

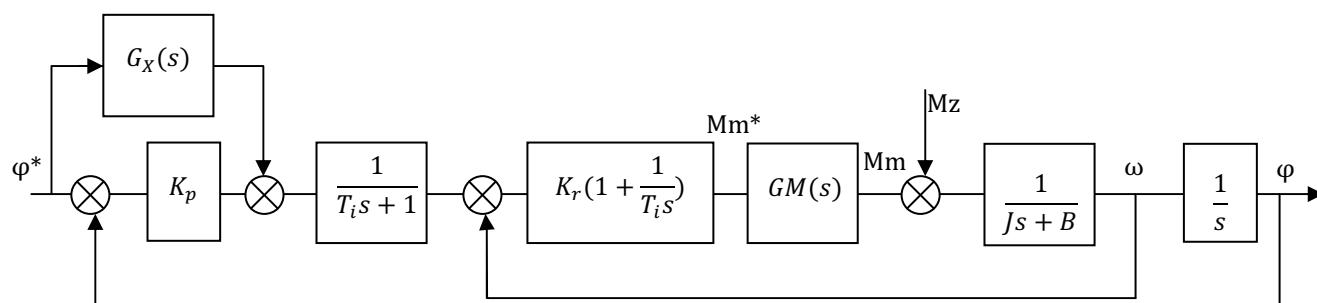
Servosystémy

Polohový servopohon s DCS600

Juraj Kostroš
35871

Zadanie:

Navrhните a realizujte podľa Obr.1. číslicový Master-Slave polohový servopohon systému
Tyristorový menič - jednosmerný motor DCS 600 s predkorekciou od uhlovej rýchlosti a zrýchlenia.



Obr.1. Polohový servopohon s P+PI štruktúrou riadenia

Úlohy:

1. Master generátor želanej veličiny je trojrozmerný
 - Generátor by mal byť nastaviteľný pre zvolený rozsah želanej polohy, maximálnej rýchlosti a momentu
 - Maximálne hodnoty master generátora nastavte na cca 70% z maximálnych hodnôt pohonu.
2. Vypočítajte parametre regulátorov a predkorekčných konštánt.
3. Simulačne overte navrhnutú Master-Slave polohovú štruktúru pre premiestnenie o malé hodnoty ($\pi/2$ až 2π) a väčšie hodnoty ($10-50\pi$)-práca na obmedzení
4. V ustálenom stave simulačne vyšetrite vplyv skoku záťaže ($10-50\%$) M_{max}
5. Vyšetrite vplyv predkorekcie na kvalitu riadenia.
6. Navrhnutý polohový servopohon realizujte na fyzikálnom modeli. Vykonajte rovnaké experimenty ako pri simuláciách

Obsah

Zadanie:	2
Úlohy:	2
Odvođenje parametrov regulátora P+PI metódou pole placement	4
Odvođenje parametrov predkorekčného člena.	5
Parametre servopohonu, mastra, predkorekčných konštánt a regulátora.....	6
Simulačná schéma:	6
Overenie navrhnutého riešenia	7
1. Vyšetrenie presunu o malé hodnoty	7
1.1 Zhodnotenie	8
2. Vyšetrenie presunu o väčšie hodnoty	9
2.1 Zhodnotenie	10
3. Vyšetrenie skoku záťaže	11
3.1 Zhodnotenie	12
4. Vyšetrenie vplyvu predkorekcie	13
4.1 Zhodnotenie	14
Záver	15
Príloha	16

Odvozenie parametrov regulátora P+PI metódou pole placement

Pri návrhu konštant regulátora sa berie do úvahy aj dynamika generátora momentu.

