

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní



Radek Černík

**DYNAMICKÉ CHYBY NC OBRÁBĚCÍHO
STROJE VZNIKAJÍCÍ PŘI KRUHOVÉ
INTERPOLACI A VYSOKÝCH HODNOTÁCH
RYCHLOSTI A ZRYCHLENÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1999



Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Výrobní systémy

Zaměření: Pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu

**Dynamické chyby NC obráběcího stroje vznikající
při kruhové interpolaci a vysokých hodnotách
rychlosti a zrychlení**

KVS – VS – 103

Radek Černík

Vedoucí práce

a konzultant: Doc. Ing. Jan Skalla, CSc., TU Liberec

Počet stran: 62

Počet příloh a tabulek: -

Počet obrázků: 48

Počet modelů nebo jiných příloh: 1

Datum: 28.5.1999



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Radek Č e r n í k**
obor **23 - 29 - 8 Výrobní systémy**
zaměření **pružné výrobní systémy pro strojírenskou výrobu**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Dynamické chyby NC obráběcího stroje vznikající při kruhové interpolaci a vysokých hodnotách rychlosti a zrychlení

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

Navrhněte počítačový model dvou lineárních souřadnic NC obráběcího stroje s polohovými servopohony a proveďte rozbor chyb dráhy nástroje při kruhové interpolaci posuvovou rychlostí 2 až 20 m/s². Při modelování uvažujte vliv rozdílné dynamiky pohonů.

1. Úvod.
2. Chyby vznikající při kruhové interpolaci na NC obráběcích strojích.
3. Sestavení modelu NC stroje .
4. Diskuse výsledků modelování.
5. Závěr.

Forma zpracování diplomové práce:

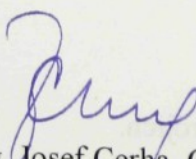
- průvodní zpráva cca 40 stran
- grafické práce

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

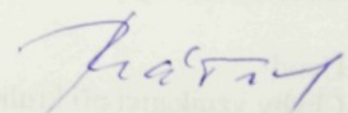
- Jareš, D.: Návrh a odladění nelineárního počítačového modelu servopohonu pro posuvy NC obráběcích strojů. Diplomová práce, TU Liberec, fakulta strojní 1996
- Círk, D.: Chyby NC obráběcího stroje vznikající při interpolaci vysokou posuvovou rychlostí. Diplomová práce, TU Liberec, fakulta strojní 1997
- Skalla, J.: Návrh a dimensování polohových servomechanismů obráběcích strojů (habilitační práce). Technická univerzita v Liberci, 1995.
- Souček, P.: Pohony výrobních zařízení (Servomechanismy), skripta ČVUT Praha, 1994
- Houša, J. a kol.: Konstrukce NC strojů. SNTL Praha, 1985
- Přednášky z předmětu Automatizace výrobních strojů
- Uživatelská dokumentace programů MATLAB a SIMULINK

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Jan Skalla, CSc.

Konzultant diplomové práce:


Doc. Ing. Josef Cerha, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10.1998

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Téma: Dynamické chyby NC obráběcího stroje vznikající při kruhové interpolaci a vysokých hodnotách rychlosti a zrychlení

Anotace: Práce obsahuje počítačový model dvou posuvových os NC stroje v programu Matlab s nadstavbou Simulink. Jsou simulovány dynamické chyby při kruhové interpolaci a zkoumán vliv rozdílných dynamických poměrů v obou osách.

Theme: Dynamic errors of the NC machine tool generated at circular interpolation on high speed and acceleration.

Annotation: The diploma deals with dynamic errors of the NC machine tool generated at circular interpolation. Computer models of feed drives in MATLAB/SIMULINK are included. Influence of the dynamic parameters of servomechanisms is taken into account.

Desetinné třídění: 621.9-589.2
621.9-83

Klíčová slova: SIMULACE, SERVOPOHON, NC OBRÁBĚCÍ STROJE,
LINEÁRNÍ POHON

Zpracovatel: TU v Liberci – KVS
Dokončeno: 1999
Archivní označení zprávy:

Počet stran: 62

Počet příloh: -

Počet obrázků: 48

Počet tabulek: -

Počet diagramů: -

Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci dne

25.5.1999

Radek Černík

Čestně Radek

Prohlášení
k využívání výsledků diplomové práce

Jsem si vědom toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat, že diplomová práce může být zapůjčena či objednána za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

V Liberci dne

25.5. 1999

Radek Černík
Svinčany 31
Přelouč 535 01
tel.: 0457/622 519

Anton Radek

Obsah

Přehled použitých symbolů.....	7
1. ÚVOD.....	10
2. CHYBY VZNIKAJÍCÍ PŘI INTERPOLACI KRUŽNICE NA NC OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH	11
2.1 Hustota náhrady při křivkové interpolaci.....	11
2.2 Způsob generování přírůstků polohy.....	12
2.3 Dynamický model kružnice.....	13
2.4 Vyhodnocení.....	14
3. SESTAVENÍ MODELU NC STROJE	15
3.1 Interakce stroje a přímého pohonu.....	16
3.1.1 Uložení namoženosti stroje na základy.....	17
3.1.2 Podtlakové opnutí obrobku.....	17
3.1.3 Pružné připojení sdílcovacího systému.....	17
3.1.4 Pákový efekt při středáckové montáži sdílcovacího systému.....	17
3.2 Vytvoření modelu jedné osy NC stroje.....	18
3.3 Sestavení druhé osy.....	21
3.4 Generator řídicí polohy.....	23
3.5 Sběr výstupních dat.....	26
3.6 Kompletní simulací schéma NC stroje.....	26
4. SESTAVENÍ MODELU Z JEDNODUCHÝCH POLOHOVÝCH SERVOPOHONŮ.....	31
4.1 Chyby tvaru kružnice.....	31
4.2 Sestavení náhradního modelu.....	35

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Janu Skalloví, CSc. za ochotu a pomoc, bez níž by tato práce nevznikla.

Obsah

Přehled použitých symbolů	7
1. ÚVOD.....	10
2. CHYBY VZNIKAJÍCÍ PŘI INTERPOLACI KRUŽNICE NA NC OBRÁBĚCÍCH STROJÍCH	11
2.1 Hustota náhrady při křivkové interpolaci	11
2.2 Způsob generování přírůstků polohy	12
2.3 Dynamika polohových smyček servopohonu	13
2.4 Vyhlazovací funkce nástroje	14
3. SESTAVENÍ MODELU NC STROJE	15
3.1 Interakce stroje a přímého pohonu	16
3.1.1 Uložení rámu stroje na základy	17
3.1.2 Poddajné upnutí obrobku	17
3.1.3 Pružné připojení odměřovacího systému	17
3.1.4 Pákový efekt při výstředníkové montáži odměřovacího systému	17
3.2 Vytvoření modelu jedné osy NC stroje	18
3.3 Sestavení druhé osy	22
3.4 Generátor žádané polohy	25
3.5 Sběr výstupních dat	26
3.6 Kompletní simulační schéma NC stroje	26
4. SESTAVENÍ MODELU Z JEDNODUCHÝCH POLOHOVÝCH SERVOPOHONŮ.....	31
4.1 Chyby tvaru kružnice	31
3.2 Sestavení zkušebního modelu	35

5. Simulace.....	39
5.1 Simulace modelu 1.....	39
5.2 Simulace modelu 2.....	47
5.3 Simulace kombinace obou modelů	54
6. Měření kruhovitosti v praxi.....	58
7. Závěr.....	61
Seznam použité literatury.....	62

Přehled použitých zkratk a symbolů

b	[Ns/m]	tlumení
b_L	[Ns/m]	tlumení pružiny při poddajném upnutí obrobku
b_O	[Ns/m]	tlumení pružiny při poddajném uložení stroje na základy
b_S	[Ns/m]	tlumení pružiny při poddajném upnutí odměřovacího systému
b_T	[Ns/m]	viskosní tlumení valivého vedení kolmo na osu pohybu
d	[m]	žádaný průměr kružnice
d_{MAX}	[m]	průměr opsané kružnice
d_{MIN}	[m]	průměr vepsané kružnice
e_R	[m]	radiální odchylka
R	[m]	poloměr vepsané kružnice
F_{ext}	[N]	vnější zatěžující síla
f_S	[Hz]	kmitočet uchycení jezdce
J_T	[kg · m ²]	moment setrvačnosti k těžišti
K	[A/m]	celkové proporcionální zesílení v PI regulátoru rychlosti a v regulačním obvodu proudu
K_F	[N/A]	silová konstanta motoru
K_P	[As / m]	proporcionální zesílení
K_R	[1/s ²]	zesílení rychlostní smyčky
K_V	[1/s]	zesílení polohové smyčky
K_{Vx}	[1/s]	zesílení polohové smyčky v ose x
K_{Vy}	[1/s]	zesílení polohové smyčky v ose y

k	[N/m]	konstanta tuhosti
k_L	[N/m]	tuhost pružiny při poddajném upnutí obrobku
k_O	[N/m]	tuhost pružiny při poddajném uložení stroje na základy
k_S	[N/m]	tuhost pružiny při poddajném upnutí odměřovacího systému
k_T	[N/m]	tuhost valivého vedení kolmo na osu pohybu
m	[kg]	hmotnost motoru se suportem
m_L	[kg]	hmotnost pružně připojeného obrobku
m_O	[kg]	hmotnost základu stroje
m_S	[kg]	hmotnost pružně připojeného odměřovacího zařízení
m_X	[kg]	hmotnost pohyblivých částí osy x
m_Y	[kg]	hmotnost pohyblivých částí osy y
R	[m]	poloměr vepsané kružnice
R_a	[m]	poloměr nástroje
R_o	[m]	žádaný poloměr
s	[1]	Laplaceův operátor
Θ	[rad]	skutečná úhlová dráha středu nástroje
T_N	[s]	integrační časová konstanta v regulačním obvodu proudu
$x_{skut.}$	[m]	skutečná poloha suportu v ose x
$x_{\dot{z.}}$	[m]	žádaná poloha suportu v ose x
$y_{skut.}$	[m]	skutečná poloha suportu v ose y
$y_{\dot{z.}}$	[m]	žádaná poloha suportu v ose y

ΔR	[m]	odchylka od žádaného poloměru
ΔR_o	[m]	teoretická odchylka od žádaného poloměru
ΔT	[s]	časový úsek při interpolaci
φ	[rad]	úhlová dráha středu nástroje
π	[1]	Ludolfovo číslo
τ_x	[s]	časová konstanta osy x polohového servopohonu
τ_y	[s]	časová konstanta osy y polohového servopohonu
ω	[rad/s]	úhlová rychlost
ψ	[rad]	úhlový úsek při interpolaci
ζ	[1]	poměrný útlum



Obr. 1.1 Fedrování otvoru NC strojem

1. Úvod

Cílem práce je sestavení modelu dvojosého NC stroje z náhradních modelů lineárního motoru podle literatury [3] a pomocí jednoduchých polohových servopohonů podle literatury [8]. Na tomto modelu pak simulovat objíždění kružnice daného poloměru a sledovat dráhu středu nástroje v závislosti na rozdílných dynamických poměrech v obou osách. Práce je uspořádána do několika kapitol.

V kapitole 2 je obecný pohled na interpolaci a vytváření trajektorií NC strojem.

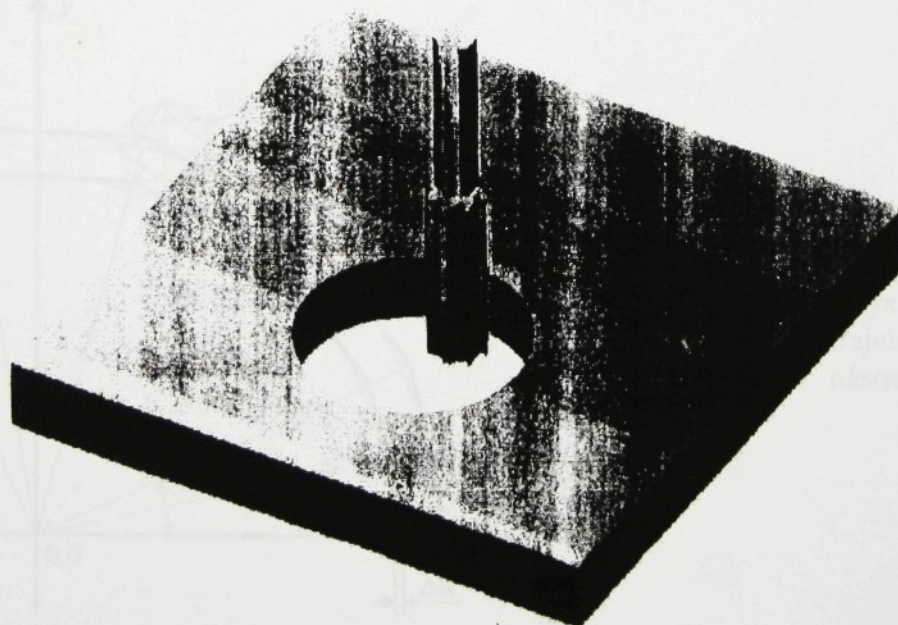
Kapitola č. 3 se zabývá vytvořením modelu NC stroje pomocí pohonu jednotlivých os lineárními motory. Je zde také vysvětleno použití zjednodušeného modelu lineárního pohonu podle literatury [3].

V kapitole č. 4 je uveden rozbor chyb tvaru kružnice při kruhové interpolaci podle literatury [8] a následné sestavení modelu NC stroje pomocí jednoduchých polohových servopohonů.

Kapitola č. 5 pojednává o provedených simulacích. Je zde uveden seznam výsledků simulací obou modelů i jejich následné porovnání.

V kapitole č. 6 je zmínka o měření kruhovitosti v praxi pomocí přístroje QC 10 renomované firmy Renishaw.

Pro názornost je zde uveden Obr. 1.1. Takto si lze představit modelovanou situaci. Nástroj NC stroje (fréza) vyrábí kruhový otvor v desce.



Obr. 2.1 Lineární interpolace kružnice

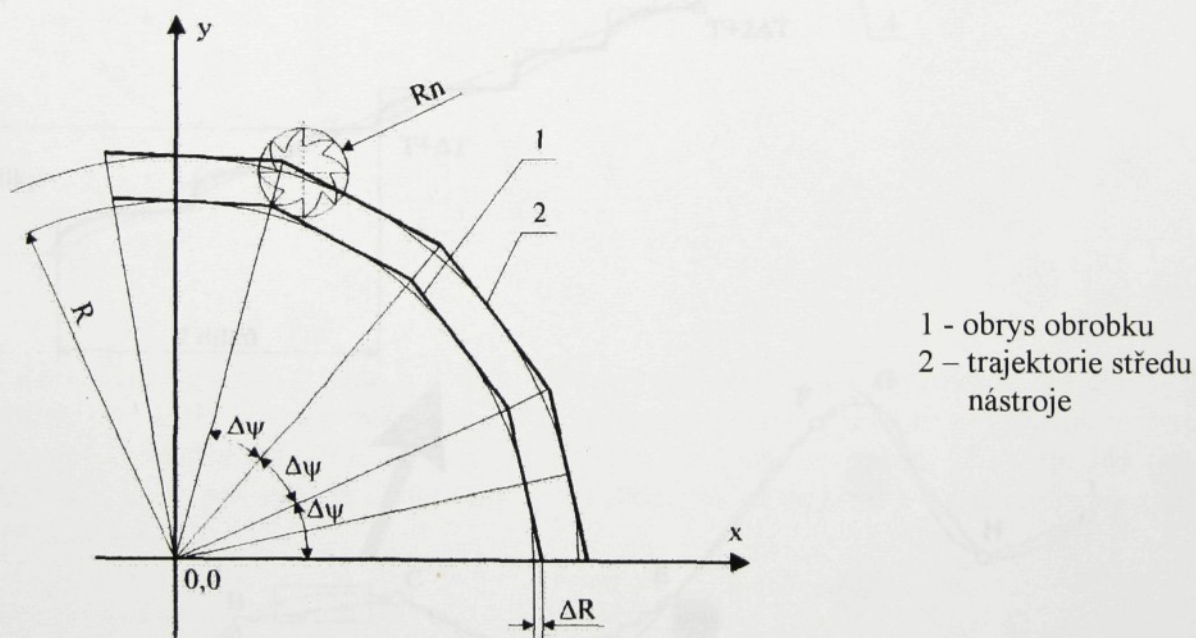
Obr. 1.1 Frézování otvoru NC strojem

2. Chyby vznikající při interpolaci kružnice na NC obráběcích strojích

Při každém obráběcím procesu se na hotové vyhovující součásti vyskytují odchylky od zadaného tvaru, které mohou nabývat velikosti dané tolerančními pásmy. Tyto chyby jsou způsobeny lépe nebo hůře postihnutelnými příčinami, které lze rozdělit na náhodné (např. otupení nástroje, rozptyl upnutí obrobku, tepelné deformace atd.) a systematické (např. chyba odměřování nebo montážní odchylky stroje). Mezi systematické chyby patří také chyby interpolace, z nichž některé budou uvedeny v této kapitole. Jsou to hustota náhrady přímkovými úseky při křivkové interpolaci, způsob generování přírůstků polohy a dynamika polohové smyčky.

2.1 Hustota náhrady při křivkové interpolaci

Princip vytváření složitějších trajektorií než přímkových je takový, že interpolátor danou křivku (např. kružnici) nahradí krátkými přímkovými úseky. Místo kružnice pak vznikne n-úhelník s danou maximální úchylkou na poloměru ΔR (viz. Obr. 2.1). Hustota nahrazení úsečkami se musí zvolit taková, aby tato úchylka nepřesáhla předepsanou toleranci.



Obr. 2.1 Lineární interpolace kružnice

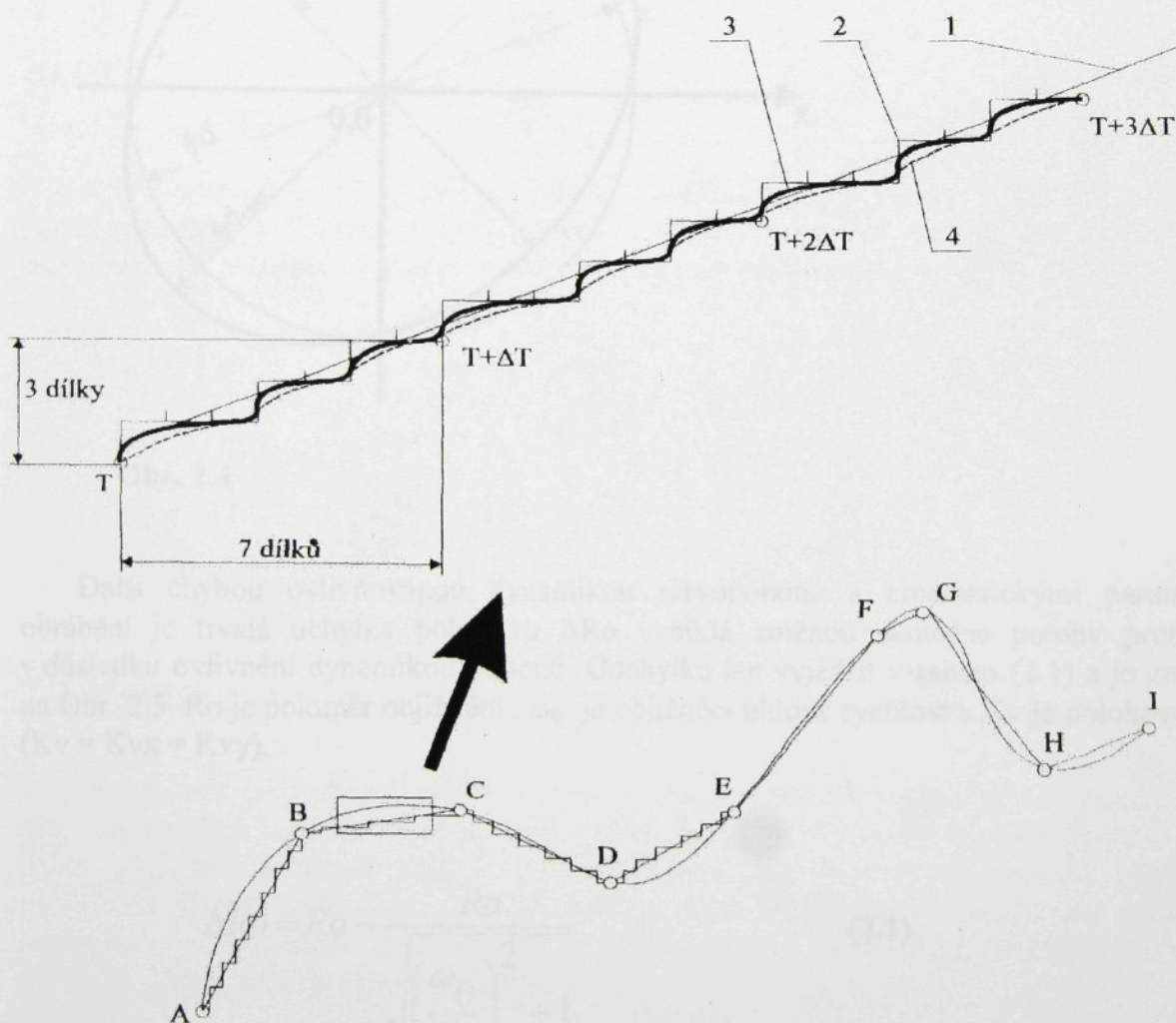
2.2 Způsob generování přírůstků polohy

Každá úsečka je při lineární interpolaci vytvářena vzájemnou kombinací přírůstků polohy v ose x a y. Ty jsou generovány interpolátory (viz. Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Interpolátor

Na interpolátor navazují mikrointerpolátory, které v rámci jednoho časového úseku (interpolace v pevném časovém rastru) generují přírůstky pro jednotlivé osy a vytvářejí tak přímkové nebo křivkové úseky programované dráhy. Pro vytvoření požadované nahrazující úsečky s jistým sklonem mikrointerpolátor např. vygeneruje v ose x 7 přírůstků a v ose y 3 a to za stejný časový úsek ΔT . To je znázorněno na Obr. 2.3, kde čára 1 je nahrazující úsečka prokládající křivku a 2 je schodovitá funkce tvořená přírůstky.

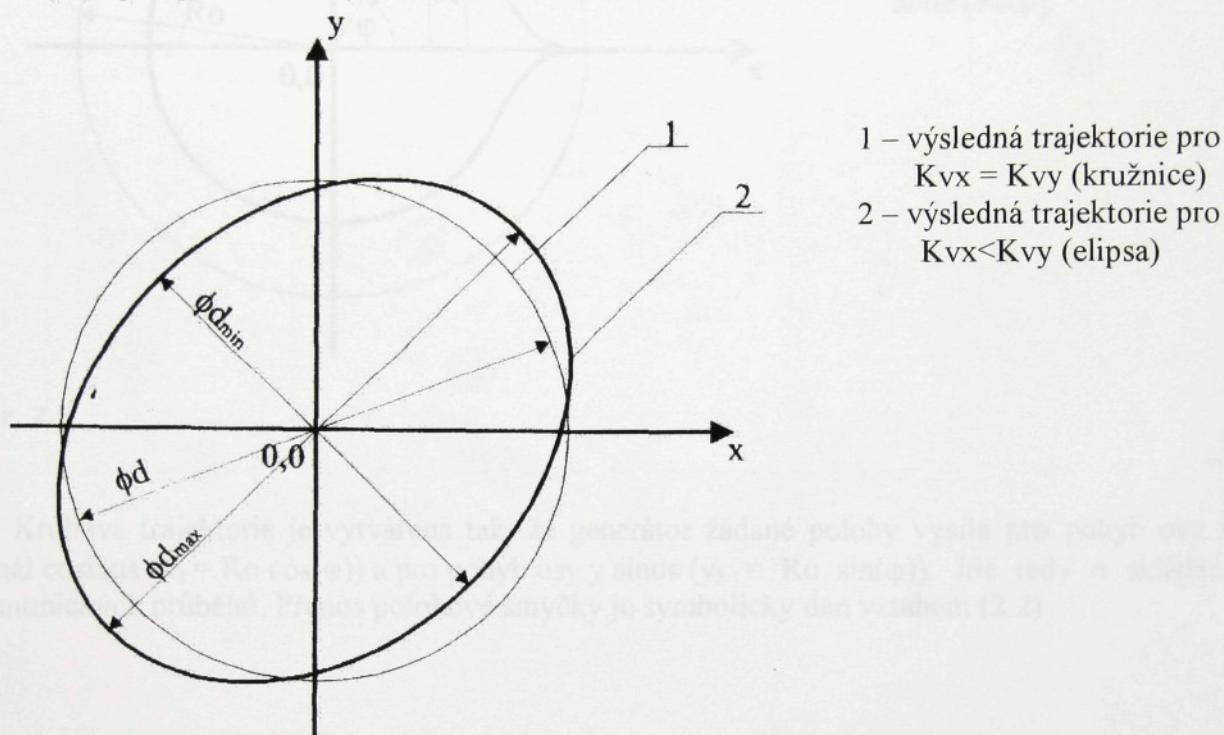


Obr. 2.3 Generování přírůstků polohy při interpolaci

2.3 Dynamika polohových smyček servopohonu

Žádanou dráhou v každém časovém úseku náhrady ΔT je úsečka. Tato trajektorie se však uskutečňuje s jistou odchylkou danou dynamikou polohových smyček servopohonů v jednotlivých osách. Tak vzniká vlnovitá dráha středu nástroje ozn. č. 3 na Obr. 2.3, kterou lze ovlivnit velikostí polohových zesílení K_{vx} a K_{vy} .

Konkrétně při kruhové interpolaci má dynamika polohových smyček přímý vliv na tvar výsledné kružnice. Při nestejně velikosti K_{vx} a K_{vy} vzniká místo kružnice elipsa. Na Obr. 2.4 je případ pro $K_{vx} < K_{vy}$.

