

# Dynamické chyby interpolace.

Chyby způsobené pasivními odpory. Princip jejich kompenzace.

Radomír Mendřický – Elektrické pohony a servomechanismy

10.12.2014



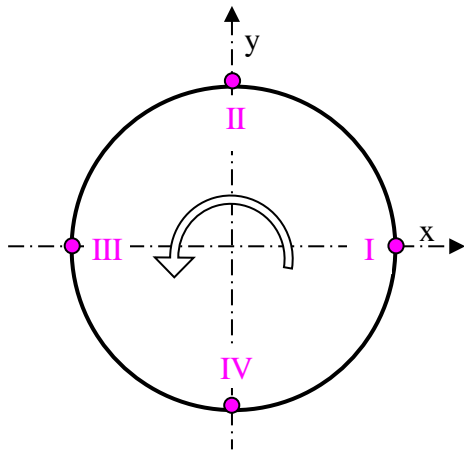
## Obsah prezentace

- Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů
- Kompenzace kvadrantových chyb
  - Konstantní kompenzace na vstupu proudového regulátoru
  - Konstantní kompenzace na vstupu rychlostního regulátoru
  - Adaptivní kompenzace na vstupu rychlostního regulátoru
  - Učení metodou neuronových sítí
- Příklady kompenzací kvadrantových chyb

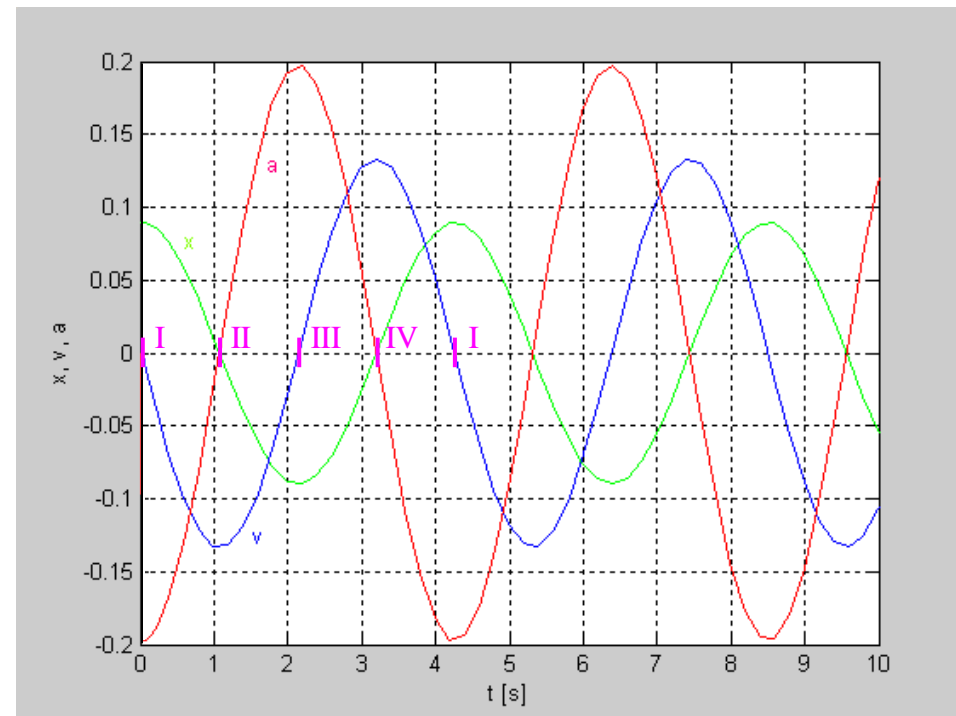
# Chyby při kruhové interpolaci (opakování)

## d) Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů

- Při kruhové interpolaci pohony střídavě reverzují při přechodech mezi jednotlivými kvadranty



Kruhová interpolace – označení kvadrantů



Průběh polohy, rychlosti a zrychlení během kruhové interpolace (osa  $x$ ,  $R = 90 \text{ mm}$ ,  $v = 8 \text{ m/min}$ ).

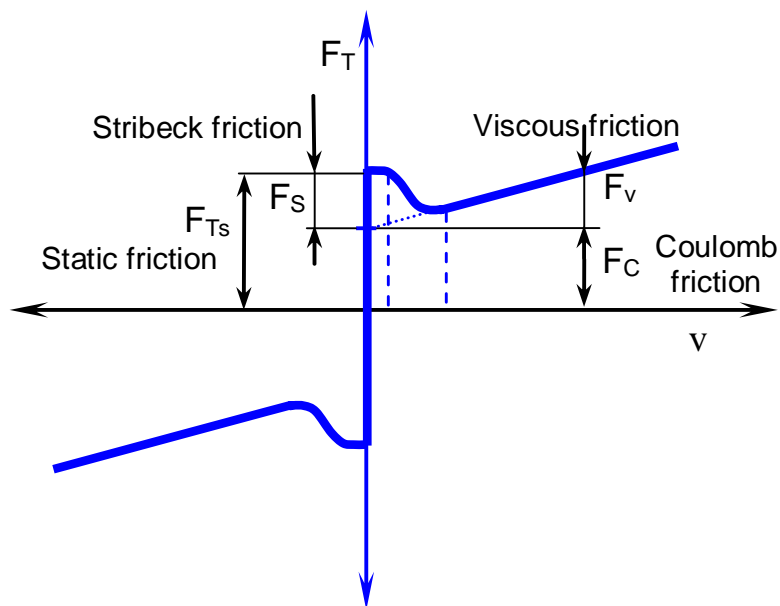
## Chyby při kruhové interpolaci (opakování)

