KOČENJE U ELEKTROMOTORNOM POGONU

Kočenje služi za:

- smanjivanje brzine sa većim koeficijentom usporenja nego kod prirodnog usporavanja
- držanje pogona u stanju mirovanja

Postoje dve vrste kočenja:

1) Mehaničko kočenje, upotrebom mehaničkih kočnica,

2) električno kočenje, motor razvija moment koji deluje u suprotnom smeru od smera obrtanja.

ELEKTRIČNO KOČENJE MOTORA JEDNOSMERNE STRUJE SA NEZAVISNOM POBUDOM

Tri vrste kočenja:

1. Rekuperativno
2. Protivstrujno (dva načina) – NIJE PREDMET ANALIZE U KURSU!
3. Dinamičko (reostatsko)

Zajedničko za sva kočenja je da mašina (motor) menja ulogu, odnosno radi kao generator, pretvara mehaničku energiju u električnu.

Navedena kočenja se razlikuju po načinu realizacije i po tome kako se troši dobijena električna energija.

REKUPERATIVNO KOČENJE

Polazeći od izraza za mehaničku karakteristiku: $\omega = \frac{u_a}{\psi_f} - \frac{R_a}{\psi_f^2} m_e$

$\frac{u_a}{\psi_f} \rightarrow \omega_0$, $\frac{R_a}{\psi_f^2} m_e \rightarrow \Delta\omega$

N:

$$\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \frac{R_a}{\varphi_f^2} m_e$$

dobija se:

$$m_e = \left(\psi_f^2 / R_a\right) \cdot \Delta\omega \;\Big/ \cdot \omega > 0$$

Mehanička snaga na vratilu mašine je:

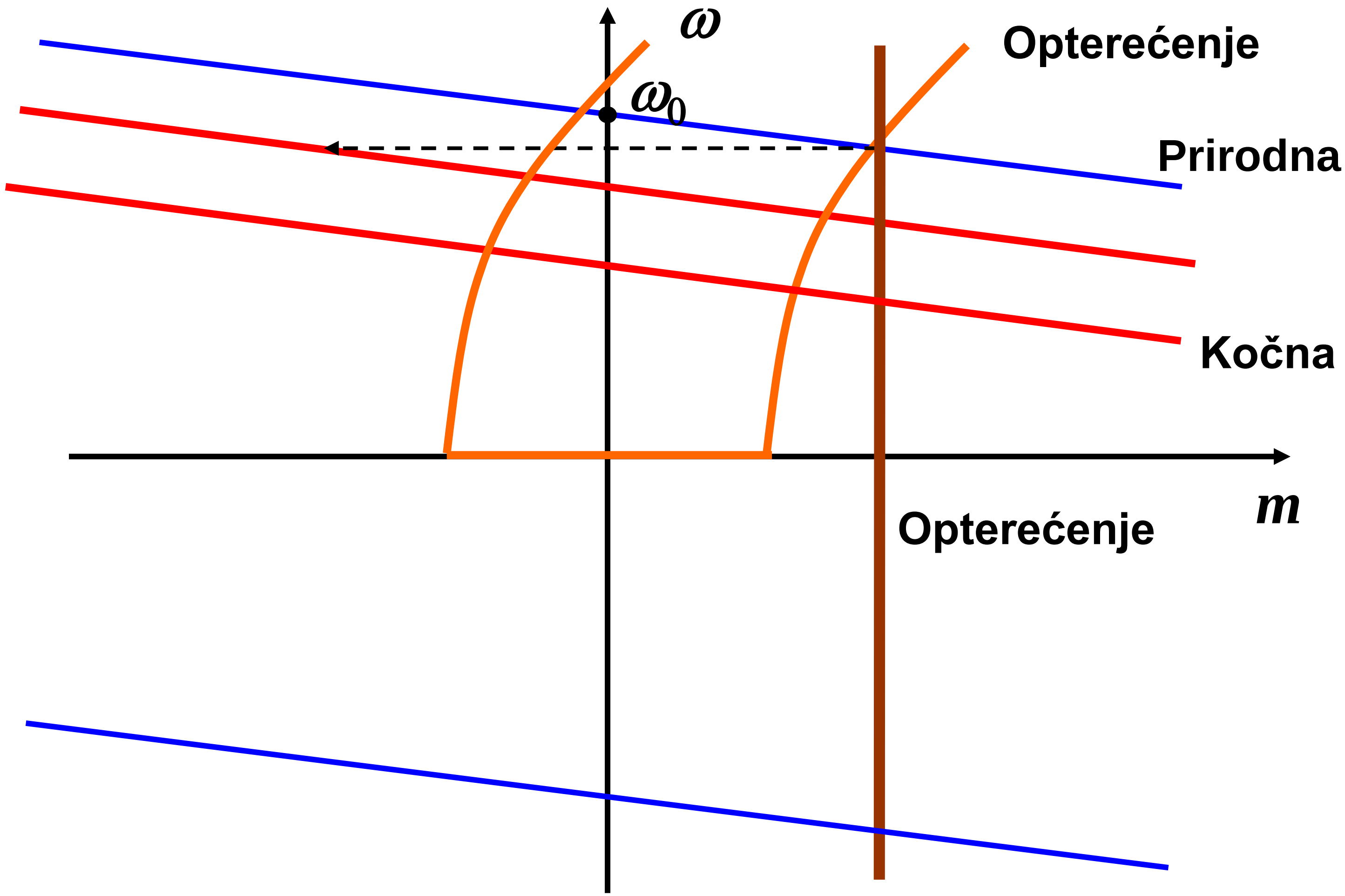
$$m_e \cdot \omega = \left(\psi_f^2 / R_a\right) \cdot \Delta\omega \cdot \omega$$

i biće negativna samo ako je $\Delta\omega < 0$, odnosno ako je $\omega > \omega_0$ **!!**
Rekuperativno kočenje se ostvaruje u drugom kvadrantu.
Na sličan način se može pokazati da se generatorski režim za negativne brzine ($\omega < 0$) ima kada je $\omega < \omega_0$

odnosno:

$$|\omega| > |\omega_0|$$

Statičke karakteristike pri rekuperativnom kočenju



- Odlikuje se vraćanjem generisane energije u izvor napajanja motora. Rekuperativno kočenje nastaje onda kada snaga jednosmernog izvora promeni znak (ili Ua ili Ia).
- Može da se primeni samo onda kada radna mašina može biti izvor energije, npr. potencijalna energija tereta ili vozila ili kinetička energija obrtnih masa. Pored toga izvor jednosmerne struje mora da bude reverzibilan.

Zbog promenjenog toka energije (mašina radi u generatorskom režimu), snage menjaju algebarski predznak (postaju negativne).

Polazeći od naponske jednačine za kolo indukta,

$$u_a = e + R_a \cdot i_a \qquad / \cdot i_a < 0$$

dobijamo:

$$u_a \cdot i_a = e \cdot i_a + R_a \cdot i_a^2$$

Snaga vraćena u mrežu (negativna u toku kočenja)

Razvijena snaga (negativna u toku kočenja)

Džulova snaga (uvek pozitivna)

Realizacija

1. slučaj: kad brzina po apsolutnoj vrednosti postane veća od brzine praznog hoda (kolica na nizbrdici, spuštanje tereta kod dizalice);

2. slučaj: kada se brzina praznog hoda smanji ispod trenutne brzine.

$$\omega_0 = \frac{u_a \;\leftarrow\; \text{smanjivanje napona za } \psi_f = \psi_{f\,nom} = \text{const.}}{\psi_f \;\leftarrow\; \text{povećanje } \psi_f \text{ do } \psi_{f\,nom}, \text{ za } u_a = u_{a\,nom} = \text{const.}}$$

Osobine:

- **ekonomično;**
- **ne zahteva posebnu opremu;**
- **može se ostvariti samo kad se steknu potrebni uslovi.**

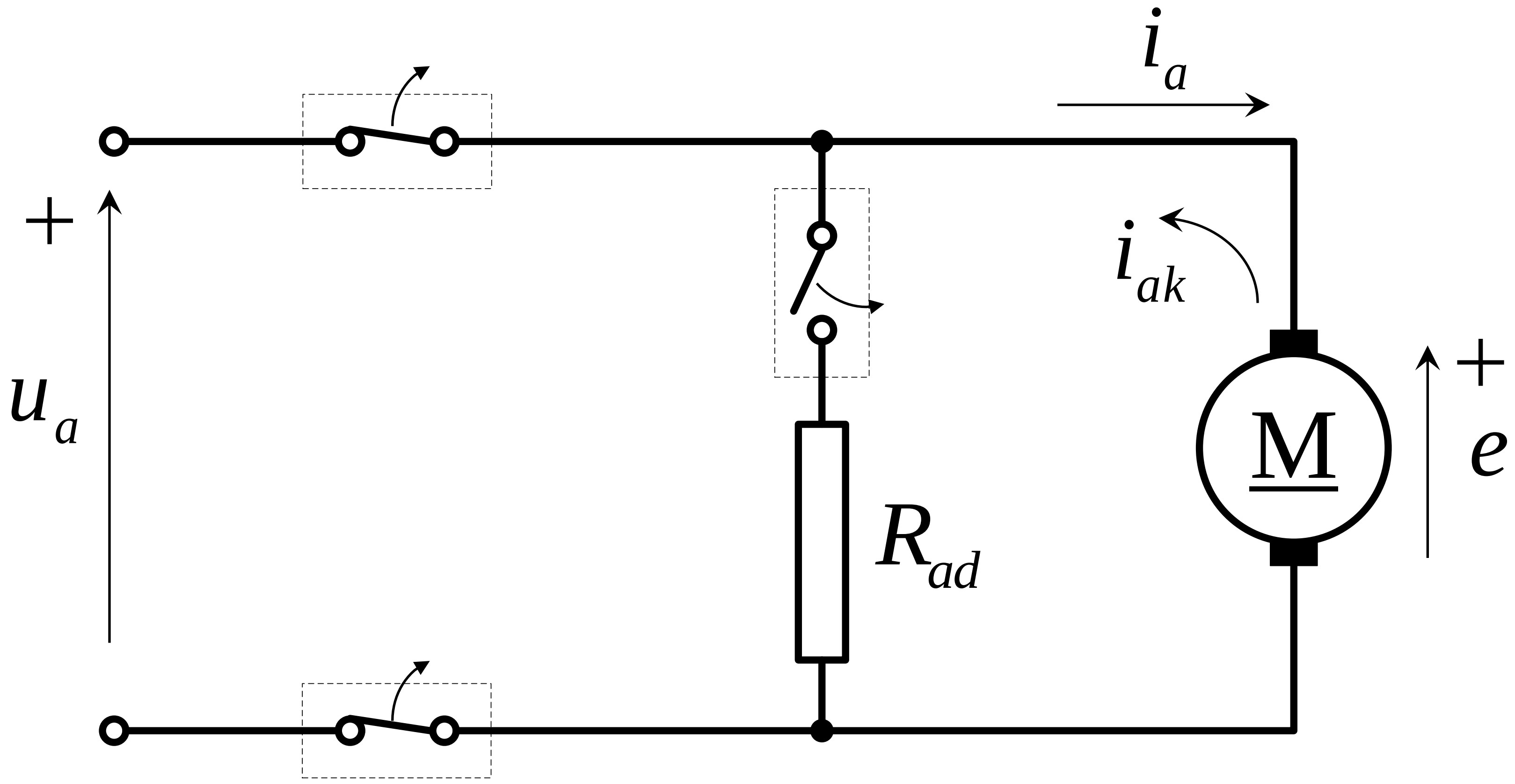
Primena:

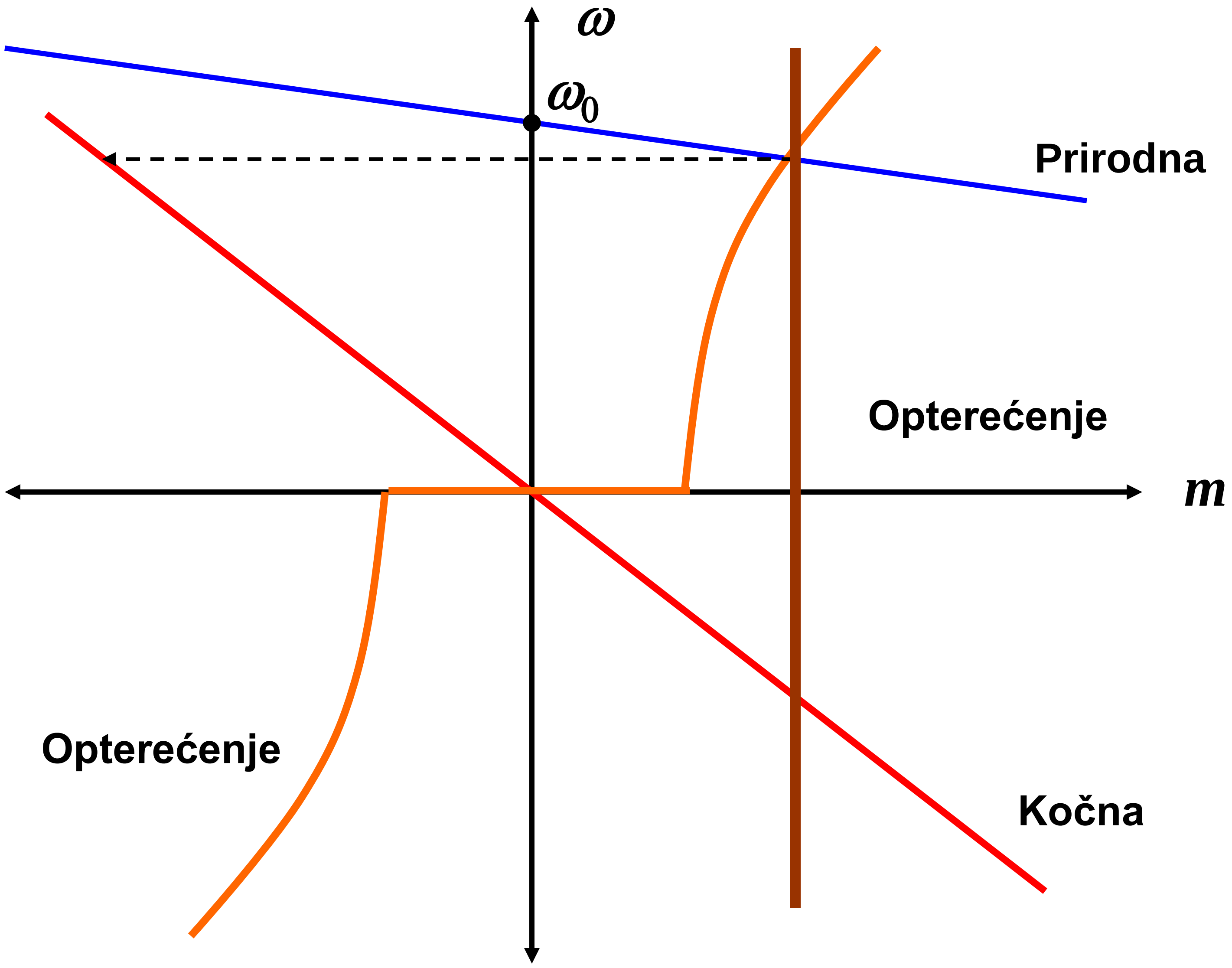
Kod električnih vozila i dizalica, i u regulisanom pogonu kod promena brzine.