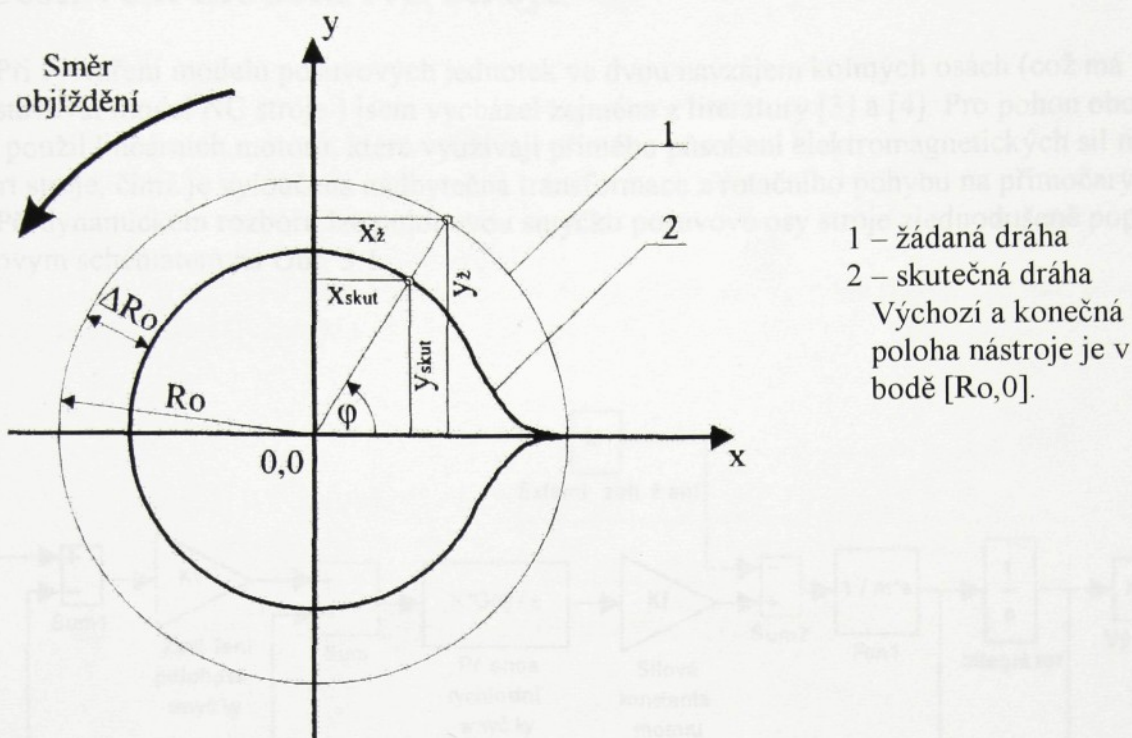


Obr. 2.4

Další chybou ovlivňovanou dynamikou servopohonu a kinematickými parametry při obrábění je trvalá úchylka poloměru ΔR_o vzniklá změnou skutečné polohy proti žádané v důsledku ovlivnění dynamikou pohonů. Odchylku lze vyjádřit vztahem (2.1) a je znázorněna na Obr. 2.5. R_o je poloměr objíždění, ω_0 je objížděcí úhlová rychlost a K_v je polohové zesílení ($K_v = K_{vx} = K_{vy}$).

$$\Delta R_o = R_o - \frac{R_o}{\sqrt{\left(\frac{\omega_0}{K_v}\right)^2 + 1}} \quad (2.1)$$

3. Sestavení modelu NC stroje



Obr. 2.5

Kruhová trajektorie je vytvářena tak, že generátor žádané polohy vysílá pro pohyb osy x signál kosinus ($x_z = R_0 \cos(\varphi)$) a pro pohyb osy y sinus ($y_z = R_0 \sin(\varphi)$). Jde tedy o skládání harmonických průběhů. Přenos polohové smyčky je symbolicky dán vztahem (2.2).

$$F(s) = \frac{X_{skut.}}{X_{žad.}} \quad (2.2)$$

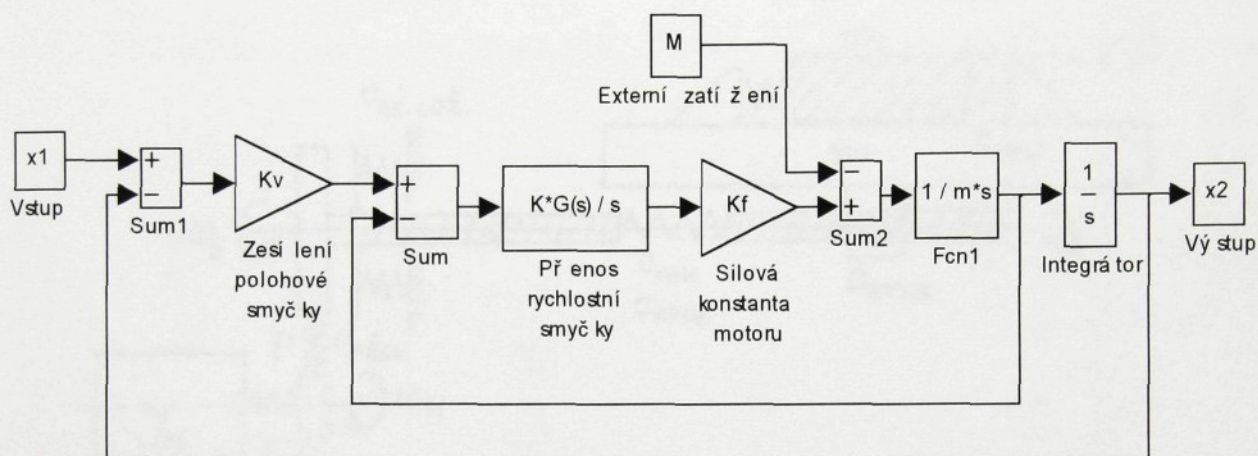
2.4 Vyhlažovací funkce nástroje

Interpolátor generuje schodovité funkce, které se vlivem dynamiky servopohonů zaoblí. Ty jsou pak trajektorií středu nástroje. Díky velikosti poloměru nástroje (o několik řádů větší než jeden přírůstek) se nepřenáší do tvaru obrobku, ale přetváří se v daleko plošší křivku označenou číslem 4 na Obr. 2.3. Důsledkem toho je, že chyba způsobená schodovitostí interpolace je pro běžné průměry fréz a poloměry ostří nožů a pro používané elementární přírůstky dráhy nástroje zanedbatelně malá.

3. Sestavení modelu NC stroje

Při vytváření modelu posuvových jednotek ve dvou navzájem kolmých osách (což má představovat model NC stroje) jsem vycházel zejména z literatury [3] a [4]. Pro pohon obou os jsem použil lineárních motorů, které využívají přímého působení elektromagnetických sil na suport stroje, čímž je vyloučena nadbytečná transformace z rotačního pohybu na přímočarý.

Při dynamickém rozboru lze polohovou smyčku posuvové osy stroje zjednodušeně popsat blokovým schématem na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Blokové schéma lineárního motoru

Vnitřní rychlostní smyčka s PI-regulátorem má zesílení

$$K_R = K * K_F / m \quad [1/s^2] \quad \dots \text{zesílení rychlostní smyčky}$$

K [A/m] ... celkové proporcionální zesílení v PI regulátoru rychlosti a v regulačním obvodu proudu

m [kg] ... hmotnost motoru se suportem

$G(s)$... kmitočtově závislý přenos, v němž jsou soustředěny všechny dynamické členy

Někdy se přenos PI regulátoru zapisuje ve tvaru $K_P (1 + 1/T_N s)$, takže $K = K_P / T_N$ a rozměry konstant jsou :

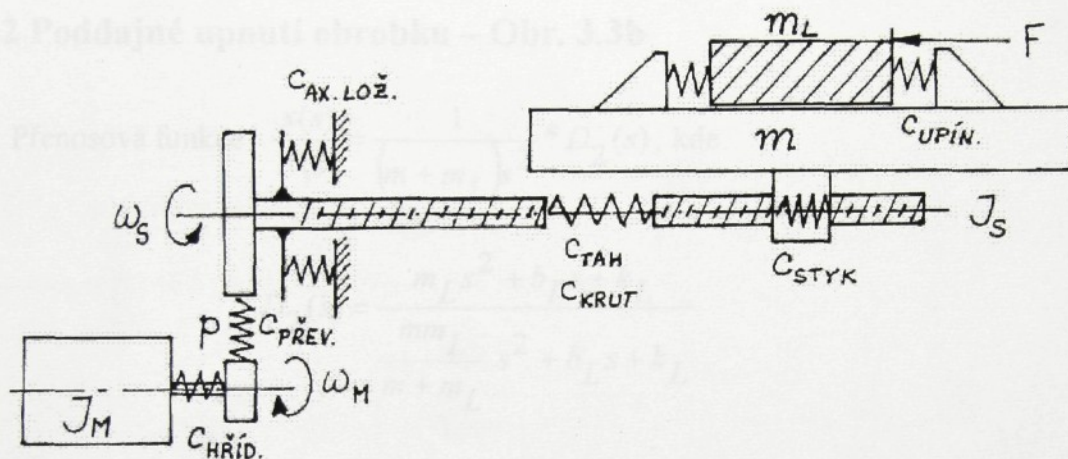
K_P [As / m] ... proporcionální zesílení

T_N [s] ... integrační časová konstanta

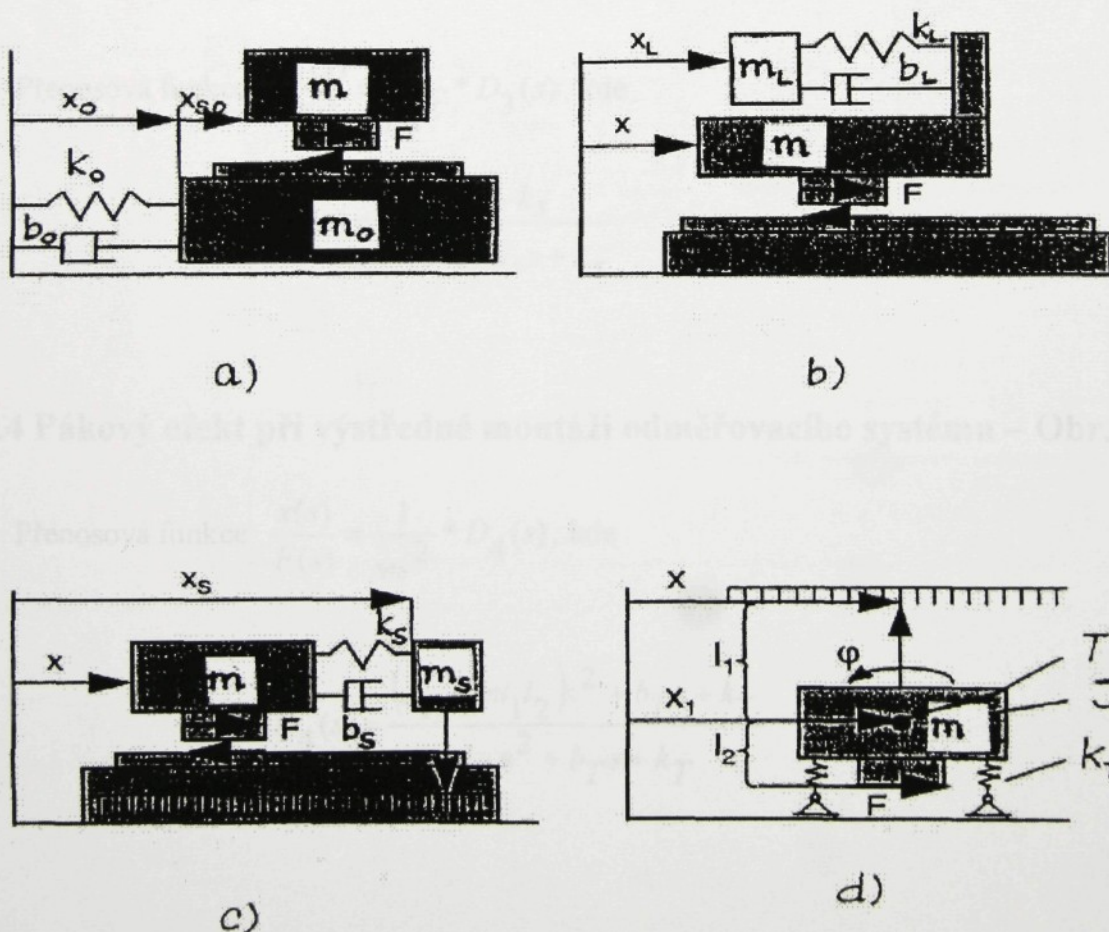
3.1 Interakce stroje a přímého pohonu

Klasická NC osa s kuličkovým šroubem představovala víceřadový systém s výraznými poddajnostmi, jejichž rozmístění na stroji je zjednodušeně znázorněno na Obr. 3.2. Mechanické prvky sice omezovaly dosažitelné zesílení polohové smyčky K_v , zachycovaly však zpětné působení řezných sil a rázů na motor, čímž působily příznivě na dynamickou poddajnost. U přímého pohonu je toto zpětné silové působení bezprostřední a musí být eliminováno velmi rychlou a kvalitní regulací s hodnotami K_v o řád vyššími.

Při použití lineárních motorů vystupují do popředí poddajnosti dříve nepodstatné, jak ukazují zjednodušené dynamické modely na Obr. 3.3.



Obr. 3.2



Obr. 3.3

3.1.1 Uložení rámu stroje na základy – Obr. 3.3a

Přenosová funkce $\frac{x_{SO}(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2} * D_1(s)$, kde

$$D_1(s) = \frac{(m + m_0)s^2 + b_0s + k_0}{m_0s^2 + b_0s + k_0}$$

3.1.2 Poddajné upnutí obrobku – Obr. 3.3b

Přenosová funkce $\frac{x(s)}{F(s)} = \frac{1}{(m + m_L)s^2} * D_2(s)$, kde

$$D_2(s) = \frac{m_Ls^2 + b_Ls + k_L}{\frac{mm_L}{m + m_L}s^2 + b_Ls + k_L}$$

3.1.3 Pružné připojení odměřovacího systému – Obr. 3.3c

Přenosová funkce $\frac{x_S(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2} * D_3(s)$, kde

$$D_3(s) = \frac{b_Ss + k_S}{m_Ss^2 + b_Ss + k_S}$$

3.1.4 Pákový efekt při výstředné montáži odměřovacího systému – Obr. 3.3d

Přenosová funkce $\frac{x(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2} * D_4(s)$, kde

$$D_4(s) = \frac{(J_T - ml_1l_2)s^2 + b_Ts + k_T}{J_Ts^2 + b_Ts + k_T}$$

3.2 Vytvoření modelu jedné osy NC stroje

Protože, jak je dokázáno v literatuře [3], největší vliv na stabilitu soustavy má poddajné upnutí odměřovacího systému, pro vytvoření simulačního schématu jsme použili tohoto modelu podle Obr.3.3c. Použité parametry byly převzaty z literatury [3]:

hmotnost pohyblivých částí osy Y	$m_Y = 330 \text{ [kg]}$
hmotnost pohyblivých částí osy X	$m_X = 250 \text{ [kg]}$
hmotnost jezdce	$m_s = 0,5 \text{ [kg]}$
kmitočet uchycení jezdce	$f_s = 1000 \text{ [Hz]}$

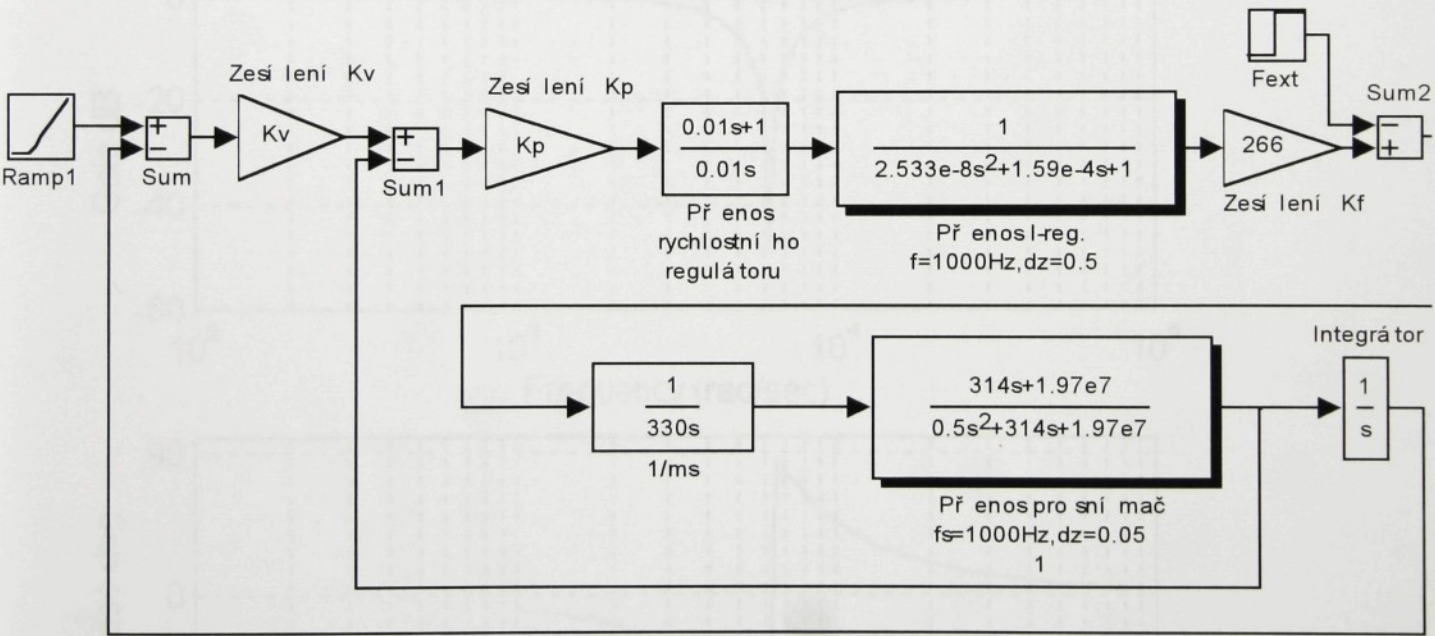
Ostatní konstanty vypočteme pomocí známých vztahů:

$$k = \omega^2 m \quad \text{kde} \quad \omega = 2\pi f \quad b = 2\zeta \sqrt{km}$$

poměrné tlumení budeme uvažovat $\zeta = 0,05$

- pro poddajné upnutí odměřovacího systému:

$$D_3(s) = \frac{314s + 1,97 \cdot 10^7}{0,5s^2 + 314s + 1,97 \cdot 10^7}$$



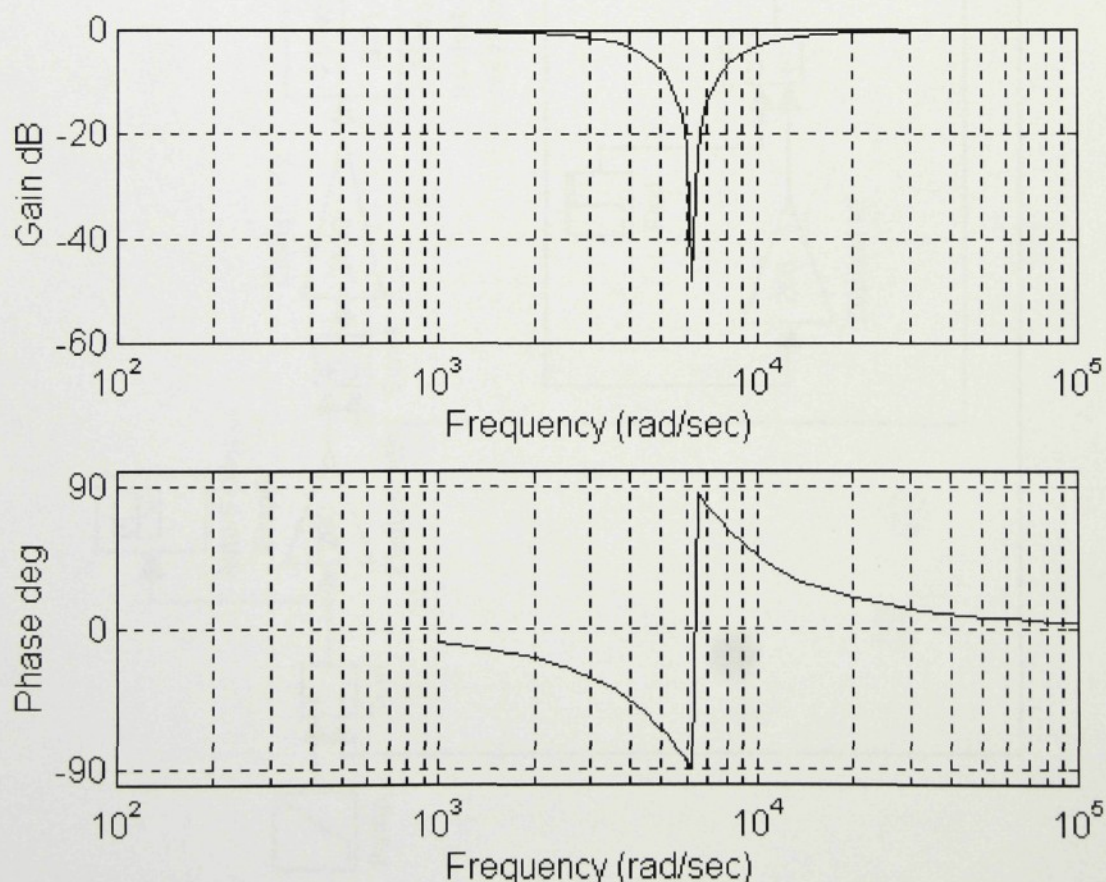
Obr. 3.4 Simulační schéma pohybové osy Y stolu

Na Obr. 3.4 je zobrazeno simulační schéma pohybové osy Y stolu. Proudová smyčka je nahrazena přenosem 2. řádu na frekvenci 1000 Hz a s tlumením $\zeta = 0.5$, integrační časová konstanta regulátoru rychlosti $T_N = 0.01\text{s}$, silová konstanta $K_F = 266 \text{ [N/A]}$. Při naladění rychlostní smyčky z Obr. 3.4 jsme zjistili, že hodnoty konstant K_P a K_V jsou malé. Abychom dosáhli vyšších hodnot K_P a K_V zařadíme do blokového schématu mezi PI – regulátor rychlosti a regulátor proudu *filtr*. Filtr slouží k potlačení rezonančního převýšení („špiček“) „parazitních“ přenosů. Zde může posloužit např. úzkopásmový filtr s přenosem

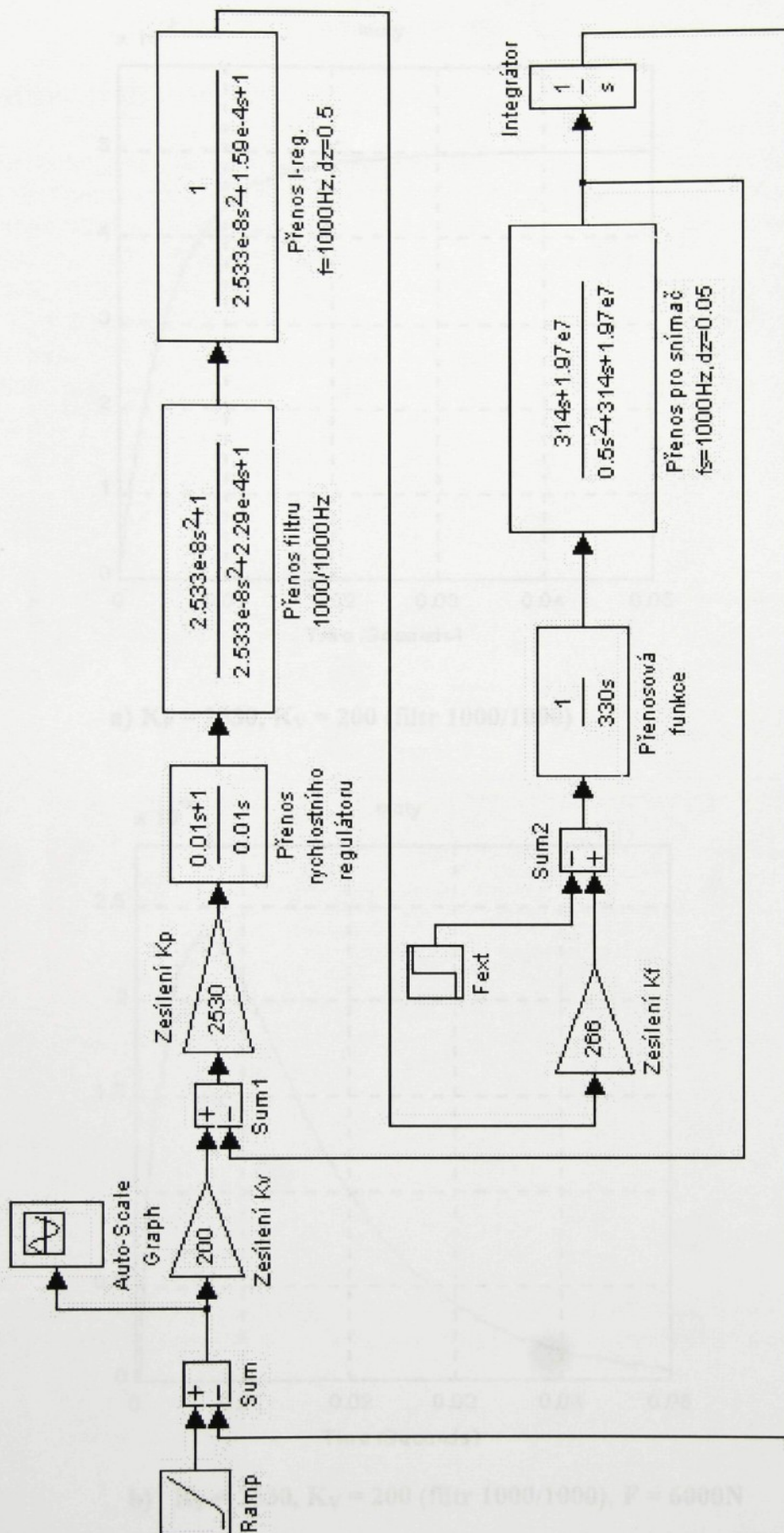
$$F_F(s) = \frac{\left(\frac{s^2}{\omega_{F1}^2} + 1 \right)}{\left(\frac{s^2}{\omega_{F2}^2} + \frac{\sqrt{2}}{\omega_{F2}} s + 1 \right)}$$