### d) Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů

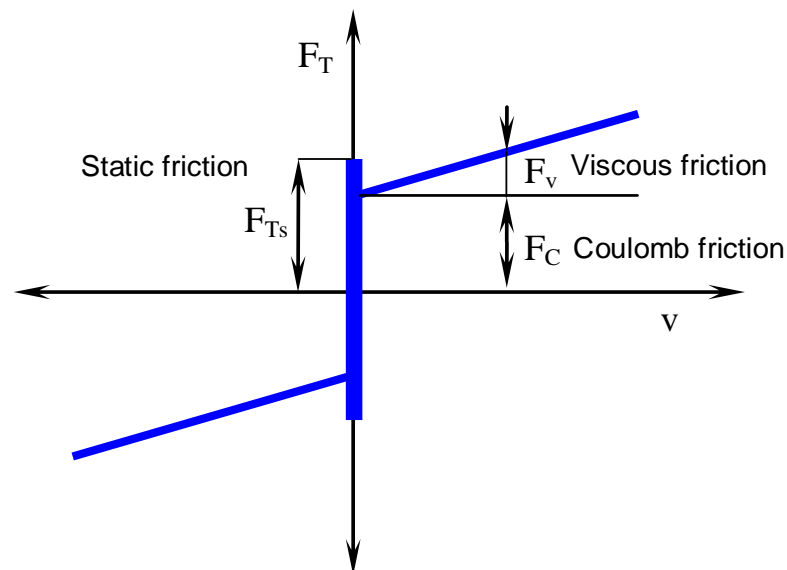
- V místě kvadrantového přechodu vždy jedna ze souřadnic mění smysl pohybu, a protože v mechanice posuvů téměř vždy působí třecí síly Coulombovského charakteru, dochází zde vlivem změny směru pohybu ke skokovým změnám třecích sil o velikost  $(2 \cdot F_T)$  a proudový regulátor musí změnit proud motorem z hodnoty  $F_T/K_m$  na  $-F_T/K_m$ .
- Tato změna neproběhne skokem a než proud dosáhne hodnotu, při kterém se servomechanismus začne pohybovat opačným směrem, uplyne určitý čas. Během této doby souřadnice, která mění smysl pohybu stojí, zatímco druhá se pohybuje maximální rychlostí. Poloměr skutečné dráhy se proto zvětší – vznikne kvadrantová chyba.

# Chyby při kruhové interpolaci (opakování)

## d) Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů



Průběh třecí síly v závislosti na rychlosti

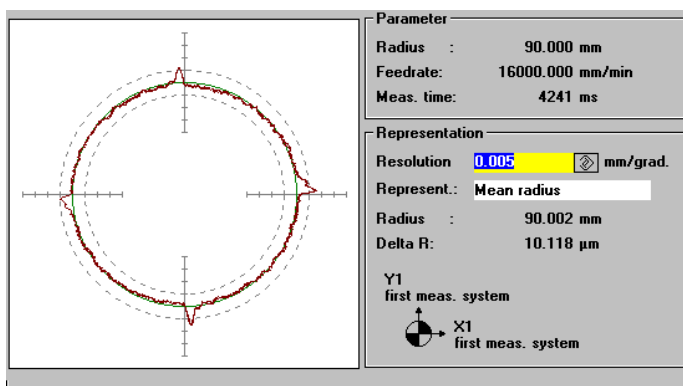


Matematický model tření

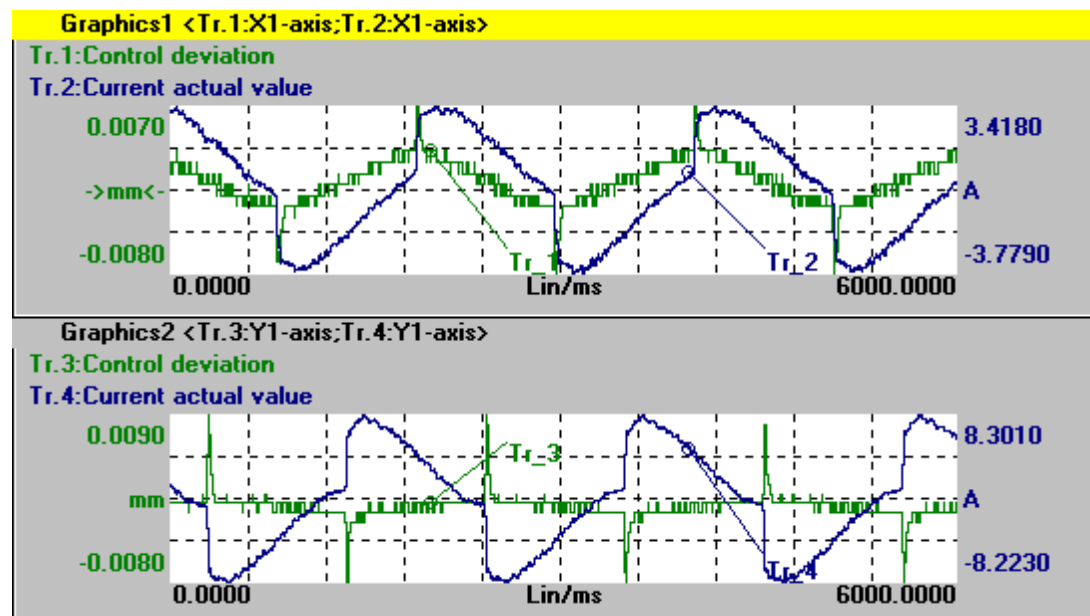
- Skoková změna třecí síly v místě reverzace - ( $2 \cdot F_{Ts}$ ) - (viz modely tření)

# Chyby při kruhové interpolaci (opakování)

## d) Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů



Výsledek testu kruhové interpolace  
(chyba je zvětšena)



Časové průběhy polohové odchylky a proudu při kruhové interpolaci

## Chyby při kruhové interpolaci (opakování)

### d) Chyby při přechodu kvadrantů vlivem pasivních odporů

- Řešení:
  - Kompensace – náročné seřizování na stroji - ne vždy zaručen úspěch (proměnlivé tření) .....
  - Hydrostatická uložení, která zcela odstraní Coul. charakter pasivních odporů, pasivní odpory pak mají charakter viskosního tlumení, při nulové rychlosti mají nulovou velikost a kvadrantové chyby proto v podstatě nevznikají (drahé, konstrukčně složité).
  - Vysoká dynamika pohonu (rázová dyn. poddajnost).

