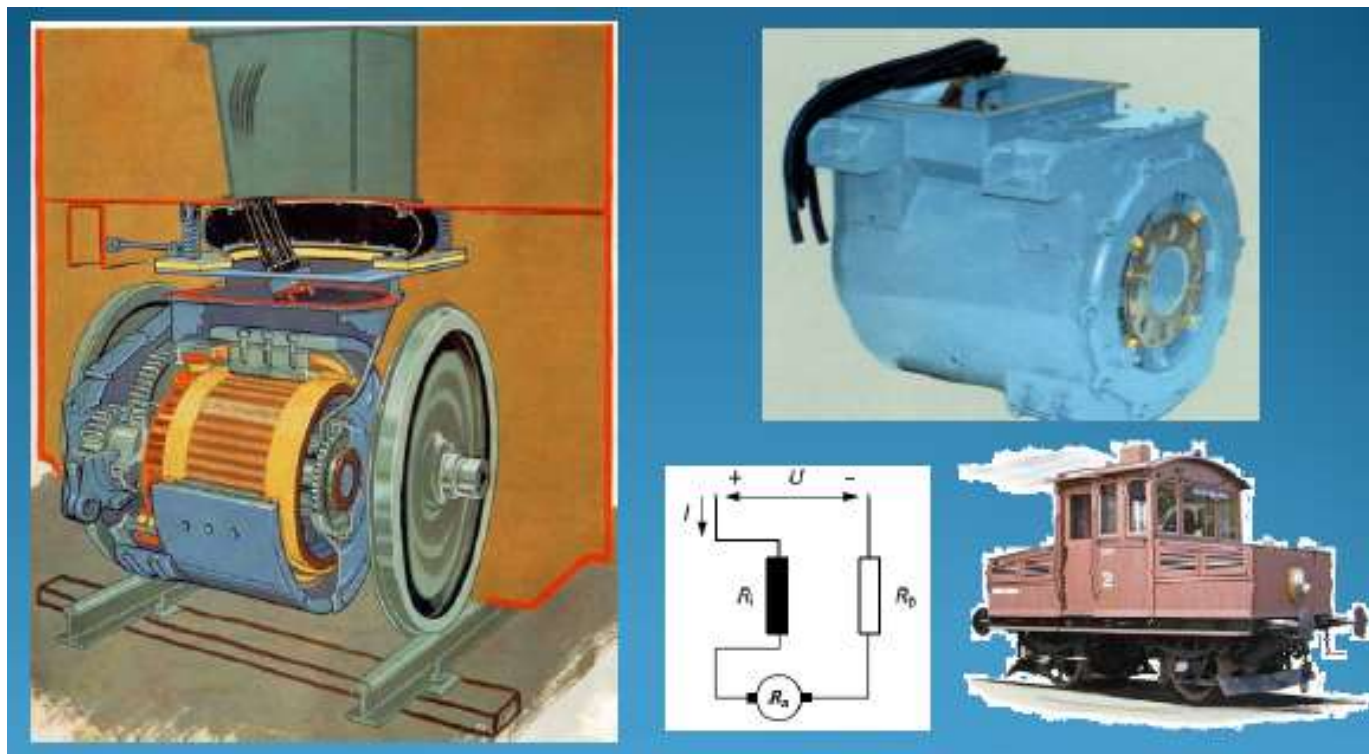


STATIČKA I DINAMIČKA STANJA EMP-a SA MJS

II/3 DEO



MJS su veoma razprostranjene, koriste se kod EMP zbog vrlo jednostavne regulacije brzine.



Mašina jednosmerne struje (DC mašina) može da se koristi kao motor ili kao generator. Ako je povezan naponski izvor, električna energija se transformiše u mehaničku i mašina se ponaša kao motor. Ako se mehanička sila primeni na osovinu (rotira), mehanička energija se transformiše u električnu i mašina se ponaša kao generator.

DC mašina se najčešće koristi kao motor, jer se DC generator danas najčešće realizuje korišćenjem naizmjeničnog generatora i ispravljača.

Glavne prednosti DC mašina su lako upravljanje brzinom i momentom.

Danas, njihova primena je ograničena na pokretne trake, rudnike i vozove. Na primer, DC motori se mogu upotrebljavati u trolebusima i podzemnoj železnici (metrou).



Primena komutatorskih mašina jednosmerne struje

- Električna vuča (trolejbusi, tramvaji, metroi, lokomotive)



Primena komutatorskih mašina jednosmerne struje

- Industrija



STATIČKI I DINAMIČKI REŽIM RADA MJS

Rotaciono kretanje opisuje se linearnom diferencijalnom jednačbom prvog reda

$$M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

Kada je $M_m - M_t = 0$ moment ubrzanja pogon se nalazi u **statičkom ili stacionarnom stanju**.

Ako je $J \frac{d\omega}{dt} \neq 0$ pogon se nalazi u **dinamičkom ili nestacionarnom stanju**.

Za vrijeme trajanja dinamičkog stanja pogon prelazi iz jednog stacionarnog stanja u drugo.

Uzroci prelaska iz jednog stanja u drugo mogu biti:

- a) promena momenta opterećenja
- b) promena momenta motora t.j. prelaz pogona s jedne mehaničke karakteristike na drugu što se može događati pri zaletu, kočenju, reverziranju, regulaciji brzine okretanja ili promeni nekog parametra pogona.



STATIČKI MODEL EMP SA MJS

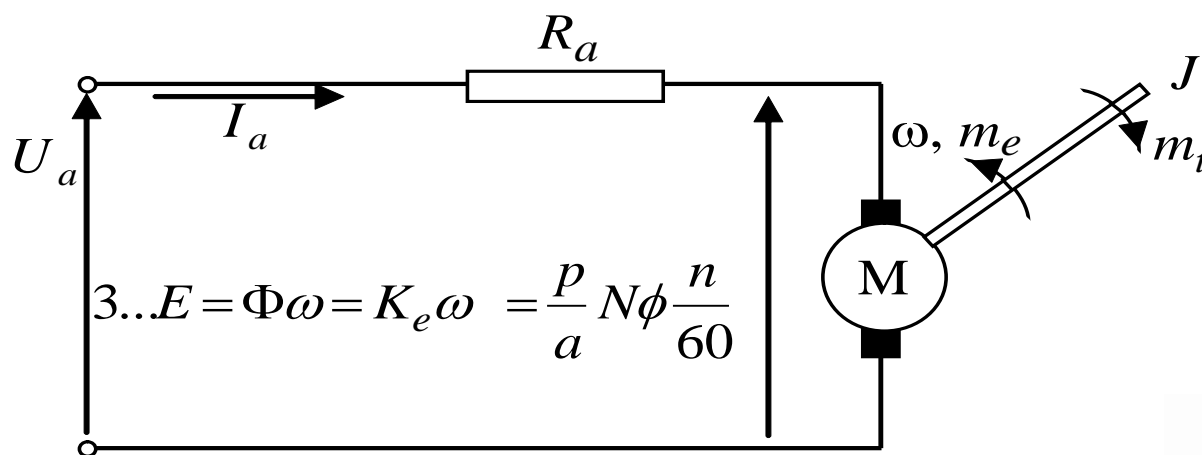
- Statički model važi u slučaju kada je napajanje i opterećenje konstantno dovoljno dugo, tako da su svi elektromagnetni i elektromehanički prelazni procesi završeni.
- EMP sa MJS može se predstaviti sledećim jednačinama:

$$1...U_a = R_a I_a + \Phi \omega$$

$$2...U_p = R_p i_p$$

$$4...M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

$$5...M_m = K_m I_a = \Phi i_a$$



Gubici u magnetnom kolu i mehanički gubici nisu obuhvaćeni ovim matematičkim modelom, niti ekvivalentnom šemom.



DINAMIČKI MODEL EMP SA MJS

Jednačine ravnoteže napona:

$$1 \dots u_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + \omega L_{ap} i_p$$

$$2 \dots u_p = R_p i_p + L_p \frac{di_p}{dt}$$

$$3 \dots e = \Phi \omega = k_e \omega, \Phi = L_{ap} i_p \quad E = \frac{p}{a} N \phi \frac{n}{60}$$

$$K_m = \Phi = L_{ap} i_p - \text{kons.mot. (fluks)}$$

$$4 \dots M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt}$$

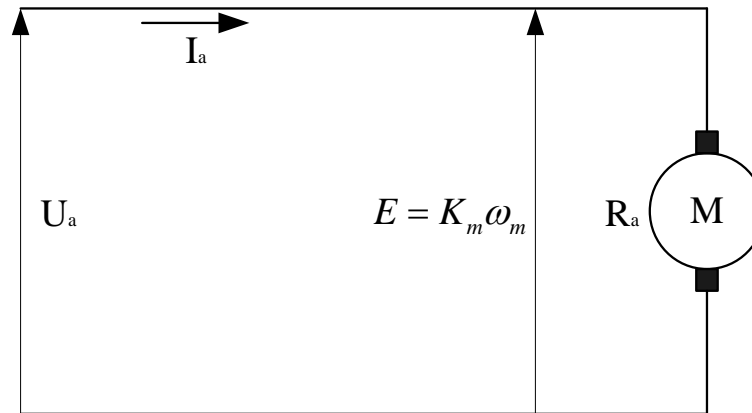
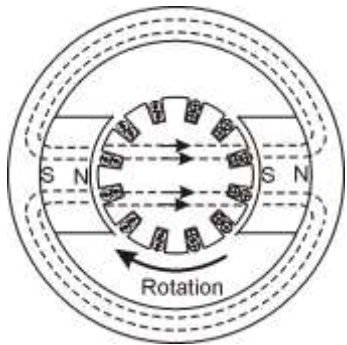
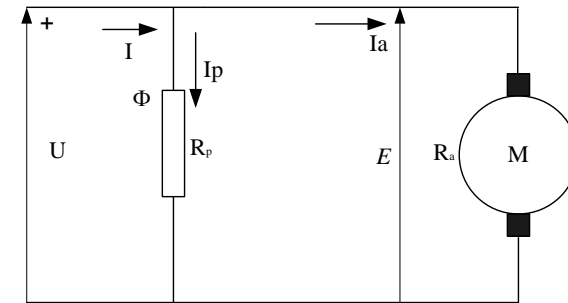
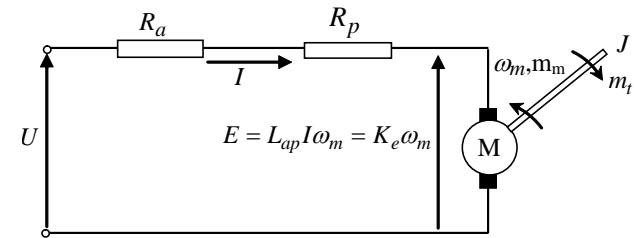
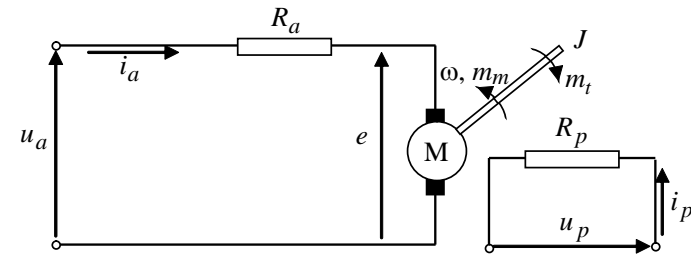
$$5 \dots m_m = \Phi i_a = k_m i_a$$

