# Merenje brzine regulisanog elektromotornog pogona

Rešenja u praktičnim realizacijama

# Inkrementalni enkoder

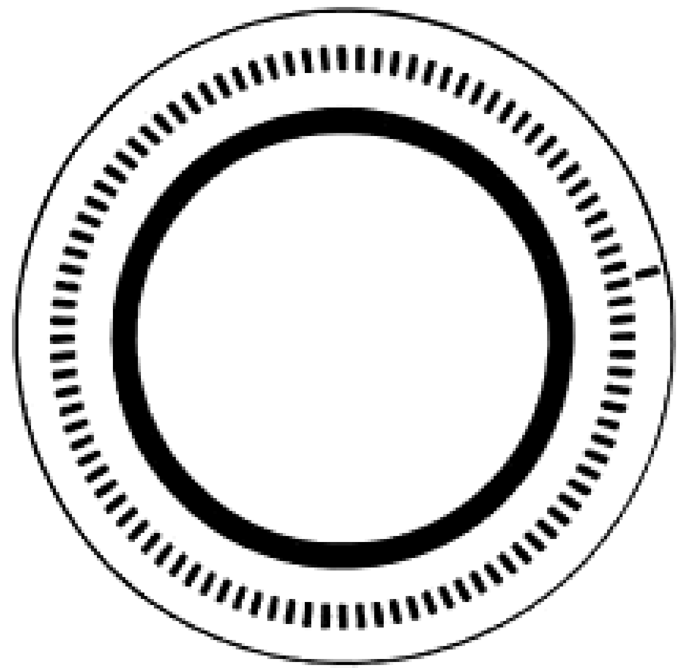
- Enkoder daje informaciju o uglu
- Informacija je diskretizovana brojem impulsa
- Brzina se izračunava na različite načine
  - Brojanjem impulsa u određenom vremenu
  - Merenjem trajanja jednog impulsa
  - Kombinovane metode
  - Opserveri brzine

# Karakteristike enkodera

- Broj impulsa po krugu $N_{imp}$
- Dovoljan je jedan prsten za dva signala (A i B) – koriste se maske
- Uobičajene vrednosti za $N_{imp}$:

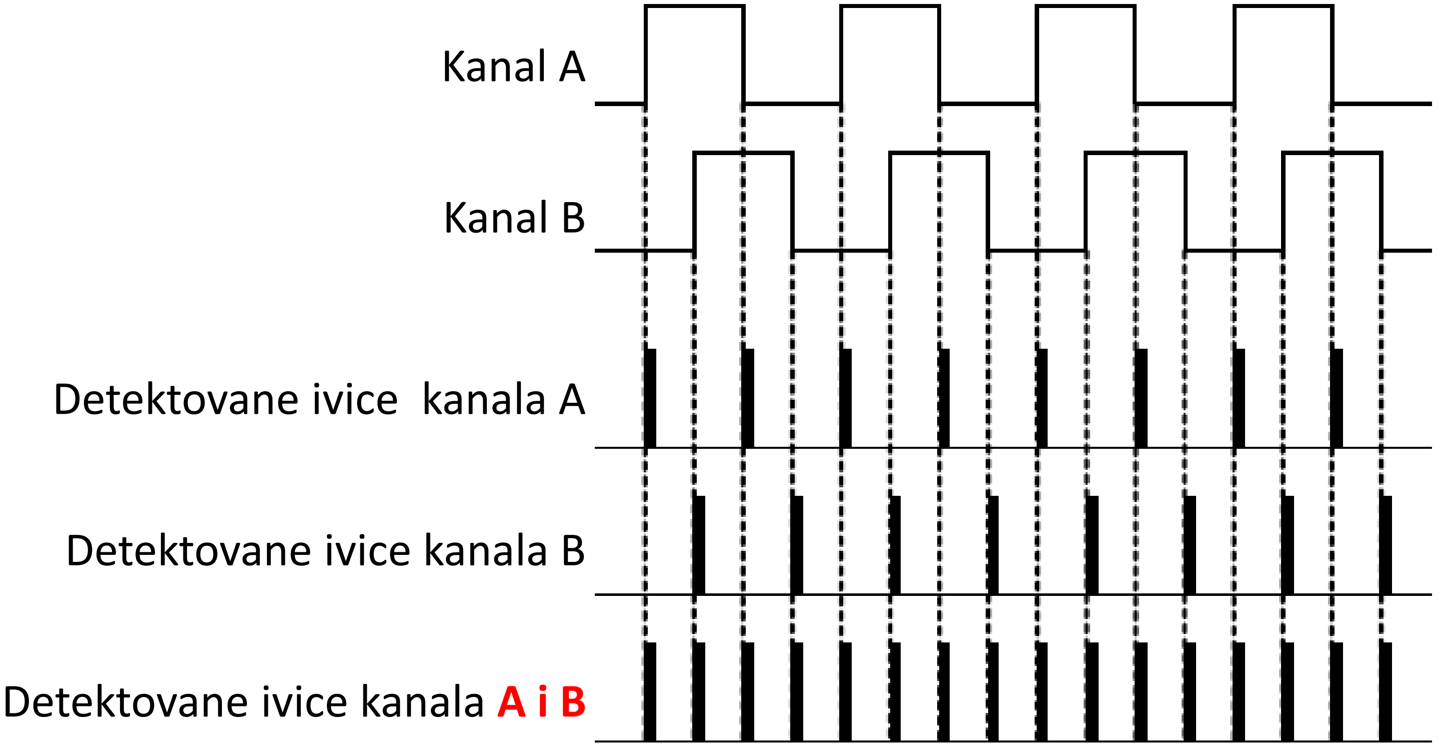
  1024, 2048, 4096

- Mogu se naručiti i proizvoljne vrednosti



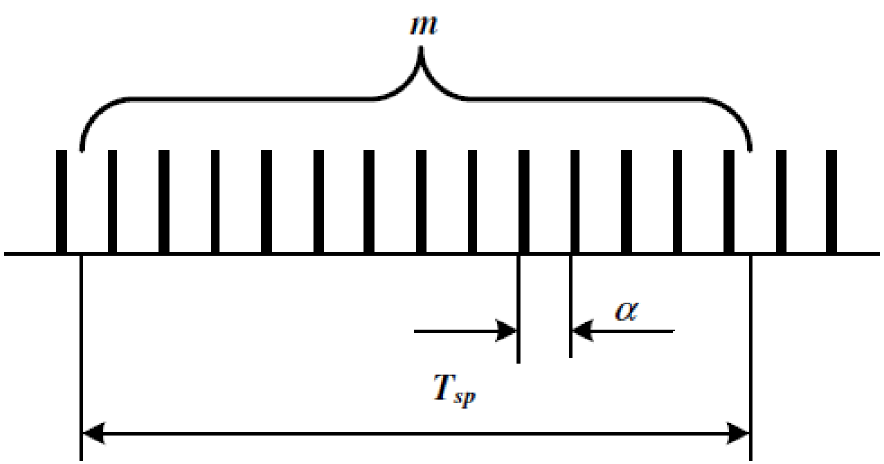
# Brojanje detektovanih ivica

- Brojanjem detektovanih ivica za kanal A i B, dobija se 4 puta veća rezolucija



# Brojanje impulsa u određenom vremenu

- Broj detektovanih ivica: $m$
- Vreme za koje se broji: $T_{sp}$
- Ugao između susednih ivica: $\alpha$