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

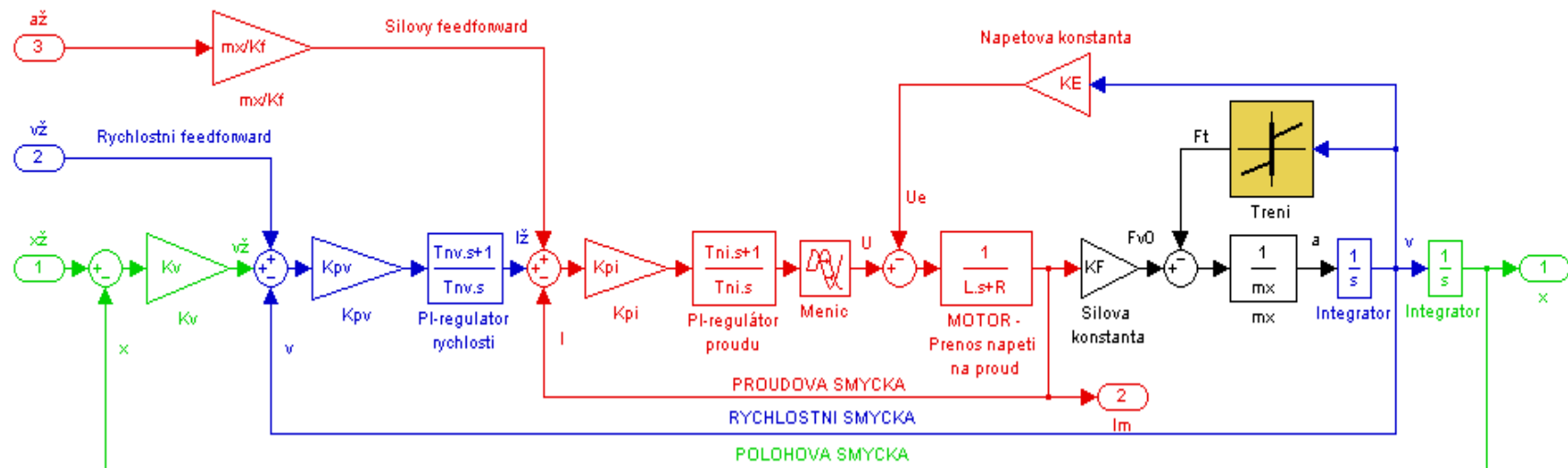
- Přivedení pomocného signálu na vstup proudového (rychlostního regulátoru). Pomocný signál urychlí změnu směru proudu motorem a následkem toho se zkrátí čas, po který se reverzující osa nepohybuje.
- Velikost pulzu může být nastavena na pevnou hodnotu, pak mluvíme o **konstantní kompenzaci**, nebo je amplituda pulzu závislá na velikosti aktuálního zrychlení příslušné pohybové osy, pak jde o **adaptivní kompenzaci na vstupu rychlostního regulátoru**.



# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Konstantní kompenzace na vstupu proudového regulátoru – pomocný signál je odvozen od dopředného signálu rychlosti (FFW) a má dvě hodnoty:  $\pm F_T/K_m$ .

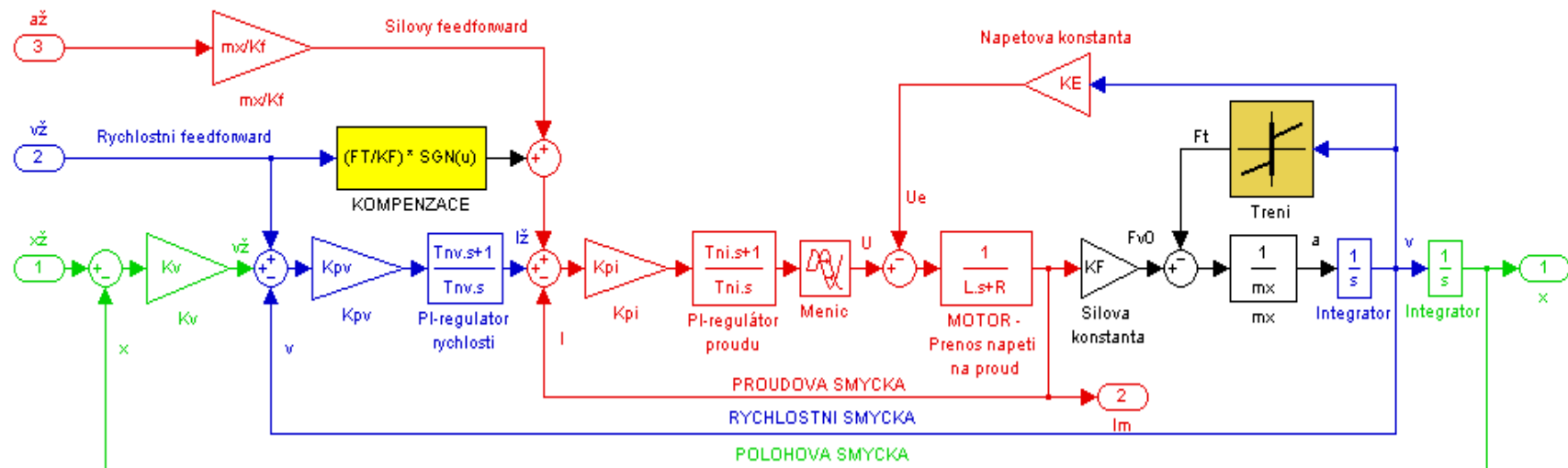


*Konstantní kompenzace na vstupu proudového regulátoru (bez kompenzace)*

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Konstantní kompenzace na vstupu proudového regulátoru – pomocný signál je odvozen od dopředného signálu rychlosti (FFW) a má dvě hodnoty:  $\pm F_T/K_m$ .