DINAMIČKO KOČENJE

Kada se indukt odvoji od izvora i njegovi krajevi spoje preko dodatog otpora važi:

$$u_a = 0$$




ω
ω_0
Prirodna
Opterećenje
m
Opterećenje
Kočna

Iz izraza za mehaničku karakteristiku dobija se:

$$\omega = -\frac{R_a + R_{ad}}{\psi_f^2} m_e$$

Mehanička karakteristika motora u ovom slučaju leži samo u II i IV kvadrantu i prolazi kroz koordinatni početak.

Nagib karakteristike se može podešavati pomoću dodatog otpora.

Množeći izraz $\omega(m_e)$ sa m_e dobija se:

$$m_e \cdot \omega = -\left(R_a + R_{ad}\right) \cdot i_a^2$$

Drugi način, iz jednačine indukta:

$$\underset{=0}{u_a \cdot i_a} \underbrace{- \overset{<0}{m_e \cdot \omega}}_{>0} = \underbrace{\left(R_a + R_{ad}\right) \cdot i_a^2}_{>0}$$

Mehanička snaga = Džulova snaga !!!!!

sva mehanička energija se pretvara u toplotu !!

Iz izvora se ne uzima energija $\quad u_a = 0$

Osobine:

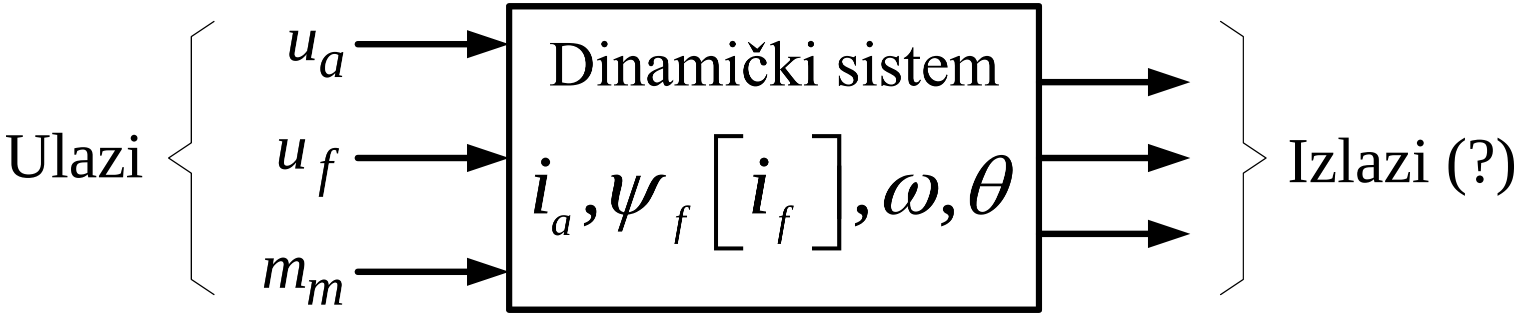
- **autonomnost u radu (pobuda?);**
- **dodatna oprema;**
- **mali kočioni momenat pri malim brzinama.**

Primena:

Zaustavljanje pogona u havarijskim režimima, spuštanje tereta i kočenje vozila na nizbrdici (autonomno).

DINAMIKA

Dinamički sistem - pogon sa motorom jednosmerne struje:
N:



U opštem slučaju ovaj dinamički sistem je
NELINEARAN

MATEMATIČKI MODEL POGONA SA NEZAVISNO POBUĐENOM JEDNOSMEROM MAŠINOM

Ponavljanje gradiva.

N:

$$T_a \frac{di_{a*}}{dt} = \frac{1}{R_{a*}}\left(u_{a*} - \psi_{f*} \cdot \omega_*\right) - i_{a*}$$

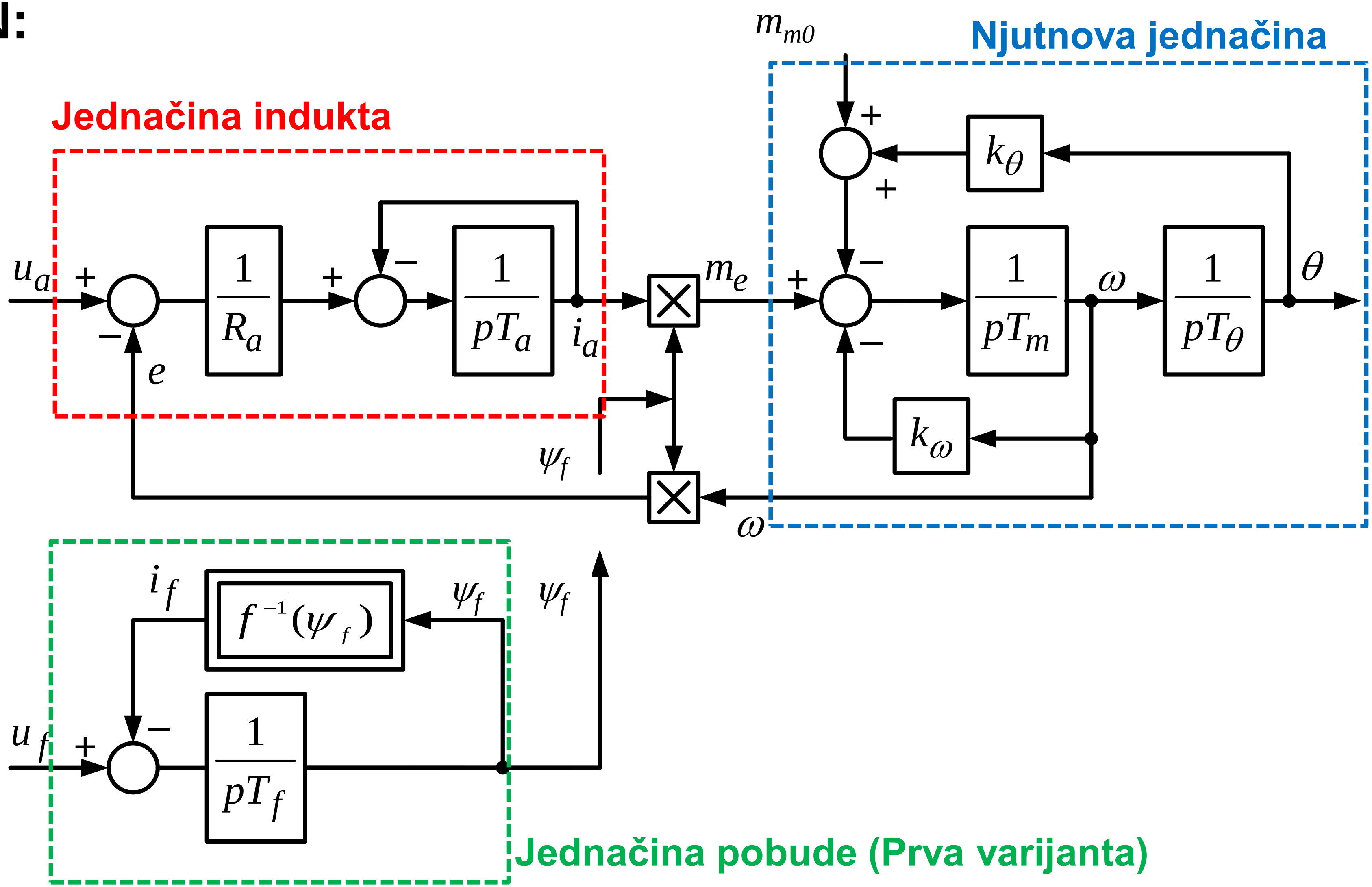
$$T_f \frac{d\left(L_{f*}\left(i_{f*}\right) \cdot i_{f*}\right)}{dt} = T_f \frac{d\psi_{f*}}{dt} = u_{f*} - i_{f*}$$

$$T_m \frac{d\omega_*}{dt} = \psi_{f*} \cdot i_{a*} - m_{m*}, \qquad m_{m*} = m_{0*} + k_{\omega*} \cdot \omega_* + k_{\theta*}\theta_*$$

$$T_\theta \frac{d\theta_*}{dt} = \omega_*$$

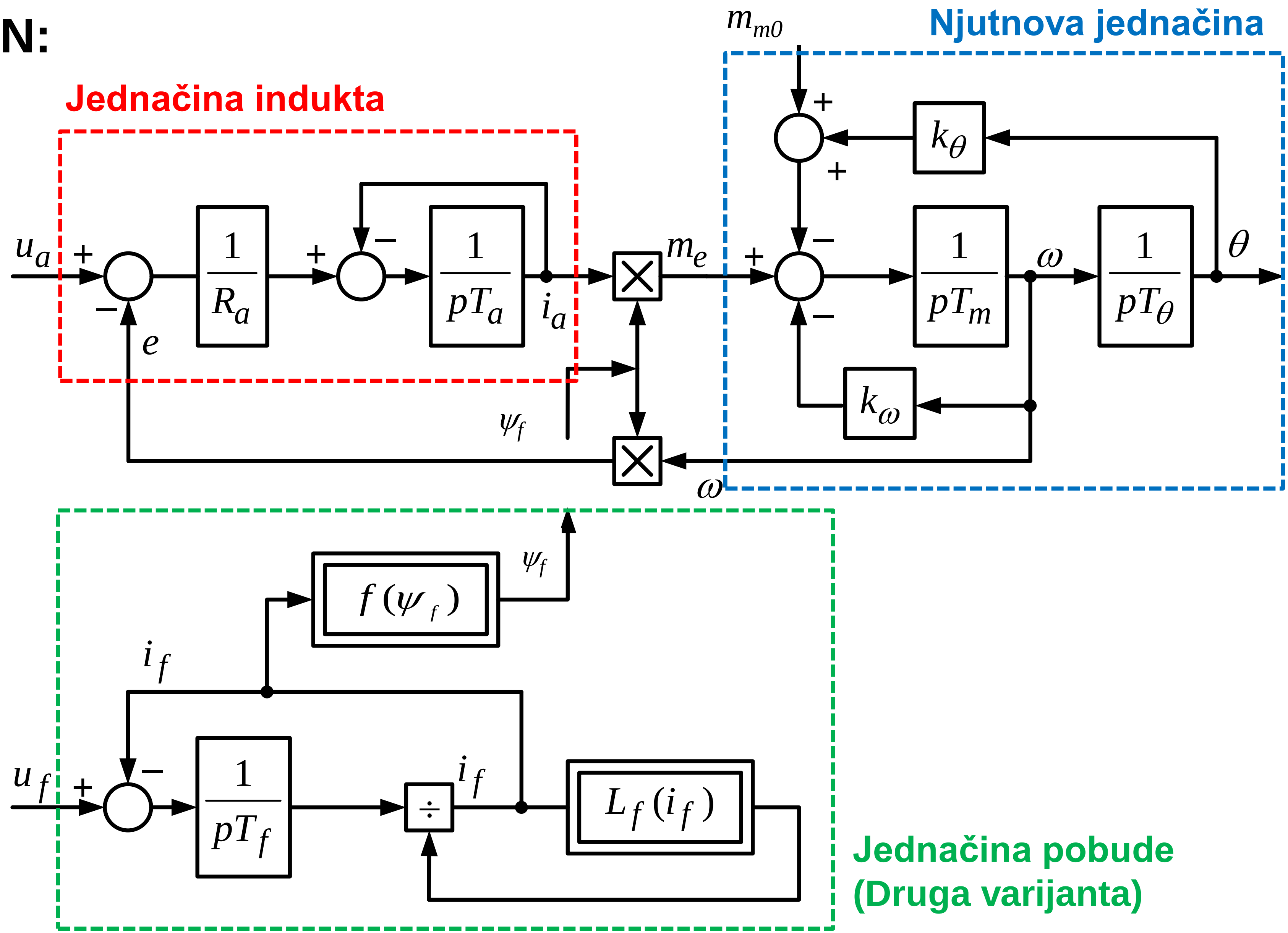
BLOK DIJAGRAM MATEMATIČKOG MODELA POGONA

N:



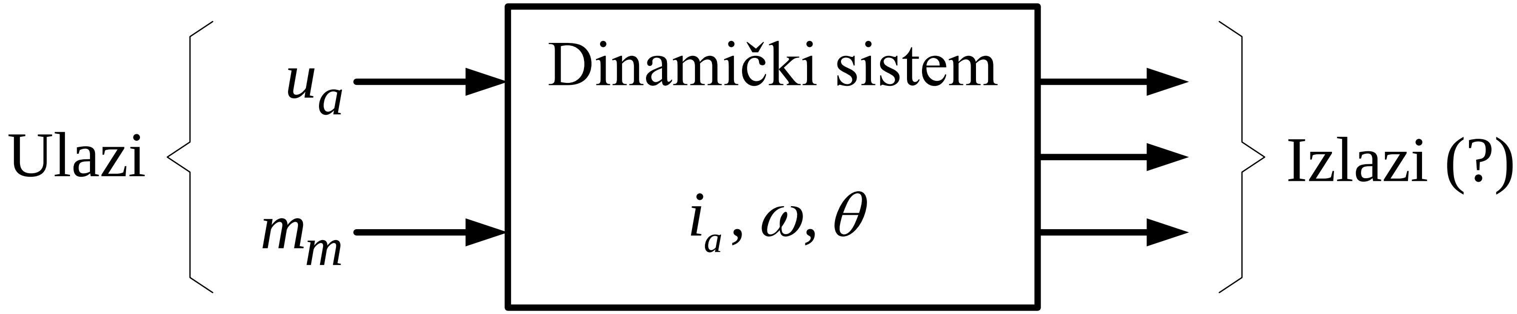
BLOK DIJAGRAM MATEMATIČKOG MODELA POGONA

N:



LINEARAN SLUČAJ $\psi_f = const.$

Ovaj uslov eliminiše jednačinu pobudnog kola.