Nejčastěji se tento filtr používá pro případ $\omega_{F1} = \omega_{F2}$. Frekvenční charakteristika tohoto filtru je na Obr.3.5. Jedná se o tzv. filtr **typ 1000/1000 Hz** s přenosem

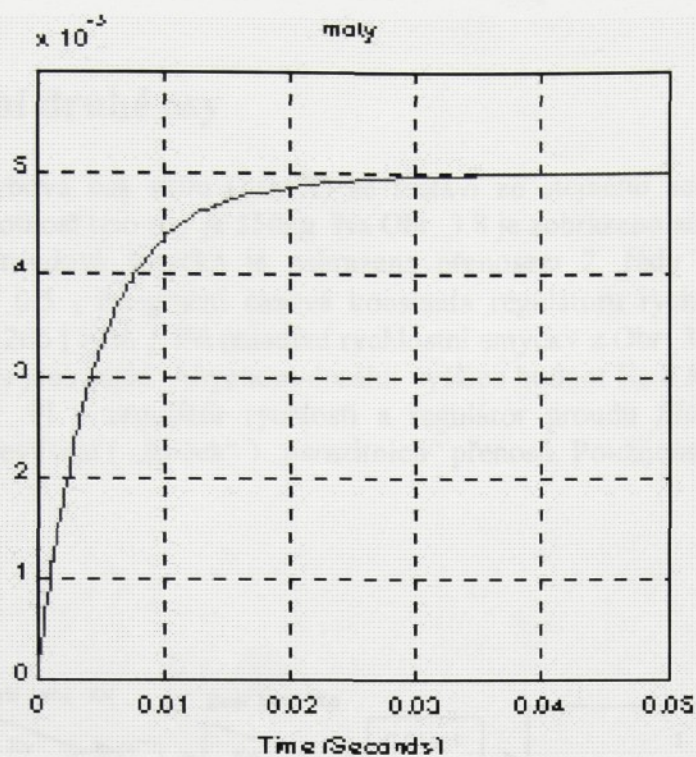
$$F_F(s) = \frac{1/6280^2 s^2 + 1}{1/6280^2 s^2 + 1.4/6280 s + 1}$$



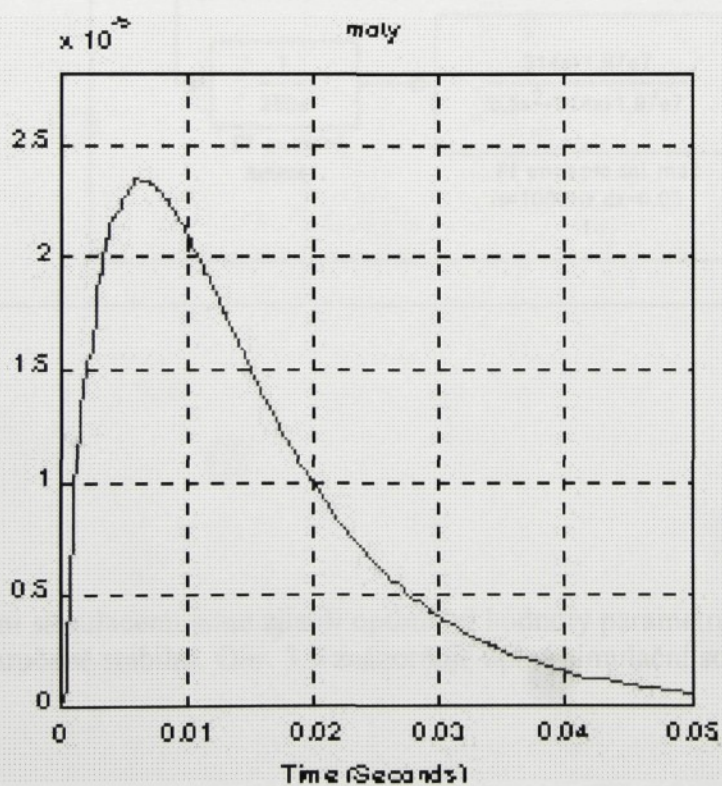
Obr. 3.5 Frekvenční charakteristika filtru 1000/1000Hz



Obr. 3.6 Úplné simulační schéma pohybové osy Y stolu



a) $K_P = 2530$, $K_V = 200$ (filtr 1000/1000)



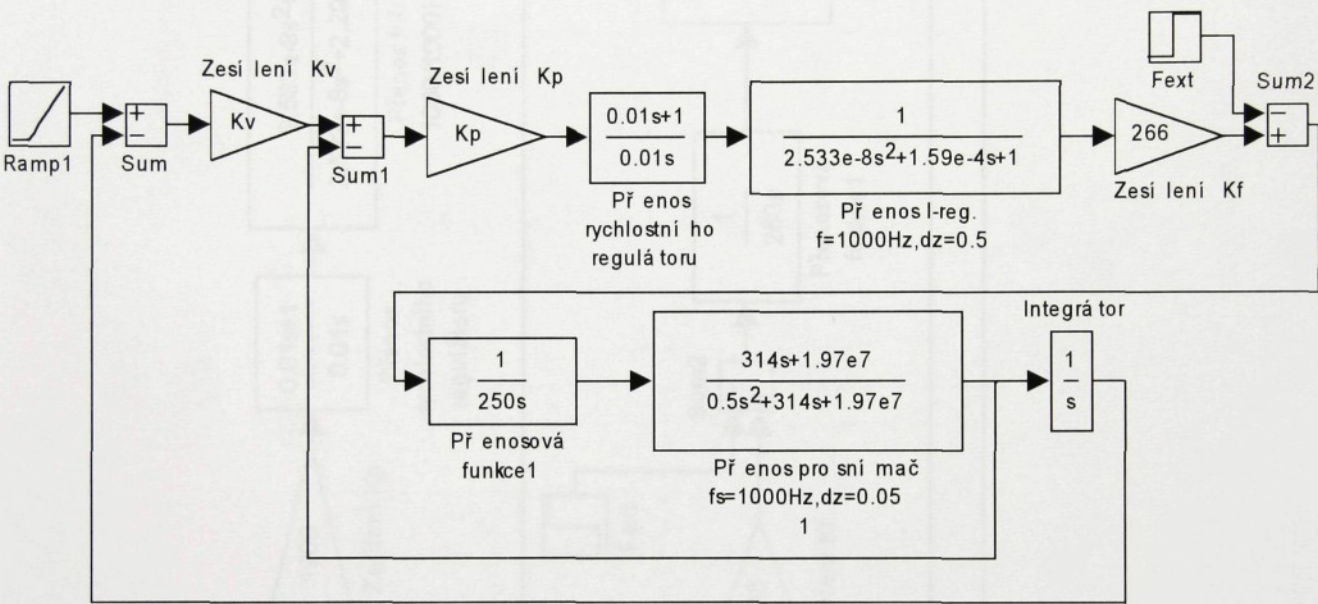
b) $K_P = 2530$, $K_V = 200$ (filtr 1000/1000), $F = 6000N$

Obr. 3.7

- a) odezva polohové smyčky na rampu polohy
b) odezva polohové smyčky na skok zatížení

3.3 Sestavení druhé osy

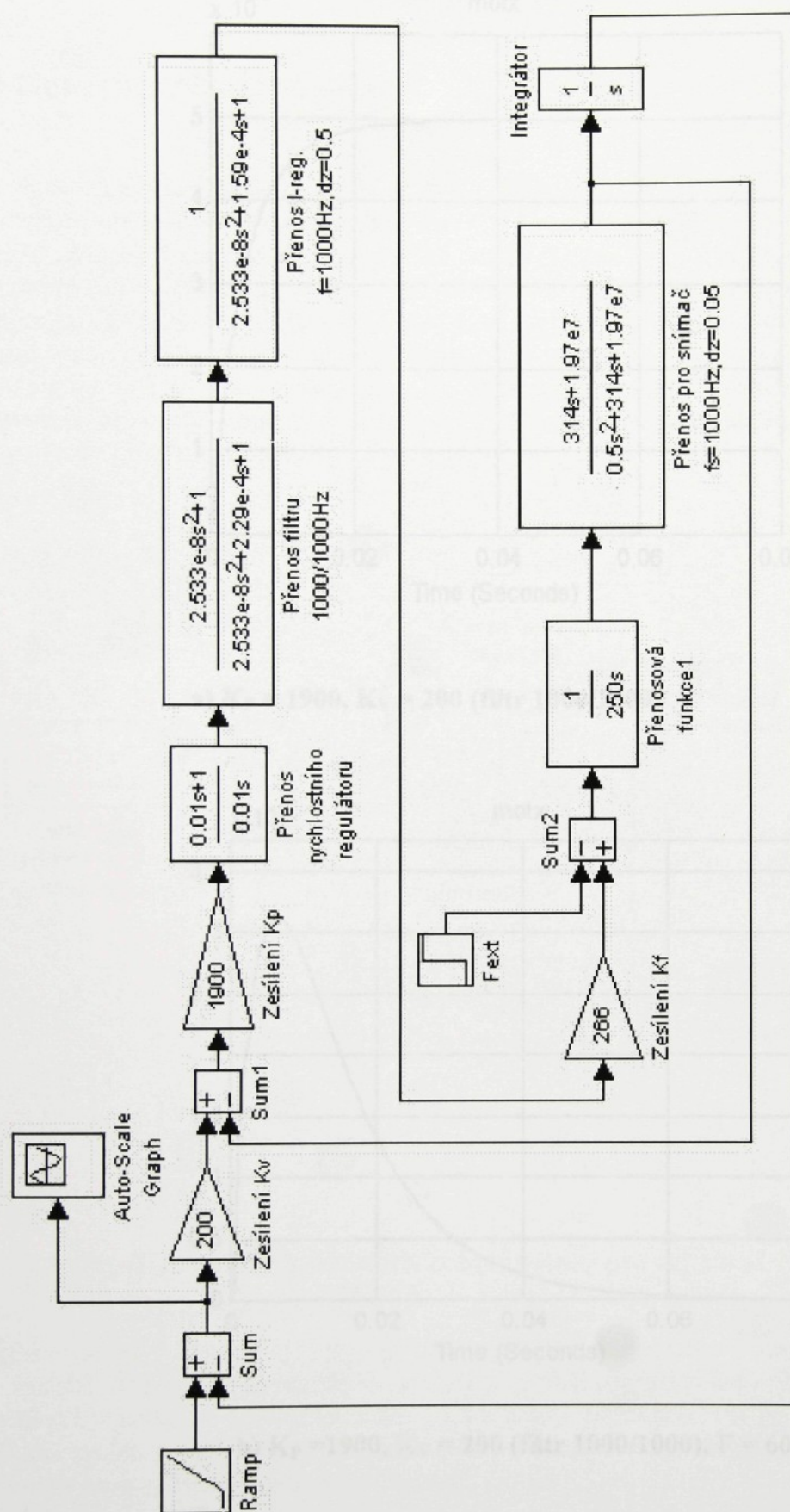
Druhá pohybová osa stolu (osa X) se sestaví ze stejného schématu jako osa Y s tím rozdílem, že hmotnost této osy je 250kg. Na Obr. 3.8 je zobrazeno simulační schéma pohybové osy X stolu. Proudová smyčka je nahrazena přenosem 2. řádu na frekvenci 1000 Hz a s tlumením $\zeta = 0.5$, integrační časová konstanta regulátoru rychlosti $T_N = 0.01s$, silová konstanta $K_F = 266$ [N/A]. Při naladění rychlostní smyčky z Obr. 3.8 jsme zjistili, že hodnoty konstant K_P a K_V jsou malé. Abychom dosáhli vyšších hodnot K_P a K_V zařadíme do blokového schématu mezi PI – regulátor rychlosti a regulátor proudu *filtr*. Filtr slouží k potlačení rezonančního převýšení („špiček“) „parazitních“ přenosů. Použijeme stejný úzkopásmový filtr jako u osy Y.



Obr. 3.8

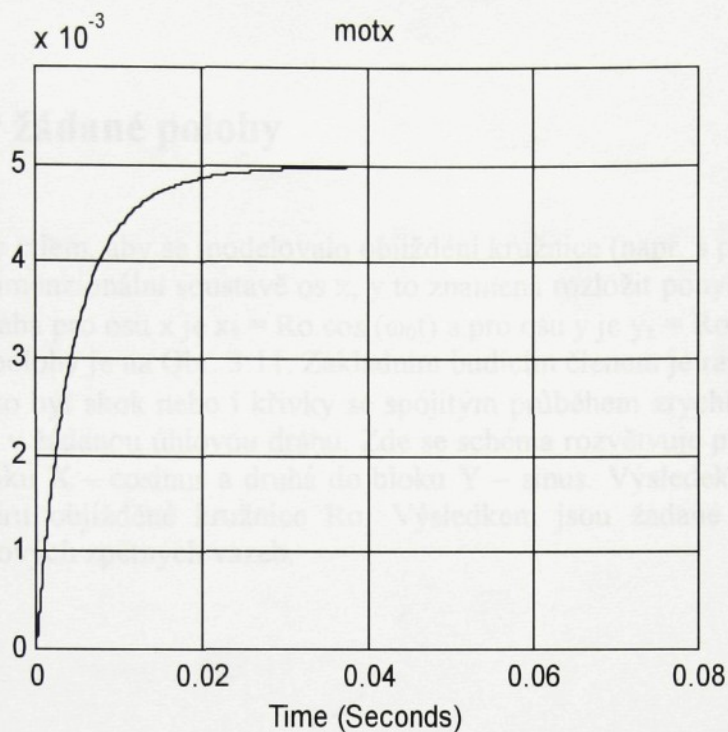
Provedenými simulacemi jsme zjistili optimální hodnoty parametrů K_P a K_V tak, aby soustava byla zaručeně stabilní. Obr. 3.9 znázorňuje úplné simulační schéma osy X.

Obr. 3.9 Úplné simulační schéma pohybové osy X stolu

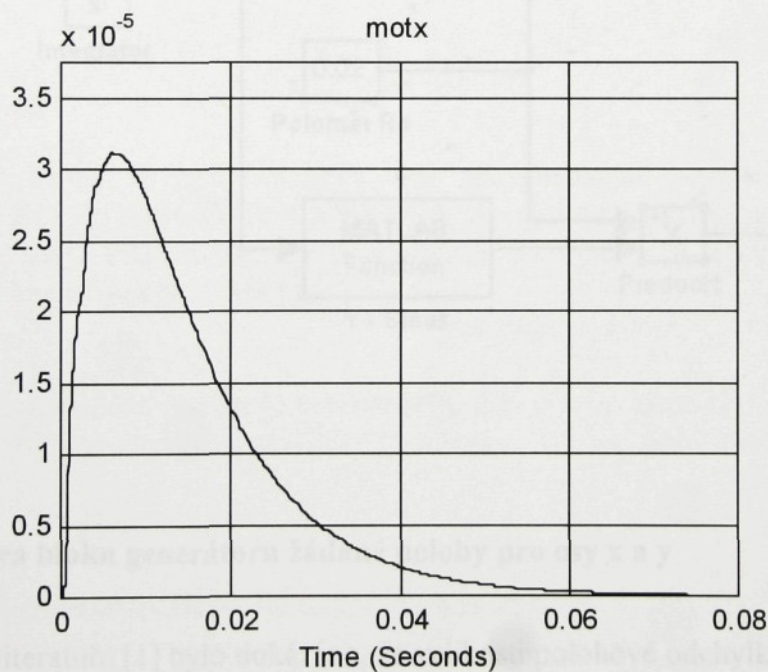


Obr. 3.10 a) odezva polohové smyčky na rampu polohy
b) odezva polohové smyčky na skok zatížení

Obr. 3.9 Úplné simulační schéma pohybové osy X stolu



a) $K_P = 1900$, $K_V = 200$ (filtr 1000/1000)



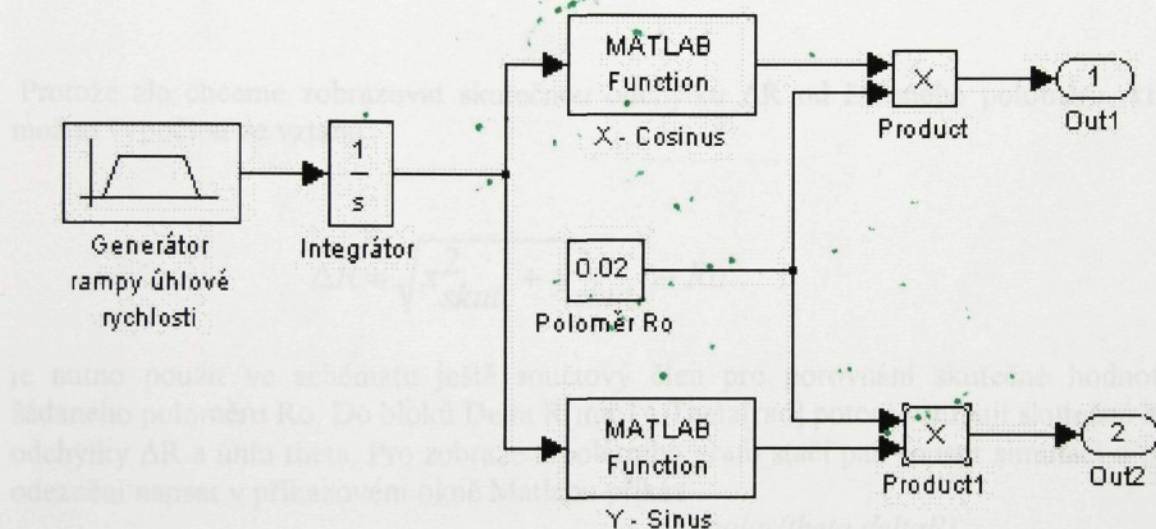
b) $K_P = 1900$, $K_V = 200$ (filtr 1000/1000), $F = 6000N$

Obr. 3.10

- a) odezva polohové smyčky na rampu polohy
b) odezva polohové smyčky na skok zatížení

3.4 Generátor žádané polohy

Podle zadání je cílem, aby se modelovalo objíždění kružnice (např. s poloměrem R_0). V pravouhlé dvoudimenzionální soustavě os x , y to znamená rozložit pohyb do harmonických průběhů. Žádaná dráha pro osu x je $x_z = R_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$ a pro osu y je $y_z = R_0 \cdot \sin(\omega_0 t)$. Struktura generátoru žádané polohy je na Obr. 3.11. Základním budícím členem je rampa žádané úhlové rychlosti ω (může to být skok nebo i křivky se spojitým průběhem zrychlení). Integrováním členem $1/s$ se mění v žádanou úhlovou dráhu. Zde se schéma rozvětzuje pro osu x a y . Jedna větev putuje do bloku $X - \cosinus$ a druhá do bloku $Y - \sinus$. Výsledek se ještě pronásobí konstantou poloměru objížděné kružnice R_0 . Výsledkem jsou žádané polohy os x a y vstupující do polohových zpětných vazeb.



Obr. 3.11 Struktura bloku generátoru žádané polohy pro osy x a y

Simulacemi v literatuře [1] bylo dokázáno, že velikosti polohové odchylky ΔR jsou stejné pro buzení rampou i křivkami se spojitým průběhem zrychlení. Rozdíly se projevují v rychlosti, s jakou se křivky ke zmenšené kružnici přimknou. Při průměrných hodnotách objížděcí rychlosti jsou ovšem tyto rozdíly zanedbatelné. Proto je při dalších experimentech používána rampa, která je simulačně nejméně náročná.

3.5 Sběr výstupních dat

Jelikož je simulováno objíždění kružnice, je pro zobrazení výsledku vhodný polární graf. Na celkovém obrázku modelu (Obr.3.12) je ikona *Cartesian to Polar*, do které vstupují skutečné polohy suportů os x a y. Z ní vychází skutečné polohy suportů obou os přetransformované do polárních souřadnic podle vztahů:

$$R = \sqrt{x_{skut.}^2 + y_{skut.}^2}$$

$$Theta = \arctan\left(\frac{y_{skut.}}{x_{skut.}}\right)$$

Protože ale chceme zobrazovat skutečnou odchylku ΔR od žádaného poloměru, kterou je možno vypočítat ze vztahu

$$\Delta R = \sqrt{x_{skut.}^2 + y_{skut.}^2} - R_o$$

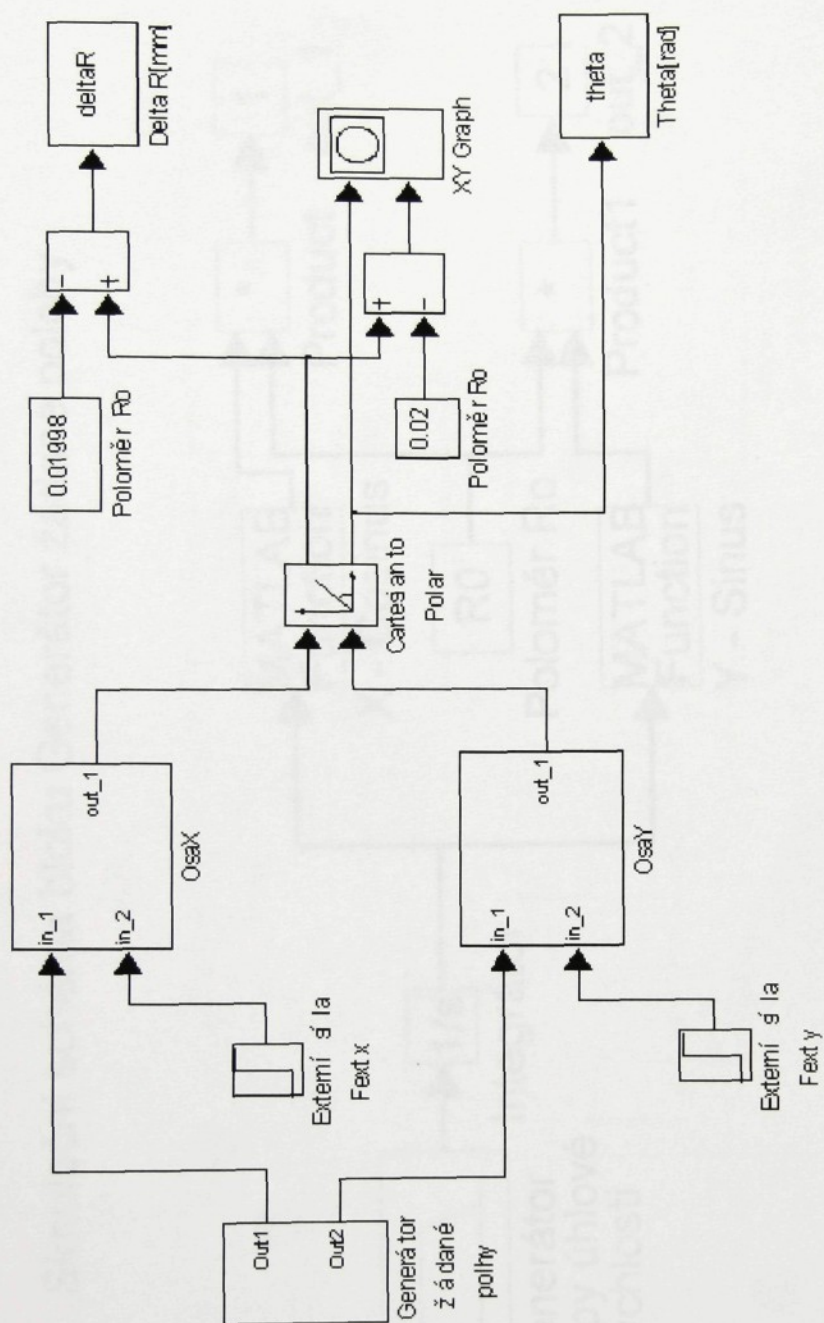
je nutno použít ve schématu ještě součtový člen pro porovnání skutečné hodnoty R a žádaného poloměru R_o . Do bloků Delta R[mm] a Theta[rad] potom vstupují skutečné hodnoty odchylky ΔR a úhlu theta. Pro zobrazení polárního grafu stačí pak spustit simulaci a po jejím odeznění napsat v příkazovém okně Matlabu příkaz

polar(theta,deltaR)

Pro větší názornost výsledných dat je schéma ještě doplněno o blok *XY Graph*, který nám při spuštění simulace vytvoří graf závislosti odchylky ΔR na úhlu theta v kartézských souřadnicích.

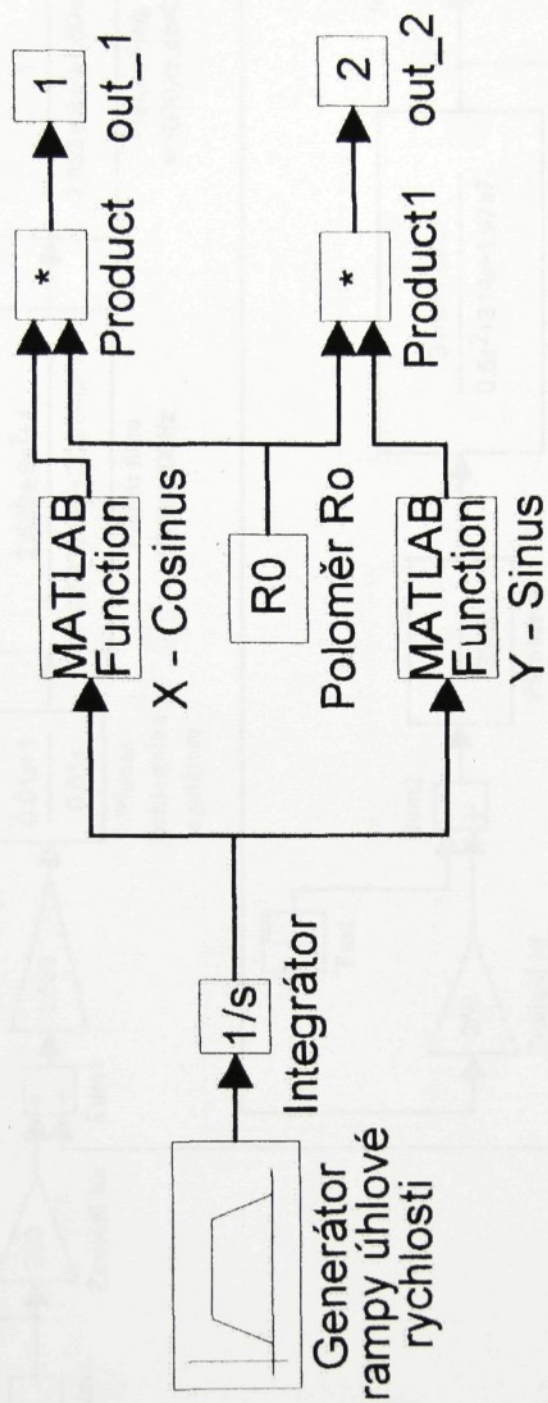
3.6 Kompletní simulační schéma NC stroje

Na následujících stranách jsou pro lepší orientaci vytisknuta všechna simulační schémata modelu NC stroje. V této podobě byl model použit pro další simulace.