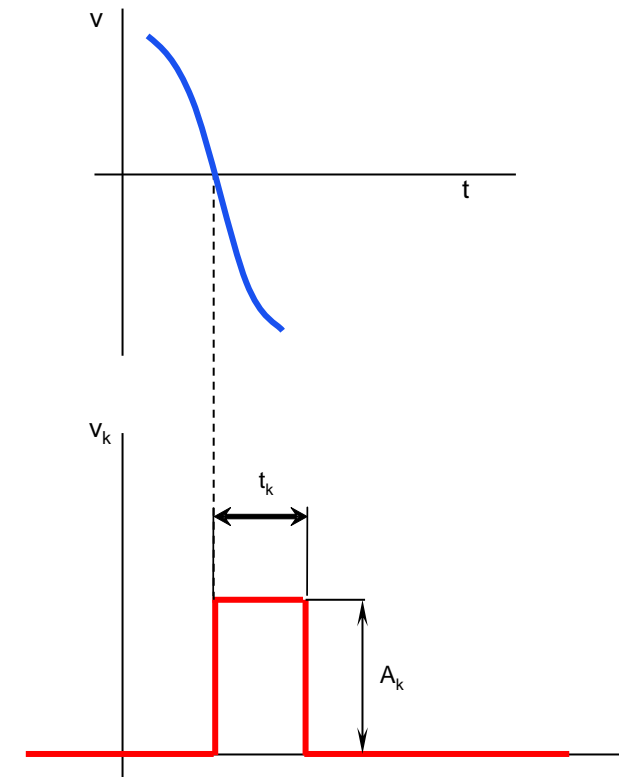


*Konstantní kompenzace na vstupu proudového regulátoru (s kompenzací)*

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Konstantní kompenzace na vstupu rychlostního regulátoru – na vstup rychlostního regulátoru je při změně smyslu žádaného pohybu přiveden pomocný pulz, který při správném nastavení rychle změni výstup rychlostního regulátoru a tím zajistí rychlou změnu polaritu proudu se stejným výsledkem jako v předchozím případě.

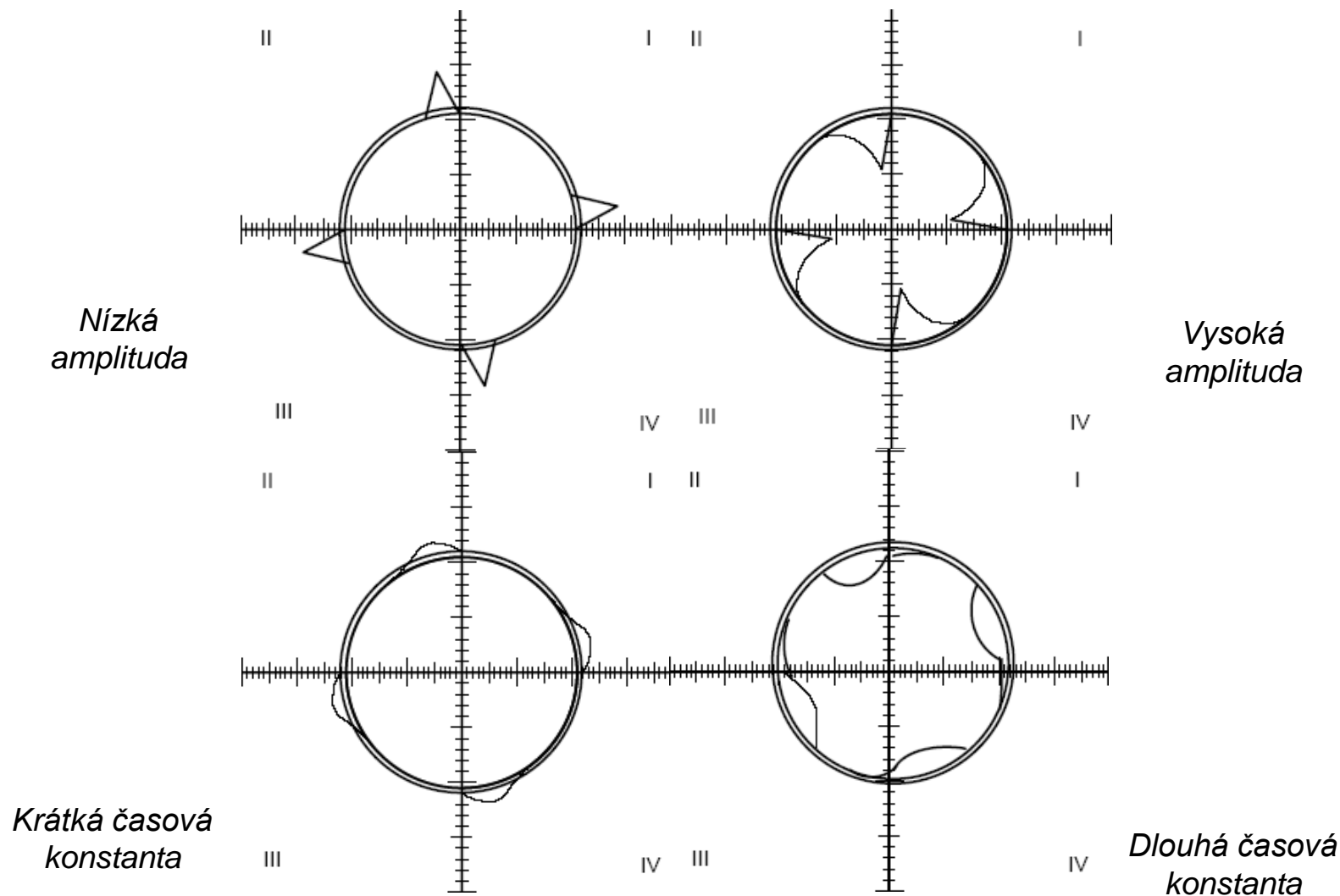


*Pomocný impuls rychlosti  $v_k$  přiváděný na vstup rychlostního regulátoru při změně smyslu žádaného pohybu  $v$ .*

# Chyby při kruhové interpolaci

**Metody  
kompenzace  
pasivních  
odporů**

Konstantní  
kompenzace  
na vstupu  
rychlostního  
regulátoru



# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Adaptivní kompenzace na vstupu rychlostního regulátoru – podobné předchozí metodě. Zde ovšem není pomocný pulz nastaven pevně, ale velikost jeho amplitudy se mění na základě velikosti aktuálního zrychlení příslušné pohybové osy.