Prenos generátora momentu: $G_M = \frac{1}{1 + T_{GM}s}$

1. Prenos otvoreného obvodu rýchlosti:

$$G_{R0} = K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) * \frac{1}{T_{GM}s + 1} * \frac{1}{Js + B}$$

2. Prenos uzavretého obvodu rýchlosti:

$$G_R(s) = \frac{K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) * \frac{1}{T_{GM}s + 1} * \frac{1}{Js + B}}{1 + \left(K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) * \frac{1}{T_{GM}s + 1} * \frac{1}{Js + B}\right)} = \frac{K_r T_i s + K_r}{(Js + B)(T_{GM}s + 1)T_i s + (K_r T_i s + K_r)} =$$
$$= \frac{K_r * (T_i s + 1)}{s^3(JT_i T_{GM}) + s^2(JT_i + BT_i T_{GM}) + s(BT_i + K_r T_i) + K_r}$$

3. Charakteristický polynóm prenosovej funkcie 3. stupňa:

$$N(s) = s^3 + s^2 \frac{T_i(J + BT_{GM})}{T_i J T_{GM}} + s \frac{T_i(B + K_r)}{T_i J T_{GM}} + \frac{K_r}{T_i J T_{GM}} = s^3 + s^2 B_2 + s B_1 + B_0$$

$$N_0(s) = (s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2)(s + k\omega_0) = s^3 + s^2(2\xi\omega_0 + k\omega_0) + s(2\xi k\omega_0^2 + \omega_0^2) + k\omega_0^3 =$$
$$= s^3 + s^2 B_{20} + s B_{10} + B_{00}$$

4. Porovnaním koeficientov dostaneme vzťahy pre jednotlivé konštanty regulátora rýchlosti.

$$B_1 = B_{10} \gg \frac{B + K_r}{JT_{GM}} = \omega_0^2(1 + 2\xi k) \gg K_r = (JT_{GM}\omega_0^2(1 + 2\xi k)) - B$$

$$B_0 = B_{00} \gg \frac{K_r}{T_i J T_{GM}} = k\omega_0^3 \gg T_i = \frac{K_r}{JT_{GM}k\omega_0^3}$$

5. Prenos otvoreného obvodu polohy:

$$G_{P0} = G_R(s) * K_p * \frac{1}{T_i s + 1} * \frac{1}{s}$$

6. Prenos uzavretého obvodu rýchlosti:

$$G_P = \frac{\frac{K_p K_r (T_i s + 1)}{(s^4 T_i (JT_{GM}) + s^3 T_i (J + BT_{GM}) + s^2 T_i (B + K_r) + K_r s)(T_i s + 1)}}{1 + \left(\frac{K_p K_r (T_i s + 1)}{(s^4 T_i (JT_{GM}) + s^3 T_i (J + BT_{GM}) + s^2 T_i (B + K_r) + K_r s)(T_i s + 1)}\right)} =$$

$$= \frac{K_p K_r}{s^4 T_i J T_{GM} + s^3 T_i (J + B T_{GM}) + s^2 T_i (B + K_r) + K_r s + K_p K_r}$$

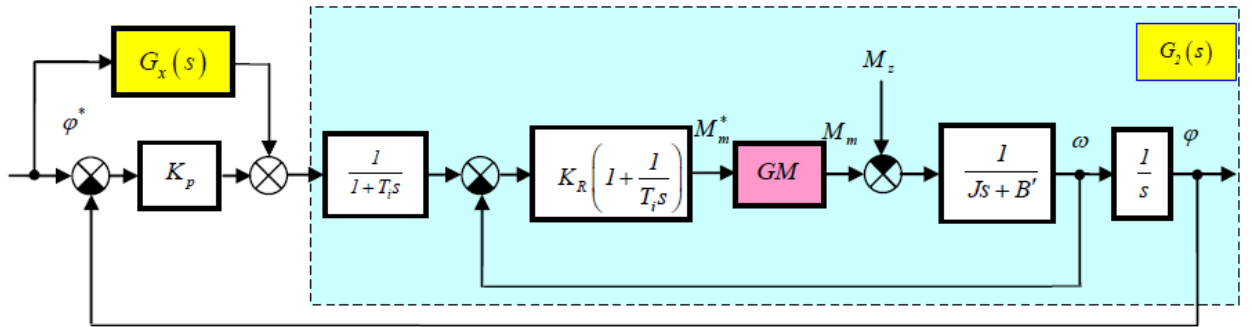
7. Charakteristický polynóm prenosovej funkcie 4. stupňa:

$$\begin{aligned} N_1(s) &= (s^2 + 2\xi_1\omega_0 s + \omega_0^2)(s^2 + 2\xi_2\omega_0 s + \omega_0^2) = \\ &= s^4 + s^3 2\omega_0(\xi_1 + \xi_2) + s^2 2\omega_0^2(1 + \xi_1\xi_2) + s 2\omega_0^3(\xi_1 + \xi_2) + \omega_0^4 \end{aligned}$$

8. Porovnaním koeficientov dostaneme vzťah pre konštantu zosilnenia regulátora polohy.

$$\omega_0^4 = \frac{K_p K_r}{T_i J T_{GM}} \gg K_p = \frac{\omega_0^4 K_r J T_{GM}}{\omega_0^3 K_r J T_{GM} k} \gg K_p = \frac{\omega_0}{k}$$

Odvozenie parametrov predkorekčného člena.