$$M_m = K_m I_a = \frac{p}{2\pi a} N \Phi I_a$$

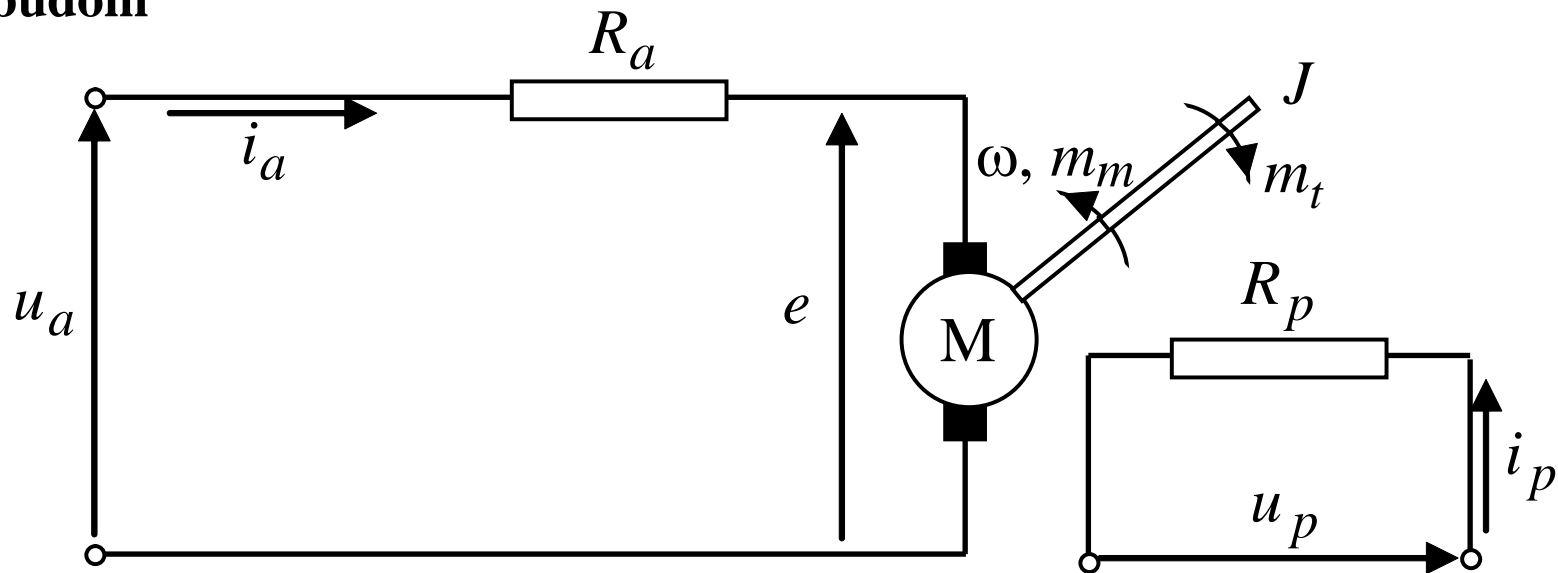
Gde indeks a označava armaturu (namotaj rotora) dok indeks p označava pobudni namotaj (statora).



- Motori sa nezavisnom pobudom;
- Motori sa rednom pobudom;
- Motori sa paralelnom pobudom;
- Motori sa složenom (kompaundna);
- Motori sa stalnim magnetom.



OSNOVNE JEDNAČINE RAVNOTEŽE EMP SA MJS sa nezavisnom pobudom



$$1 \dots U_a = R_a I_a + \Phi \omega$$

$$3 \dots E = \Phi \omega = k_e \omega, \Phi = L_{ap} i_p$$

$$2 \dots U_p = R_p i_p$$

$$4 \dots M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

$$5 \dots M_m = K_m I_a = \frac{p}{2\pi a} N \Phi I_a = \Phi I_a$$



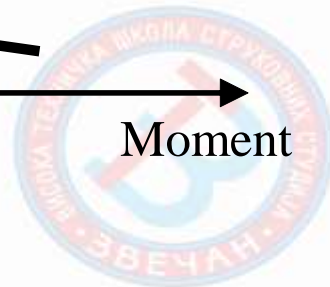
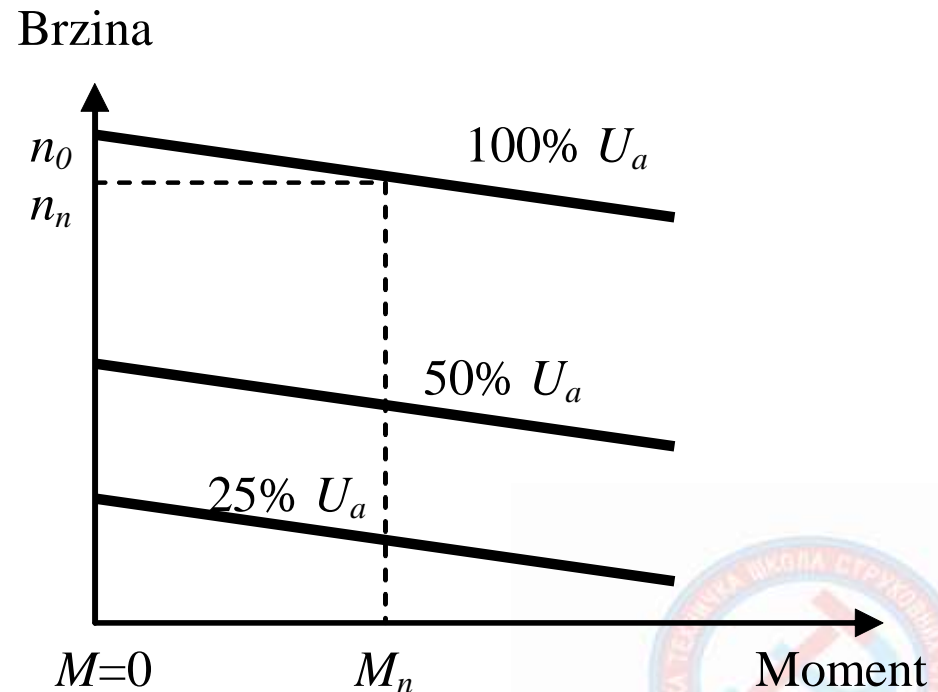
MEHANIČKE KARAKTERISTIKE MOTORA