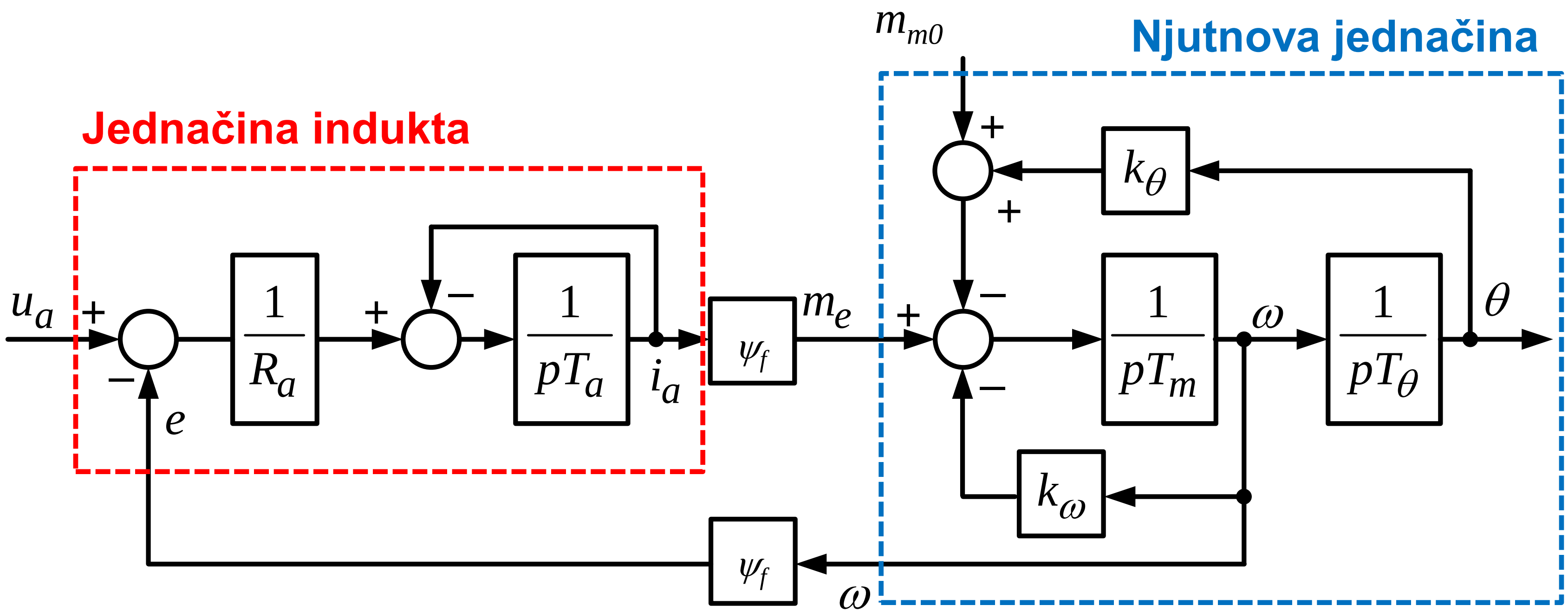


U prostoru stanja model pogona - dinamičkog sistema je:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_a \\ \omega \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_a} & -\frac{\psi_f}{R_a T_a} & 0 \\ \frac{\psi_f}{T_m} & -\frac{k_\omega}{T_m} & -\frac{k_\theta}{T_m} \\ 0 & \frac{1}{T_\theta} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{R_a T_a} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_m} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ m_m \end{bmatrix}$$

Blok dijagram u operatorskom domenu:

N:

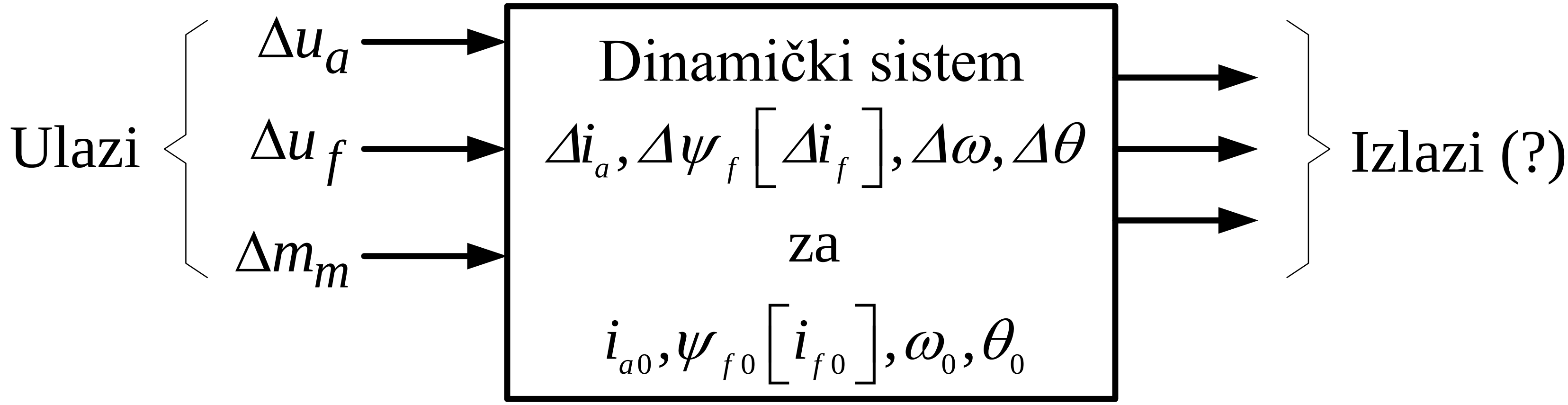


LINEARIZOVANI SLUČAJ $\psi_f \neq const.$ Nije predmet analize u kursu!

Matematički model *nelinearnog* dinamičkog sistema može se *linearizovati* u radnoj tački, odnosno u okolini radne tačke, stacionarnog stanja.

Na osnovu poznavanja vrednosti *vektora ulaza*: $\vec{\mathbf{u}}_0$
u posmatranom režimu i jednačina stacionarnog stanja
može se odrediti odgovarajuća vrednost *vektora stanja*: $\vec{\mathbf{x}}_0$

Dinamički sistem pogona sa nezavisno pobuđenim jednosmernim motorom, sad je:



ANALIZA DINAMIČKIH REŽIMA

Metode:

- Funkcije prenosa;
- Polovi i sopstvene vrednosti;
- Modelovanje.

Primenu navedenih metoda razmotrićemo na najjednostavnijem primeru u kome je posmatrani dinamički sistem *LINEARAN*.

$$\psi_f = const. \qquad\qquad k_\omega = 0$$

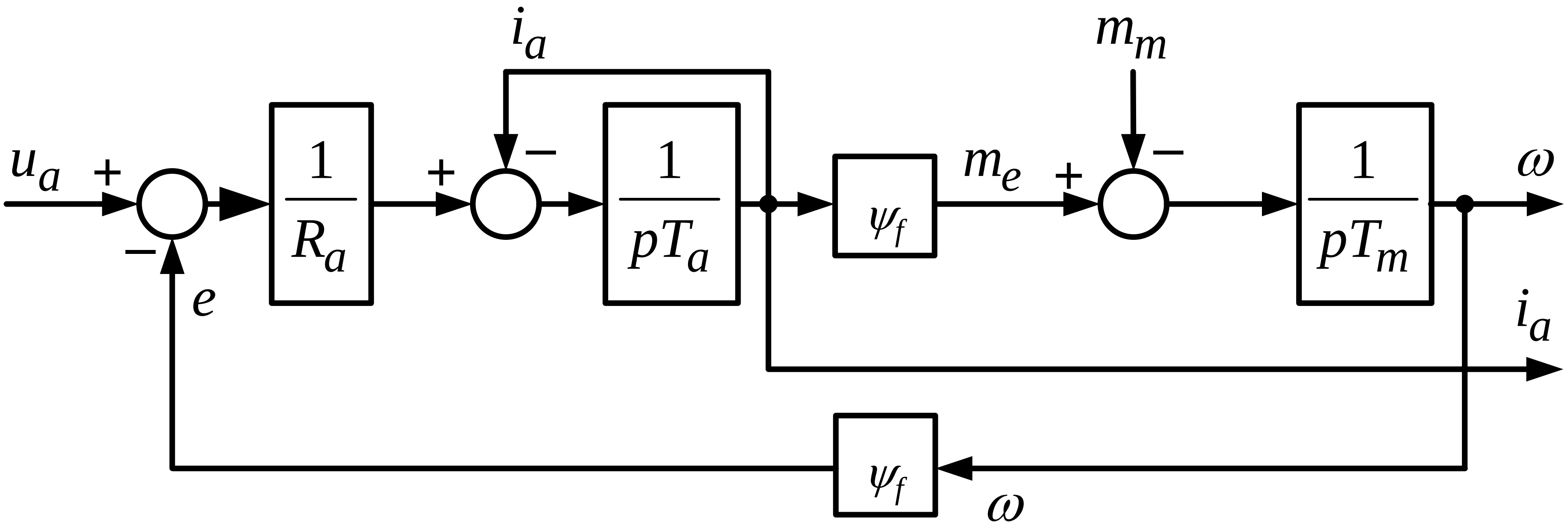
Nećemo uzimati u razmatranje treću promenljivu stanja θ.

$$m_m = m_{m0}$$

FUNKCIJE PRENOSA

Operatorski domen.

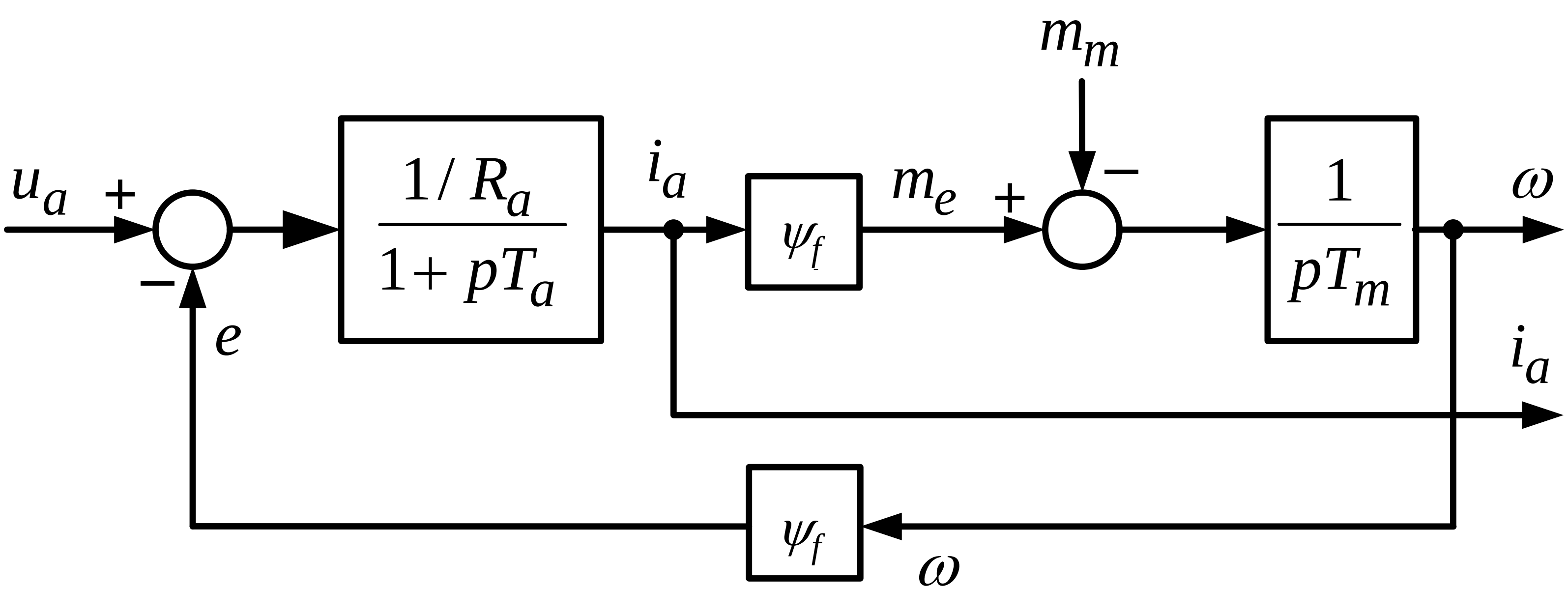
Blok dijagram koji odgovara ovom slučaju je:



Ulazi u sistem: u_a i m_m.

Izlazi iz sistema, npr.: ω i i_a.

Druga varijanta blok dijagrama, gde je jednom funkcijom prenosa zamenjena jednačina indukta:



Ulazi u sistem: u_a i m_m.

Izlazi iz sistema, npr.: ω i i_a.

Funkcije prenosa koje se dobijaju poznatim metodama, pomoću blok dijagrama:

$$\frac{\omega}{u_a}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$\frac{i_a}{u_a}(p) = \frac{p T_m / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$\frac{\omega}{m_m}(p) = \frac{-\left(1 + p T_a\right)}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$\frac{i_a}{m_m}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

PROSTOR STANJA

U prostoru stanja sistem jednačina je:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\dfrac{1}{T_a} & -\dfrac{\psi_f}{R_a T_a} \\ \dfrac{\psi_f}{T_m} & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \dfrac{1}{R_a T_a} & 0 \\ 0 & -\dfrac{1}{T_m} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ m_m \end{bmatrix}$$

$$\frac{d}{dt}\vec{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \cdot \vec{\mathbf{x}} + \mathbf{B} \cdot \vec{\mathbf{u}}$$

$\mathbf{A}$ - matrica sistema

$\vec{\mathbf{x}}$ - vektor stanja

$\mathbf{B}$ - matrica ulaza

$\vec{\mathbf{u}}$ - vektor ulaza

Ako se usvoje isti izlazi kao u prethodnom slučaju, onda je:

$$\begin{bmatrix} \omega \\ i_a \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\vec{\mathbf{y}} = \mathbf{C} \cdot \vec{\mathbf{x}}$$

$\mathbf{C}$ - matrica izlaza

$\vec{\mathbf{x}}$ - vektor stanja

$\vec{\mathbf{y}}$ - vektor izlaza

Zamenjujući: $$\frac{d}{dt} = p$$

Može se izvesti:

$$\vec{\mathbf{y}} = H\left(p\right)\cdot\vec{\mathbf{u}} = \mathbf{C}\cdot\left(p\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)^{-1}\cdot\mathbf{B}\cdot\vec{\mathbf{u}}$$

$$\vec{\mathbf{y}} = \mathbf{C}\cdot\frac{adj\left(p\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)}{\det\left(p\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)}\cdot\mathbf{B}\cdot\vec{\mathbf{u}}$$

$H(p)$ - Matrica prenosa.

$$H\left(p\right)=\begin{bmatrix} H_{u\omega}\left(p\right) & H_{m\omega}\left(p\right) \\ H_{ui}\left(p\right) & H_{mi}\left(p\right) \end{bmatrix}$$

Pojedinačne funkcije prenosa:

$$H_{u\omega}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$H_{m\omega}(p) = \frac{-(1 + pT_a)}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$H_{ui}(p) = \frac{pT_m / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$H_{mi}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a}$$

POLOVI I SOPSTVENE VREDNOSTI

Rešavanjem karakteristične jednačine dobijaju se polovi posmatranog dinamičkog sistema – pogona sa nezavisno pobuđenim motorom jednosmerne struje.