$$n = \frac{m \cdot \alpha}{T_{sp}}$$

$$n = \frac{60 \cdot m}{4 \cdot N_{imp} \cdot T_{sp}} [\text{o/min}]$$

# Praktični problemi

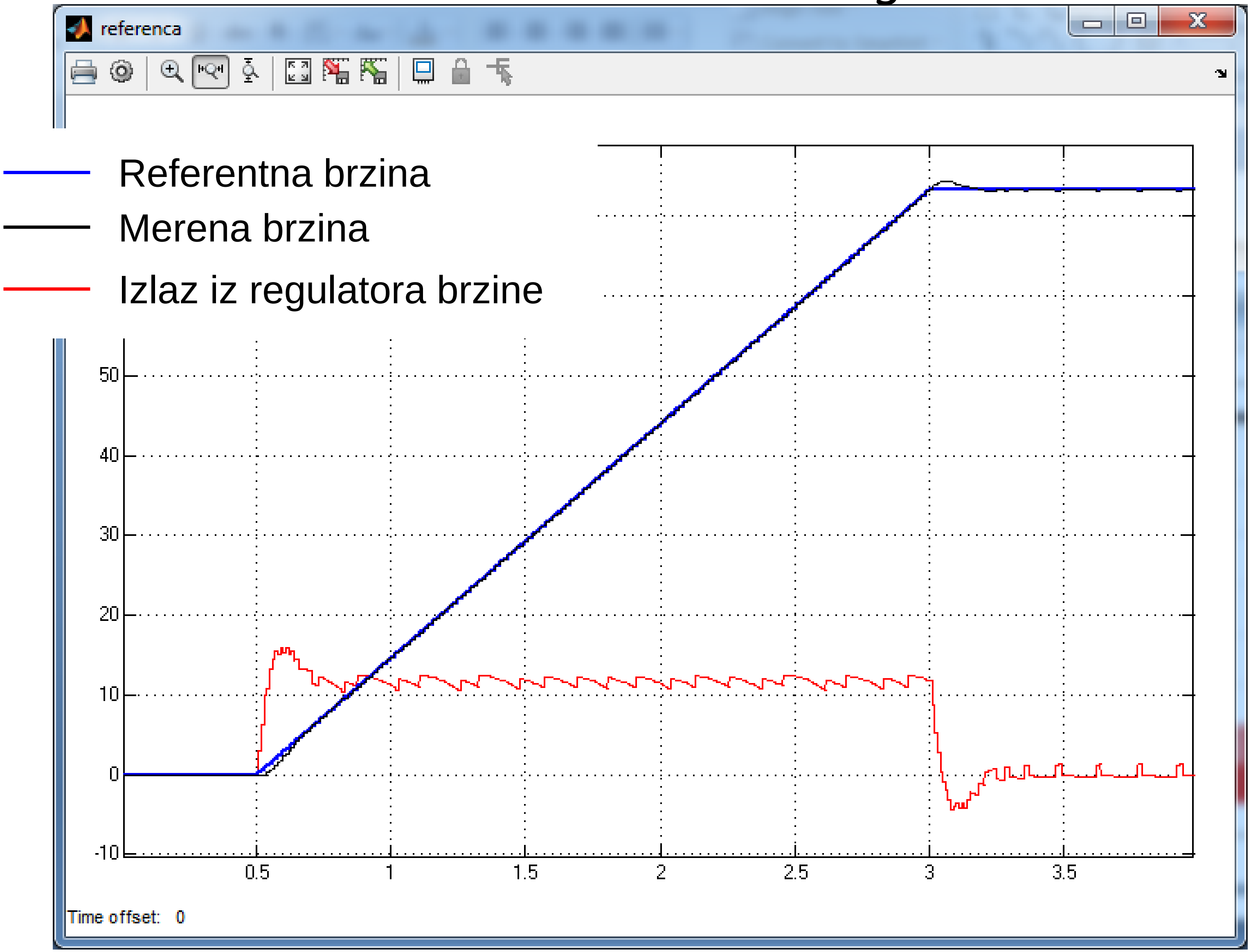
- Broj impulsa $m$ je uvek celobrojna vrednost
- Vreme $T_{sp}$ je poželjno da bude što kraće (1 – 10 ms)
- Greška u merenju (uvek negativna)