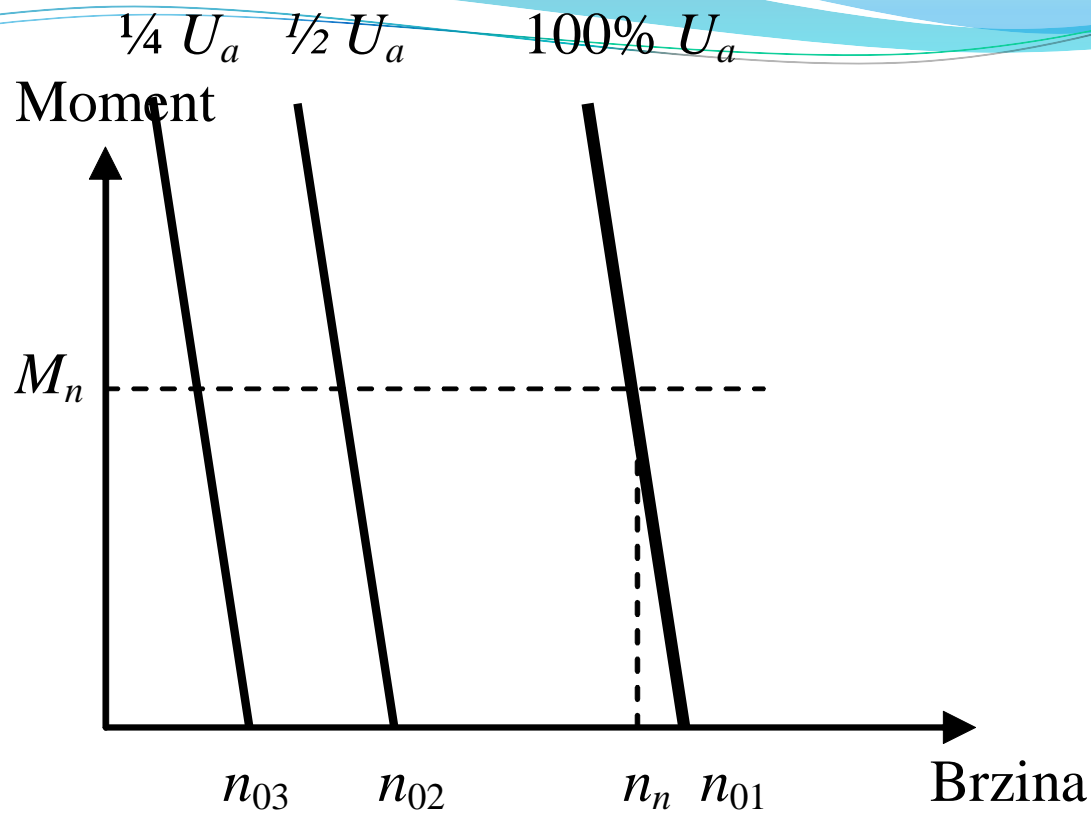
$$M_m = K_m I_a = \frac{p}{2\pi a} N\Phi I_a$$

$$I_a = M_m / K_m$$

$$\omega_m = \frac{U_a - R_a \frac{M_m}{K_m}}{K_e} = \frac{U_a}{K_e} - \frac{R_a}{K_e K_m} M_m$$

$$\omega_m = \omega_0 - K_1 M_m$$

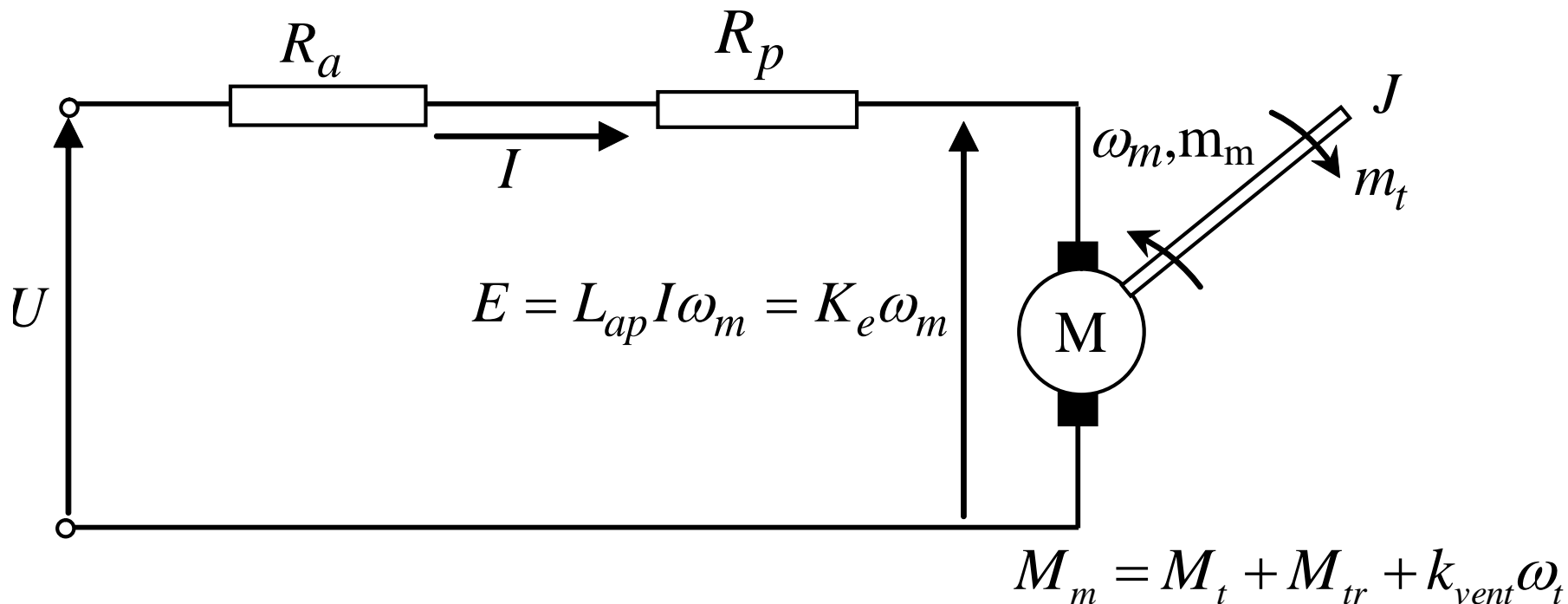




$$\omega_m = \frac{U_a - R_a \frac{M_m}{K_m}}{K_e} = \frac{U_a}{K_e} - \frac{R_a}{K_e K_m} M_m$$



OSNOVNE JEDNAČINE RAVNOTEŽE EMP SA MJS sa rednom pobudom



Statički model motora sa rednom pobudom se može opisati kroz jednačine:

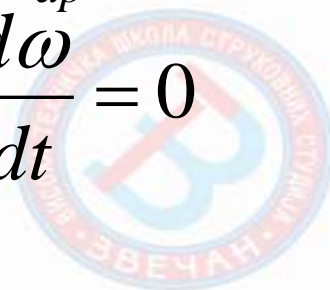
$$1...U_a = (R_a + R_p)I + L_{ap}I \omega_m$$

$$2...U_p = R_p I$$

$$3...e = \Phi \omega = k_e \omega, \Phi = L_{ap} I$$

$$4...M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt} = 0$$

$$5...M_m = L_{ap} I_p I_a = L_{ap} I^2$$



$$M_m = L_{ap} I^2$$

$$I = \sqrt{M_m / L_{ap}}$$

$$\omega_t = \frac{U - (R_a + R_p)I}{L_{ap}I}$$

$$\omega_t = \frac{1}{\sqrt{L_{ap}}} \frac{U}{\sqrt{M_m}} - \frac{R_a + R_p}{L_{ap}}$$