N:

$$p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_f^2 / R_a = 0$$

Sopstvene vrednosti sistema dobijaju se rešavanjem jednačine:

$$\det\left(\lambda \mathbf{I} - \mathbf{A}\right) = \det\begin{bmatrix} \lambda + \dfrac{1}{T_a} & \dfrac{\psi_f}{R_a T_a} \\ -\dfrac{\psi_f}{T_m} & \lambda \end{bmatrix} = 0$$

Karakteristična jednačina:

N:

$$\left(\lambda + \frac{1}{T_a}\right)\cdot\lambda - \left(-\frac{\psi_f}{T_m}\right)\cdot\left(\frac{\psi_f}{R_a T_a}\right) = 0$$

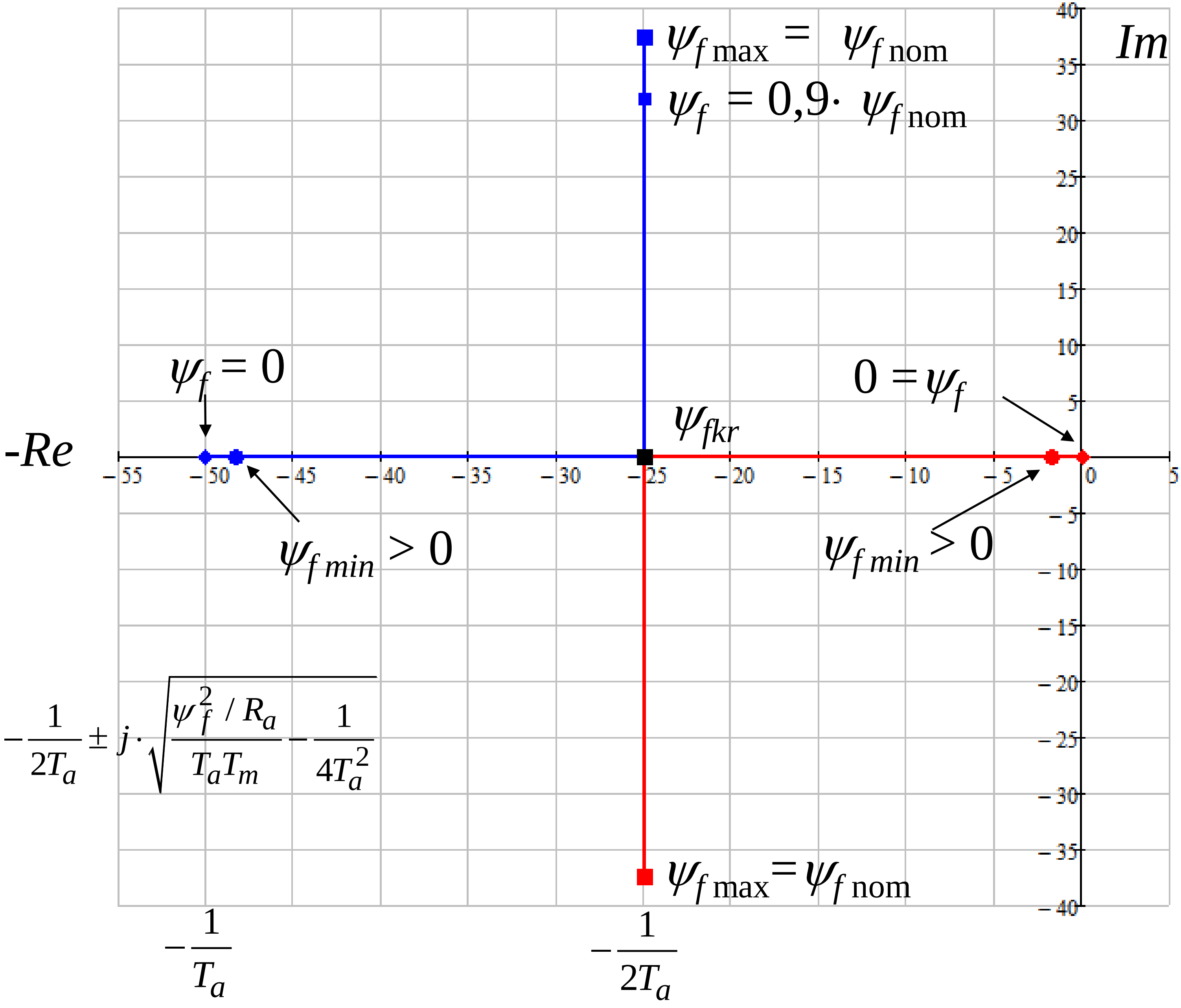
$$\lambda^2 \cdot T_a T_m + \lambda \cdot T_m + \frac{\psi_f^2}{R_a} = 0$$

Rešenja karakteristične jednačine su:

$$p_{1/2} = \lambda_{1/2} = -\frac{1}{2T_a} \pm j \cdot \sqrt{\frac{\psi_f^2 / R_a}{T_a T_m} - \frac{1}{4T_a^2}}$$

Uticaj fluksa na raspored polova - sopstvenih vrednosti.

N:



$$p_{1/2} = \lambda_{1/2} = -\frac{1}{2T_a} \pm j \cdot \sqrt{\frac{\psi_f^2 / R_a}{T_a T_m} - \frac{1}{4T_a^2}}$$

Vrednost fluksa pri kojoj se polovi izjednačavaju, odnosno postaju realni brojevi.

$$\psi_{fkr} = \pm \frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_m R_a}{T_a}}$$

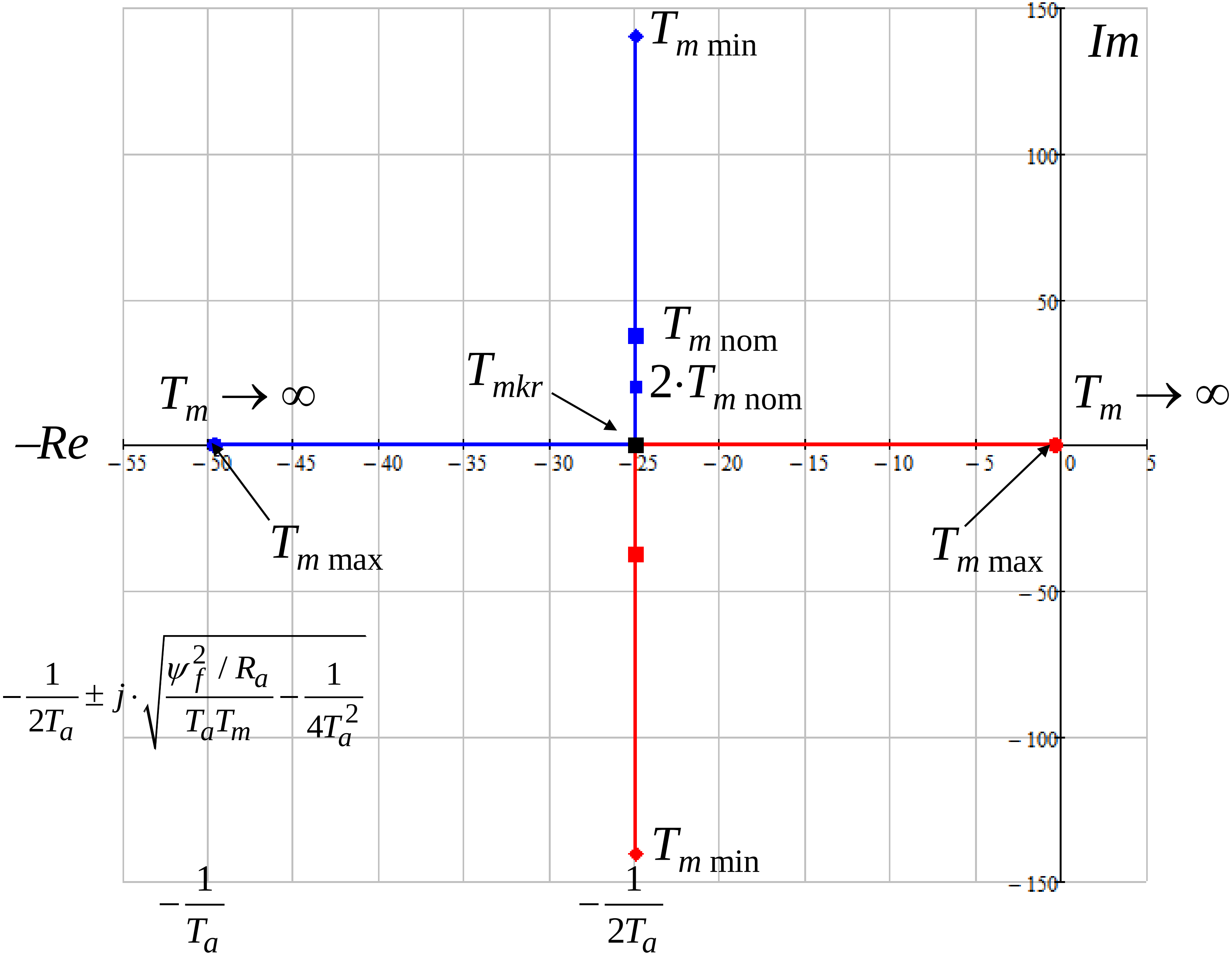
Za $0 < \psi_{f\,\mathrm{min}} < \psi_f < \psi_{fkr}$ $\quad \mathrm{Im}\left[\mathrm{p}_{1/2}\right] = \mathrm{Im}\left[\lambda_{1/2}\right] = 0$

Za $\psi_{fkr} < \psi_f < \psi_{fnom}$ $\quad \mathrm{Re}\left[p_{1/2}\right] = \mathrm{Re}\left[\lambda_{1/2}\right] = -\frac{1}{2T_a}$

$$\mathrm{Im}\left[p_{1/2}\right] = \mathrm{Im}\left[\lambda_{1/2}\right] \neq 0$$

Uticaj mom. inercije (T_m) na raspored polova – sopst. vrednosti

N:



$$p_{1/2} = \lambda_{1/2} = -\frac{1}{2T_a} \pm j \cdot \sqrt{\frac{\psi_f^2 / R_a}{T_a T_m} - \frac{1}{4T_a^2}}$$

Vrednost mehaničke vremenske konstante pri kojoj dolazi do promene prirode polova

$$T_{mkr} = \frac{4T_a \cdot \psi_f^2}{R_a}$$

Za $T_{mkr} < T_m < T_{m\max}$ $\quad \mathrm{Im}\left[p_{1/2}\right] = \mathrm{Im}\left[\lambda_{1/2}\right] = 0$

Za $T_{m\min} < T_m < T_{mkr}$ $\quad \mathrm{Re}\left[p_{1/2}\right] = \mathrm{Re}\left[\lambda_{1/2}\right] = -\frac{1}{2T_a}$

$$\mathrm{Im}\left[p_{1/2}\right] = \mathrm{Im}\left[\lambda_{1/2}\right] \neq 0$$

Uticaj dod. otpora (R_{ad}) na raspored polova – sopst. vrednosti

Karakteristična jednačina može se napisati:

$$p^2 T_a T_m + p T_m + \psi_{f*}^2 / R_{a*} = 0$$

$$p^2 T_m T_a + p T_m + \frac{\psi_{f*}^2 T_a}{R_{a*} T_a} = 0, \quad p^2 T_m T_a + p T_m + \frac{\psi_{f*}^2 T_a}{\frac{R_a}{R_{ab}} \frac{L_a}{R_a}} = 0, \quad p^2 T_m T_a + p T_m + \frac{\psi_{f*}^2 T_a R_{ab}}{L_a} = 0$$

gde je: $$T_a = \frac{L_a}{R_a + R_{ad}}$$

Polovi (sopstvene vrednosti) su:

$$p_{1/2} = \lambda_{1/2} = -\frac{1}{2T_a} \pm j\sqrt{\frac{\psi_{f*}^2 \cdot R_{ab}}{L_a T_m} - \frac{1}{4T_a^2}}$$

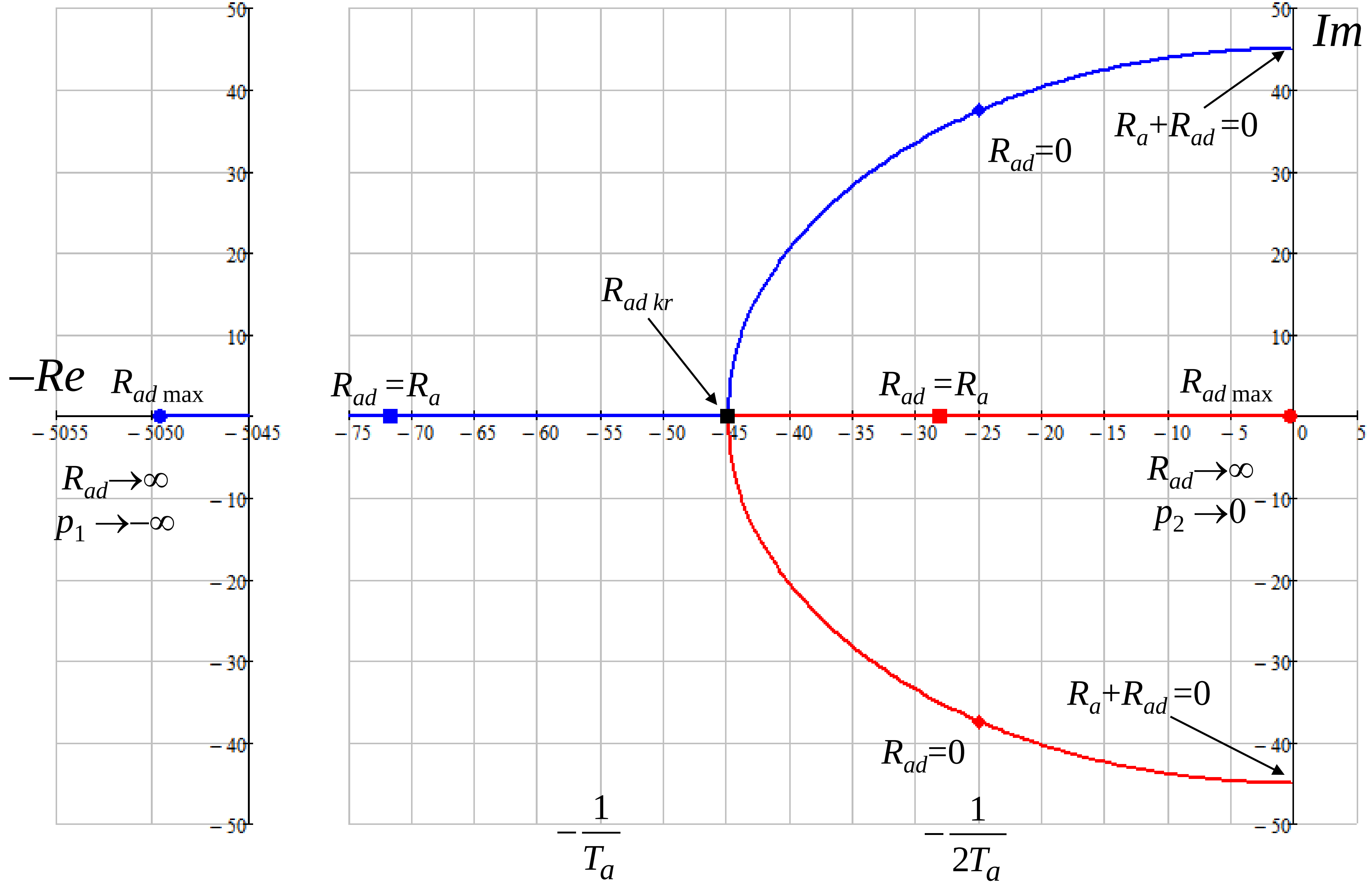
Za $\quad R_a + R_{ad} \to 0 \qquad T_a \to \infty \qquad p_{1/2} = \lambda_{1/2} = \pm j\psi_{f*}\sqrt{\frac{R_{ab}}{L_a \cdot T_m}}$

Za $\quad R_{ad} \to \infty \qquad T_a \to 0 \qquad p_1 = \lambda_1 = \to -\infty$

$$p_2 = \lambda_2 = \to 0$$

Za $\quad R_{ad\,kr} = \dfrac{2 \cdot \psi_{f*} \cdot L_a}{\sqrt{T_m \cdot L_a / R_{ab}}} - R_a \qquad p_1 = p_2 = \lambda_1 = \lambda_2 = -\dfrac{1}{2T_a}$

$$\mathrm{Im}\left(p_{1/2}\right) = 0 \qquad !!!$$



Ne sme se zaboraviti da je min $[R_a + R_{ad}] = R_a$!!!!

PROCENA PONAŠANJA POGONA U TRANZIJENTNIM STANJIMA POMOĆU FUNKCIJA PRENOSA

Potrebno je odrediti:

$\Delta y(t)$ za odgovarajuće $\Delta u(t)$

Egzaktna zavisnost dobija se inverznom Laplasovom transformacijom:

$$\Delta y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{y}{u}(p) \cdot \Delta u(p)\right]$$

Za inženjerske potrebe dovoljno je napraviti procenu na osnovu poznavanja:

- -polova (sopstvenih vrednosti);
- -vrednosti $\Delta y(0)$ i
- -vrednosti $\Delta y\,(\infty)$.

Podsećanje…

LAPLASOVA TRANSFORMACIJA

$$F(p) = £(f(t)) = \int_0^\infty f(t) \cdot e^{-pt} dt$$

Umesto promenljive *t* – vreme, uvodi se promenljiva “*p*” – Laplasov operator, kompleksna promenljiva:

$$p = \sigma + j \cdot \omega = \xi \cdot \omega_n + j \cdot \omega_n \sqrt{1-\xi^2}$$

Gde je: σ – prigušenje;

ω – sopstvena učestanost;

ξ – relativno prigušenje;

ω_n – prirodna učestanost.