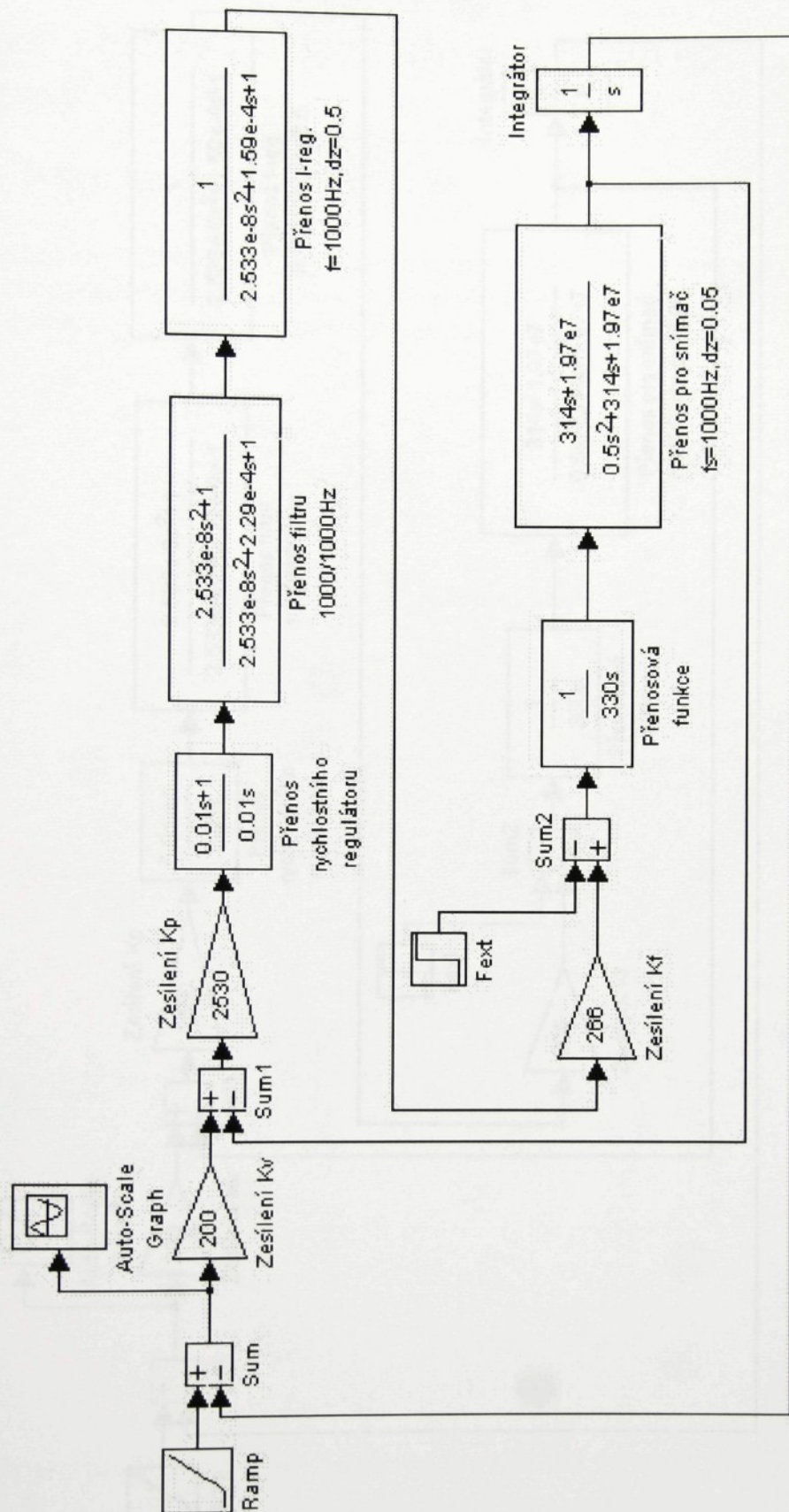


Obr. 3.12 NC stroj

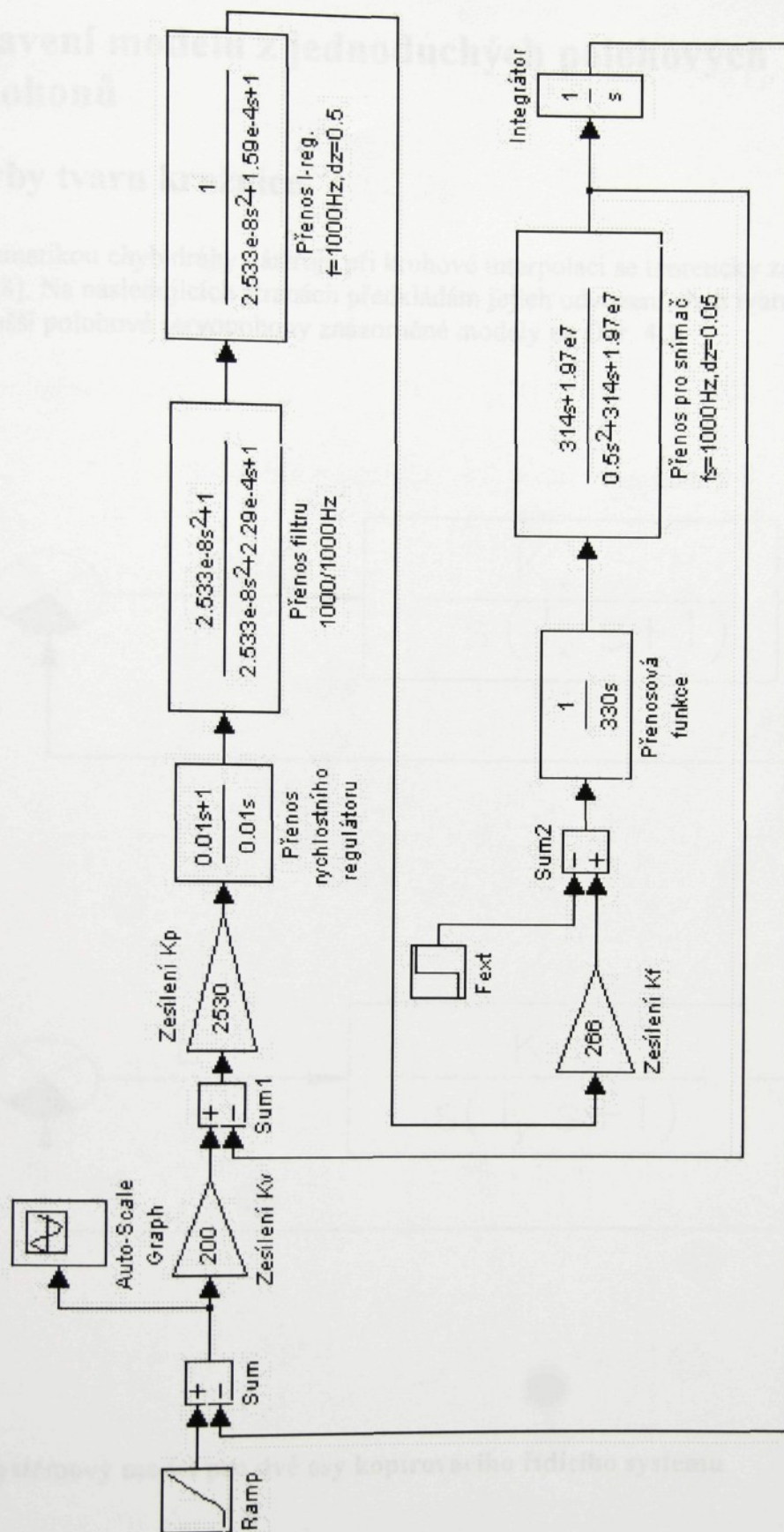
Simulační schéma bloku Generátor žádané polohy



Obr. 3.13 Generátor žádané polohy



Obr. 3.14 Osa X

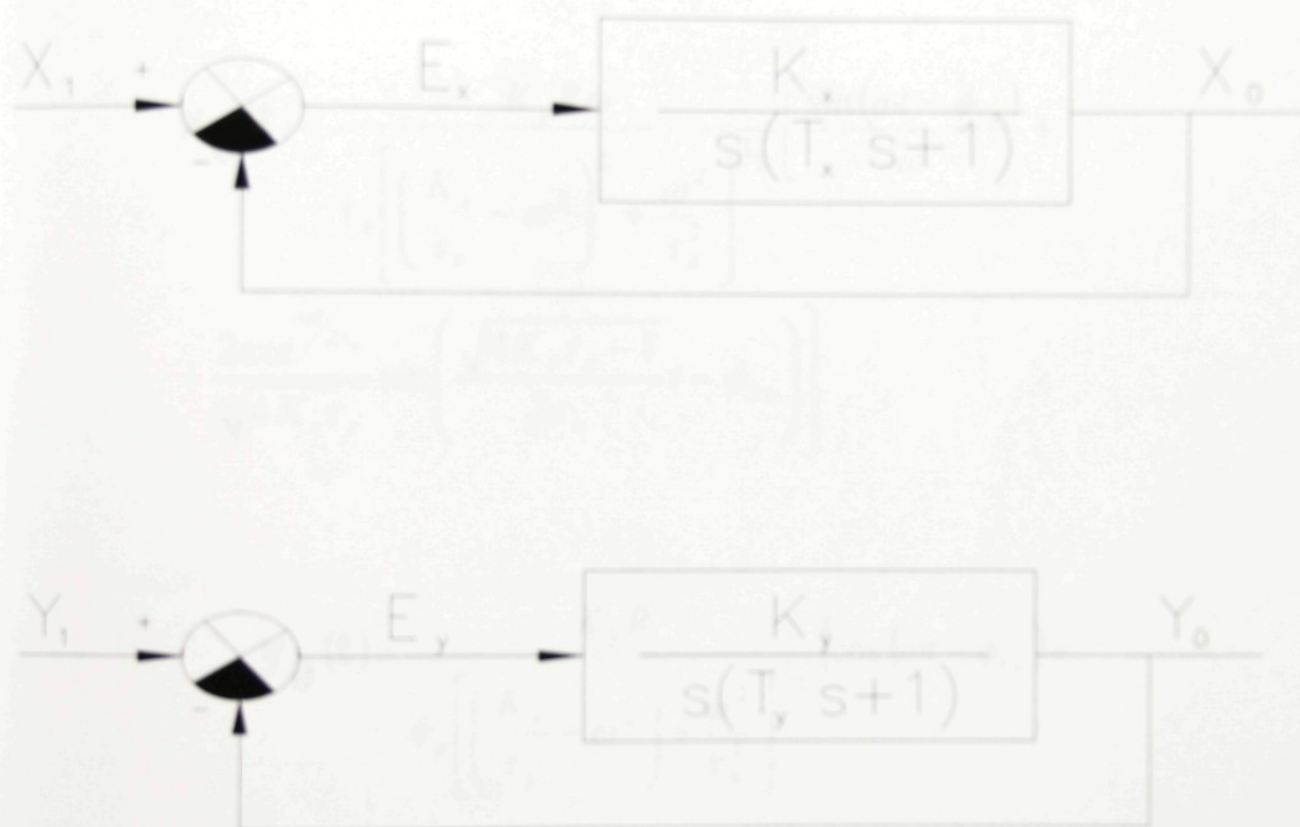


Obr. 3.15 Osa Y

4. Sestavení modelu z jednoduchých polohových servopohonů

4.1 Chyby tvaru kružnice

Problematikou chyb dráhy nástroje při kruhové interpolaci se teoreticky zabývali autoři literatury [8]. Na následujících stranách předkládám jejich odvození chyb tvaru kružnice pro nejjednodušší polohové servopohony znázorněné modely na Obr. 4.1.



Obr. 4.1 Systémový model pro dvě osy kopírovacího řídicího systému

Vztahy jsou odvozeny pro požadovanou kružnici o poloměru R a konstantní úhlovou rychlost ω . Vstupní hodnoty jsou:

$$x_i(t) = R \sin(\omega t)$$

$$y_i(t) = R \cos(\omega t)$$

a počáteční podmínky: $x_0(0) = \dot{x}_0(0) = \dot{y}_0(0) ; \quad y_0(0) = R$

Pro podtlumený systém ($\zeta_x, \zeta_y < 1$) je odezva soustavy:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_0(t) = & \frac{K_x R \omega}{\tau_x \left[\left(\frac{K_x}{\tau_x} - \omega^2 \right)^2 + \frac{\omega^2}{\tau_x^2} \right]^{1/2}} \left[\frac{\sin(\omega t - \phi_{1x})}{\omega} + \right. \\ & \left. + \frac{2\tau_x e^{-t/2\tau_x}}{\sqrt{4K_x \tau_x}} \sin \left(\frac{\sqrt{4K_x \tau_x - 1}}{2\tau_x} t - \phi_{2x} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\mathbf{y}_0(t) = \frac{K_y R}{\tau_y \left[\left(\frac{K_y}{\tau_y} - \omega^2 \right)^2 + \frac{\omega^2}{\tau_y^2} \right]^{1/2}} \left[\cos(\omega t - \phi_{1y}) + \right.$$

$$\left. \frac{2\sqrt{K_y \tau_y} e^{-t/2\tau_y}}{\sqrt{4K_y \tau_y - 1}} \sin \left(\frac{\sqrt{4K_y \tau_y - 1}}{2\tau_y} t - \phi_{2y} \right) \right] +$$

$$+ \frac{2R\sqrt{K_y \tau_y}}{\sqrt{4K_y \tau_y - 1}} e^{-t/2\tau_y} \sin \left(\frac{\sqrt{4K_y \tau_y - 1}}{2\tau_y} t + \phi_{3y} \right)$$

kde:

$$\phi_{1x} = \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{K_x - \tau_x \omega^2} \right)$$

$$\phi_{2x} = \tan^{-1} \left(\frac{-4\sqrt{K_x \tau_x - 1}}{2\tau_x^2 \omega^2 - 2K_x \tau_x + 1} \right)$$

$$\phi_{1y} = \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{K_y - \tau_y \omega^2} \right)$$

$$\phi_{2y} = -\tan^{-1} \left(\frac{4\sqrt{K_y \tau_y - 1}}{-1} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{4\sqrt{K_y \tau_y - 1}}{2\tau_y^2 \omega^2 - 2K_y \tau_y + 1} \right)$$

$$\phi_{3y} = \tan^{-1} \left(\sqrt{4K_y \tau_y - 1} \right)$$

Pro přetlumený systém ($\zeta_x, \zeta_y > 1$) je odezva soustavy:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_0(t) = & \frac{K_x R \omega}{\tau_x} \left[\frac{\tau_x e^{-a_x t}}{(1 - 4K_x \tau_x)^{1/2} (a_x^2 + \omega^2)} - \right. \\ & - \frac{\tau_x e^{-b_x t}}{(1 - 4K_x \tau_x)^{1/2} (b_x^2 + \omega^2)} + \\ & \left. + \frac{\sin(\omega t - b_x)}{\omega [(a_x^2 + \omega^2)(b_x^2 + \omega^2)]^{1/2}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_0(t) = & \frac{K_y R}{\tau_y} \left[\frac{-\tau_y a_y e^{-a_y t}}{(1 - 4K_y \tau_y)^{1/2} (a_y^2 + \omega^2)} + \right. \\
 & + \frac{\tau_y b_y e^{-b_y t}}{(1 - 4K_y \tau_y)^{1/2} (b_y^2 + \omega^2)} + \\
 & \left. + \frac{\cos(\omega t - \beta_y)}{[(a_y^2 + \omega^2)(b_y^2 + \omega^2)]^{1/2}} \right] + \\
 & + \frac{R \tau_y (b_y e^{-b_y t} - a_y e^{-a_y t}) + R(e^{-a_y t} - e^{-b_y t})}{(1 - 4K_y \tau_y)^{1/2}}
 \end{aligned}$$

kde:

$$\beta_x = \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{a_x} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{b_x} \right)$$

$$\beta_y = \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{a_y} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{b_y} \right)$$

$$a_x = \frac{1}{2\tau_x} (1 - \sqrt{1 - 4K_x \tau_x})$$

$$b_x = \frac{1}{2\tau_x} (1 + \sqrt{1 - 4K_x \tau_x})$$

$$a_y = \frac{1}{2\tau_y} (1 - \sqrt{1 - 4K_y \tau_y})$$

$$b_y = \frac{1}{2\tau_y} (1 + \sqrt{1 - 4K_y \tau_y})$$

Radiální odchylku $e_r(t)$ lze vypočítat ze vztahu:

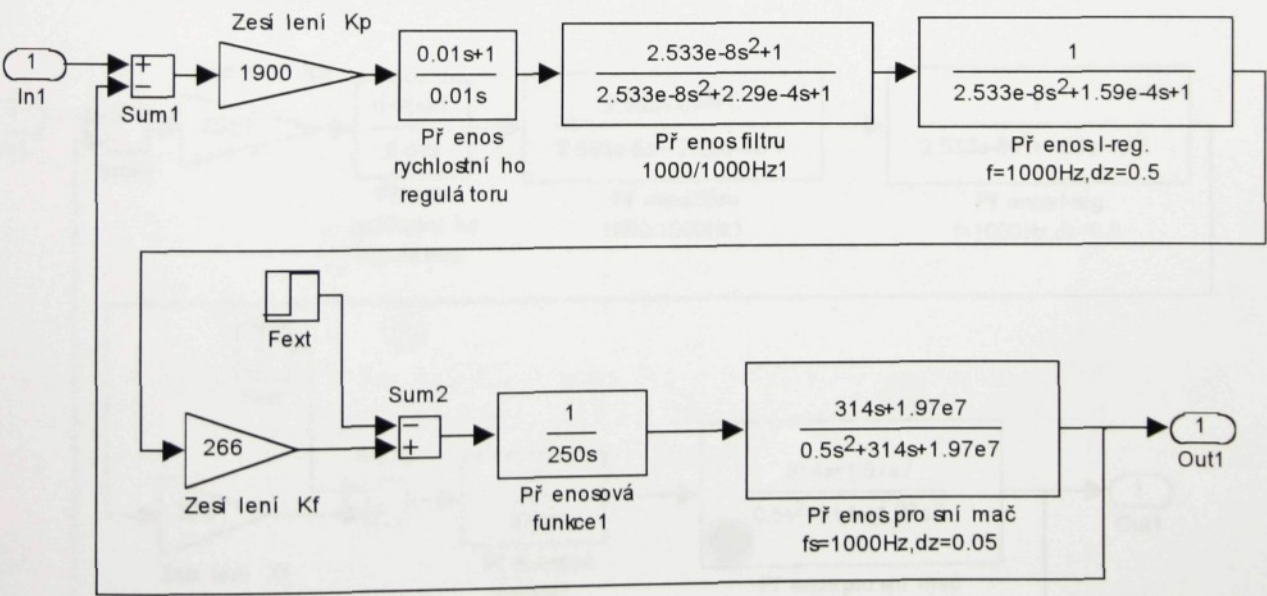
$$e_r(t) = R - \sqrt{x_0^2(t) + y_0^2(t)}$$

Dokonale sestavený dynamický model bude také generovat dokonalou kružnici, s poloměrem větším nebo menším, než je požadovaný, v závislosti na velikosti tlumení a úhlové rychlosti. Z předchozích rovnic lze také odvodit vztah pro poměrnou radiální úchylku ve tvaru:

$$\frac{e_r}{R} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\zeta\omega}{\omega_n}\right)^2 - 2\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^4}}$$

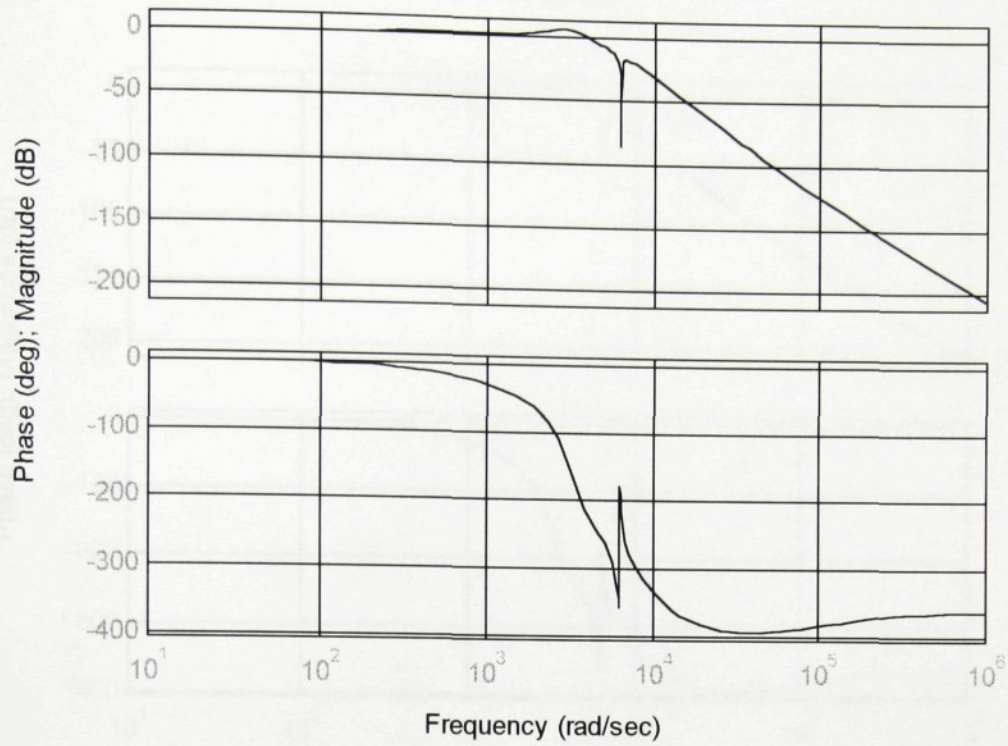
4.2 Sestavení zkušebního modelu

Pro sestavení modelu NC stroje složeného z jednoduchých polohových servopohonů jsme použili modelů jednotlivých os z Obr. 4.1. Při návrhu časových konstant v přenosu systému jsme vycházeli z rychlostních smyček modelů uvedených v kapitole 3.



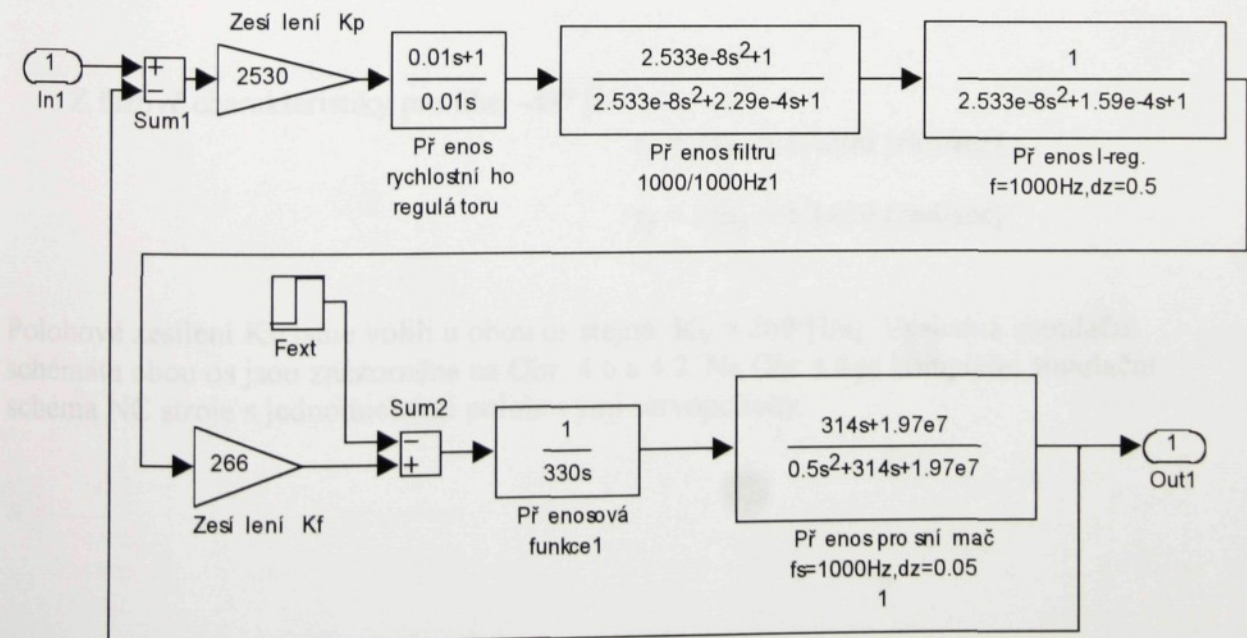
Obr. 4.2 Rychlostní smyčka osy X

Bode Diagrams



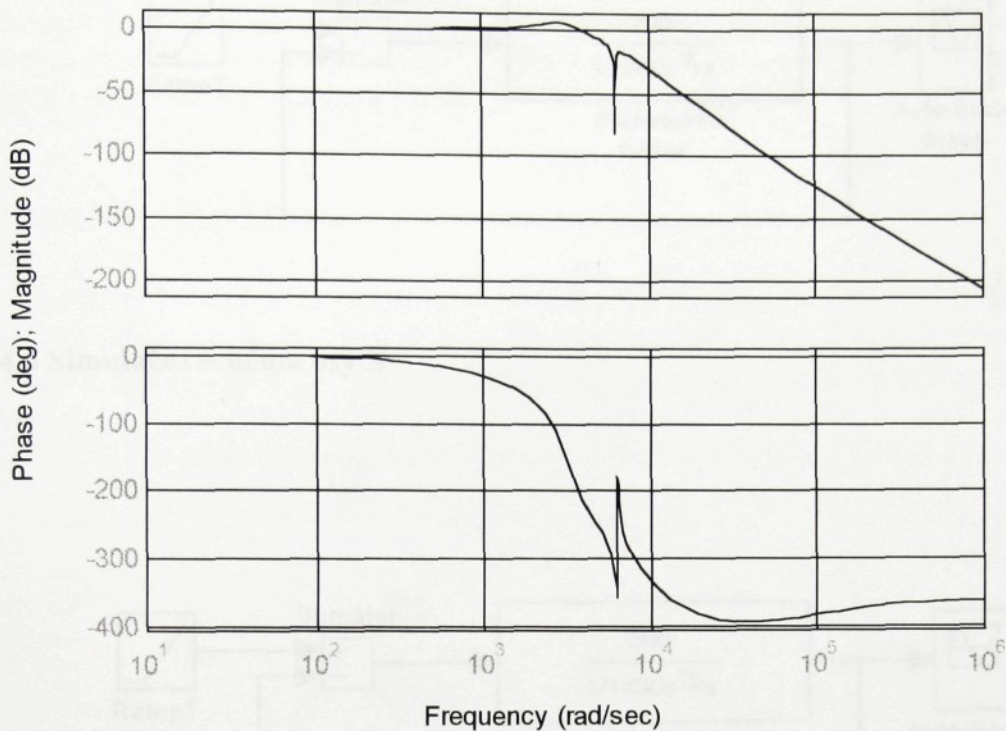
Obr. 4.3 Frekvenční charakteristika osy X

Obr. 4.5 Frekvenční charakteristika osy Y



Obr. 4.4 Rychlostní smyčka osy Y

Bode Diagrams



Obr. 4.5 Frekvenční charakteristika osy Y

Z fázové charakteristiky pro úhel -45° je

$$\tau_x = 1/\omega_x = 1/1300 \text{ [rad/sec]} \text{ a}$$

$$\tau_y = 1/\omega_y = 1/1430 \text{ [rad/sec]}.$$

Polohové zesílení K_V jsme volili u obou os stejné $K_V = 200 \text{ [1/s]}$. Výsledná simulační schémata obou os jsou znázorněna na Obr. 4.6 a 4.7. Na Obr 4.8 je kompletní simulační schéma NC stroje s jednoduchými polohovými servopohony.