$$\omega_t = K_1 \frac{U}{\sqrt{M_m}} - K_2$$

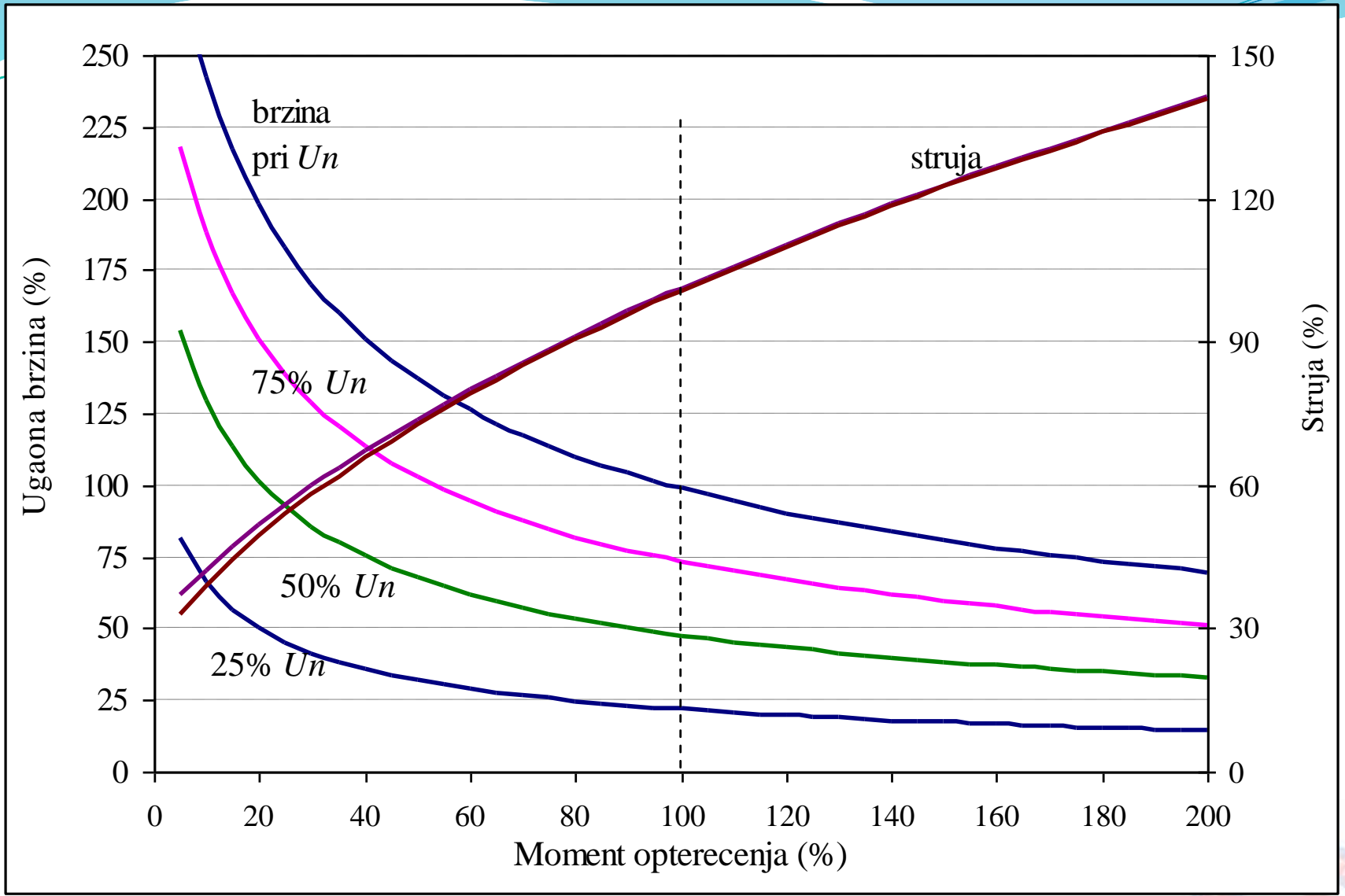


$$\omega_t = K_1 \frac{U}{\sqrt{M_m}} - K_2$$

$$M_m = L_{ap} I^2$$

- Brzina nelinearno opada sa momentom.
- Dobra strana ovih motora je što moment raste sa kvadratom struje (Zbog ovakve momentne karakteristike, motor razvija visok moment pri startu i zaletu, pa je zbog toga jako pogodan za korišćenje u električnim vozilima i električnoj vuči (visok moment pri zaletu a umeren za vožnju).
- Regulacijom napona napajanja može se postići bilo koja brzina od sasvim malih do nominalnih. Iako je regulacija brzina-napon linearna, izlazna karakteristika ima za posledicu kompleksnije upravljačke sisteme.





Opšti matematički model rada mašine za jednosmernu struju predstavlja skup diferencijalnih i algebarskih jednačina:

$$u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e$$

$$u_p = R_p \cdot i_p + L_p \cdot \frac{di_p}{dt}$$

$$m_m - m_t = J_t \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$e = \phi \cdot \omega$$

$$m_m = \phi \cdot i_a$$

U statičkom režimu, za motorni režim rada važi:

$$U_a = R_a \cdot I_a + E$$

$$U_p = R_p \cdot I_p$$

$$M_m = M_t$$

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

$$M_m = \phi \cdot I_a$$



Analiza dinamičkih stanja nekog pogona je neophodna zato što:

- produktivnost mnogih pogona zavisi od brzine odvijanja prelaznih pojava,
- kvalitet izvršenja tehnoloških operacija zavisi od toga kako su rešene prelazne pojave (gibanje lifta pri pokretanju i zaustavljanju, vožnja tramvaja, obrada na alatnim pogonima..)
- električna i elektromehanička preopterećenja su u većini slučajeva određena prelaznim procesom emp-a.



Pri proučavanju dinamičkih stanja EMP-a osnovni zadatak je izračunavanje zavisnosti brzine okretanja, momenta i struje kao i položaja rotora u zavisnosti od vremena t .

Od posebne važnosti je porast temperature svih električnih delova pogona za vreme prelazne pojave.

Pri rešavanju jednačina dinamičkih stanja poznato je:

- početno stanje (n_p, w_p, i_p, M_p)
- konačno stanje (n_k, w_k, i_k, M_k)
- i zakon po kojem se vremenski menjaju faktori koji uzrokuju prelaznu pojavu (dinamičko stanje).