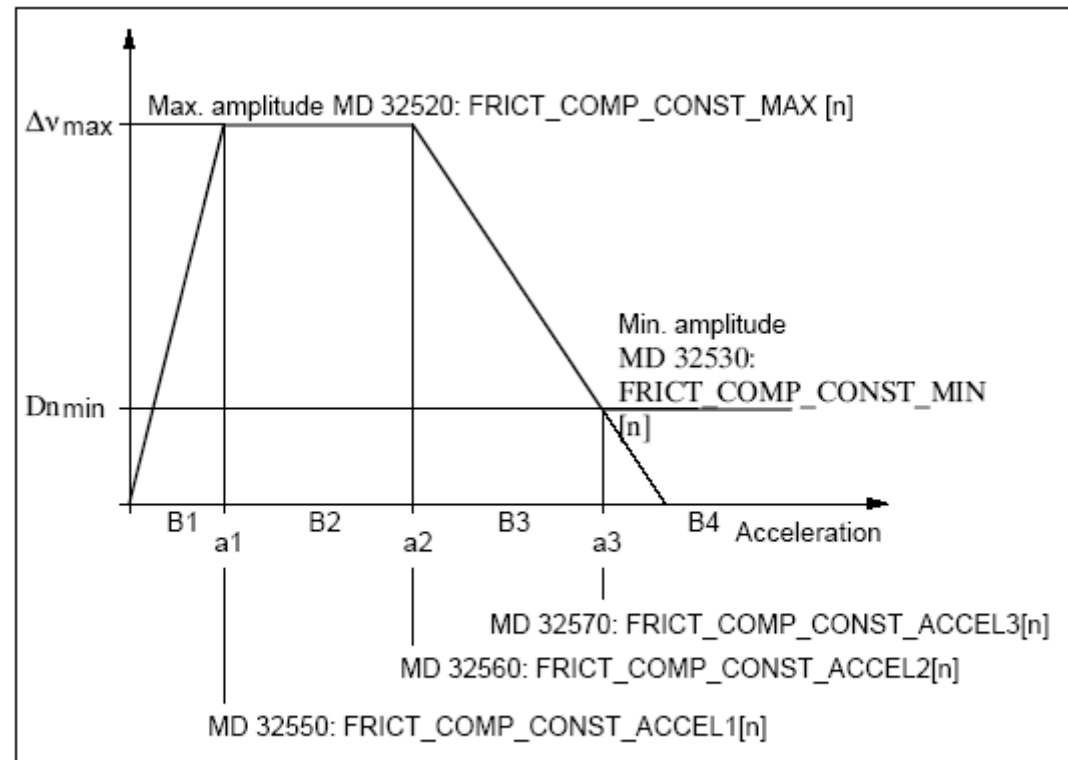


Fig. 3-9 Typical curve for friction compensation with amplitude adaptation

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Určitá nevýhoda konstantních kompenzací spočívá v tom, že výpočtem nelze zcela přesně stanovit třecí síly a pomocné signály je nutno nastavit zkusmo na stroji.
- Další potíž nastane, jsou-li pasivní odpory proměnné – např. vlivem tření v krytech vedení – konstantní kompenzace totiž fungují zcela přesně jen pro jednu velikost třecích sil.

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Učení metodou neuronových sítí – postup spočívá opět v zavádění přídatného signálu na vstup rychlostního regulátoru. Signál má tvar krátkodobého pulzu s exponenciálním doběhem, jehož velikost je závislá na aktuálním zrychlení příslušné pohybové osy.

\* Sinumerik 840 D

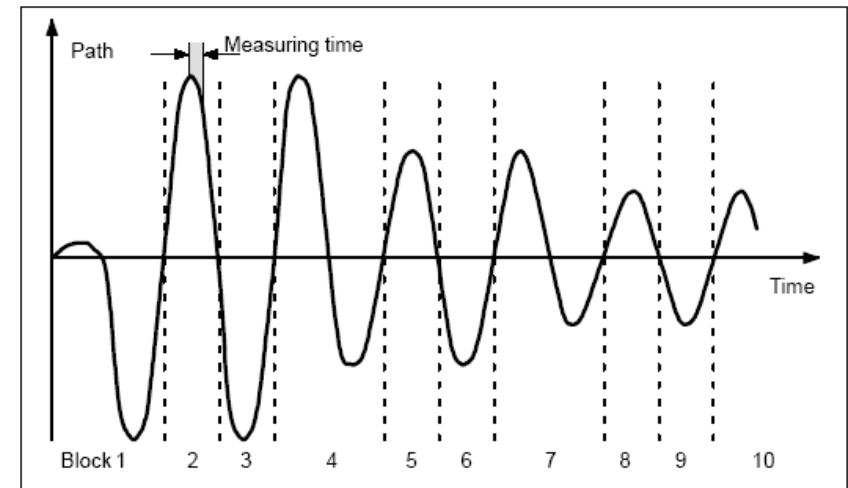


Fig. 3-20 Typical traverse motion of an axis when learning the QEC characteristic

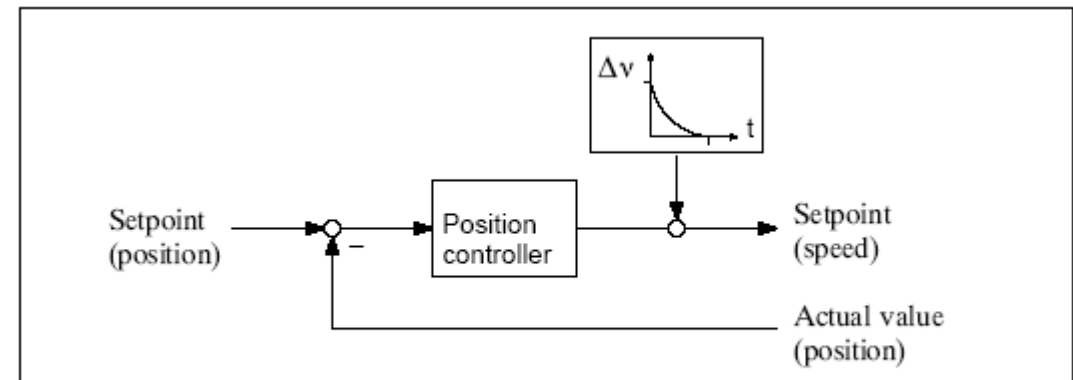


Fig. 3-16 Injection of an additional speed setpoint pulse

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Učení metodou neuronových sítí - ještě před samotnou tzv. pracovní fází probíhá fáze učení, kdy dochází pomocí tzv. algoritmu učení k aproximaci reálného systému a k hledání relací mezi vstupními a výstupními signály.
- Výsledkem je „naučená“ kompenzační charakteristika, která je uložena a následně ve formě přídatného signálu použita během pracovní fáze.