Obr. 4.8 Simulační schéma NC stroje

5. Simulace

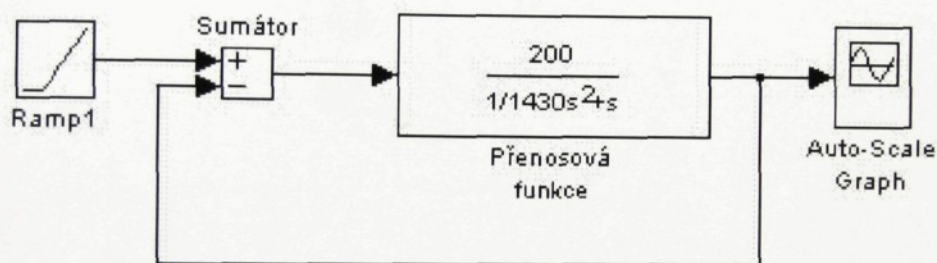
Na následující obrázku je simulace schéma pro osu X. Vstupní signál je generován rampou Ramp1, který je sečten s výstupem systému (feedback) v Sumátoru. Výstup systému je dán převodovou funkcí $\frac{200}{1/1300s^2 + s}$ a je zobrazen na Auto-Scale Graph.

5.1 Simulační model

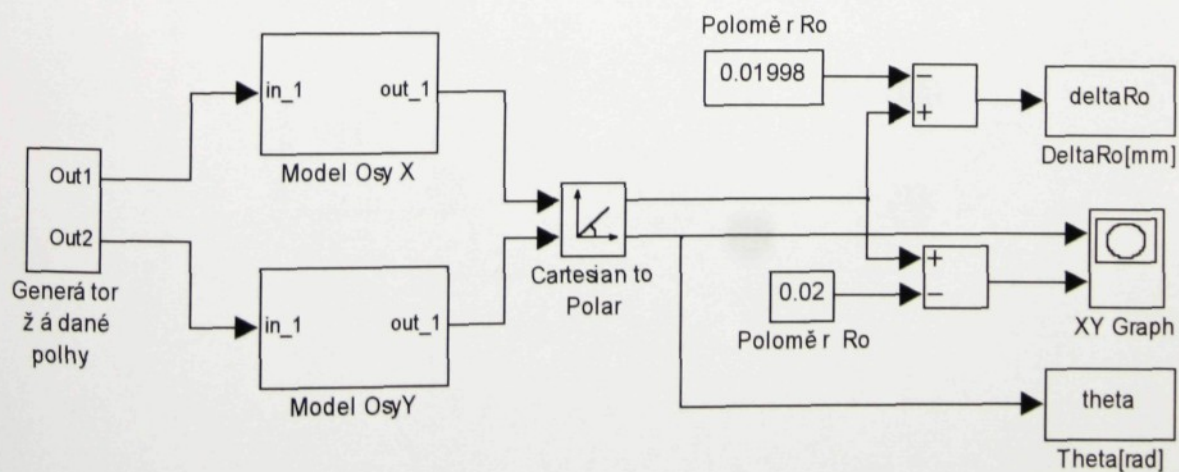
Pro simulaci bylo použito simulace schéma v Matlabu. Vstupní signál je generován rampou Ramp1, který je sečten s výstupem systému (feedback) v Sumátoru. Výstup systému je dán převodovou funkcí $\frac{200}{1/1300s^2 + s}$ a je zobrazen na Auto-Scale Graph.

Na Obr. 5.5 je zobrazeno simulační schéma pro převodník dvou Modelů 1.

Obr. 4.6 Simulační schéma osy X



Obr. 4.7 Simulační schéma osy Y



Obr. 4.8 Simulační schéma NC stroje

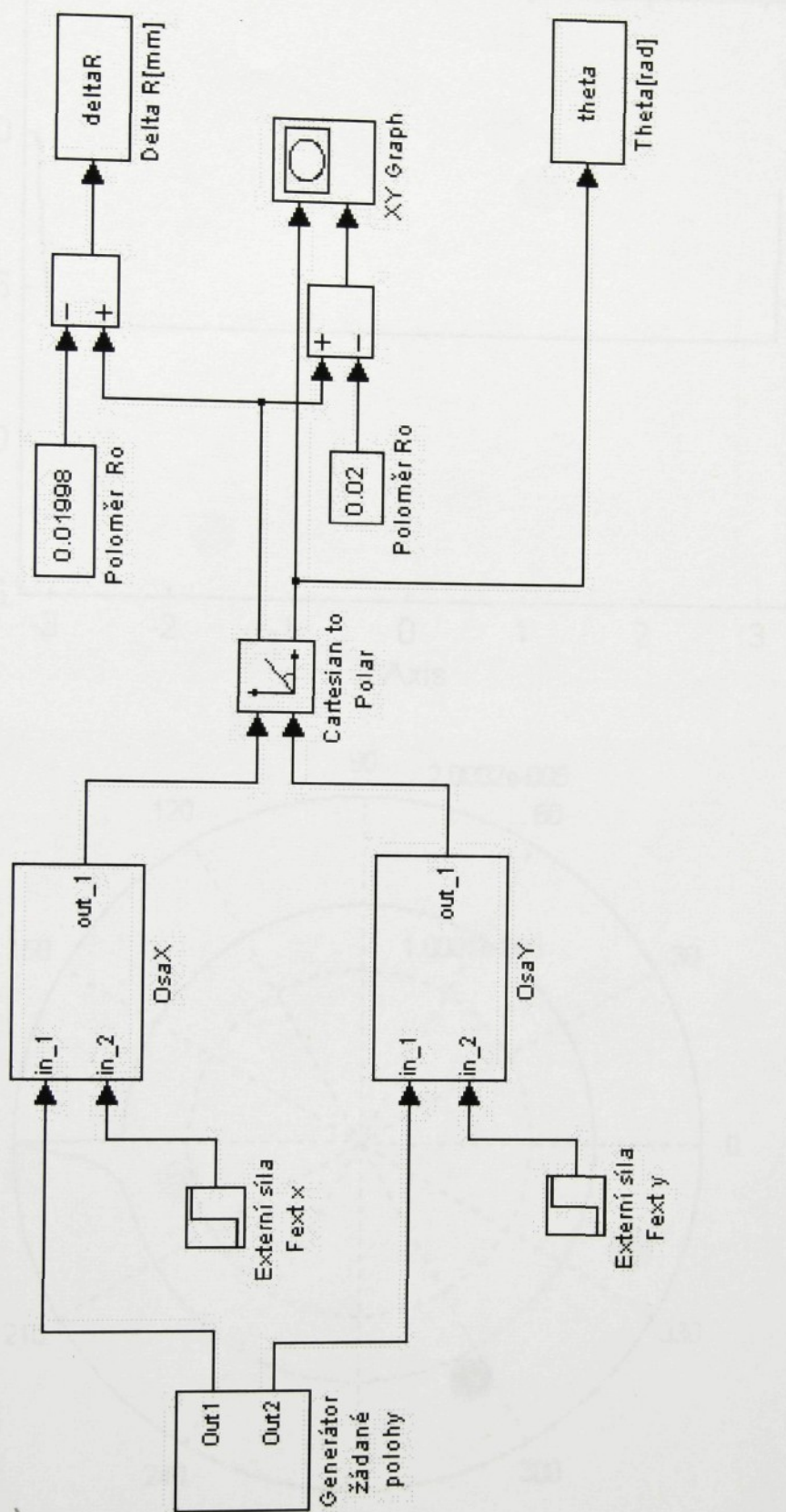
5. Simulace

Na následujících stranách je uveden soubor simulačních schémat použitých pro simulace obou modelů a výsledné grafy simulací. V následujícím textu je pro model sestavený z lineárních motorů používáno označení **Model 1** a pro model sestavený z jednoduchých polohových servopohonů označení **Model 2**.

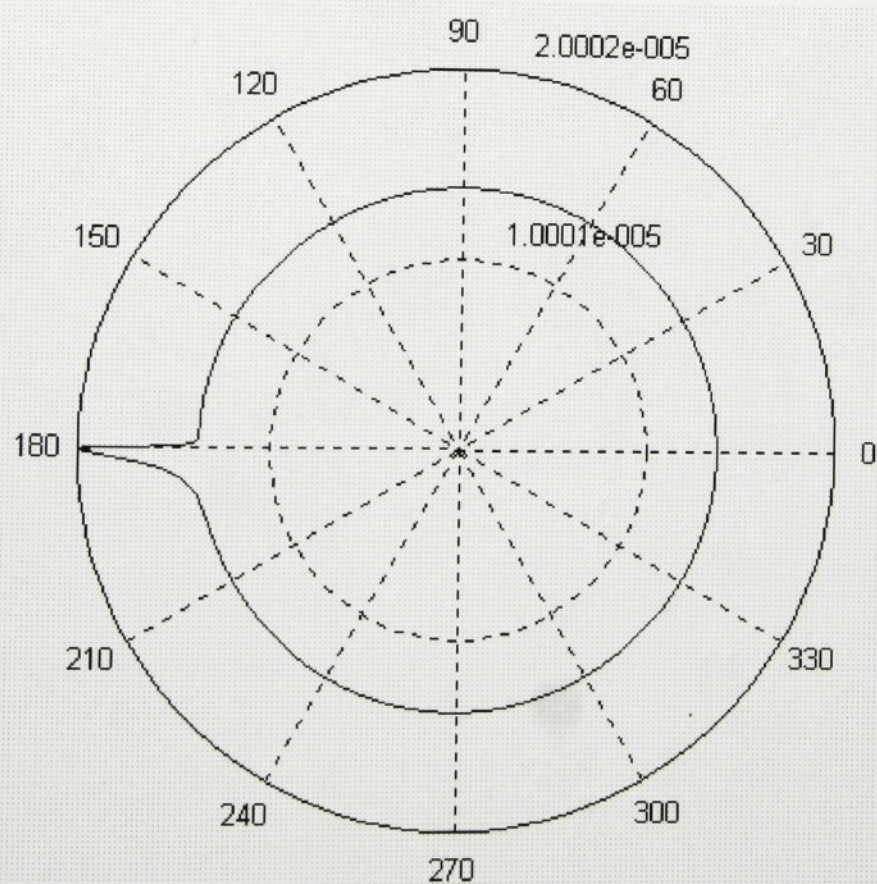
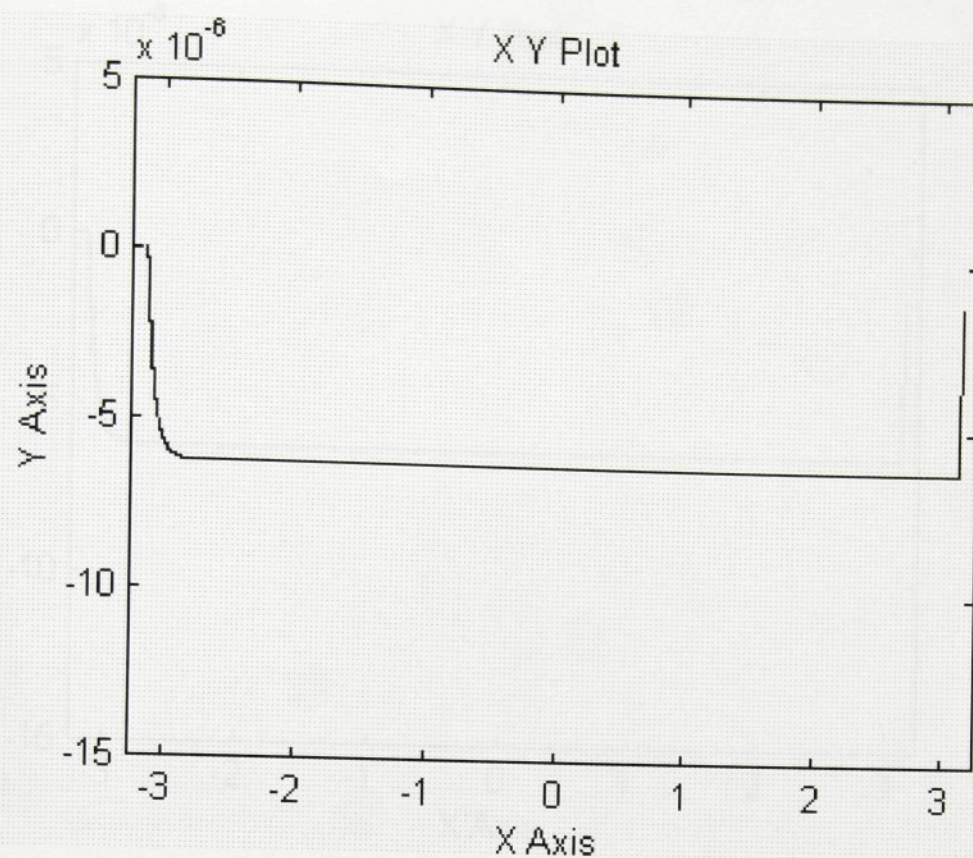
5.1 Simulace modelu 1

Pro simulaci bylo použito simulační schéma z Obr. 5.1. K zobrazení výsledků simulace bylo použito polárního grafu, který ukazuje závislost odchylky ΔR od žádaného poloměru v polárních souřadnicích, a tzv. XYgrafu, který ukazuje závislost odchylky ΔR v kartézských souřadnicích.

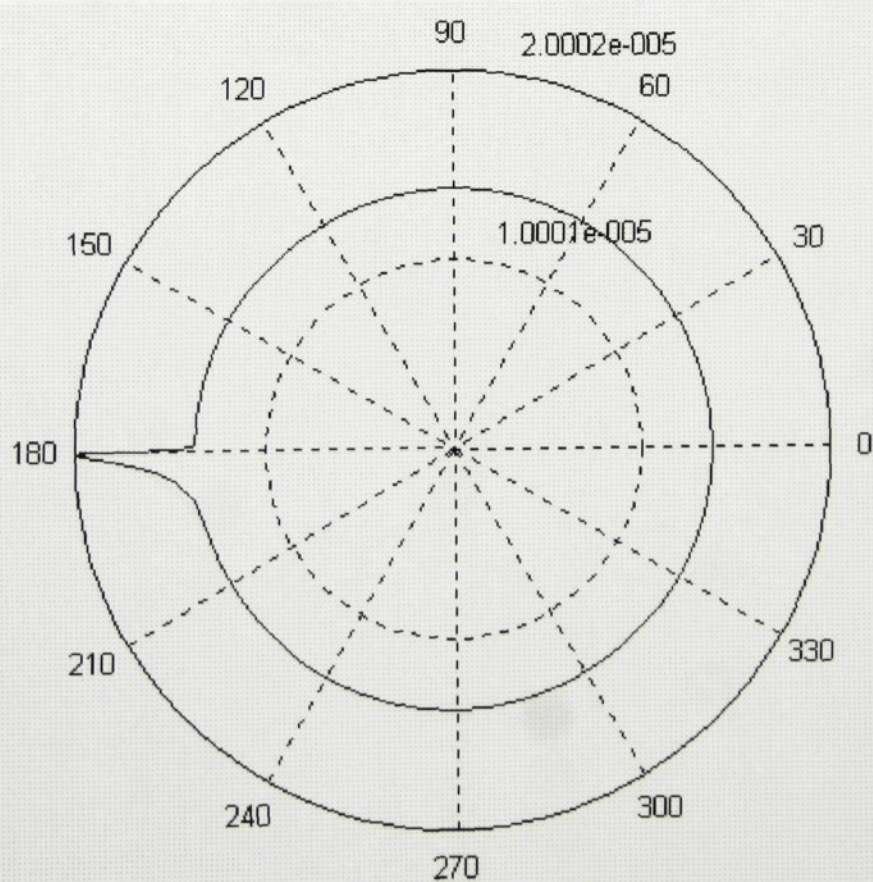
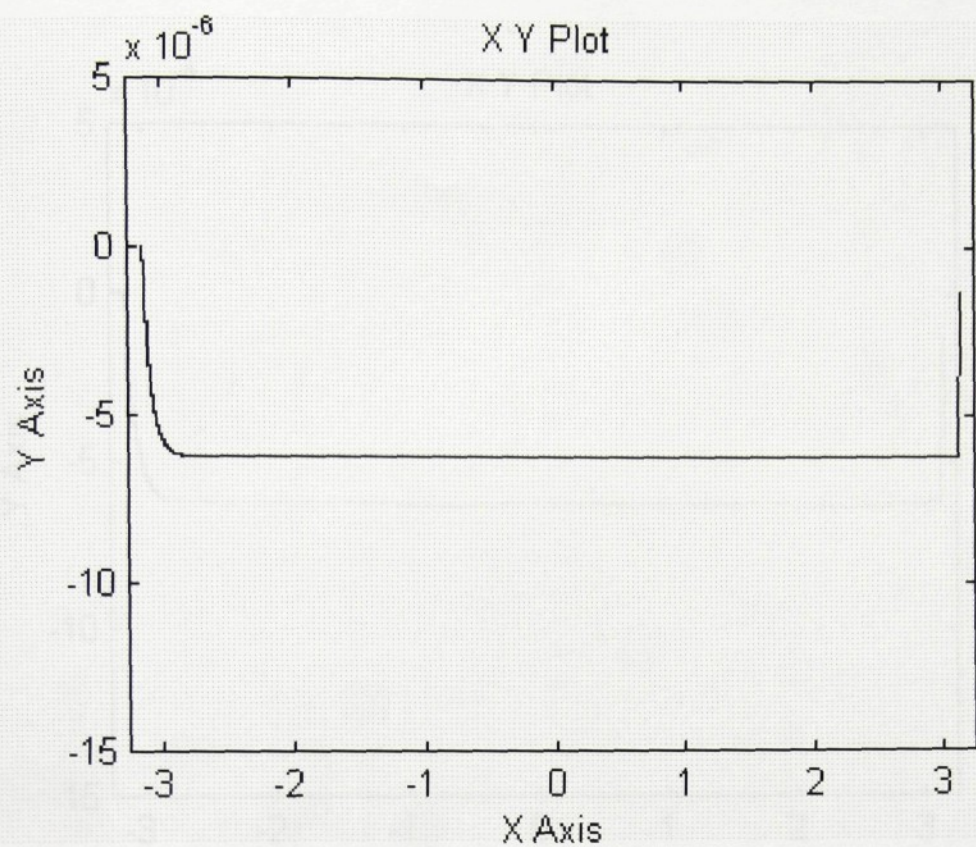
Na Obr. 5.5 je zobrazeno simulační schéma pro porovnání dvou Modelů 1.



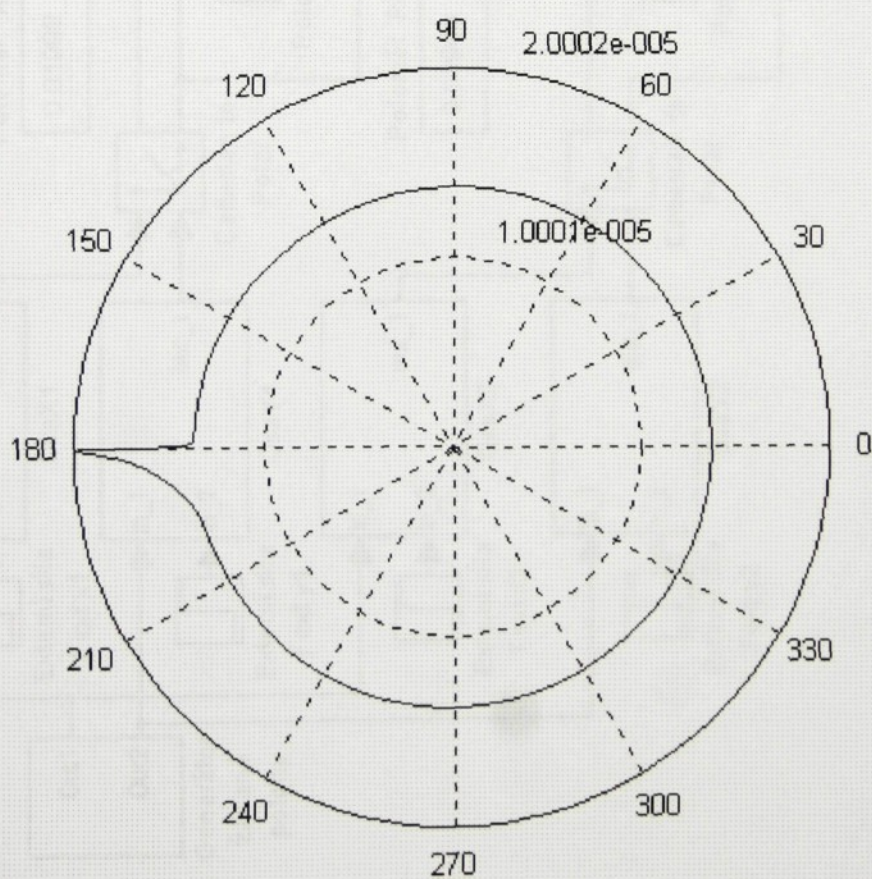
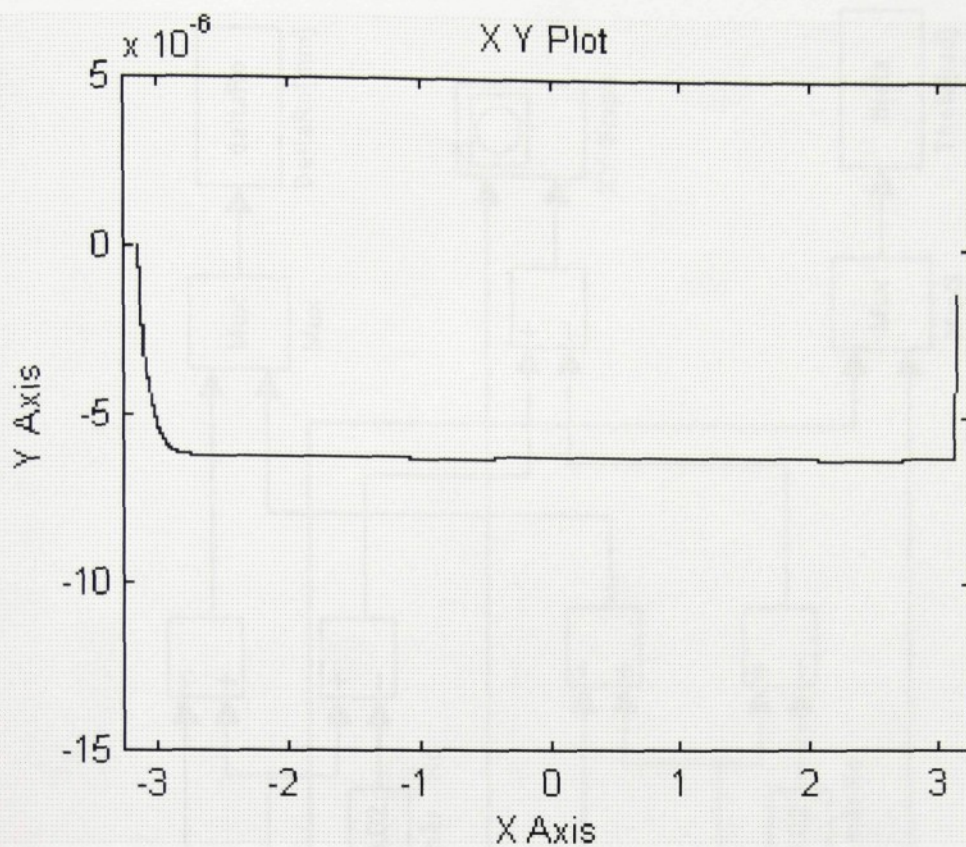
Obr. 5.1 Simulační schéma Model 1