Karakter prelaznih pojava zavisi od vremenskih konstanti:

T_{el} - električna vremenska konstanta

T_{meh} - mehanička vremenska konstanta

T_{elmeh} - elektromehanička vremenska konstanta

T_t toplotna vremenska konstanta

Najkraće traju električne prelazne pojave (najmanje vremenske konstante) a najduže toplotne.

Elektromagnetske	elektromehaničke	toplotne
0,05-2000 ms	10 ms -10 s	5-60 min

Velike razlike između trajanja elektromagnetskih, toplotnih i mehaničkih prelaznih pojava, često i do više od 100 puta, dozvoljavaju da se one mogu odvojeno razmatrati.



Jednačine za prazni hod:

Moment tereta $M_t = 0$

Indukovani napon $E = K \cdot \omega$

Jednačina momenta $M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt}$

Jednačina strujnog kola rotora

$$U_a = i_a R_a + L \frac{di_a}{dt} + k_m \omega$$

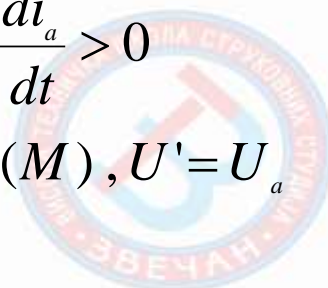
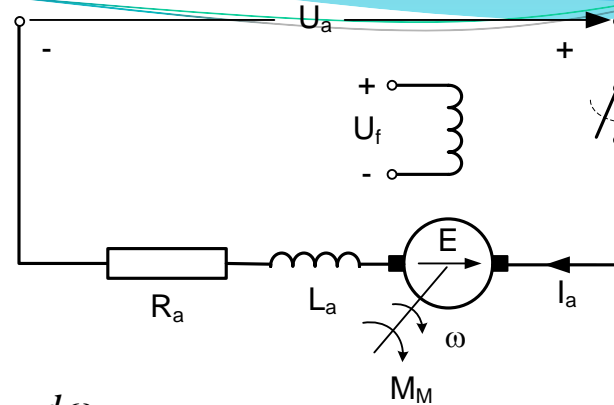
$$\omega = \frac{U_a + L \frac{di_a}{dt}}{k_m} - \frac{i_a R_a}{k_m} = \frac{U' - i_a R_a}{k_m}$$

$$U' = U_a - L_a \frac{di_a}{dt} \quad \frac{di_a}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad U' = U_a$$

$$U' > U_a \quad \text{za} \quad \frac{di_a}{dt} < 0$$

$$U' < U_a \quad \text{za} \quad \frac{di_a}{dt} > 0$$

$$\omega = f(M), U' = U_a$$



Dinamička stanja pogona rešavaju se diferencijalnim jednačinama, uspostavljanjem ravnoteže električkog i mehaničkog stanja pogona.

Jednačine su:

Za strujno kolo rotora:

$$U_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + \Phi \omega$$

Za mehaničko okretanje:

$$M_m - M_t = J \frac{d\omega}{dt}$$

Prelazna stanja u dinamičkom procesu ne posmatramo

$$I_f = \text{konst.}$$

Prazni hod:

$$M_t = 0$$

$$M_m = K_m i_a = J \frac{d\omega}{dt}$$

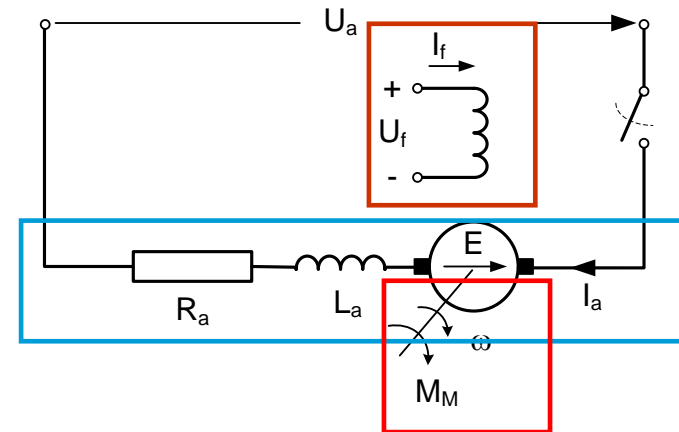
$$k_m = c$$

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{J}{K_m} \frac{d^2\omega}{dt^2}$$

$$\frac{U_a}{c} = \frac{L_a J}{c^2} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{J R_a}{c^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega$$

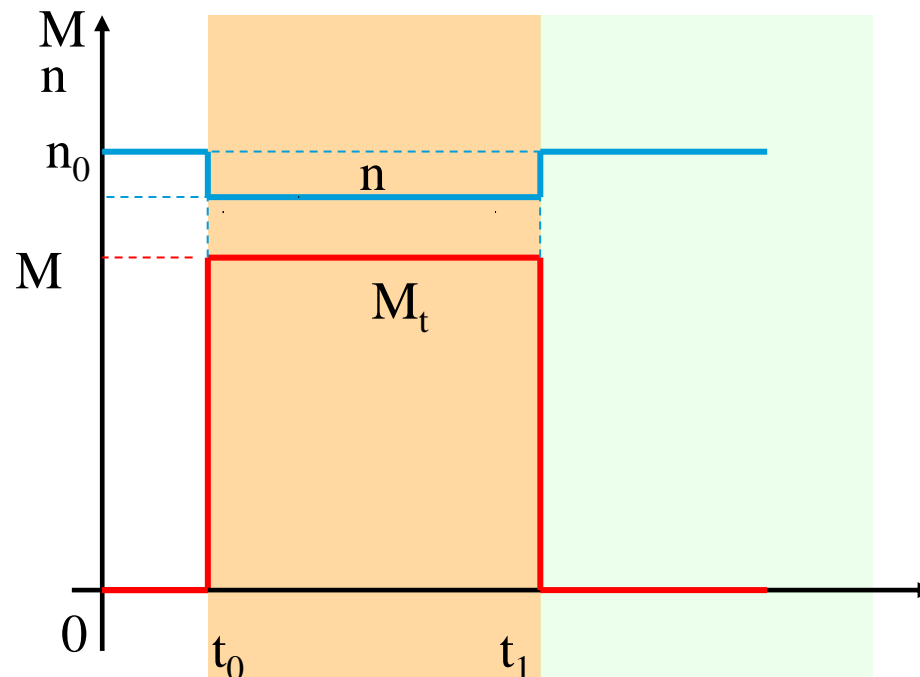
Diferencijalna jednačina za merenje brzine je:

$$\omega_0 = T_{em} T_{el} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{J R_a}{c^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega$$