\* Sinumerik 840 D

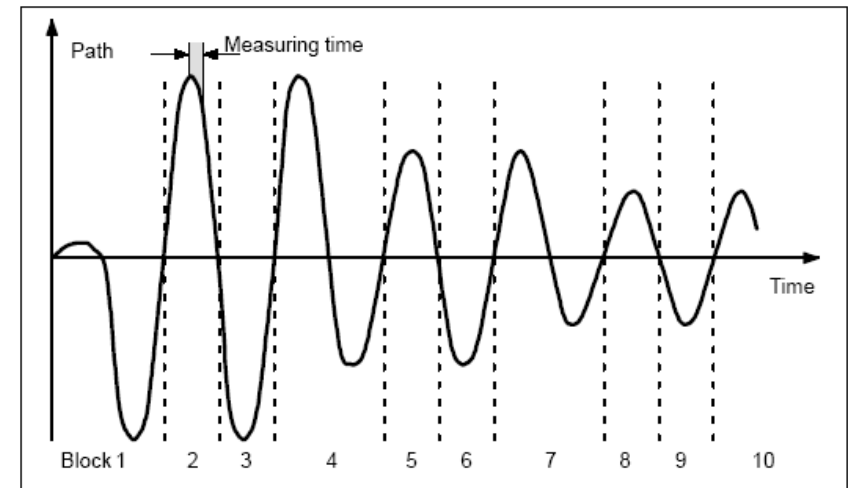


Fig. 3-20 Typical traverse motion of an axis when learning the QEC characteristic



# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

- Příklad
  - vliv pasivních odporů na přesnost sledování žádané polohy při kruhové interpolaci na stroji MCFV 5050 LN
  - výsledek konstantní kompenzace na vstupu rychlostního regulátoru



3 – osé frézovací centrum s lineárními motory MCFV 5050 LN.

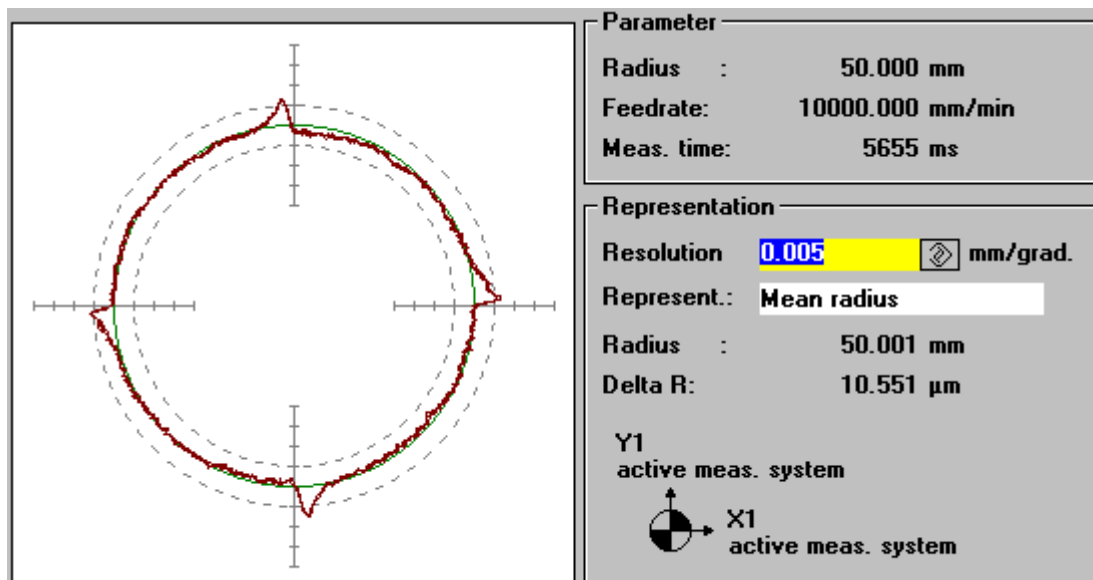
# Chyby při kruhové interpolaci

		MD 32520 [mm/min]					
		30	40	50	60	70	80
$x_{e(\text{without c.})} = 7 - 8 \mu\text{m}$							
MD 32540 [ms]	15	5	3 - 4	2 - 3	4 - 5	6	7
	25	3 - 4	3	4	5	6 - 7	7

*Kvadrantová chyba v ose X ( $x_e$  [ $\mu\text{m}$ ]) v závislosti na nastavení amplitudy a časové konstanty komp. pulzu.*

		MD 32520 [mm/min]					
		10	30	40	50	70	90
$y_{e(\text{without c.})} = 8 - 9 \mu\text{m}$							
MD 32540 [ms]	15	7 - 8	6 - 7	6 - 7	6	6	7
	20	7 - 8	7	5 - 6	6	3 - 7	5 - 8
	25	6 - 7	6	3 - 4	2 - 4	3 - 5	4 - 7
	30	7	7 - 8	3 - 5	7 - 8	7 - 8	5 - 8
	40	8	7	4 - 6	8	5 - 8	7 - 9

*Kvadrantová chyba v ose Y ( $y_e$  [ $\mu\text{m}$ ]) v závislosti na nastavení amplitudy a časové konstanty komp. pulzu.*