Pierre-Simon Laplace
1749-1827

Podsećanje…

Važne relacije:

$$£\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = pF(p) - f(0^+)$$

$$£\left[\int_0^t f(t)\,dt\right] = \frac{F(p)}{p}$$

$$\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{p\to\infty} pF(p) \qquad \lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{p\to 0} pF(p)$$

Jedinična odskočna funkcija

$$h(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \qquad £[h(t)] = \frac{1}{p}$$

Jedinična impulsna funkcija

$$\delta(t) = \begin{cases} +\infty & t = 0 \\ 0 & t \neq 0 \end{cases} \qquad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\cdot dt = 1 \qquad £[\delta(t)] = 1$$

Jedinična nagibna funkcija

$$£[t\cdot h(t)] = \frac{1}{p^2}$$

$$\Delta y(0) = \lim_{p \to \infty} \left[p \frac{y}{u}(p) \cdot \Delta u(p) \right]$$

$$\Delta y(\infty) = \lim_{p \to 0} \left[p \frac{y}{u}(p) \cdot \Delta u(p) \right]$$

Karakteristični ulazi:

- " step "

$$\Delta u(p) = \frac{\Delta u}{p}$$

- " impuls "

$$\Delta u(p) = \Delta u$$

Za posmatrani pogon:

$$H_{u\omega}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + pT_m + \psi_f^2 / R_a}$$

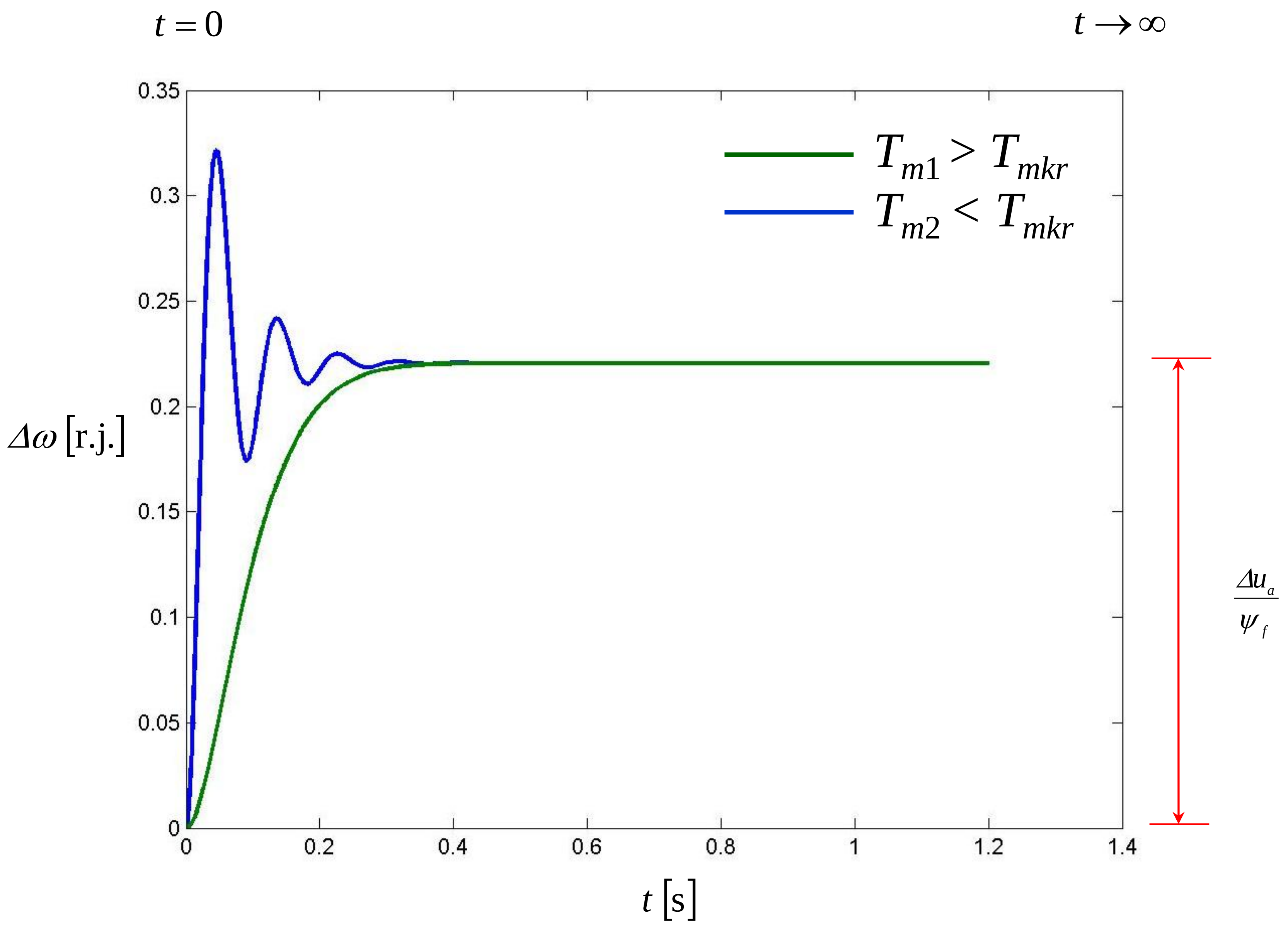
$$H_{m\omega}(p) = \frac{-(1 + pT_a)}{p^2 T_a T_m + pT_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$H_{ui}(p) = \frac{pT_m / R_a}{p^2 T_a T_m + pT_m + \psi_f^2 / R_a}$$

$$H_{mi}(p) = \frac{\psi_f / R_a}{p^2 T_a T_m + pT_m + \psi_f^2 / R_a}$$

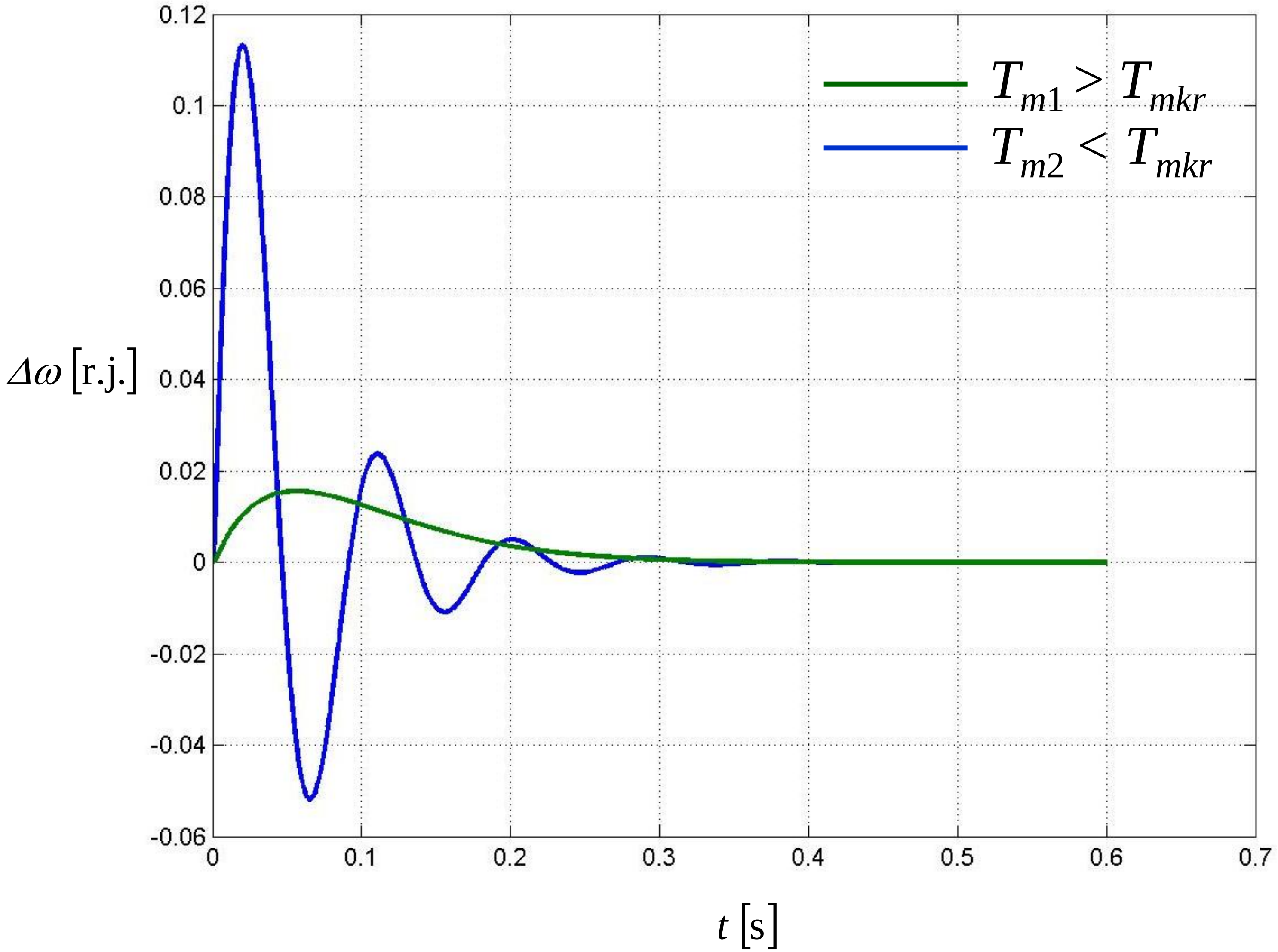
	"Step"		"Impuls"	
	$t=0$	$t \to \infty$	$t=0$	$t \to \infty$
$u_a \to \omega$	0	$\Delta u_a / \psi_f$	0	0
$u_a \to i_a$	0	0	$\Delta u_a / T_a R_a$	0
$m_m \to \omega$	0	$-\Delta m_m R_a / \psi_f^2$	$-\Delta m_m / T_m$	0
$m_m \to i_a$	0	$\Delta m_m / \psi_f$	0	0

Odziv brzine motora na promenu napona indukta po "step" funkciji
$(u_a \rightarrow \omega)$

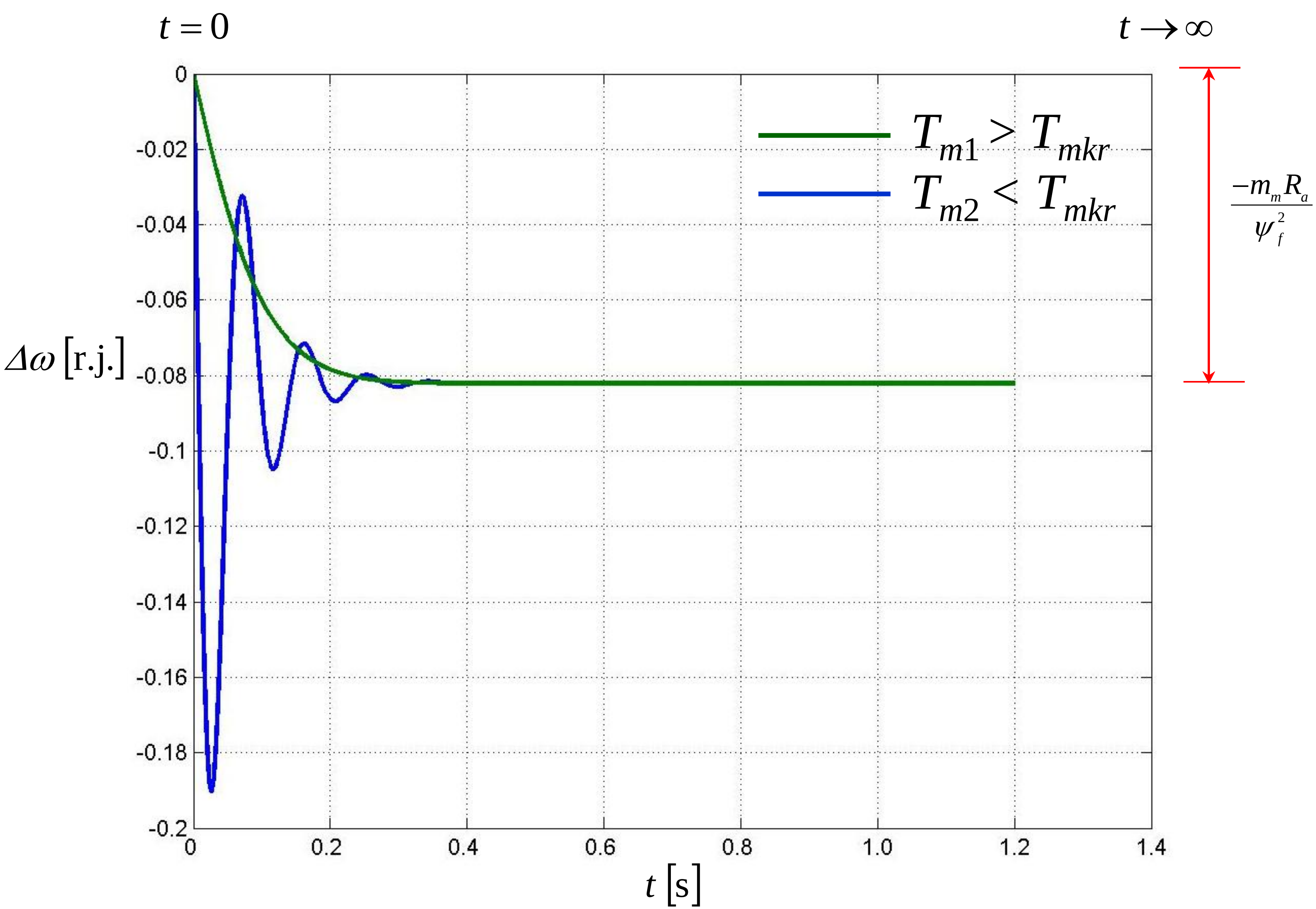


Odziv brzine motora na impulsnu promenu napona indukta
$(u_a \rightarrow \omega)$