KARAKTERISTIČNA DINAMIČKA STANJA

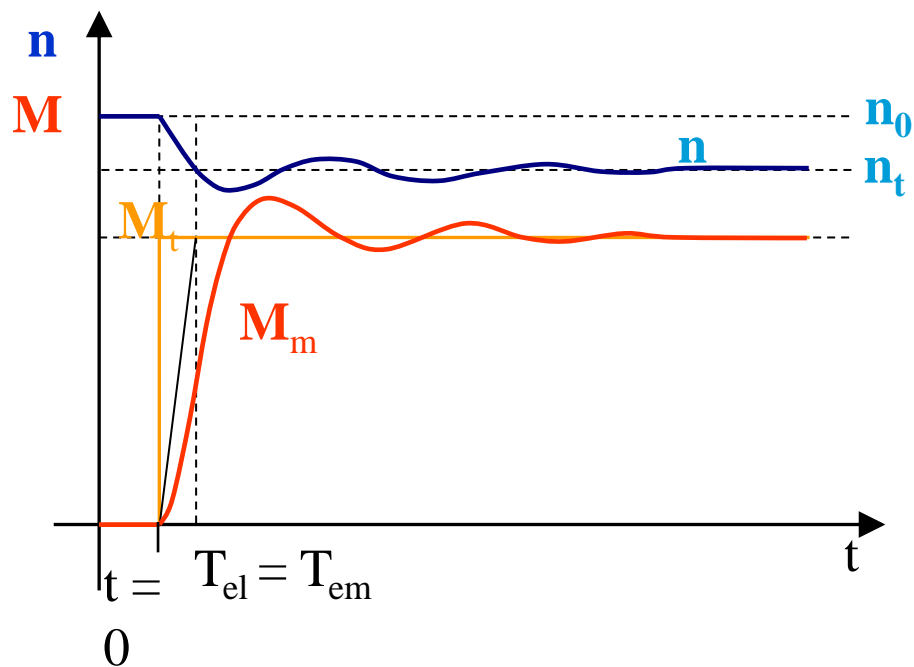
- Step momenta - naglo opterećenje iz praznog hoda
- Naglo rasterećenje
- Udarci tereta



Udarno opterećenje i rasterećenje na osovini motora nakon praznog hoda, principna skica (idealizirana) smanjenja i povećanja brzine.



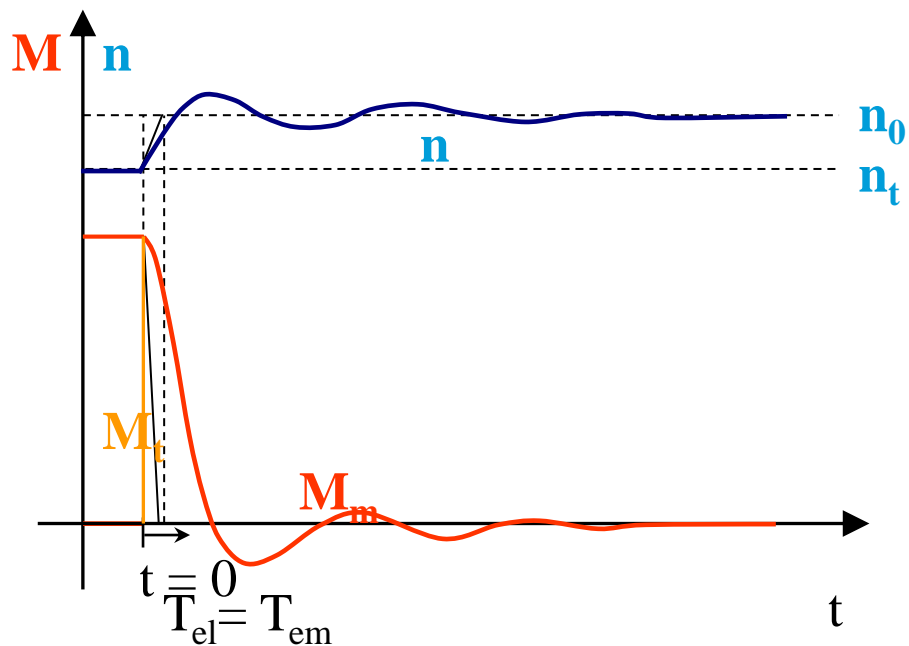
Vremenske promene momenta M_m i brzine motora n pri skokovitom momentu opterećenja M_t za različite odnose vremenskih konstanti.



$$T_{em} = T_{el}$$



Vremenske promene momenta i brzine motora pri naglom rasterćenju, uticaj vremenskih konstanti.