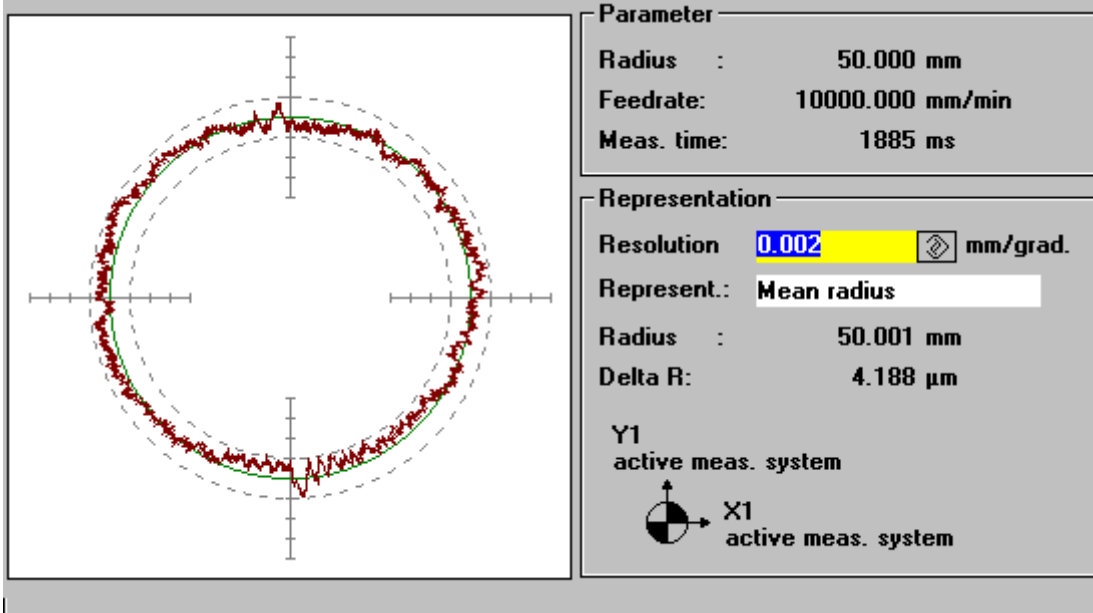
## MCFV 5050 LN

$v = 10 \text{ m / min}$

$R = 50 \text{ mm}$

Bez kompenzace

$\Delta R = 10,6 \mu\text{m}$



S kompenzací

$\Delta R = 4,2 \mu\text{m}$

X:

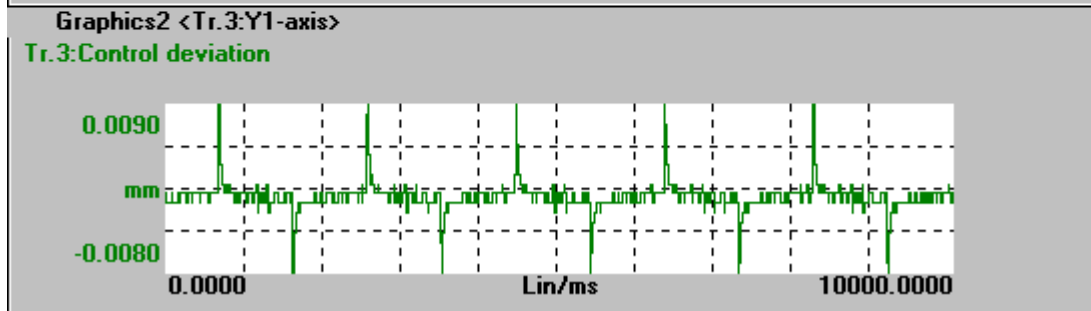
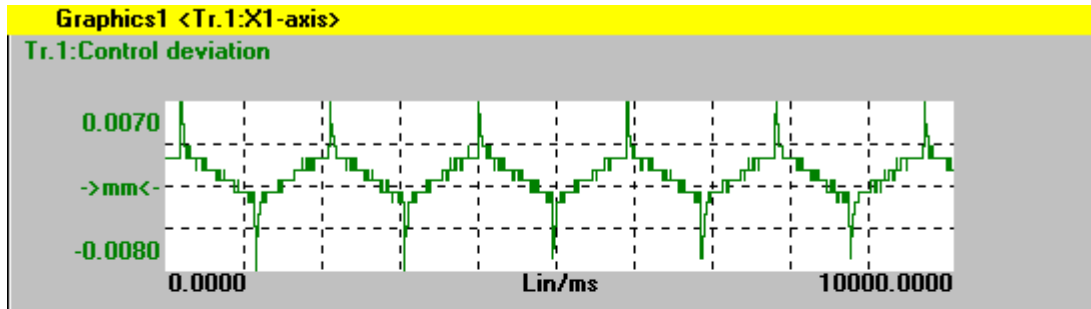
$A_k = 50 \text{ mm/min}$

$t_k = 15 \text{ ms}$

Y:

$A_k = 40 \text{ mm/min}$

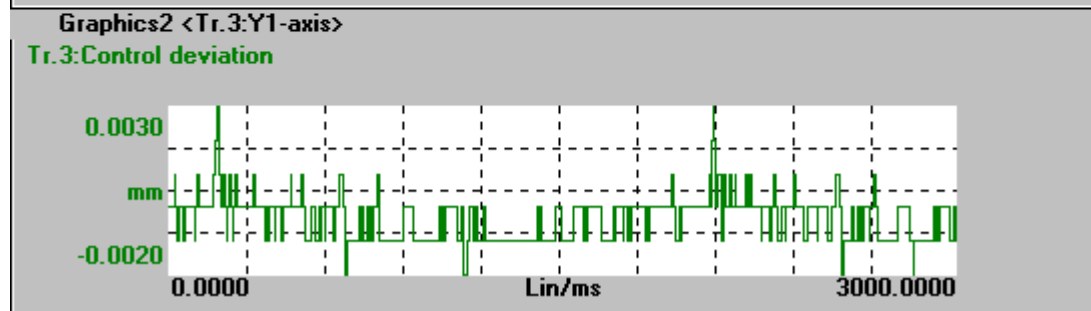
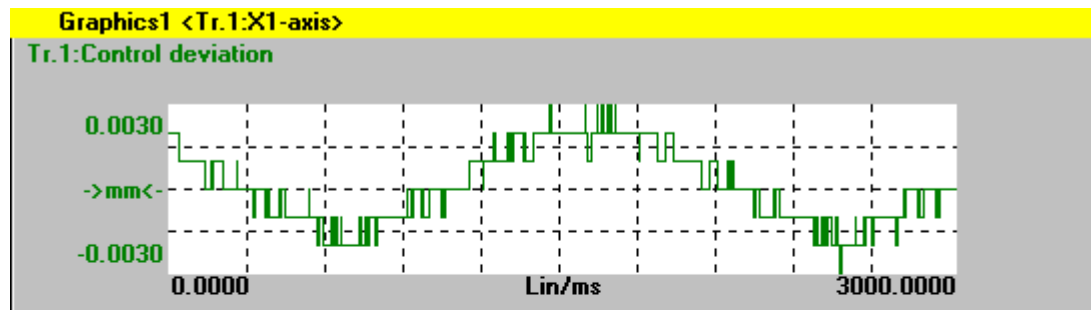
$t_k = 30 \text{ ms}$