$$\Delta n = \frac{60 \cdot (-1)}{4 \cdot N_{imp} \cdot T_{sp}}$$

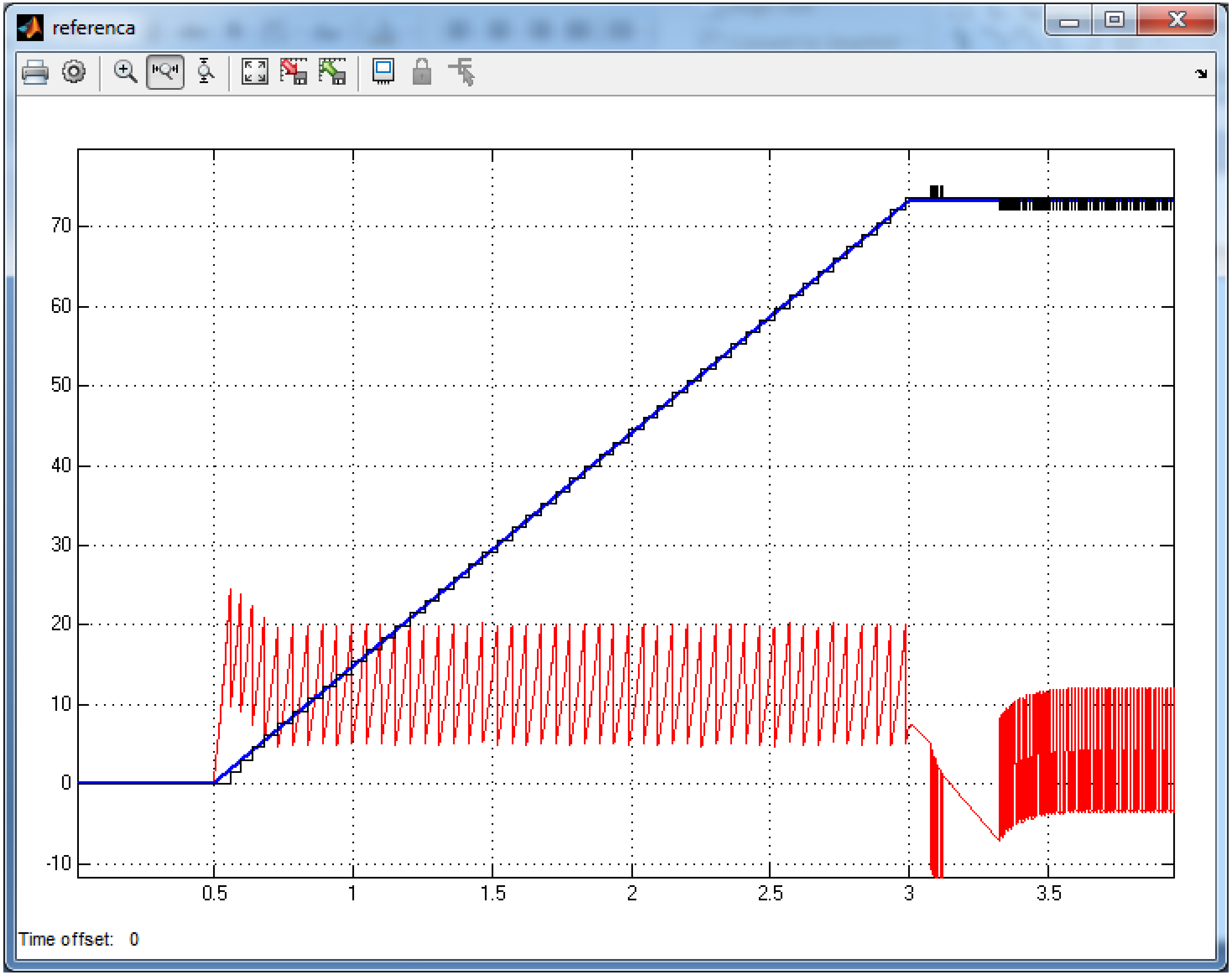
- Ukoliko je $T_{sp}$ = 10ms, $N_{imp}$ = 1024

$$\Delta n = \frac{60 \cdot (-1)}{4 \cdot 1024 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = -1,465 \text{ o/min}$$

# Rezultati simulacija $T_s$ = 10ms

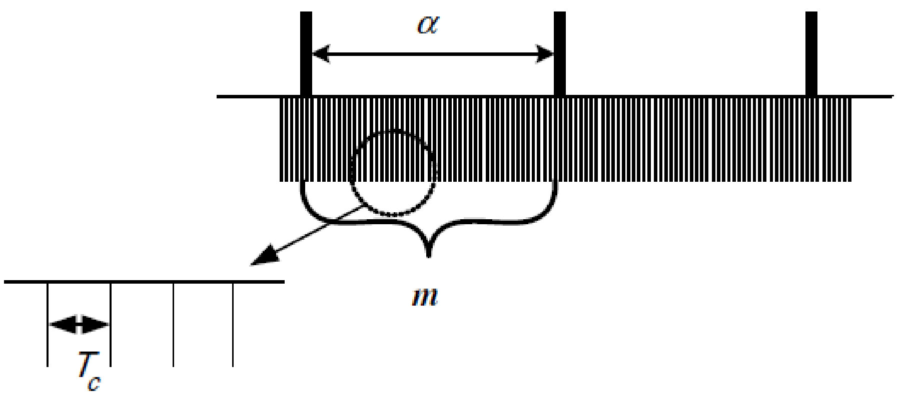


# Rezultati simulacija $T_s$ = 1ms



# Merenje trajanja jednog impulsa

- Metoda pogodna za male brzine
- Perioda oscilatora – clock: $T_c = 1 / f_c$
- Broj impulsa oscilatora između dve ivice: $m$




$$n = \frac{\alpha \cdot f_c}{m} = \frac{\alpha}{m \cdot T_c}$$

$$n = \frac{60 \cdot f_c}{4 \cdot N_{imp} \cdot m} \left[\mathrm{o/min}\right]$$

# Praktični problemi

- Broj impulsa $m$ je uvek celobrojna vrednost
- Vreme $T_c$ je poželjno da bude što kraće (1$\mu$s)
- Greška u merenju (uvek negativna) $$\Delta n = \frac{60 \cdot f_c}{4 \cdot N_{imp}} \left( \frac{1}{m} - \frac{1}{m-1} \right)$$
- Ukoliko je $f_c$ = 1MHz, $N_{imp}$ = 1024, $m$=150, odnosno $n$=97,656 o/min:

$$\Delta n = \frac{60 \cdot 1 \cdot 10^6}{4 \cdot 1024} \cdot \left( \frac{1}{150} - \frac{1}{149} \right) = -0,655 \text{ o/min}$$