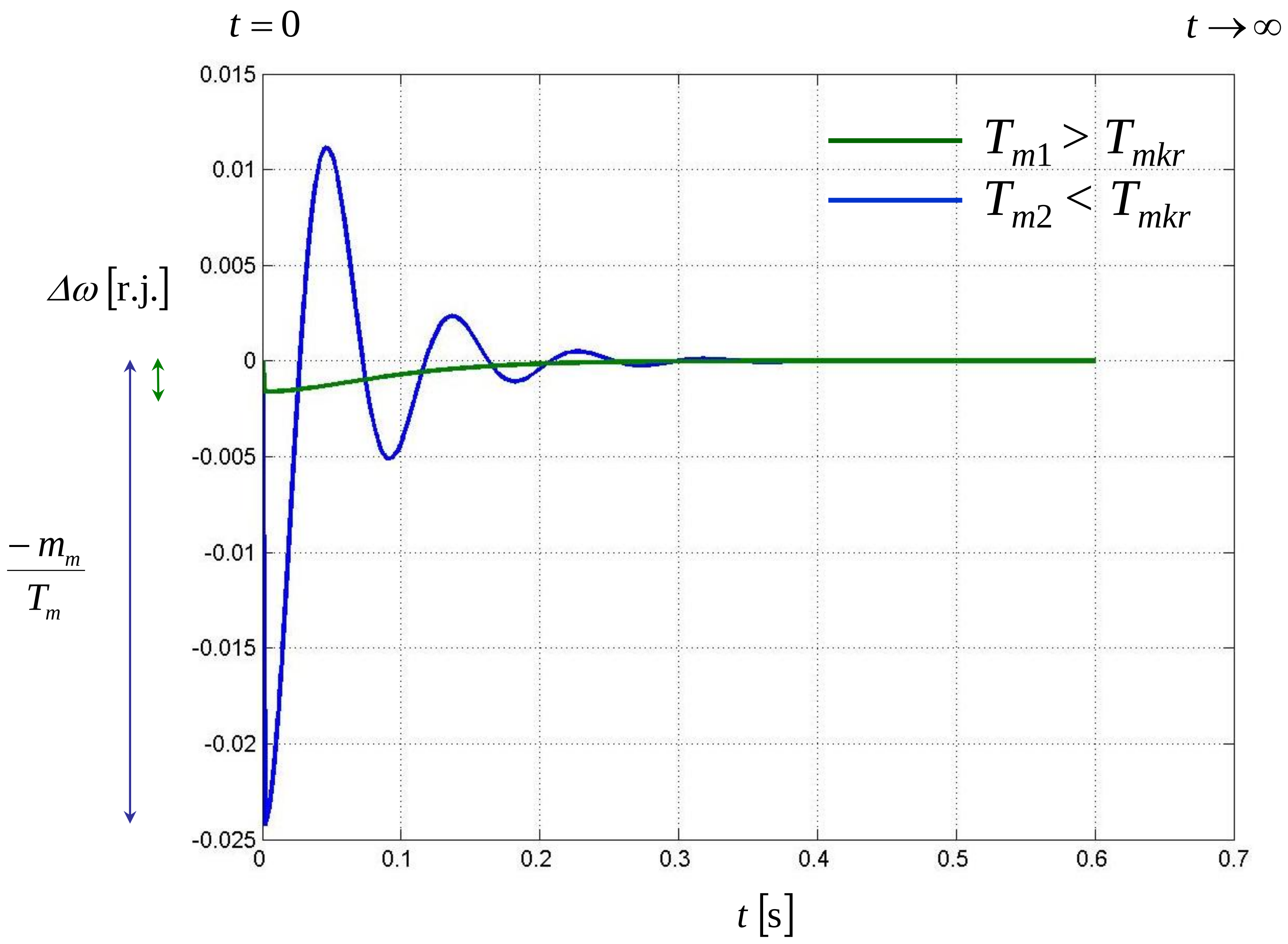
$t = 0$ $t \rightarrow \infty$



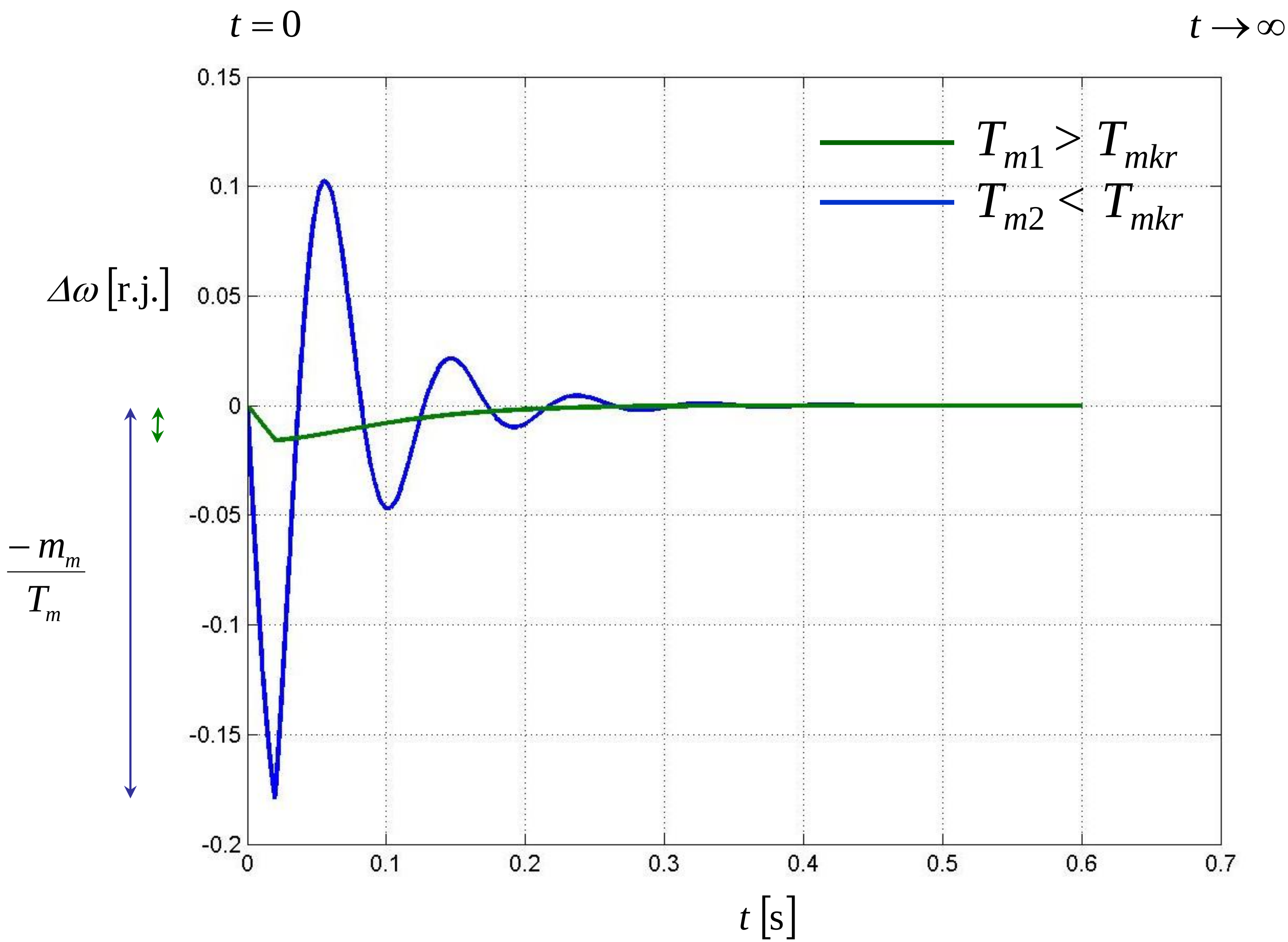
Odziv brzine motora na promenu momenta opterećenja po "step" funkciji ($m_m \rightarrow \omega$)



Odziv brzine motora na impulsnu promenu momenta opterećenja ($m_m \to \omega$)



Odziv brzine motora na impulsnu promenu momenta opterećenja (impuls duže traje u odnosu na prethodni slučaj) ($m_m \rightarrow \omega$)



MODELOVANJE

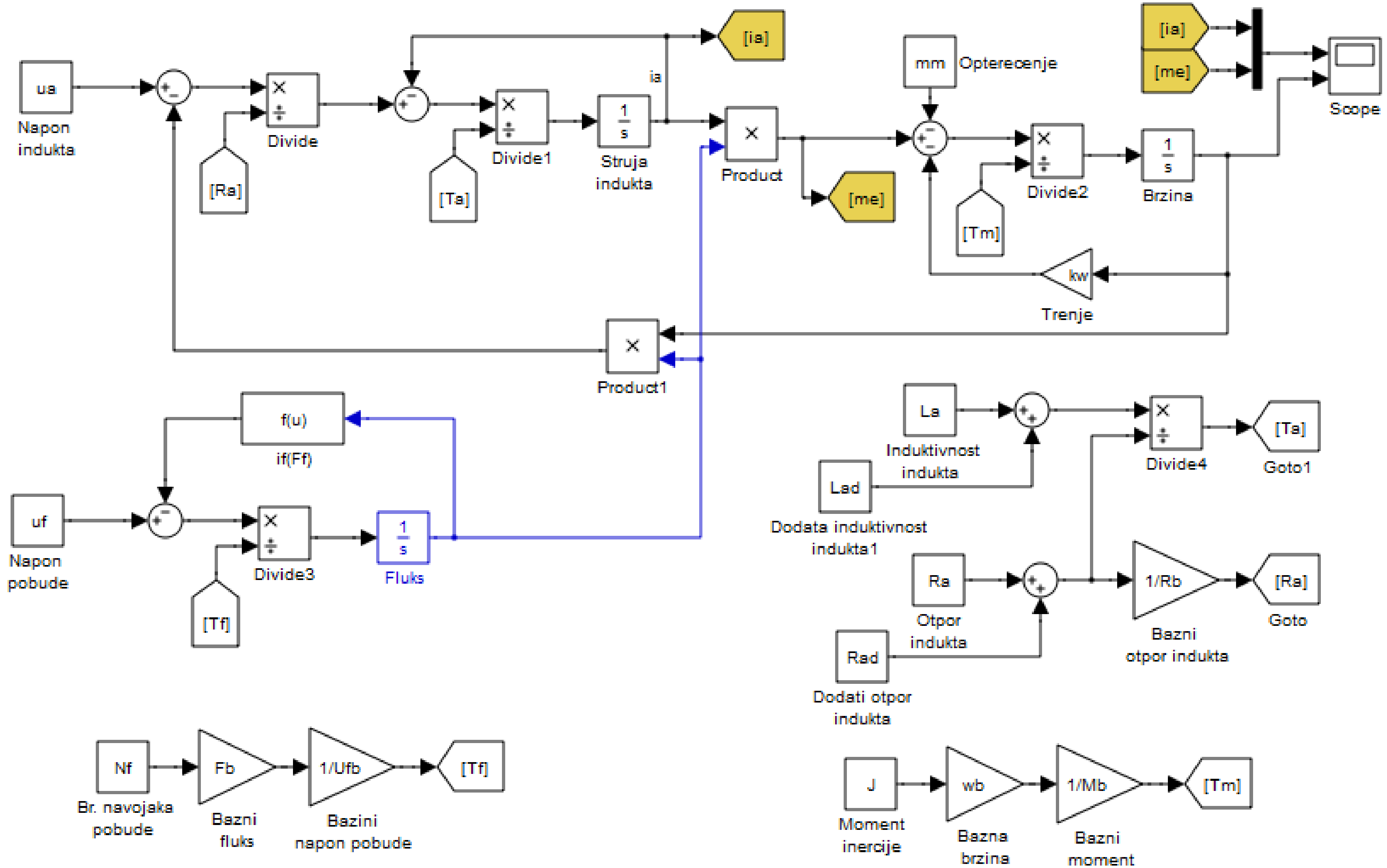
Digitalni računari i softverski paketi.

Mogućnosti:

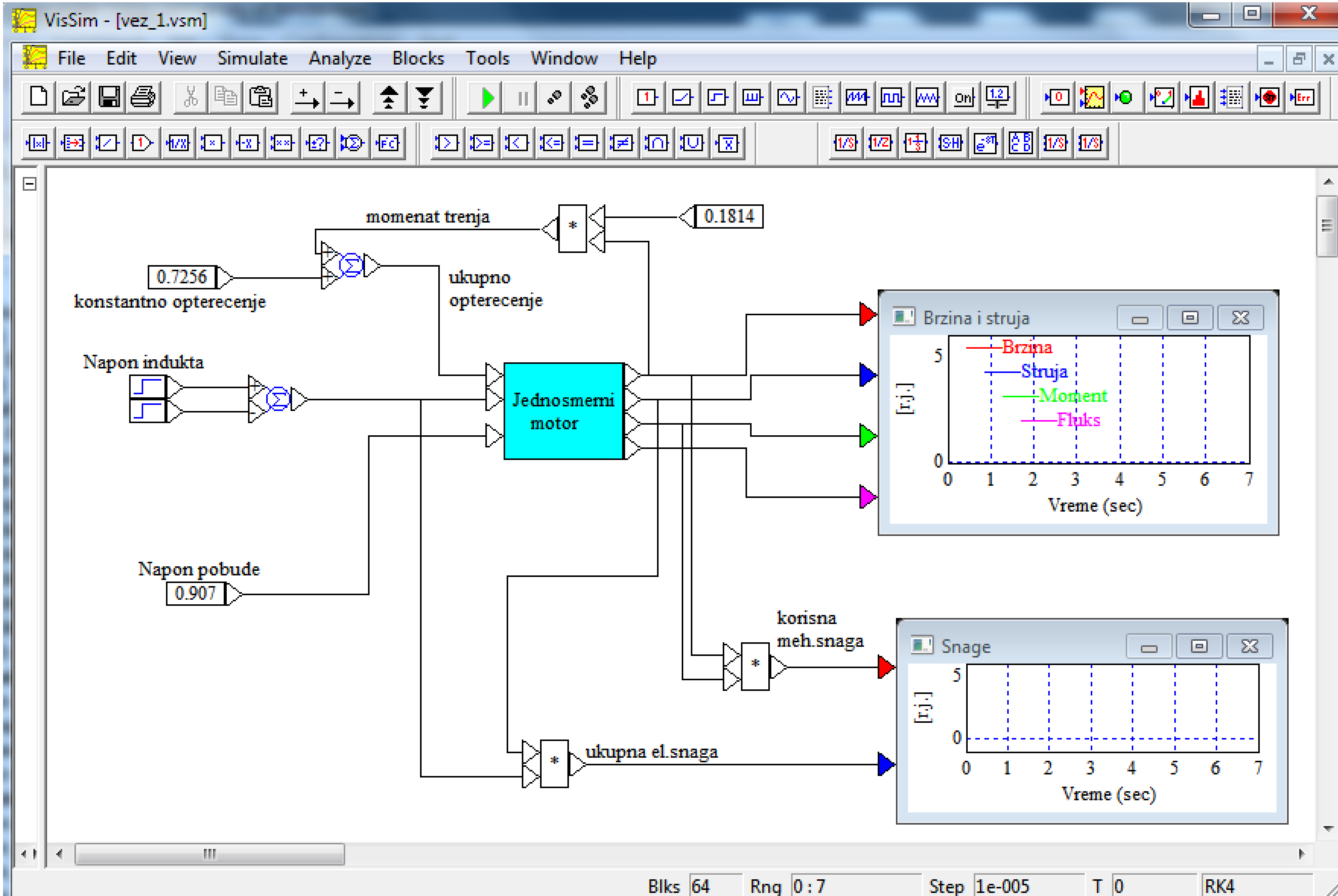
- analiza nelinearnih sistema;
- analiza stanja kod više istovremenih poremećaja;
- interaktivan rad sa modelom;
- istovremeno posmatranje više izlaza, ili karakterističnih veličina;
- utvrđivanje parametara sistema na osnovu poznavanja ulaza i izlaza itd.