Bez kompenzace

$$\Delta X = 7,5 \mu\text{m}$$

$$\Delta Y = 8,5 \mu\text{m}$$



S kompenzací

$$\Delta X = 3 \mu\text{m}$$

$$\Delta Y = 2,5 \mu\text{m}$$

# Chyby při kruhové interpolaci

## Metody kompenzace pasivních odporů

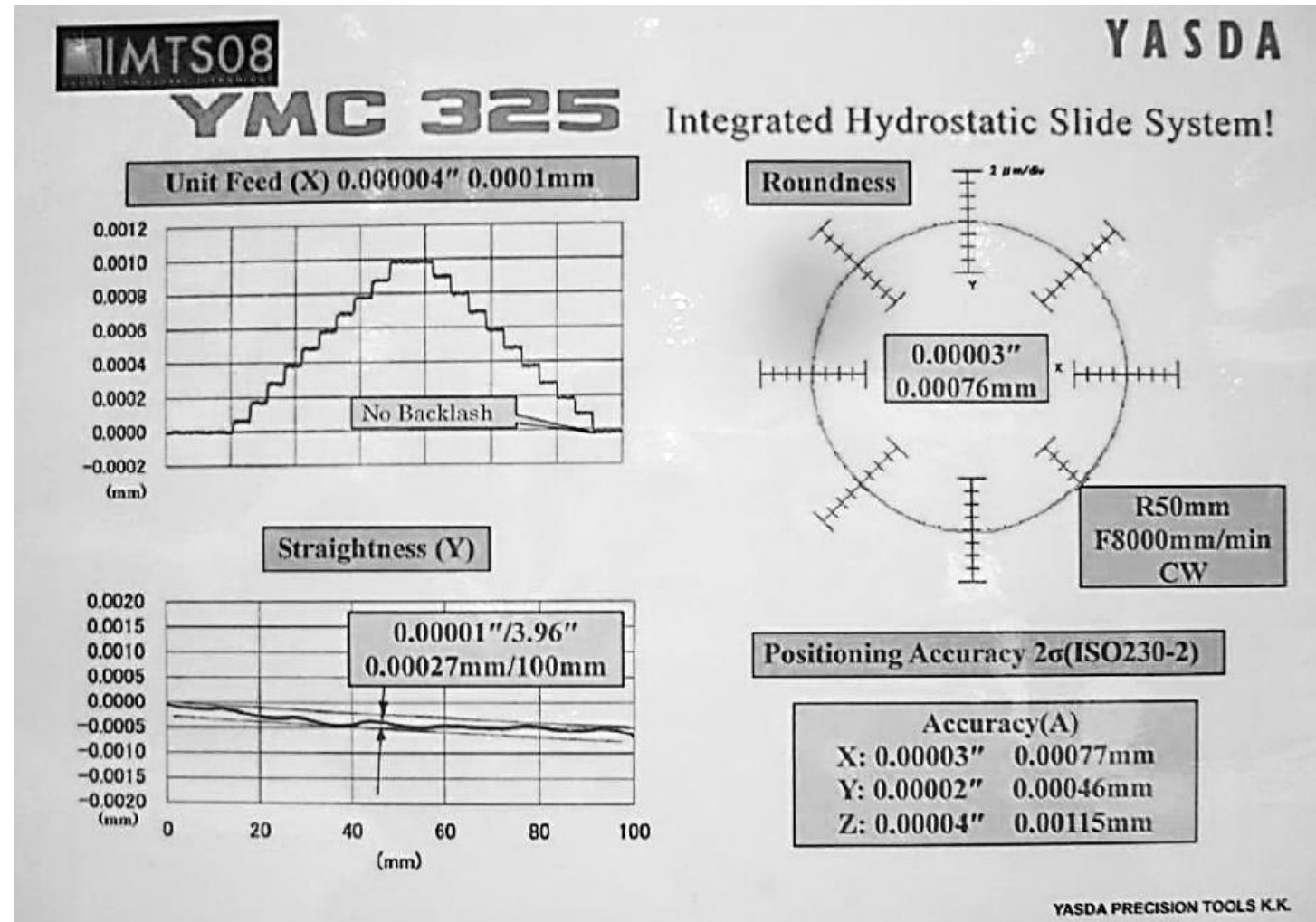
- Příklad
  - Stroj YASDA YMC325 vyniká špičkovou teplotní stabilizací s komplexně protékaným rámem. Stroj je vybaven hydrostatickým vedením na všech osách, lineárními motory a vřetenem s max. otáčkami 60tis./min



Stroj YASDA YMC325

# Chyby při kruhové interpolaci

- Příklad výsledků přesnosti dráhového řízení na stroji YASDA YMC325.
- Je zřejmé že např. výsledek testu kruhové interpolace na D=50mm při rychlosti 8m/min je špičkový.



# Literatura

- [1] Mendřický, R.: Modelování a identifikace tření u vysoce přesných polohových servomechanismů. [Disertační práce]. Liberec 2006. TU v Liberci. Fakulta strojní.
- [2] Mendřický, R., Lachman, M.: The compensation of frictional forces. In Machine tools, Automation and robotics in mechanical engineering, The International Congress MATAR PRAHA 2008. ČVUT Praha. 16.-18.9.2008. ISBN 978-80-903421-9-4
- [3] Technická dokumentace k řídicímu systému Siemens - SINUMERIK 840D.