# Praktični problemi

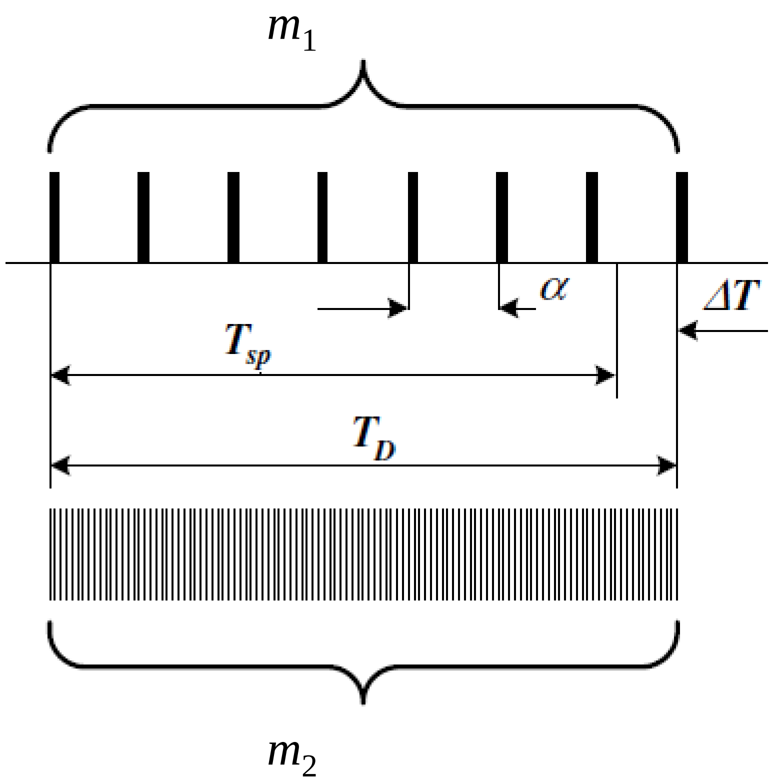
- Sa povećanjem brzine broj impulsa oscilatora se smanjuje, tako da rezolucija merenja brzine opada.
- Period odabiranja nije konstantan
- Možemo imati veoma dug period između podataka pri jako malim brzinama
- Imamo deljenje u okviru izračunavanja

# Kombinovana metoda

- Spaja dobre osobine prethodne dve metode
- Pruža dobru rezoluciju i na malim i na velikim brzinama

$$n = \frac{m_1 \cdot \alpha}{4 \cdot N_{imp} \cdot \left(T_{sp} + \Delta T\right)}$$

$$n = \frac{60 \cdot f_c \cdot m_1}{4 \cdot N_{imp} \cdot m_2} \quad [\text{o/min}]$$