Obr.2. Bloková schéma polohového servopohonu s P+PI regulátorom s predkorekciou s filtrom

$$G_2(s) = \frac{K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) * \frac{1}{T_{GM} s + 1} * \frac{1}{J s + B}}{1 + K_r \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) * \frac{1}{T_{GM} s + 1} * \frac{1}{J s + B}} * \frac{1}{s} * \frac{1}{T_i s + 1} =$$

$$= \frac{K_r}{s^4 T_i J T_{GM} + s^3 T_i (J + B T_{GM}) + s^2 T_i (B + K_r) + K_r s}$$

$$G_x(s) = \frac{1}{G_2(s)} = \frac{1}{\frac{K_r}{s^4 T_i J T_{GM} + s^3 T_i (J + B T_{GM}) + s^2 T_i (B + K_r) + K_r s}} =$$

$$= 1s + \frac{T_i (K_r + B)}{K_r} s^2 + \frac{T_i (J + B T_{GM})}{K_r} s^3 + \frac{T_i J T_{GM}}{K_r} s^4$$

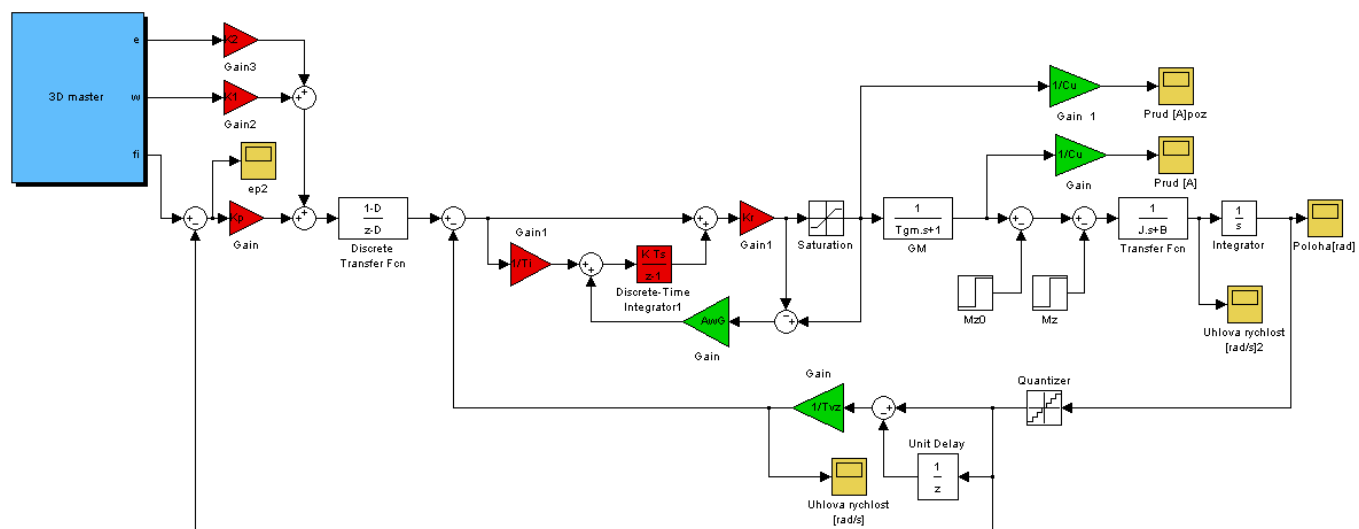
$$k_1 = 1, \quad k_2 = \frac{T_i (K_r + B)}{K_r}, \quad k_3 = \frac{T_i J T_{GM}}{K_r}$$

Parametre servopohonu, mastra, predkorekčných konštánt a regulátora

Tab.1.