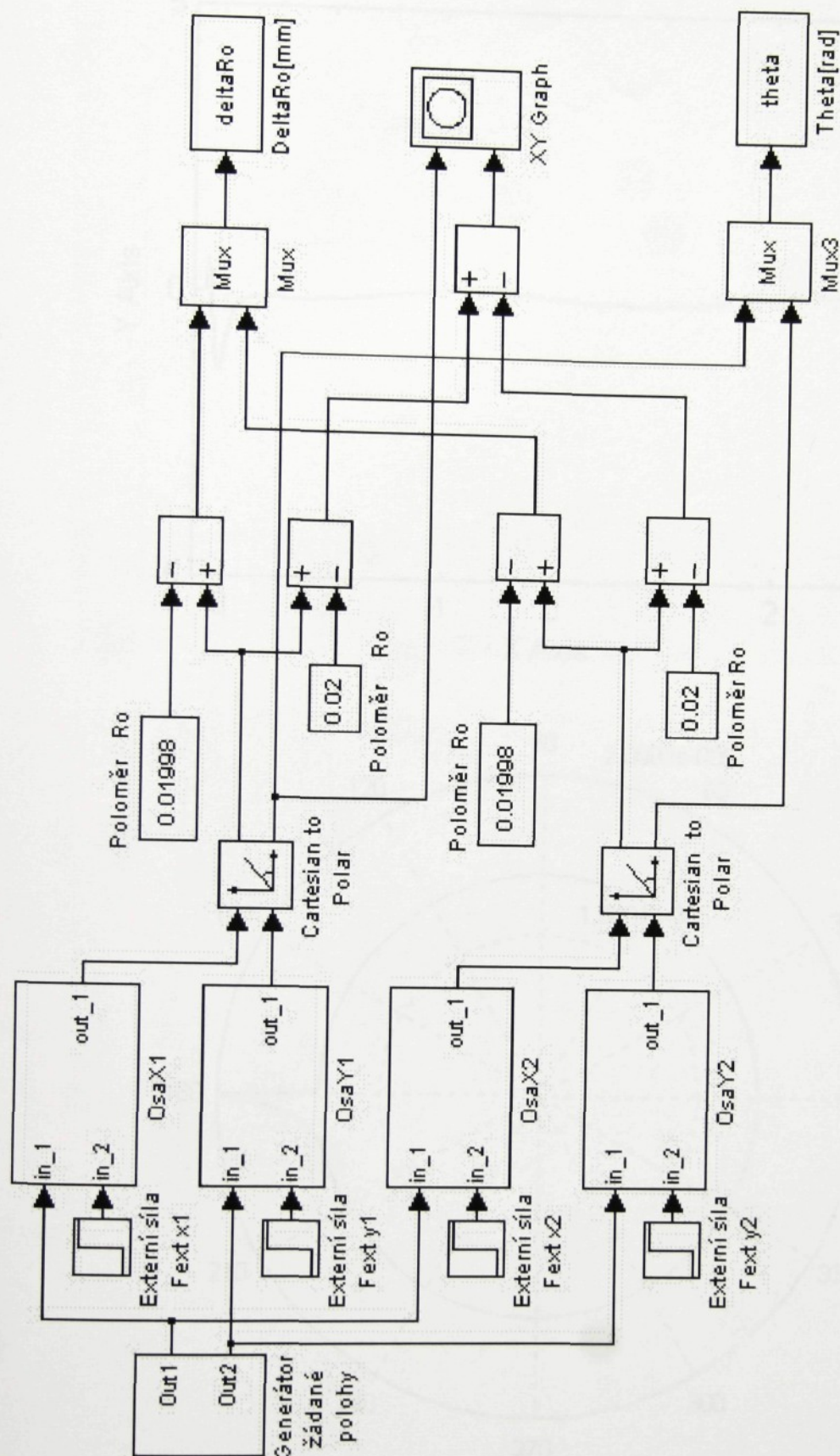
Obr. 5.2 Model 1: $m_X = 250\text{kg}$, $m_Y = 250\text{kg}$



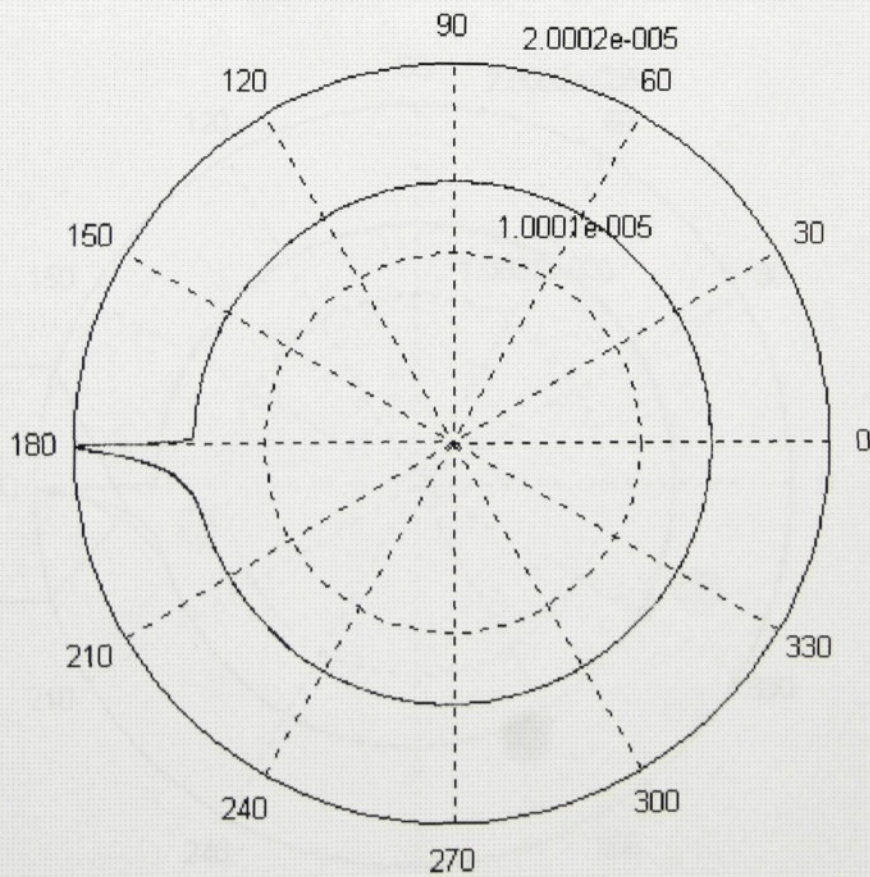
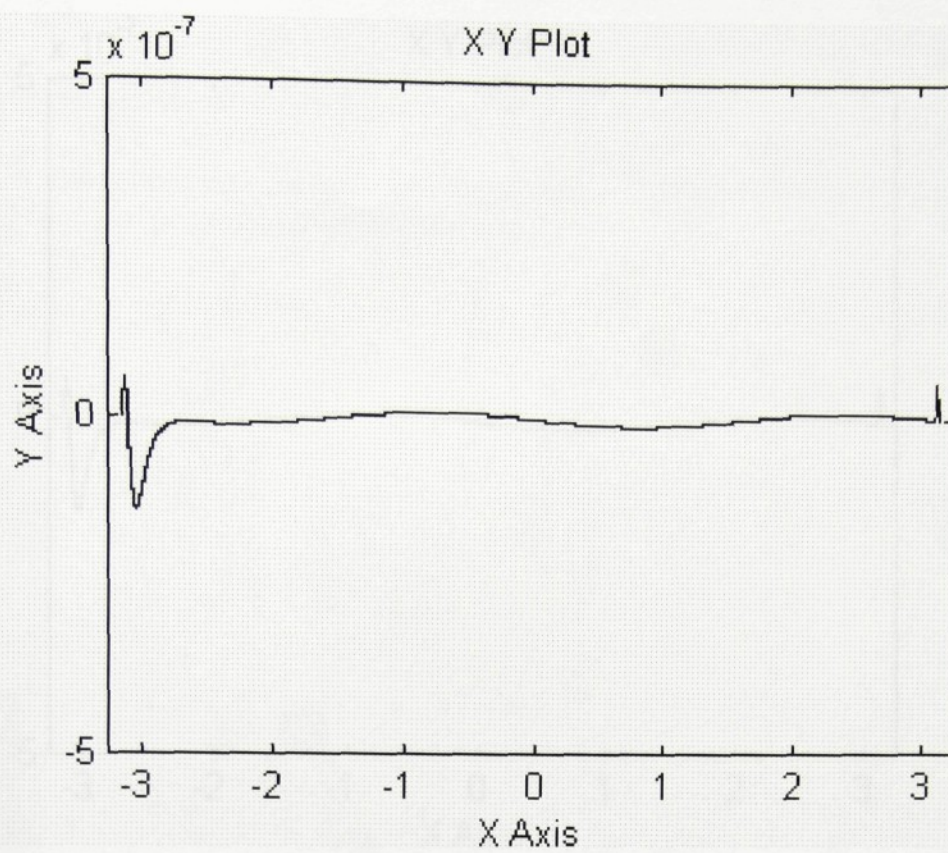
Obr. 5.3 Model 1: $m_X = 250\text{kg}$, $m_Y = 330\text{kg}$



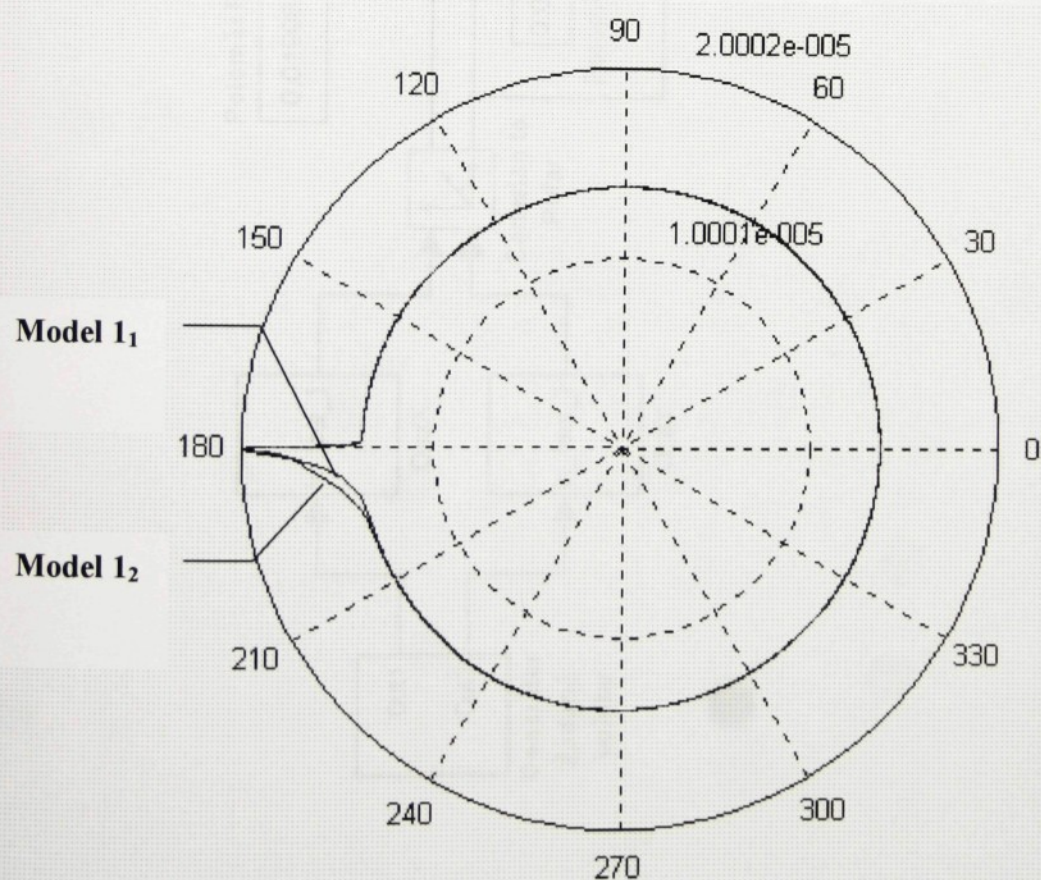
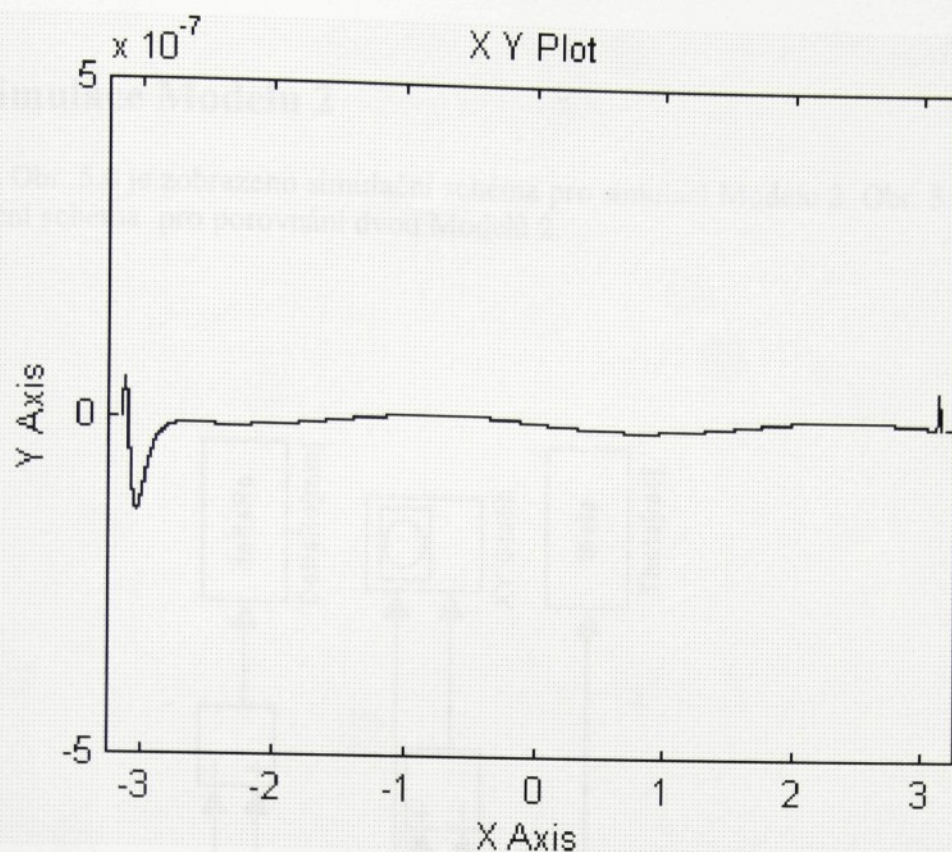
Obr. 5.4 Model 1: $m_X = 250\text{kg}$, $m_Y = 750\text{kg}$



Obr. 5.5 Simulační schéma pro porovnání dvou Modelů 1



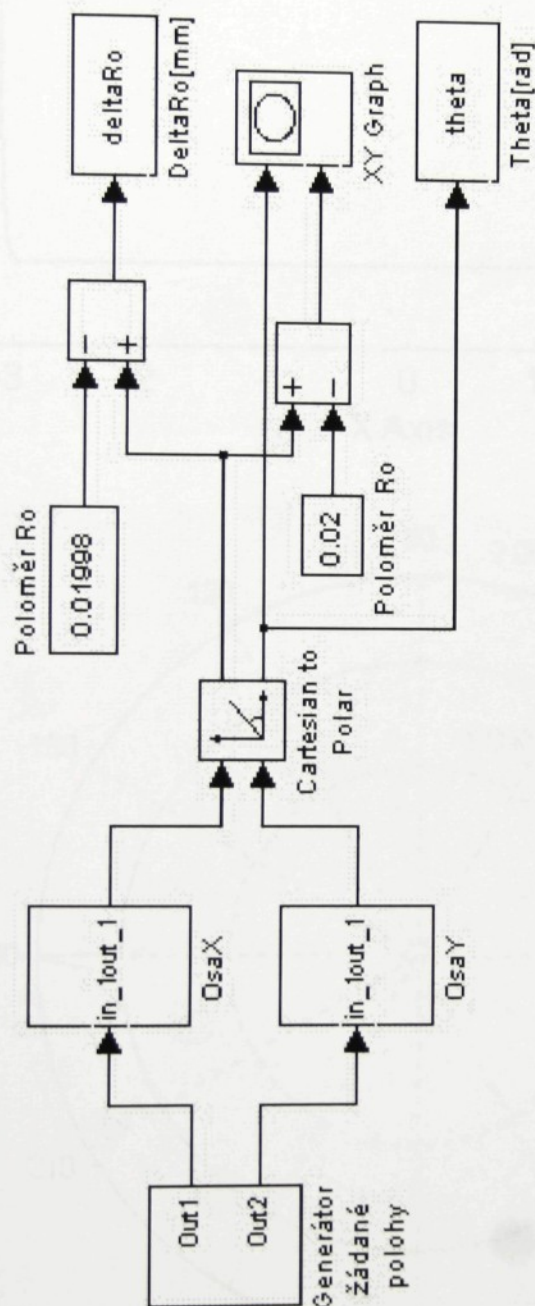
Obr. 5.6 Model 1₁- Model 1₂: $m_{X1} = m_{Y1} = 250\text{kg}$, $m_{X2} = 250\text{kg}$, $m_{Y2} = 330\text{kg}$



Obr. 5.7 Model 1₁- Model 1₂: $m_{X1} = m_{Y1} = 250\text{kg}$, $m_{X2} = 250\text{kg}$, $m_{Y2} = 750\text{kg}$

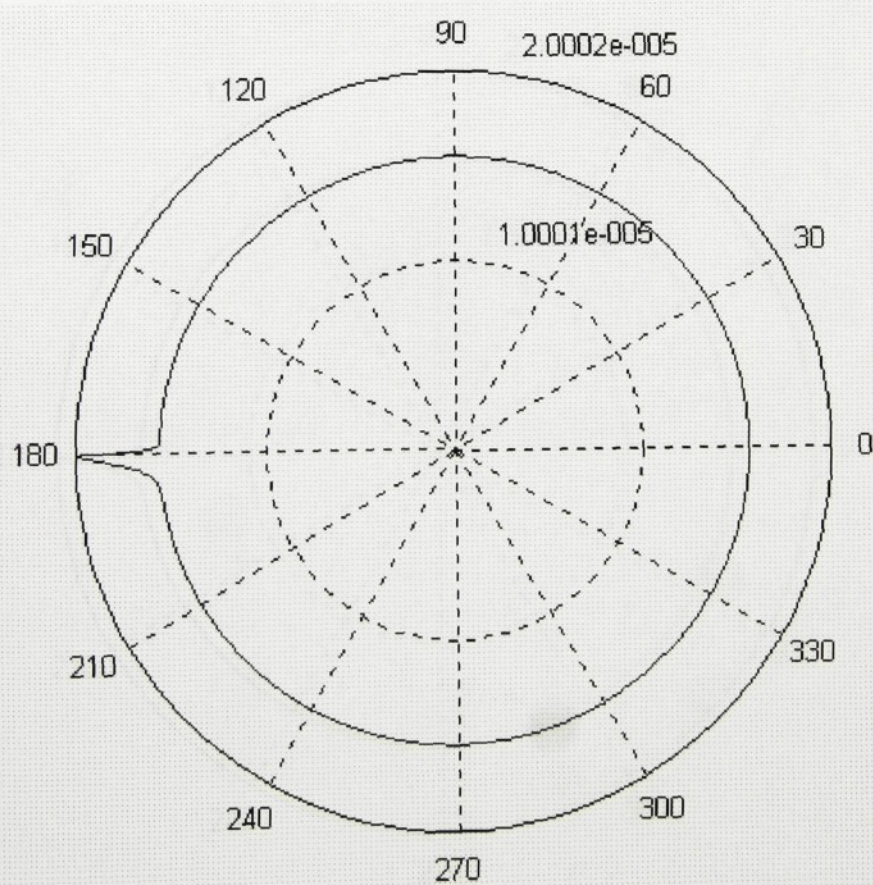
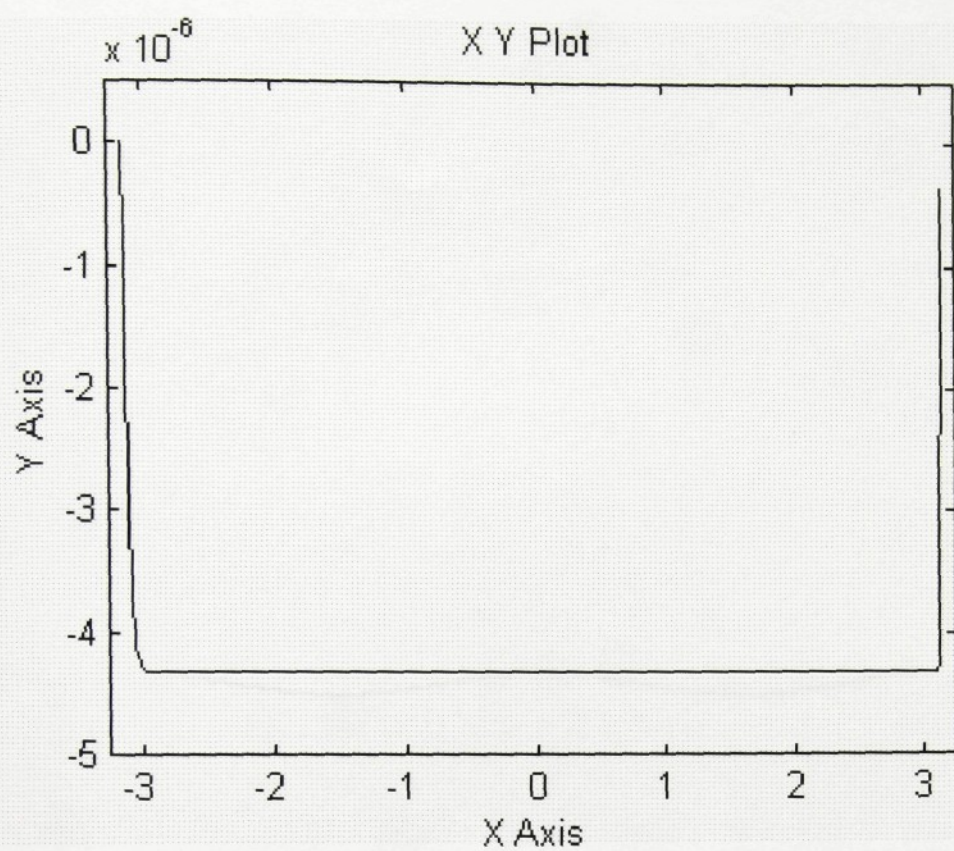
5.2 Simulace Modelu 2

Na Obr. 5.8 je zobrazeno simulační schéma pro simulaci Modelu 2. Obr. 5.12 ukazuje simulační schéma pro porovnání dvou Modelů 2.