# Praktični aspekti

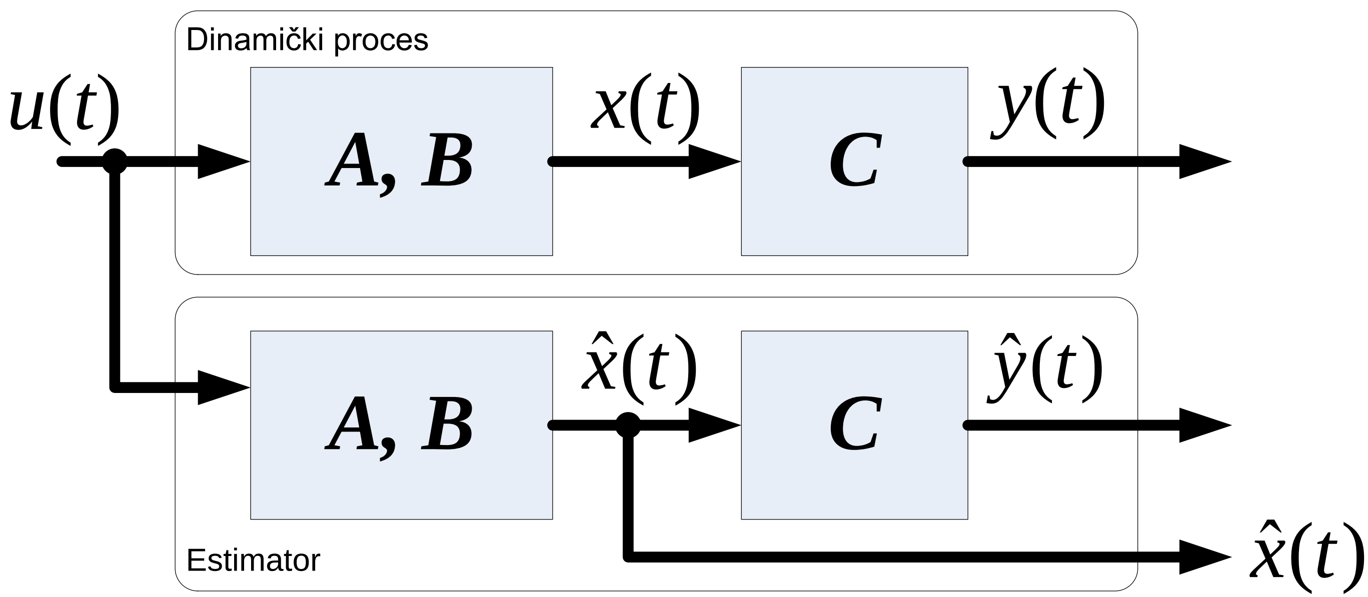
- Najsloženiji hardver
- Nije konstantna perioda odabiranja brzine
- Prednosti:
  - Može se dobiti brzina sa velikom rezolucijom
  - Može se koristiti mala perioda odabiranja

# Opserveri brzine

- Pogodni za primenu u regulisanim elektromotornim pogonima
- Potrebno je poznavanje parametara pogona
- Može se dobiti i informacija o momentu opterećenja
- Može se koristiti i u analognim realizacijama
- Mogu biti realizovani i bez davača na vratilu motora