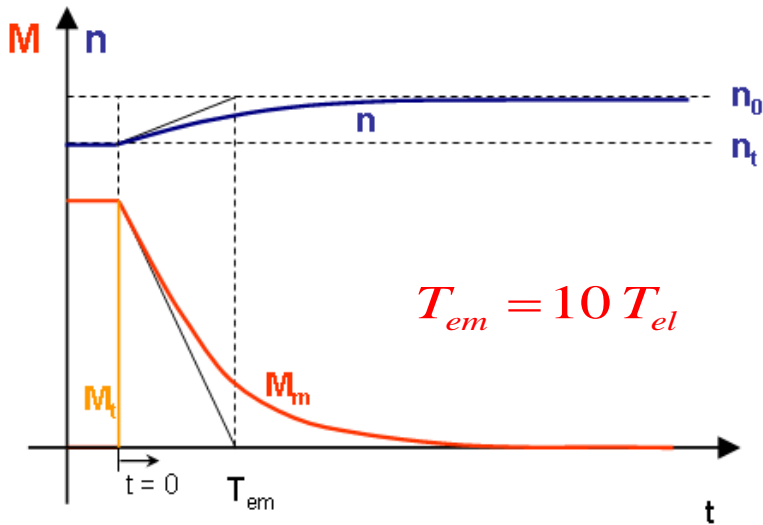
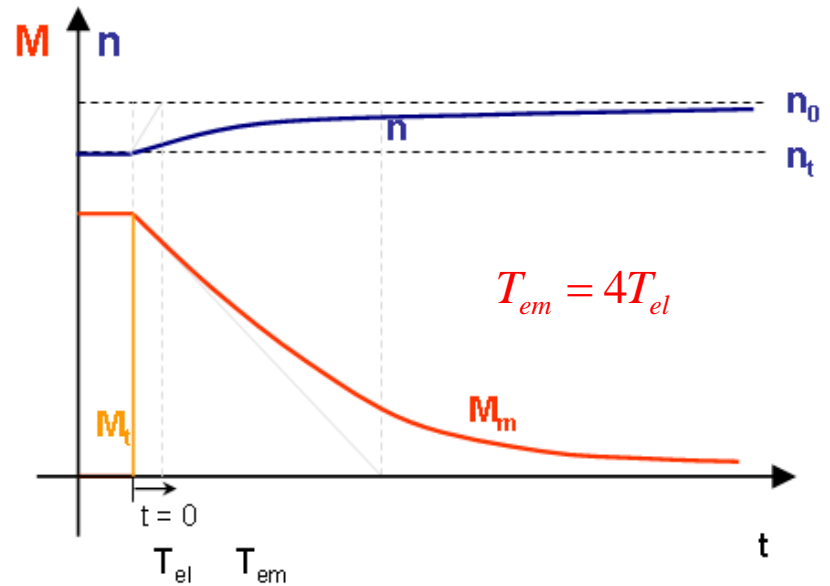
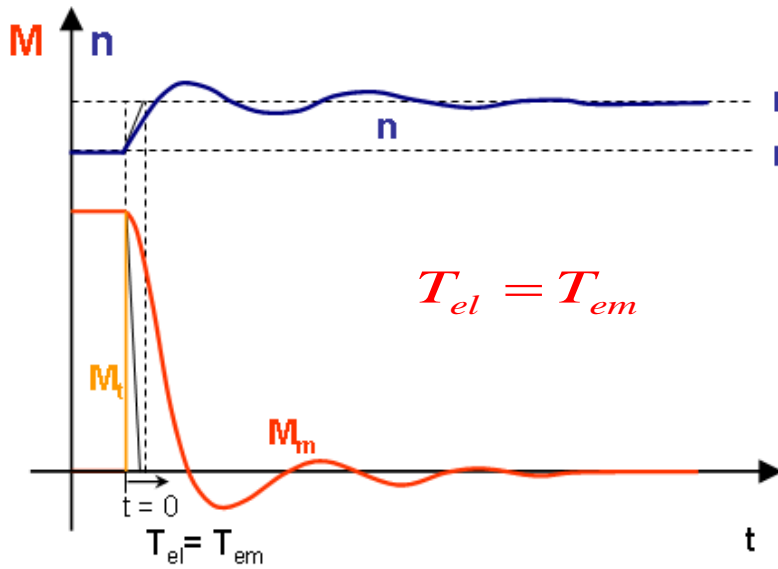


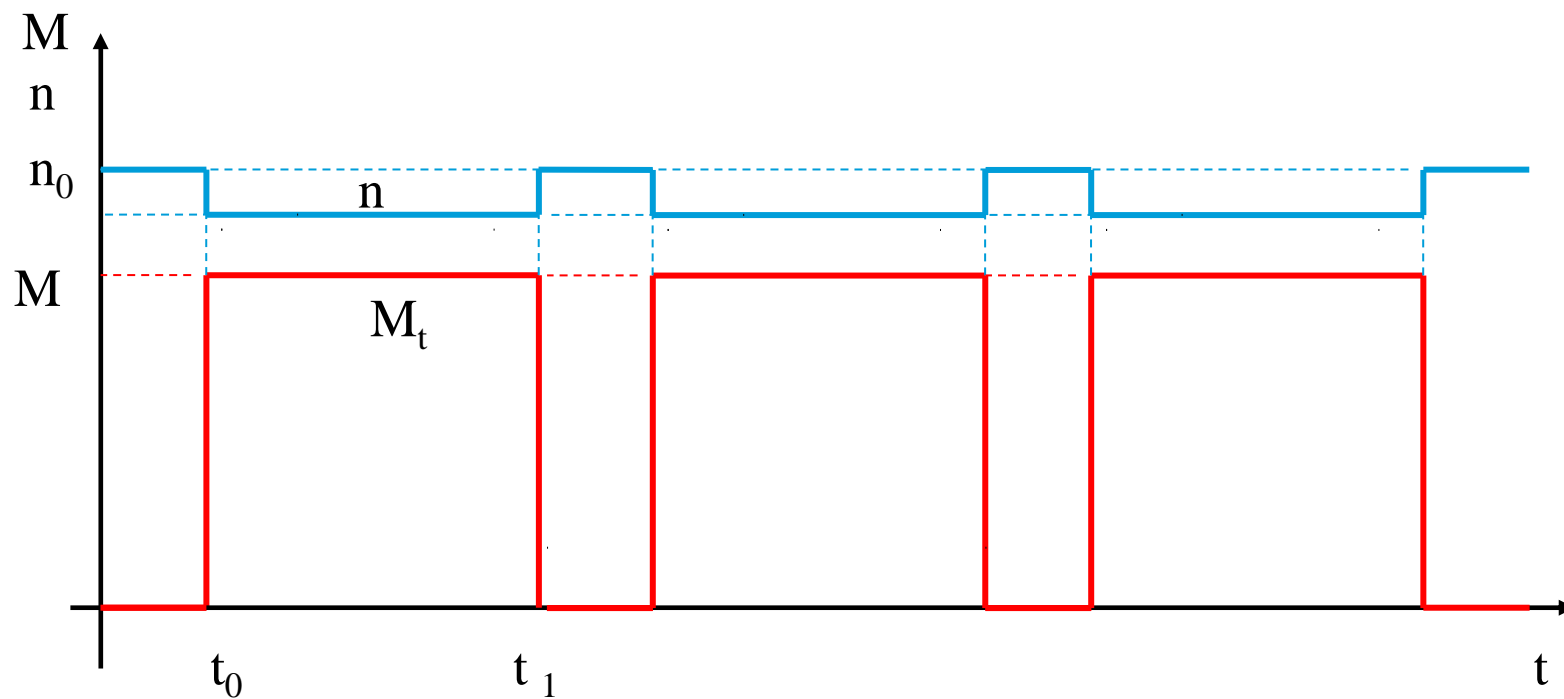
$$T_{em} = T_{el}$$

Povećaj T_{em} ▲



Vremenski tok momenta i brzine okretanja pri naglom mehaničkom rasterećenju za različite odnose vremenskih konstanti.





Primer udarnog opterećenje EMP-a, zanemarene vremenske konstante
(kontinuirani valjaonički pogon)