BLOK DIJAGRAM MODELA POGONA SA NEZAVISNO POBUĐENIM JEDNOSMERNIM MOTOROM

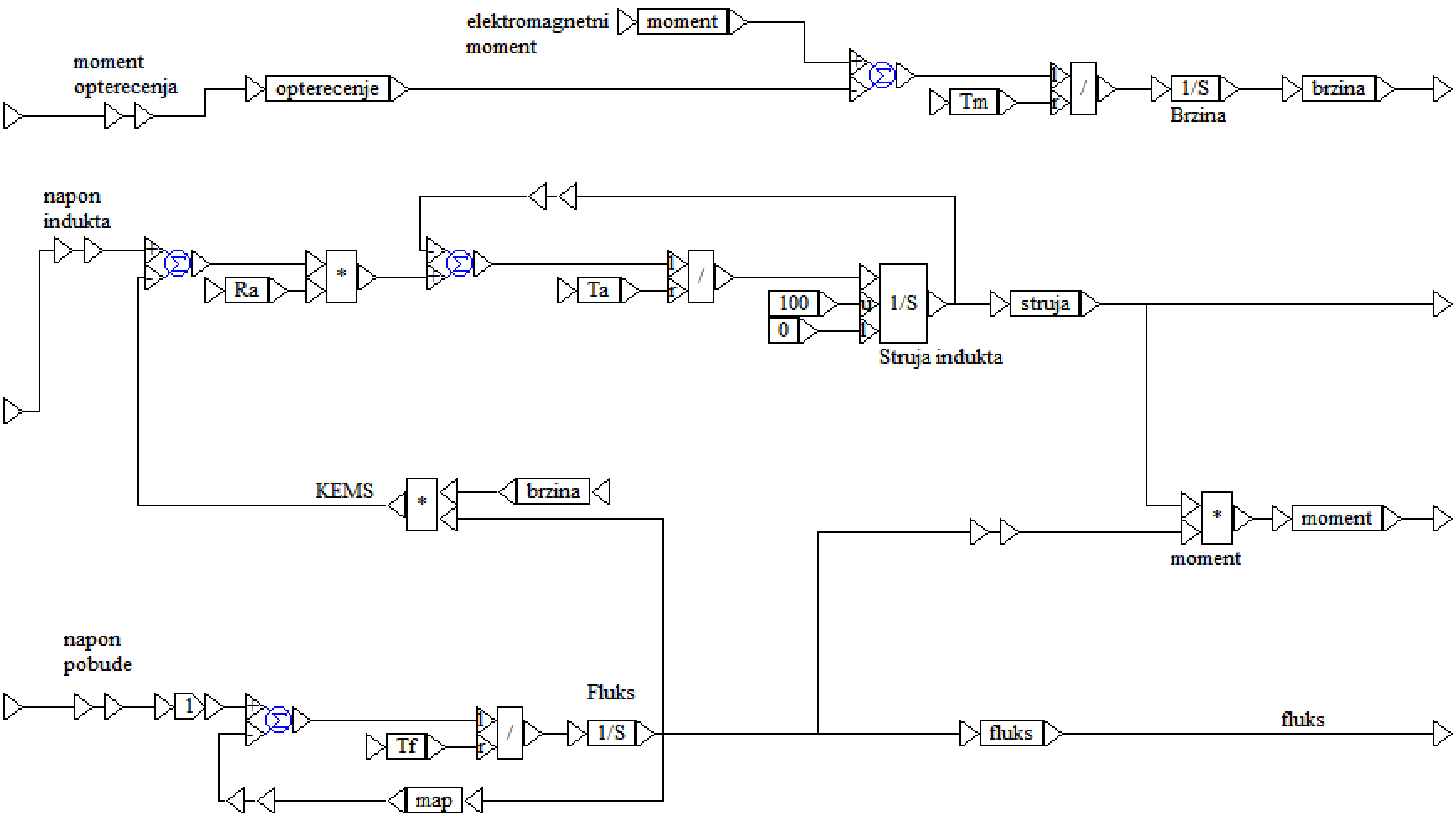
N:



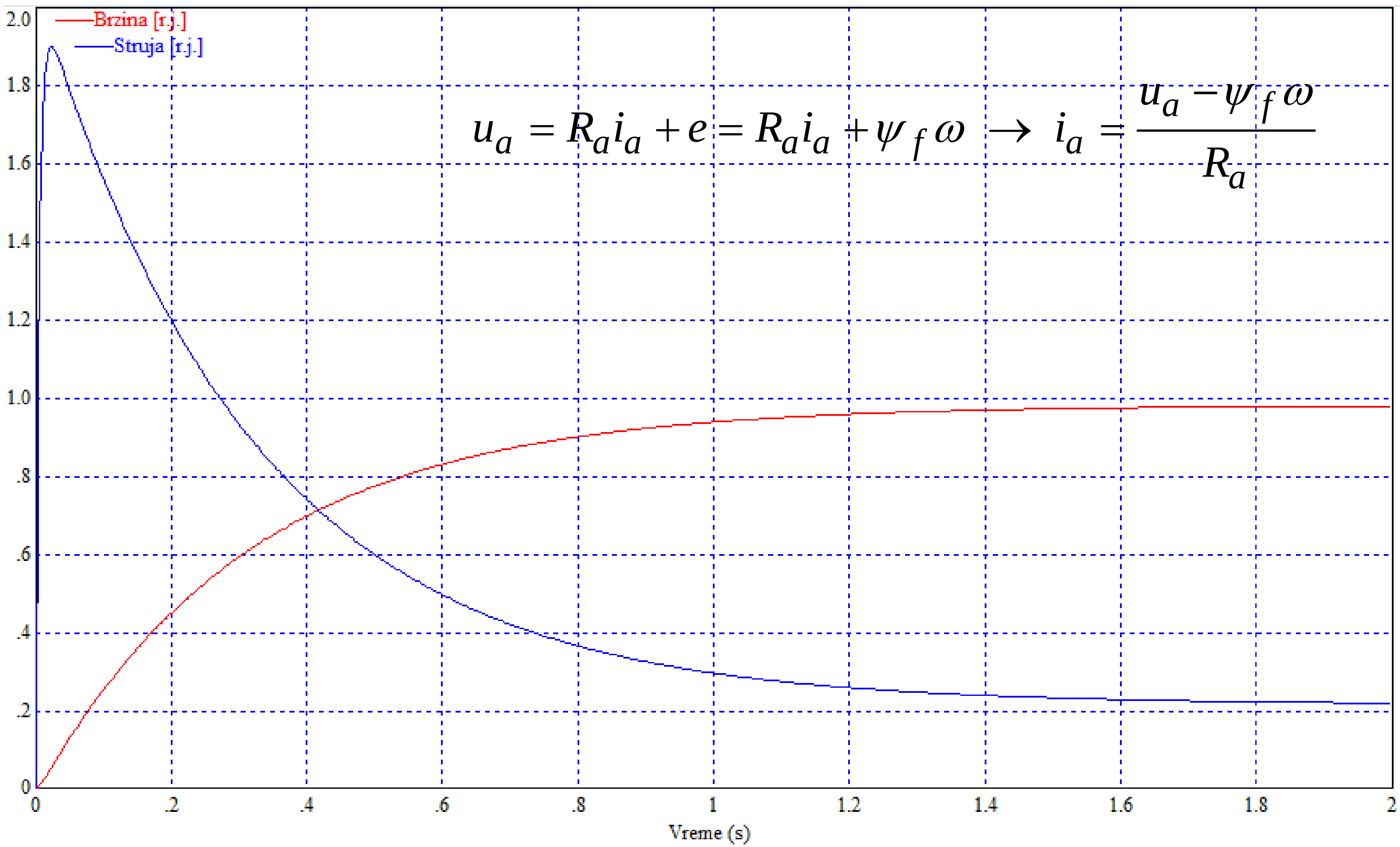
Model jednosmernog motora u programu VisSim



Izgled bloka “jednosmerni motor” u razvijenom obliku sa prethodne slike



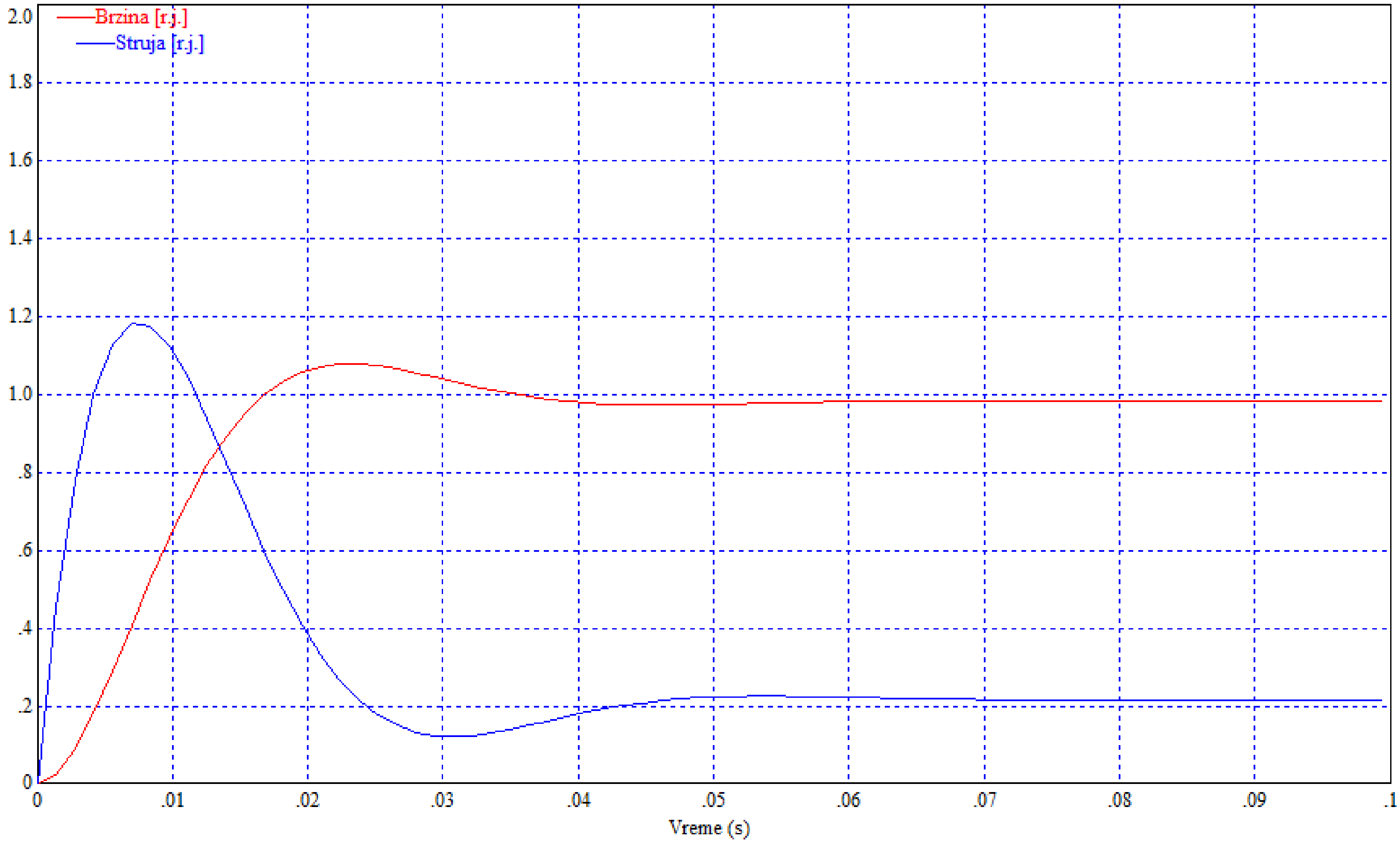
Slika 1: Start pogona u praznom hodu $m_{tr}[\text{r.j.}] = 0{,}2 \cdot \omega[\text{r.j.}]$



$$u_a = R_a i_a + e = R_a i_a + \psi_f \omega \rightarrow i_a = \frac{u_a - \psi_f \omega}{R_a}$$

Struja polaska je ograničena dodatim otporom.
Prelazni proces je aperiodičan.

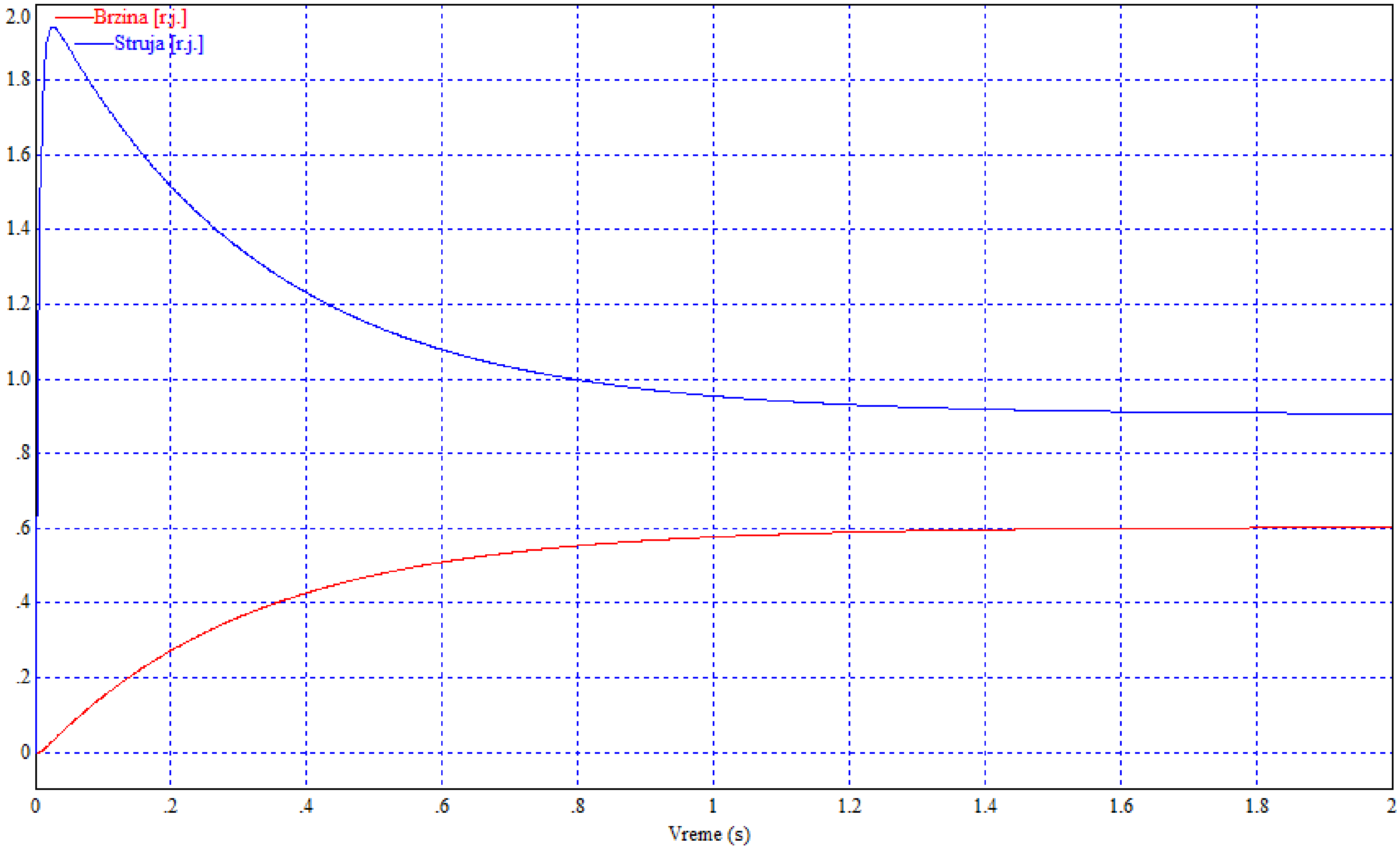
Slika 2: Start pogona u praznom hodu $m_{tr}[\text{r.j.}] = 0{,}2 \cdot \omega[\text{r.j.}]$