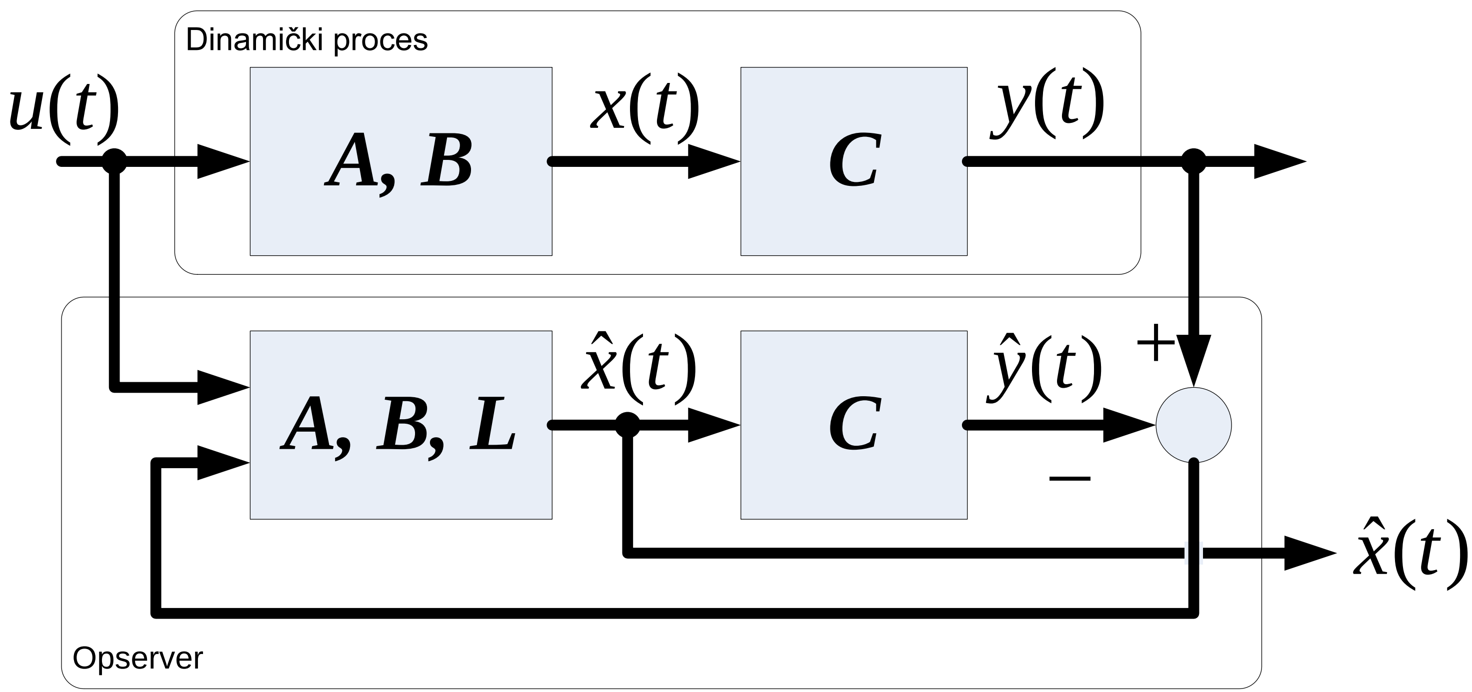
# Opserver bez korekcije - estimator

- Vrši se estimacija stanja $\hat{x}(t)$
- Potrebno je poznavanje parametara procesa
- Potrebno je poznavanje početnog stanja procesa
- Ne koriste se dostupna merenja iz procesa $y(t)$



# Opserver sa korekcijom

- Vrši se estimacija stanja $\hat{x}(t)$
- Potrebno je poznavanje parametara procesa
- Korekcija se vrši prema dostupnim merenjima iz procesa $y(t)$



# Primer: Opserver brzine

- Pretpostavimo da raspolažemo podatkom o momentu motora
- Pretpostavimo da merimo ugao (poziciju) vratila motora
- Pretpostavimo da su nam poznati parametri u njutnovoj jednačini
- Pretpostavimo da je $m_m = 0$

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_e - K_l \cdot \omega - m_m$$

# Primer 1: Opserver brzine bez korekcije

Matematički model objekta:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_e - K_l \cdot \omega - \underbrace{m_m}_{=0} \qquad \frac{d\theta}{dt} = \omega$$

Opserver – diferencijalne jednačine:

$$\hat{J} \cdot \frac{d\hat{\omega}}{dt} = m_e - \hat{K}_l \cdot \hat{\omega} \qquad \frac{d\hat{\theta}}{dt} = \hat{\omega}$$

Opserver korektno izračunava brzinu, pod navedenim pretpostavkama

Diskretizacija diferencijalnih jednačina i implementacija u upravljačkom sistemu neće ovde biti predstavljene.

# Primer 1: Opserver brzine bez korekcije

$$\hat{J} \cdot \frac{d\hat{\omega}}{dt} = m_e - \hat{K}_l \cdot \hat{\omega}$$

$$\frac{d\hat{\theta}}{dt} = \hat{\omega}$$

- U slučaju pojave poremećaja (čak i prolaznog karaktera), predstavljeni opserver bez korekcije neće pratiti brzinu.
- Nismo iskoristili merenje ugla (pozicije) motora.

# Primer 2: Opserver brzine sa korekcijom

## Matematički model objekta

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_e - K_l \cdot \omega - \underbrace{m_m}_{=0} \qquad \frac{d\theta}{dt} = \omega$$

## Opserver – diferencijalne jednačine

$$\hat{J} \cdot \frac{d\hat{\omega}}{dt} = m_e - \hat{K}_l \cdot \hat{\omega} - L_1 \cdot \left(\theta - \hat{\theta}\right) \qquad \frac{d\hat{\theta}}{dt} = \hat{\omega} - L_2 \cdot \left(\theta - \hat{\theta}\right)$$

Opserver korektno izračunava brzinu, pod navedenim pretpostavkama. U slučaju pojave prolaznog poremećaja dolazi do odstupanja brzine, ali se posle prestanka dejstva poremećaja brzina vraća na korektnu vrednost.

Vrednosti $L_1$ i $L_2$ se biraju tako da greška teži nuli bez prebačaja, za najkraće vreme.

# Primer 3: Opserver brzine i konstantnog momenta opterećenja sa korekcijom

Matematički model objekta:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = m_e - K_l \cdot \omega - m_m \qquad \frac{d\theta}{dt} = \omega \qquad m_m = const.$$

Opserver – diferencijalne jednačine:

$$\hat{J} \cdot \frac{d\hat{\omega}}{dt} = m_e - \hat{K}_l \cdot \hat{\omega} - \hat{m}_m - L_1 \cdot \left(\theta - \hat{\theta}\right)$$

$$\frac{d\hat{\theta}}{dt} = \hat{\omega} - L_2 \cdot \left(\theta - \hat{\theta}\right)$$

$$\frac{d\hat{m}_m}{dt} = 0 - L_3 \cdot \left(\theta - \hat{\theta}\right)$$

Vrednosti $L_1$, $L_2$ i $L_3$ se biraju tako da greška teži nuli bez prebačaja, za najkraće vreme.