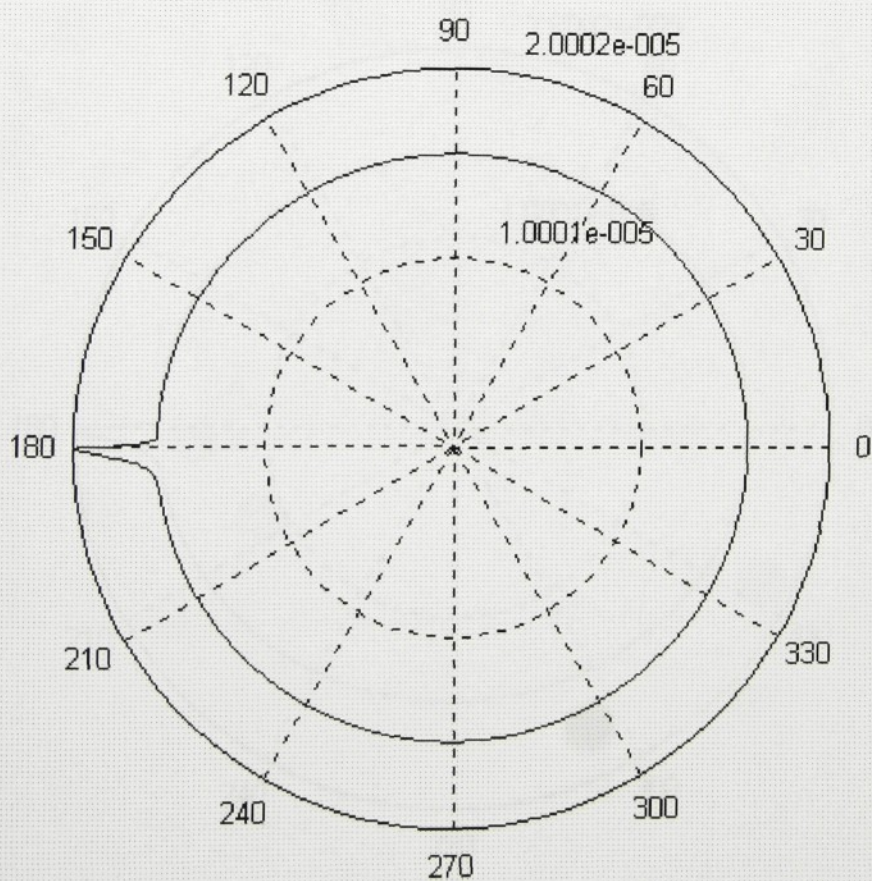
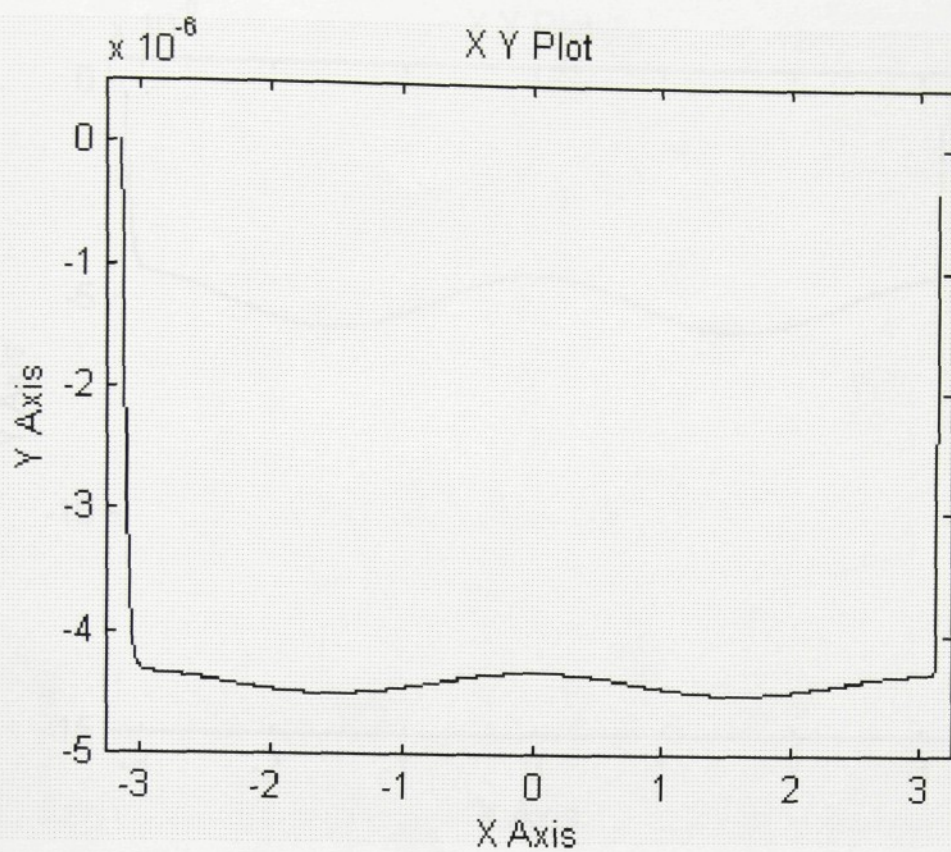


Obr. 5.8 Simulační schéma pro simulaci Modelu 2

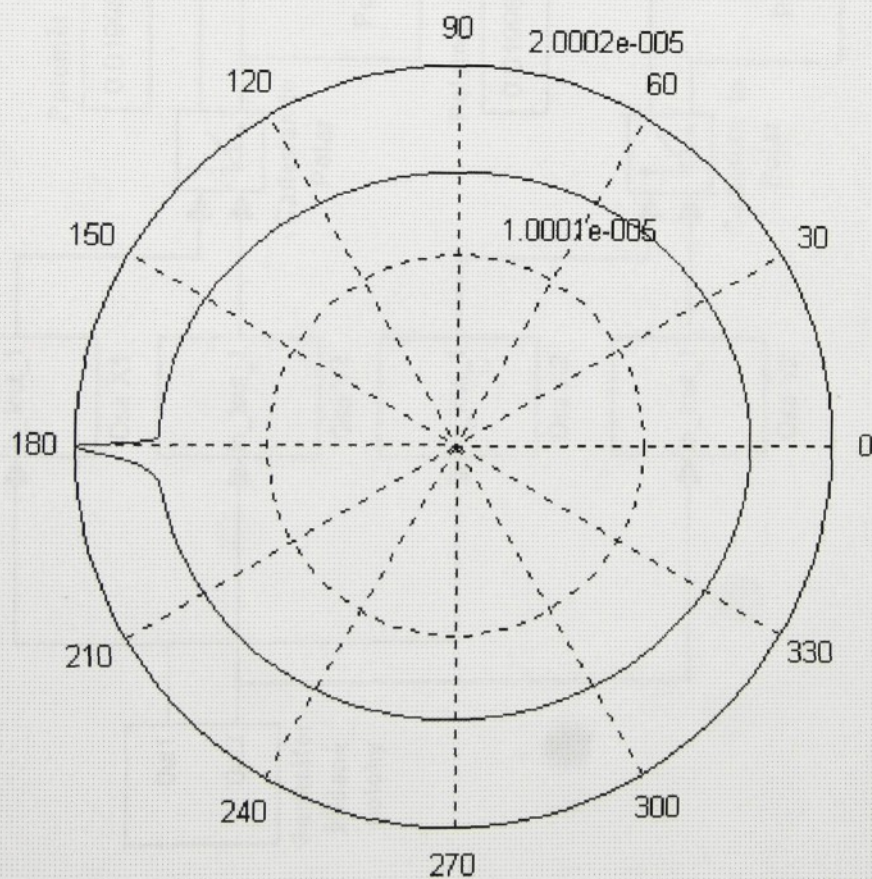
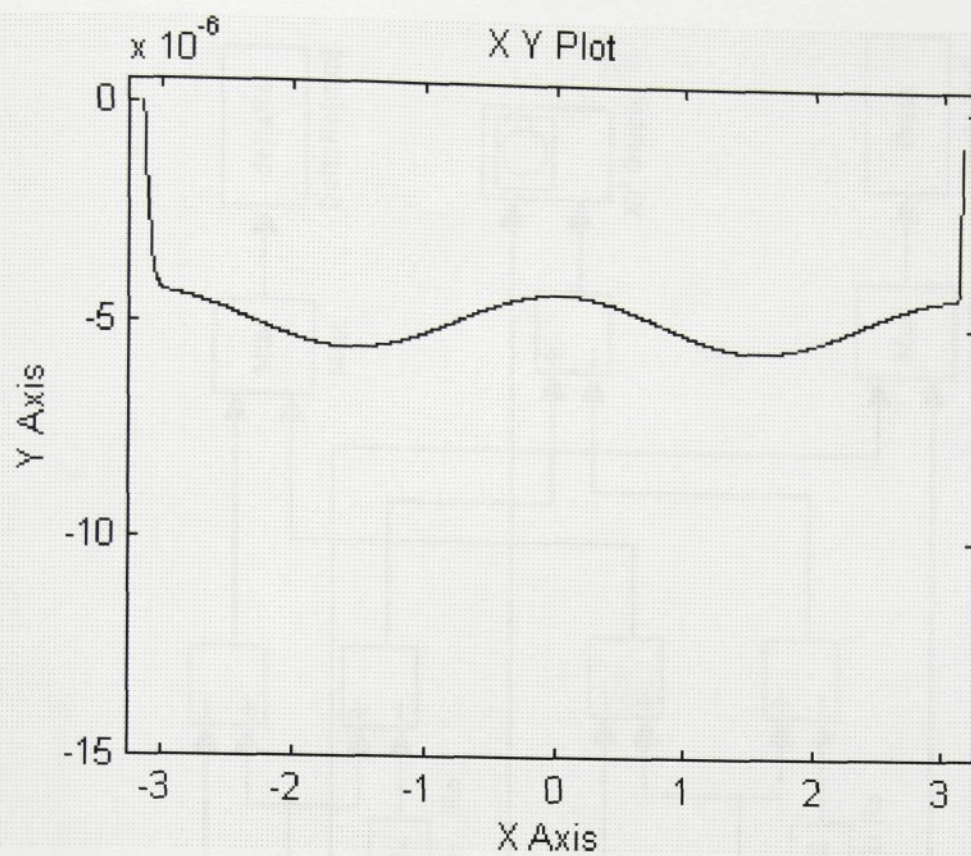
Obr. 5.9 Model 2: $r_x = 1/1300$, $r_y = 1/1300$



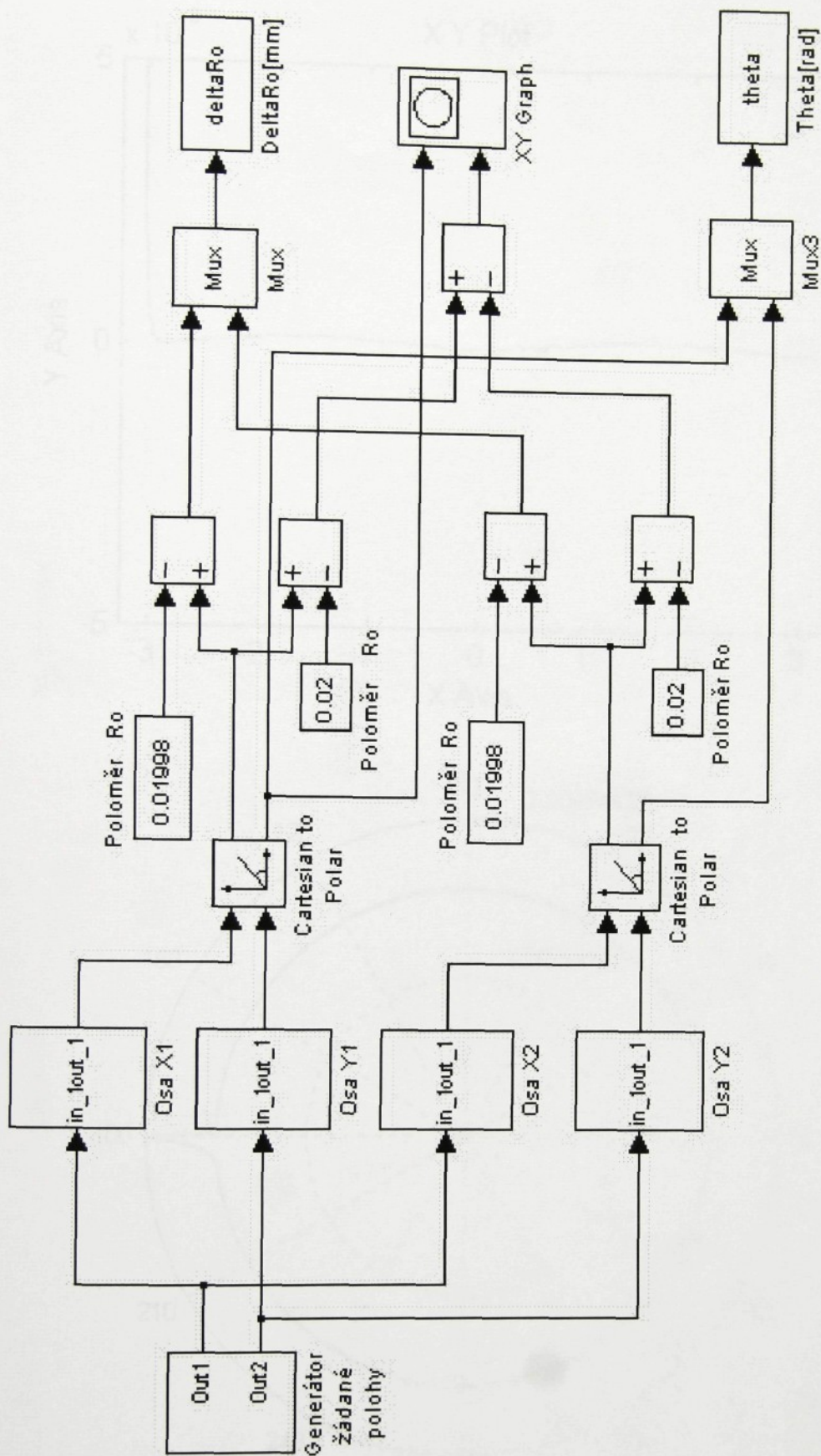
Obr. 5.9 Model 2: $\tau_X = 1/1300s$, $\tau_Y = 1/1300s$



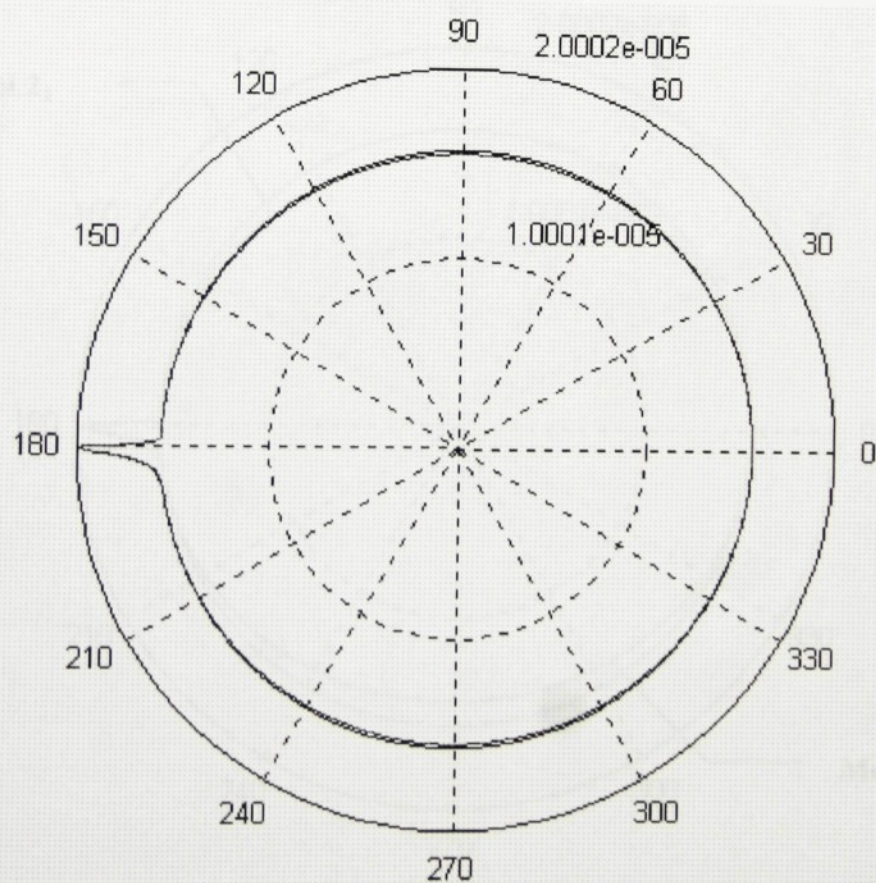
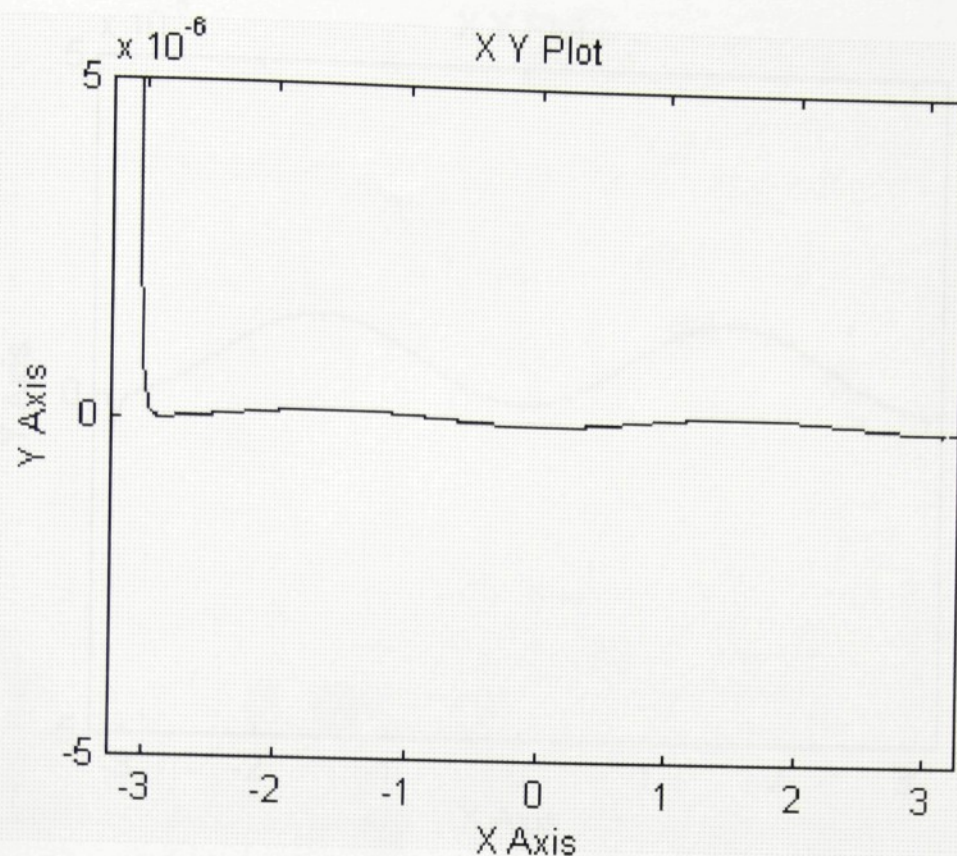
Obr. 5.10 Model 2: $\tau_X = 1/1300s$, $\tau_Y = 1/1430s$



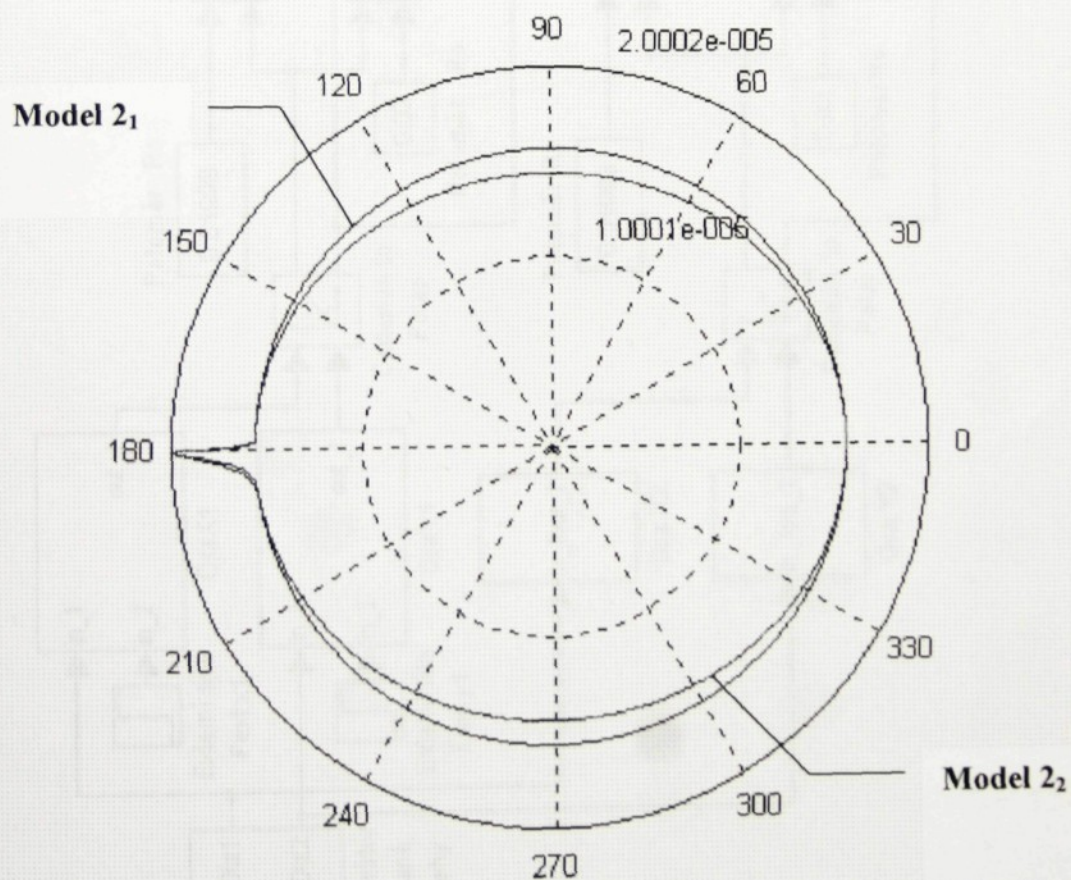
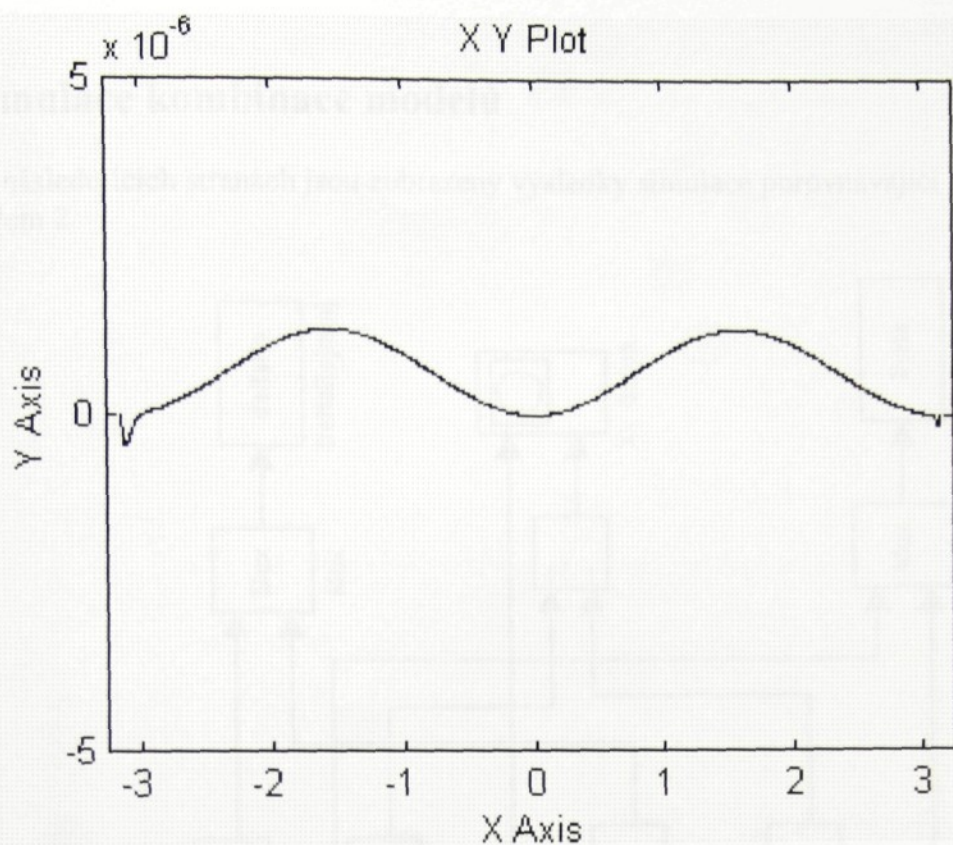
Obr. 5.11 Model 2: $\tau_X = 1/1300s$, $\tau_Y = 1/3900s$



Obr. 5.12 Simulační schéma pro porovnání dvou Modelů 2



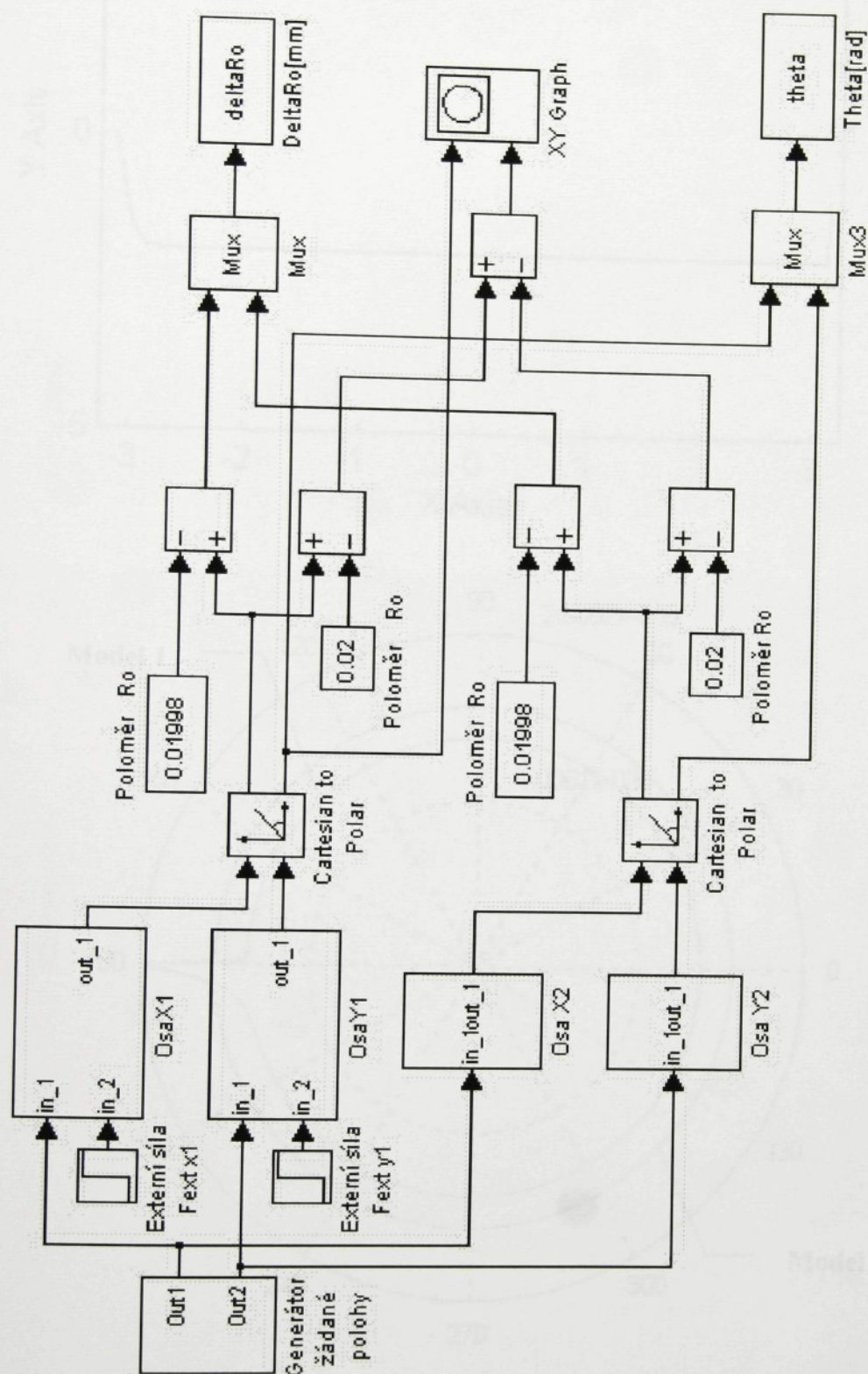
Obr. 5.14 Model 2₁-Model 2₂: $\tau_{X1} = \tau_{Y1} = 1/1300s$, $\tau_{X2} = 1/1300s$, $\tau_{Y2} = 1/1430s$