Struja polaska ograničena kao na slici 1

Prelazni proces periodično - prigušen

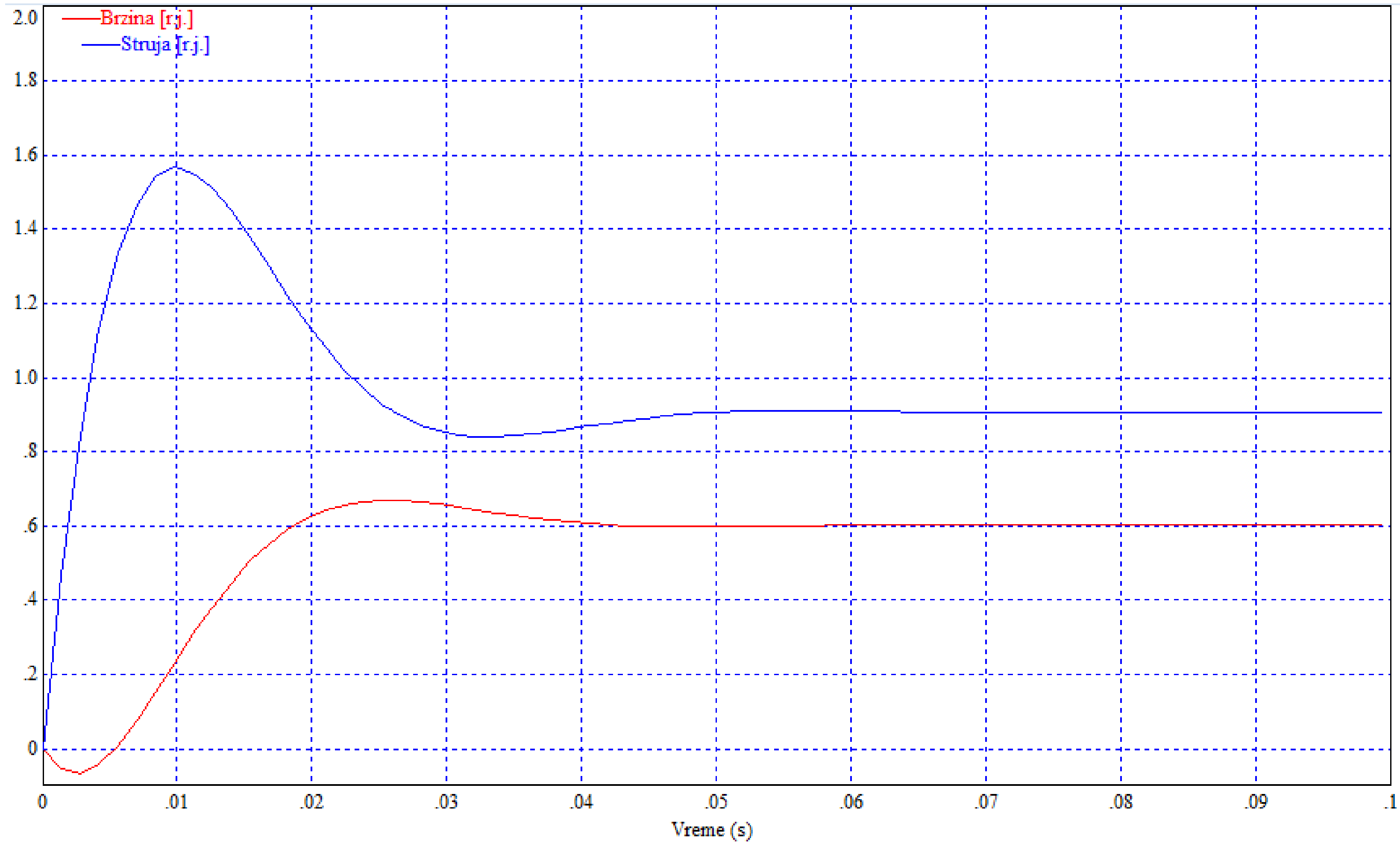
Slika 3: Start pogona pod opterećenjem $m_m[\text{r.j.}] = 0{,}7\,[\text{r.j.}] + m_{tr}[\text{r.j.}]$



Struja polaska ograničena kao na slici 1

Prelazni proces aperiodičan

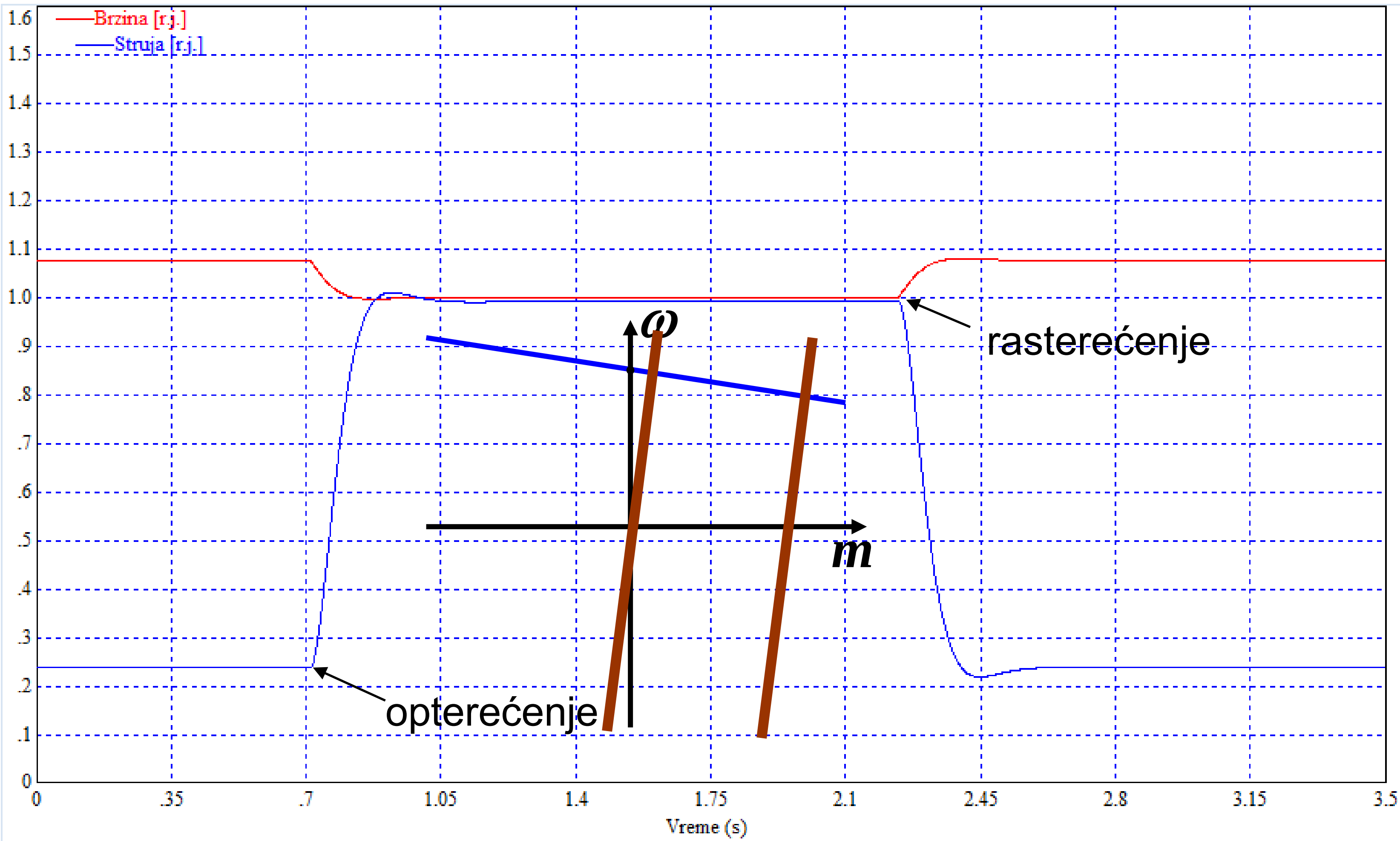
Slika 4: Start pogona pod opterećenjem $m_m[\text{r.j.}] = 0{,}7\,[\text{r.j.}] + m_{tr}[\text{r.j.}]$



Struja polaska ograničena kao na slici 1

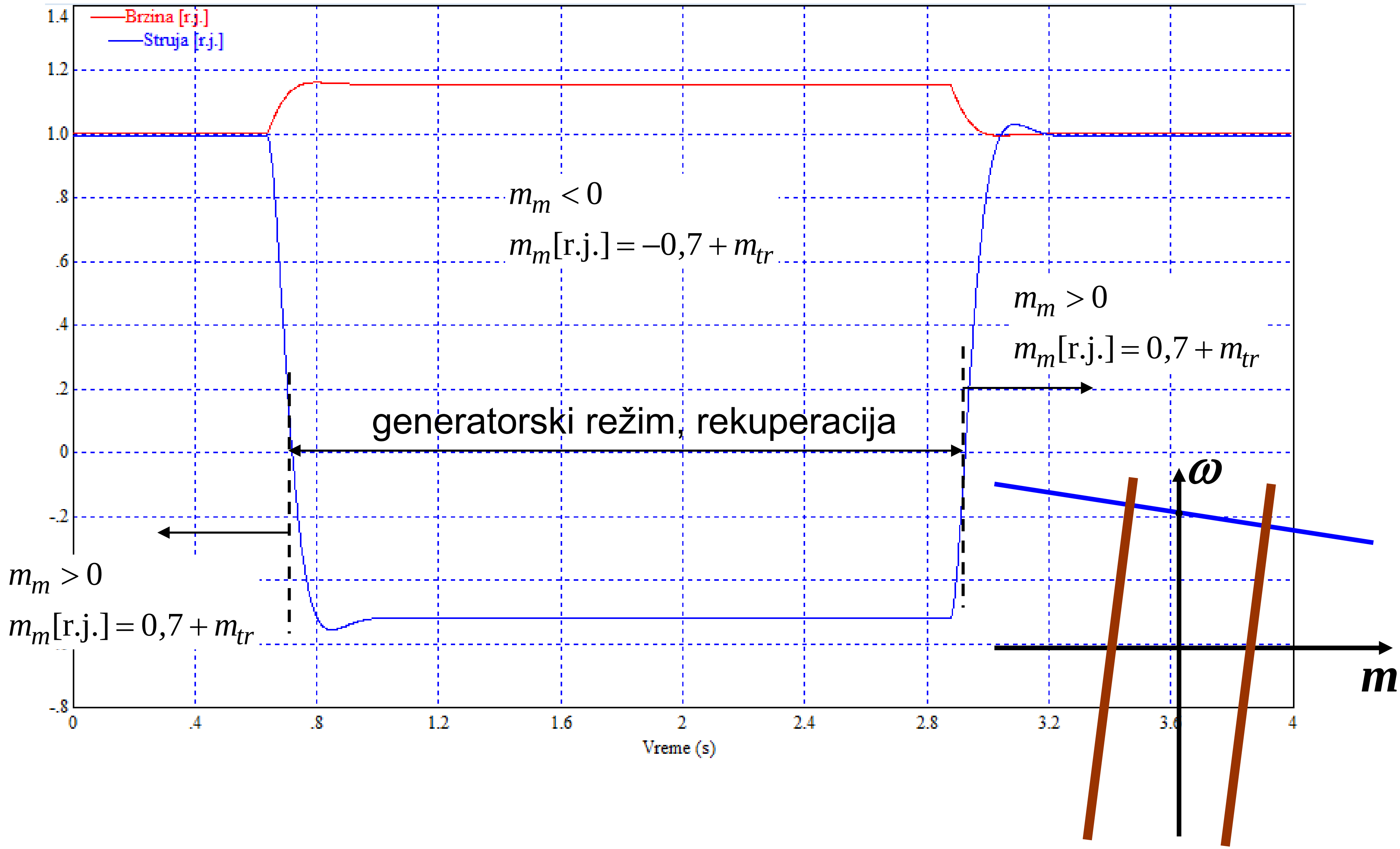
Prelazni proces periodično - prigušen

Slika 5: Opterećenje $m_m[\mathrm{r.j.}] = 0,7\,[\mathrm{r.j.}] + m_{tr}[\mathrm{r.j.}]$ i potpuno rasterećenje



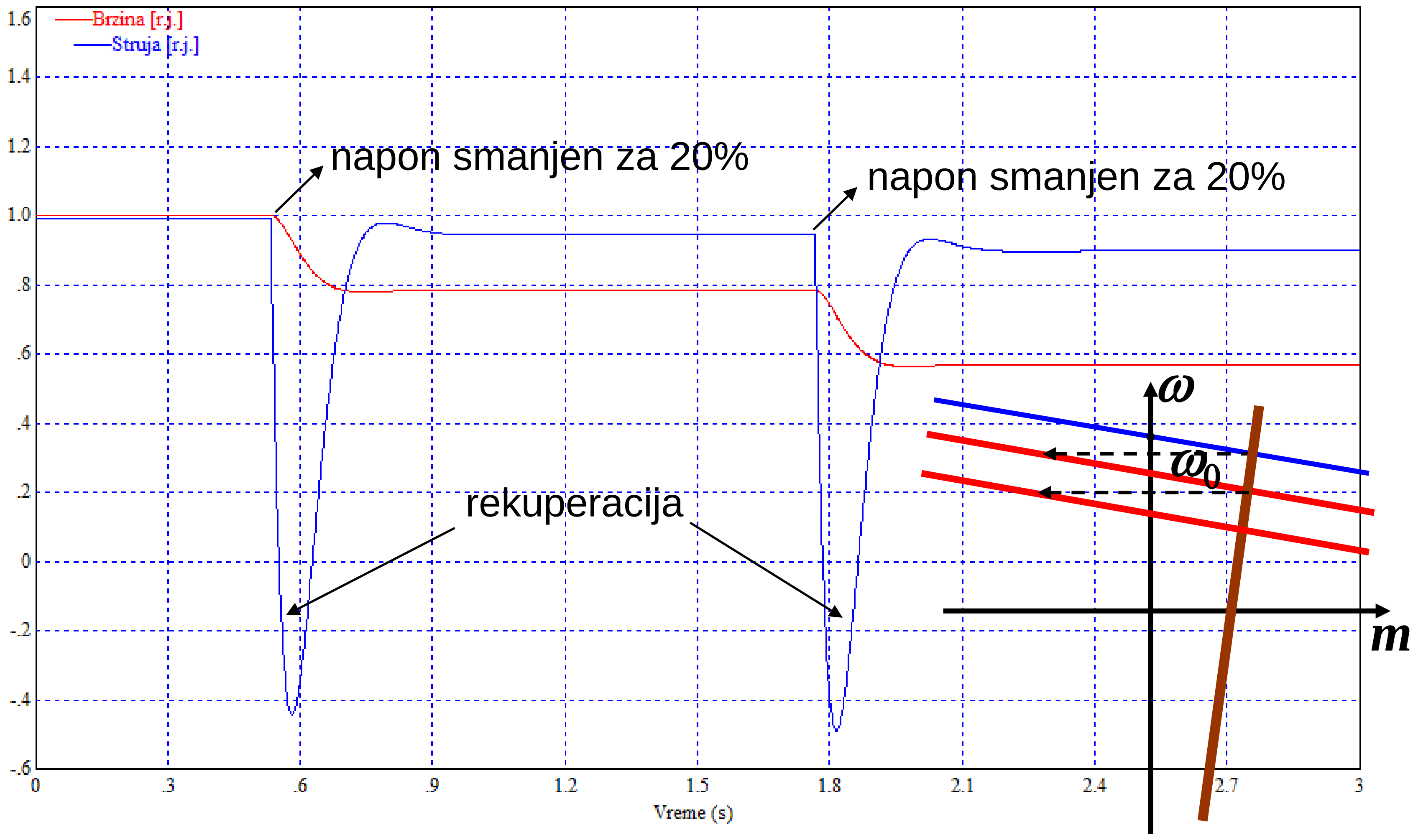
Prelazni procesi su periodični sa jakim prigušenjem

Slika 6:   Prelazak iz motornog u generatorski režim



Slika 7: Rekuperacija usled snižavanja napona indukta

Moment opterećenja konstantan $m_m[\text{r.j.}] = 0{,}7\,[\text{r.j.}] + m_{tr}[\text{r.j.}]$



Slika 9: Dinamičko kočenje - moment opterećenja konstantan

$$m_m[\text{r.j.}] = 0{,}7\,[\text{r.j.}] + m_{tr}[\text{r.j.}]$$