# Rezultati simulacije

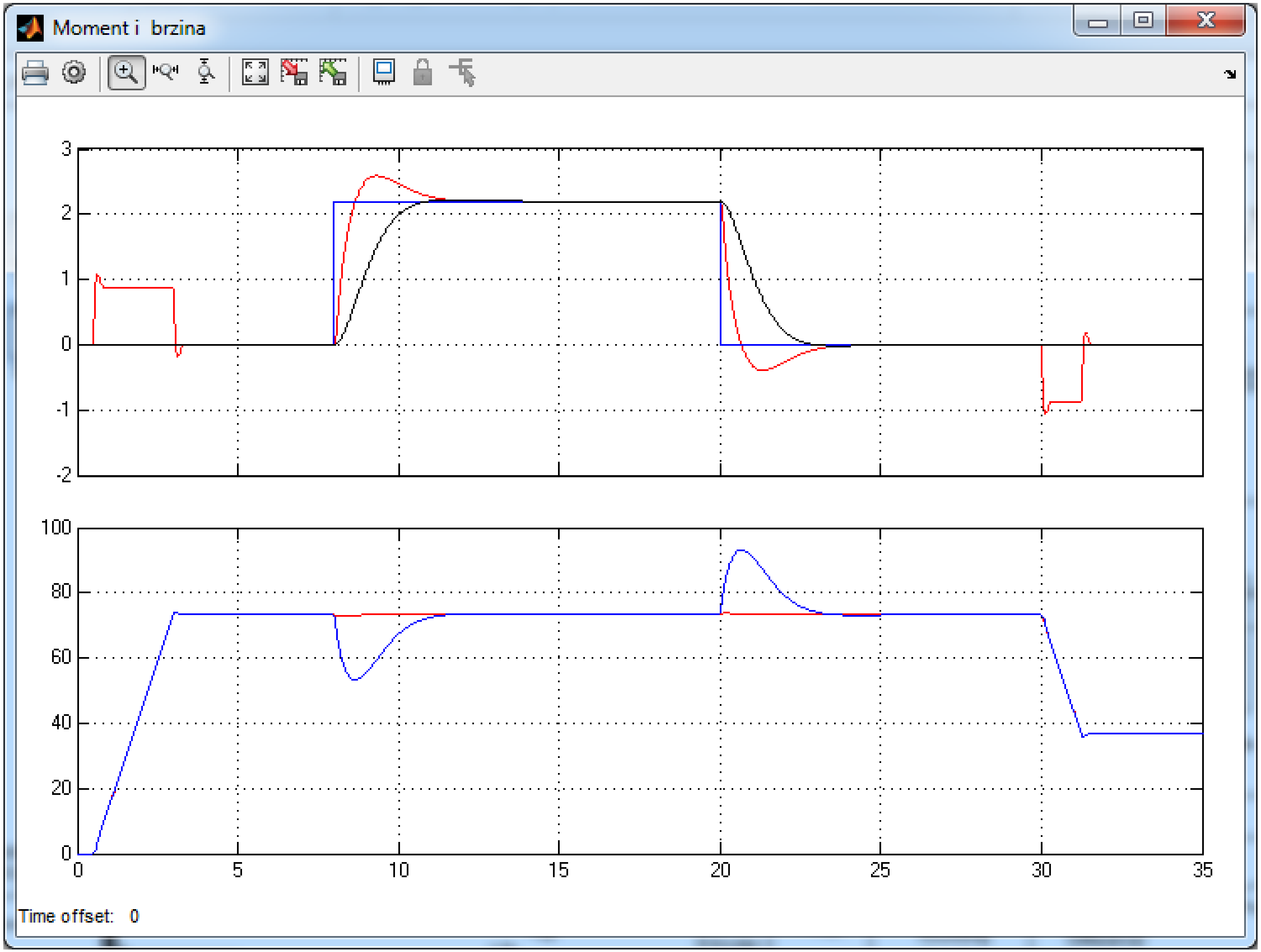
$m_e$

$m_m$

$\hat{m}_m$

$\hat{\omega}$

$\omega$



# Za one koji žele više...

- Seminarski rad
  (uz podršku nastavnika i literature)
- Odabrana poglavlja iz elektromotornih pogona (MS)
- Literatura