opterećen generatorom