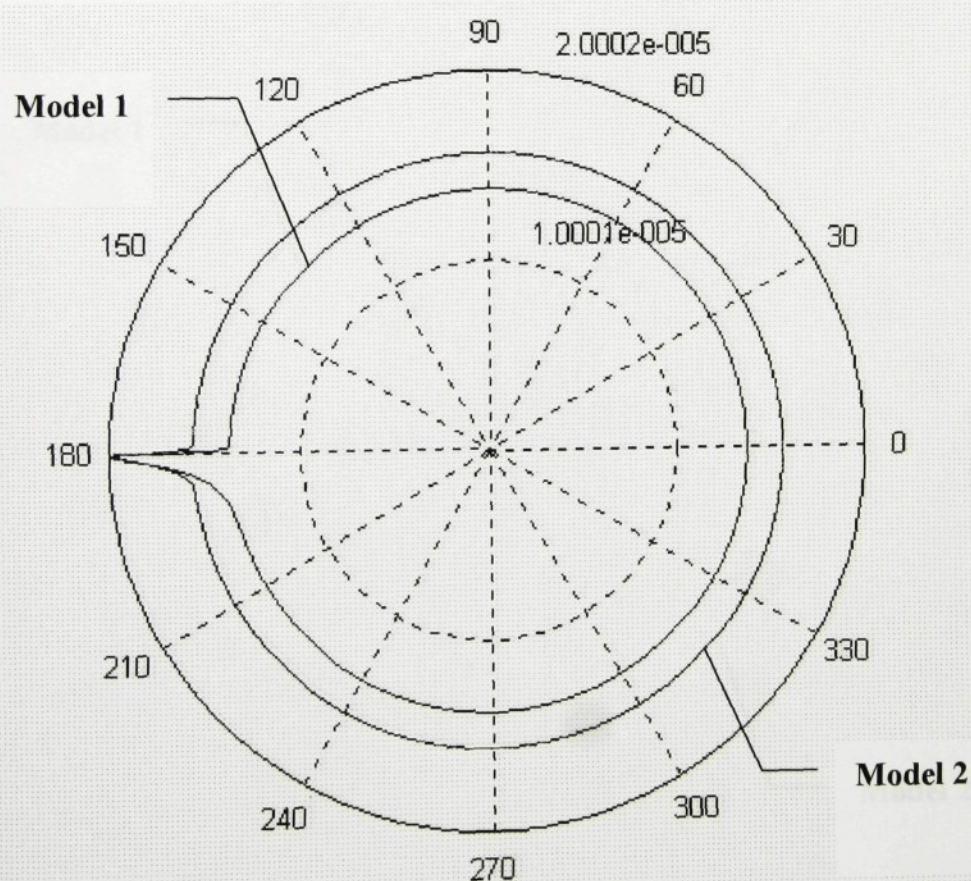
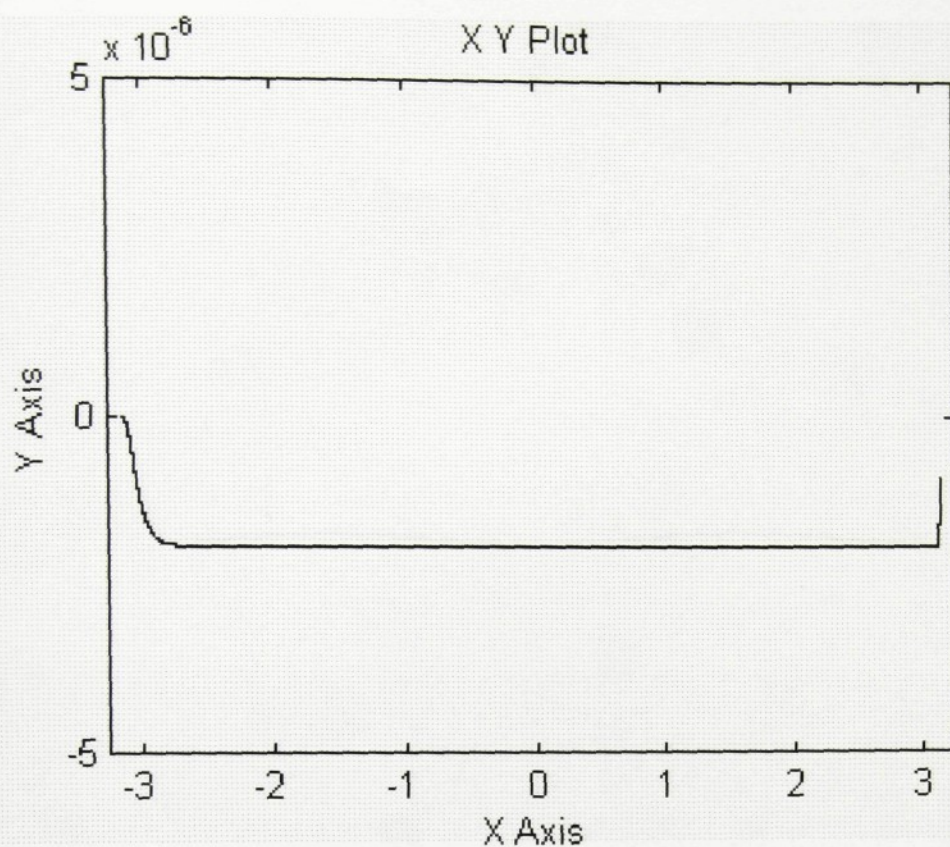
Obr. 5.14 Model 2₁-Model 2₂: $\tau_{X1} = \tau_{Y1} = 1/1300s$, $\tau_{X2} = 1/1300s$, $\tau_{Y2} = 1/3900s$

5.3 Simulace kombinace modelů

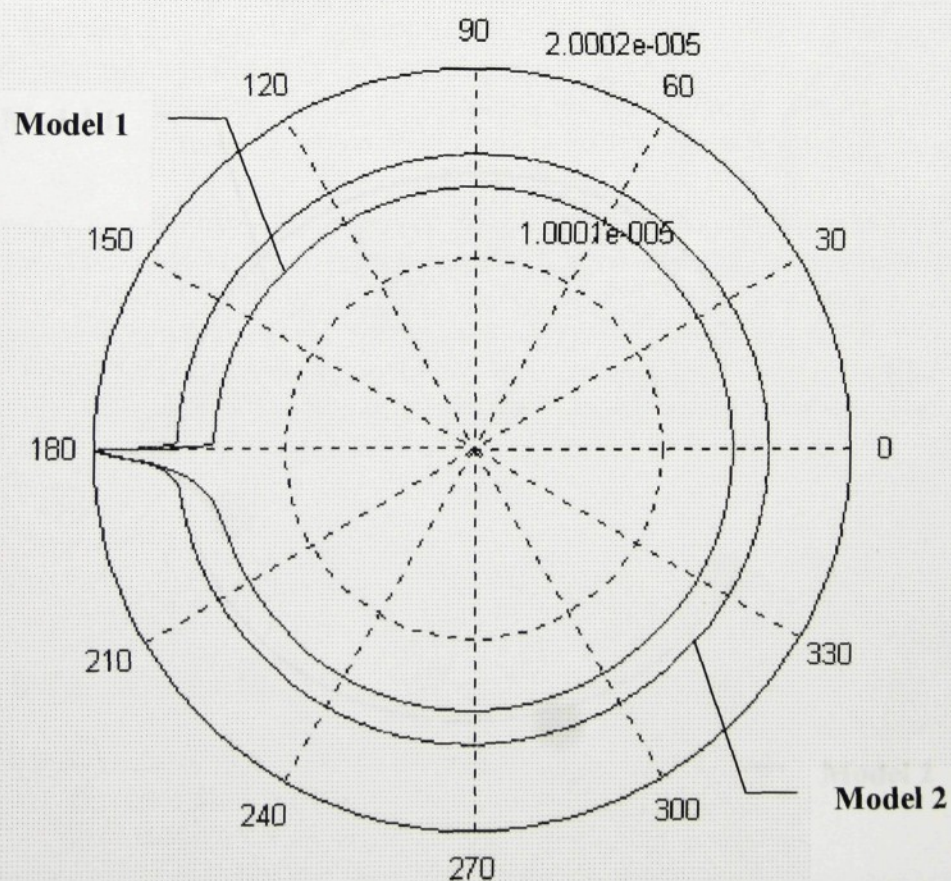
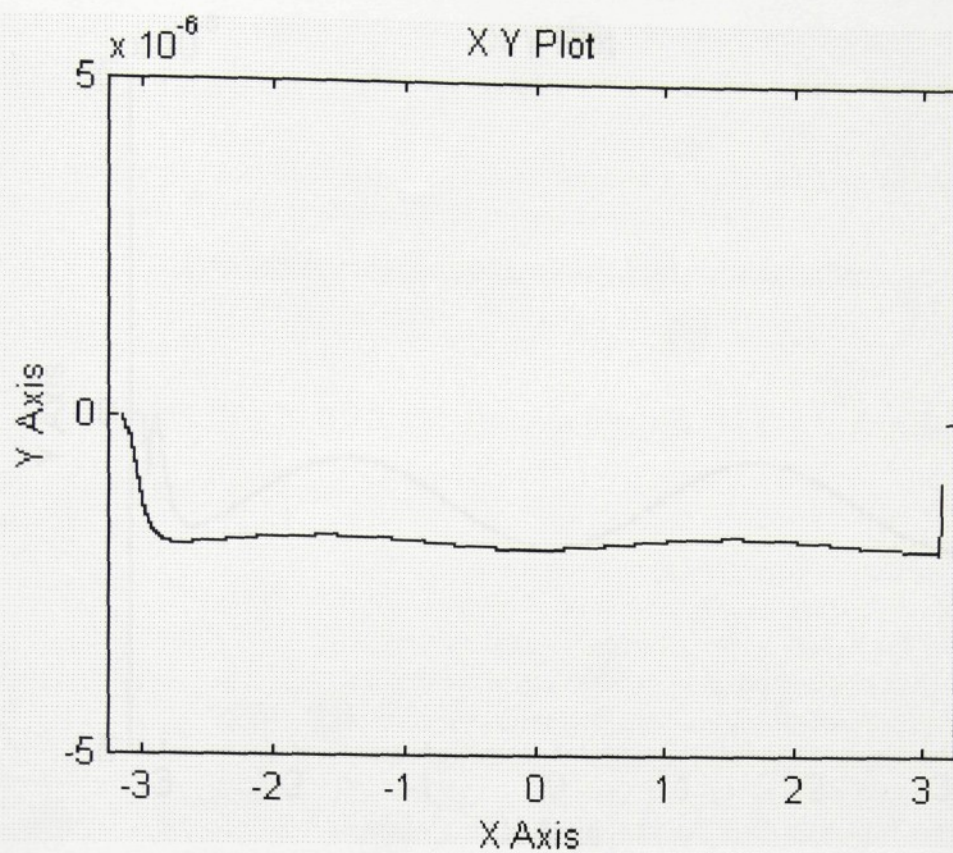
Na následujících stranách jsou zobrazeny výsledky simulace porovnávající Model 1 s Modelem 2.



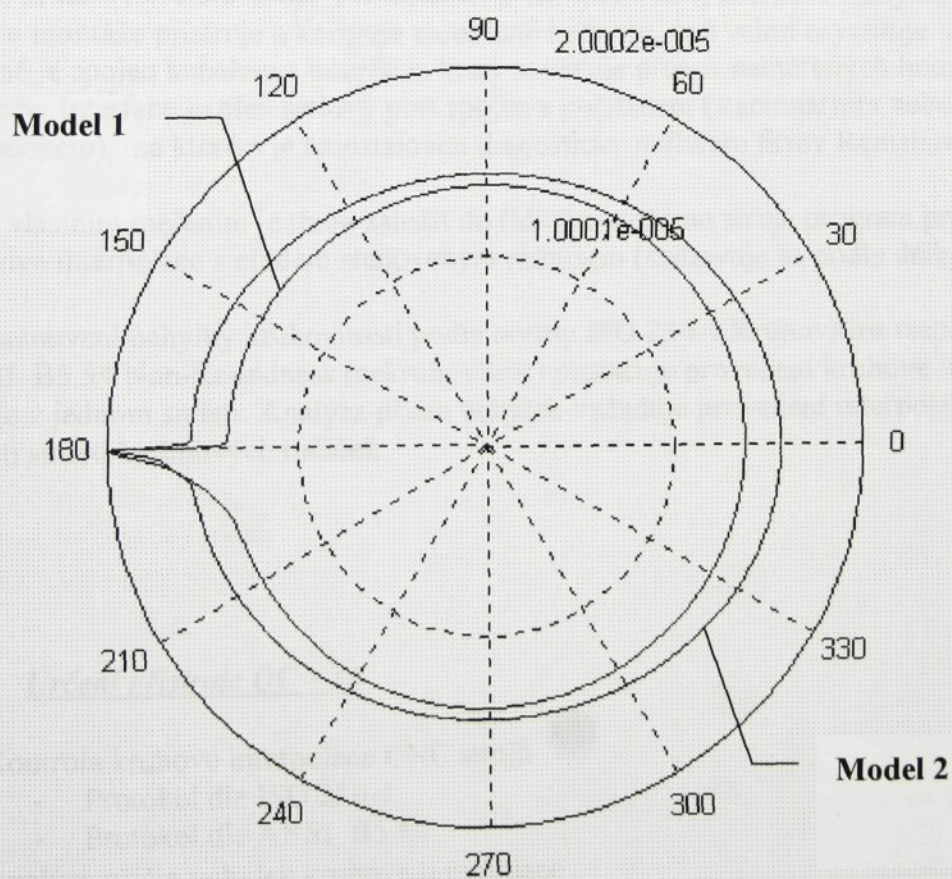
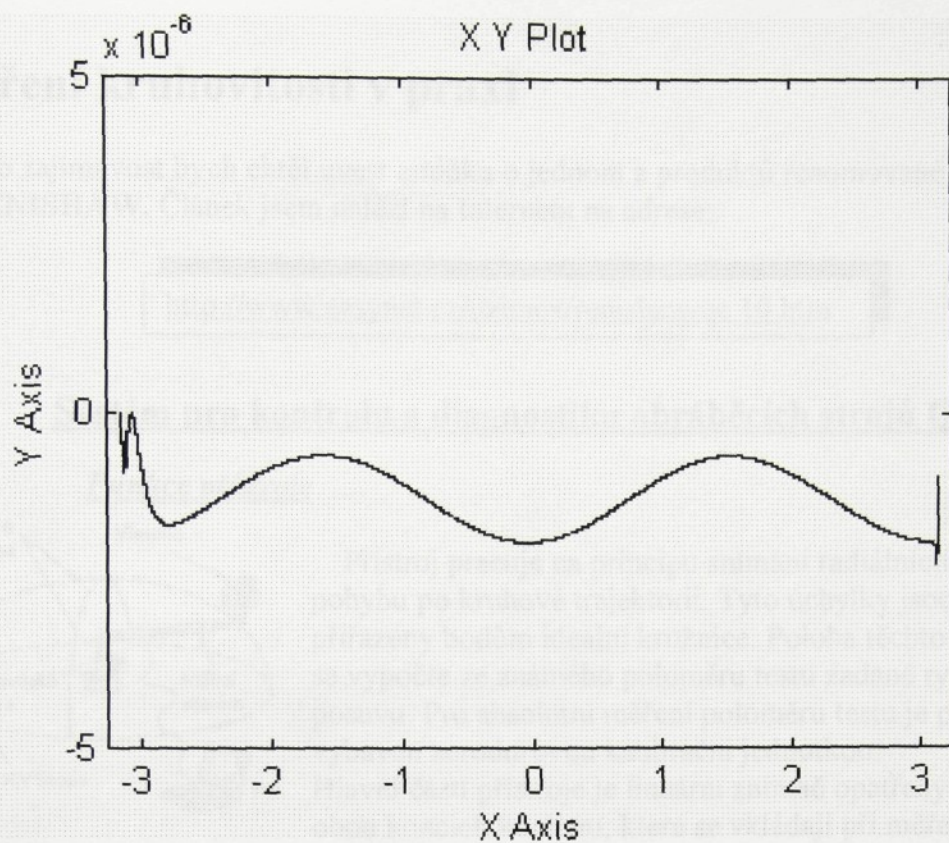
Obr. 5.15 Simulační schéma pro porovnání Modelu 1 a Modelu 2



Obr. 5.16 Model 1- Model 2: $m_{X1} = m_{X2} = 250\text{kg}$, $\tau_{X2} = \tau_{Y2} = 1/1300\text{s}$



Obr. 5.17 Model 1- Model 2: $m_{X1} = 250\text{kg}$, $m_{Y1} = 330\text{kg}$, $\tau_{X2} = 1/1300\text{s}$, $\tau_{Y2} = 1/1430\text{s}$



Obr. 5.18 Model 1- Model 2: $m_{X1} = 250\text{kg}$, $m_{Y1} = 750\text{kg}$, $\tau_{X2} = 1/1300\text{s}$, $\tau_{Y2} = 1/3900\text{s}$

6. Měření kruhovitosti v praxi

Pro zajímavost bych chtěl uvést zmínku o jednom z produktů renomované firmy **RENISHAW**. Článek jsem našel na Internetu na adrese:

http://www.easynet.cz/uzimex/renishaw/qc_10.htm

Systém pro kontrolu a diagnostiku obráběcích strojů QC 10



Funkce přístroje

Přístroj pracuje na principu snímání radiálních úchylek pohybu po kruhové trajektorii. Tyto úchyly jsou přiřazeny bodům ideální kružnice. Poloha těchto bodů se vypočte ze známého poloměru testu zadané rychlosti posuvu. Pro absolutní měření poloměru testu je přístroj vybaven zerodurovou kalibrační jednotkou.

Hlavní částí přístroje je lineární snímač opatřený na obou koncích koulemi, které se vkládají při měření do

Obr. 6.1

magnetických misek. Jedna miska je upevněna na stole stroje, druhá ve vřeteni stroje. Při instalaci přístroje na stroj software analyzuje excentritu z titulu montáže přístroje a koriguje naměřené hodnoty, což velmi urychluje instalaci. Snímač je spojen kabelem s interface, který zajišťuje přenos naměřených hodnot do počítače. Interface je přes sériový port spojen s počítačem (stacionárním nebo notebookem), na kterém je nainstalován diagnostický software firmy Renishaw.

Před vlastním měřením je třeba založit do řídicího systému stroje program pro provedení kruhové interpolace s předem stanoveným rádiusem (stanovuje se podle délky snímače).

Pro stanovení úchyly kruhovitosti podle normy ISO 230-4 Kruhovitost resp. normy ANSI B5.54 Non-Roundness (nekruhovitost) postačuje provedení kruhové interpolace pouze v jednom směru. Analýza příčin úchylek vyžaduje provedení interpolace ve směru i proti směru hodinových ručiček.

Určení přístroje QC – 10

- Kontrola kruhové interpolace CNC strojů
 - Protokol dle ISO 230-1
 - Protokol dle ANSI B5.54
- Analýza příčin úchylek kruhové interpolace
- Sledování trendů přesnosti strojů
- Srovnávání přesnosti strojů



Technické parametry QC – 10

- Rozlišení (citlivost) $0.1\mu\text{m}$
- Přesnost (kalibrační jednotka) $\pm 1.0\mu\text{m}$
- Přesnost (snímací systém) $\pm 0.5\mu\text{m}$
- Max. snímací frekvence 250Hz
- Max. počet bodů kruhu 3600
- Jmenovitý poloměr 100mm
- Prodloužení 50mm, 150mm, 300mm
- Rozsah teploty okolí $0 - 50^{\circ}\text{C}$



Hardwarové nároky QC – 10

- Procesor Pentium 75Mhz a vyšší
- Paměť RAM alespoň 8MB
- Volné místo na disku min. 3MB
- Operační systém DOS 6.2 a vyšší
- Výstupní zařízení tiskárna jehličková, inkoustová nebo laserová, HPGL kompatibilní plotter



Diagnostické možnosti QC - 10

- Diagnostika – graf (%)
- Diagnostika – graf (μm)
- Diagnostika – tabulka
- Kruhovitost ISO 230-1
- Non – Roundnes ANSI B5.54
- Analýza trendu
- Kolmost/chyba měřítka
- Max. opakovatelnost
- Statická opakovatelnost



Přínos pro uživatele obráběcích strojů

- Pružná metoda testování a srovnávání strojů dle mezinárodních standardů
- Snadná klasifikace kategorie přesnosti strojů
- Možnost periodického testování strojů a diagnostika trendu vývoje přesnosti
- Rychlá metoda diagnostiky závad

7. Závěr



Přínos pro výrobce obráběcích strojů

- Urychlení zjištění parametrů nově vyvíjeného stroje
- Zkrácení času nutného pro seřízení nového stroje
- Pružná metoda kontroly stroje po montáži u zákazníka včetně vystavení protokolu dle mezinárodních standardů
- Zkrácení doby servisního zásahu v důsledku rychlé diagnostiky příčin nepřesnosti stroje

Kapitola 5.2 ukazuje simulace zjednodušených rotačních modelů polohových servopohonů. Simulace jsou provedeny pro různé hodnoty časových konstant. Opět se ukazují výraznější odchylky ze při větších narušeních obou hmot.

Porovnání obou modelů je provedeno v kapitole 6.3. Problém odchylky od programované dráhy jsou, jak bylo možno očekávat, a zjednodušený model s větší odchylkou. Je-li k dispozici dostatečně vykonaný simulací program, má jednodušší model výhodu jen ve své názornosti a v možnosti vyjádřit průběh chyb analyticky.

Pozn. – Ve všech simulacích, kde je prováděno porovnávání dvou modelů, je zobrazena závislost rozdílu odchylek ΔR na jednom z úhlů Theta. Simulace bylo zjištěno, že odchylky obou úhlů se liší až na pátém až šestém desetinném místě. To v našem případě znamená, že můžeme považovat oba úhly za totožné. Při přesnějším znázornění by bylo nutné sestavit program, který by danému úhlu přiřadil odpovídající odchylku ΔR , a teprve poté provedl porovnání obou odchylek.

Seznam souborů na příloze disketu

- Model 1 – simulační schéma NC stroje složeného ze zjednodušených modelů lineárních motorů
- Model 2 – simulační schéma NC stroje složeného z jednodušených polohových servopohonů
- Model 1.1 – simulační schéma porovnávající dva Modely 1
- Model 1.2 – simulační schéma porovnávající Model 1 a Model 2
- Model 2.2 – simulační schéma porovnávající dva Modely 2

7. Závěr

V práci byl sestaven model NC stroje se dvěma osami. Nejprve pomocí náhradních modelů lineárních motorů a poté z nejjednodušších možných modelů polohových servopohonů. Bylo simulováno objíždění kružnice při různých dynamických poměrech v obou osách.

V kapitole 5.1 jsou provedeny simulace modelu s lineárními motory pro různé hmoty obou suportů. Při porovnávání dvou těchto modelů mezi sebou je patrné, že rozeznatelná odchylka ΔR se projeví až při větších rozdílech ve velikosti obou hmot.

Kapitola 5.2 ukazuje simulace s nejjednoduššími možnými modely polohových servopohonů. Simulace jsou provedeny pro různé hodnoty časových konstant τ . Opět se ukazují výraznější odchylky až při větších nerovnostech obou hmot.

Porovnání obou modelů je provedeno v kapitole 5.3. Průběhy odchylek od programované dráhy jsou, jak bylo možno očekávat, u uvažovaných modelů značně odlišné. Je-li k dispozici dostatečně výkonný simulační program, má jednoduchý model výhodu jen ve své názornosti a v možnosti vyjádřit průběh chyb analyticky.

Pozn. Ve všech simulacích, kde je prováděno porovnávání dvou modelů, je zobrazena závislost rozdílu odchylek ΔR na jednom z úhlů Theta. Simulací bylo zjištěno, že odchylky obou úhlů se liší až na pátém až šestém desetinném místě. To v našem případě znamená, že můžeme považovat oba úhly za totožné. Při přesnějším znázornění by bylo nutné sestavit program, který by danému úhlu přiřadil odpovídající odchylku ΔR a teprve poté provedl porovnání obou odchylek.

Seznam souborů na přiložené disketě:

- Model 1 - simulační schéma NC stroje složeného ze zjednodušených modelů lineárních motorů
- Model 2 - simulační schéma NC stroje složeného z jednoduchých polohových servopohonů
- Model 1,1 - simulační schéma porovnávající dva Modely 1
- Model 1,2 - simulační schéma porovnávající Model 1 a Model 2
- Model 2,2 - simulační schéma porovnávající dva Modely 2

Seznam použité literatury:

- [1] Círk, D.: Chyby NC obráběcího stroje vznikající při interpolaci vysokou posuvovou rychlostí. Diplomová práce. Liberec, TU 1997
- [2] Folt, L.: Návrh polohového servopohonu posuvu NC obráběcího stroje pro vysoké rychlosti. Diplomová práce. Liberec, TU 1998
- [3] Steiner, F.: Výpočet parametrů regulačního obvodu s lineárním motorem SIEMENS 1FN126 pro křížový stůl. Praha, ČVUT 1998
- [4] Skalla, J., Souček, P.: Pohony posuvů a vřeten NC obráběcích strojů s vysokou dynamikou. Seminář. Praha, ČVUT, FS, 1998
- [5] Kalaš, D., Jucha, I.: Matlab/ Simulink a Control System Toolbox. Krátky vstupný kurz pre Teóriu systémov a Základy automatizácie. Bratislava, STU 1996
- [6] Skalla, J.: Přednášky z předmětu Automatizace výrobních strojů. Liberec, TU, FS, 8. Semestr, 1997/1998
- [7] Hanuš, B., Balda, M.: Základy technické kybernetiky. I. Část. Skripta. Liberec, VŠST 1989
- [8] Poo, A.-N., Bollinger, J., Younkin, G.: Dynamic Errors Type 1 Contouring Systems. IEEE Transactions on Industry Applications, July/August, 1972