M_{MAX}	4 Nm	Maximálny moment meniča
T_{GM}	0.018s	Časová konštanta generátora momentu
J	0.083 kg.m ²	Moment zotrvačnosti na hriadeľ motora
M_{Z0}	0.29 Nm	Suché trenie
B	0.003 Nm/rad/s	Konštanta viskózneho trenia
N_{mech}	2500 imp/ot	Základné delenie inkrementálne snímača
T_v	1e-3 s	Periódza vzorkovania
ω_{max}	37.50 rad/s	Obmedzenie uhlovej rýchlosti
e_{max}	12.0482 rad/s ²	Maximálne uhlové zrýchlenie
ω_0	15 rad/s	Pásmo priepustnosti
k	1	Posun reálneho pólu
ξ	5.5	koeficient tlmenia
φ	2π a 30π rad	posunutie
K_p	2.7273 kg.m ² .rad.s ⁻²	Zosilnenie regulátora polohy
K_r	4.0308	Zosilnenie regulátora rýchlosti
T_i	0.1453 s	integračná časová konštanta
k_1	1 Nm/rad/s	Koeficient predkorekcie
k_2	0.14545 kg.m ²	Koeficient predkorekcie
k_3	0.0206 kg.m ² .s	Koeficient predkorekcie

Simulačná schéma:



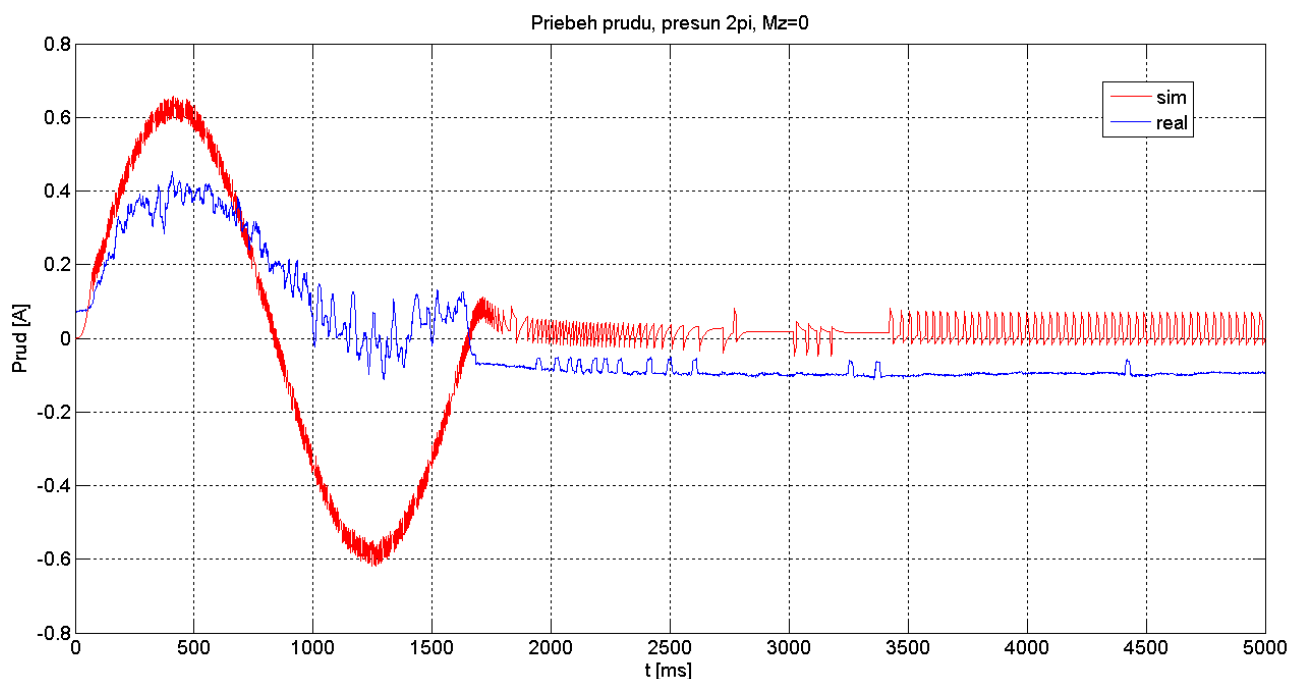
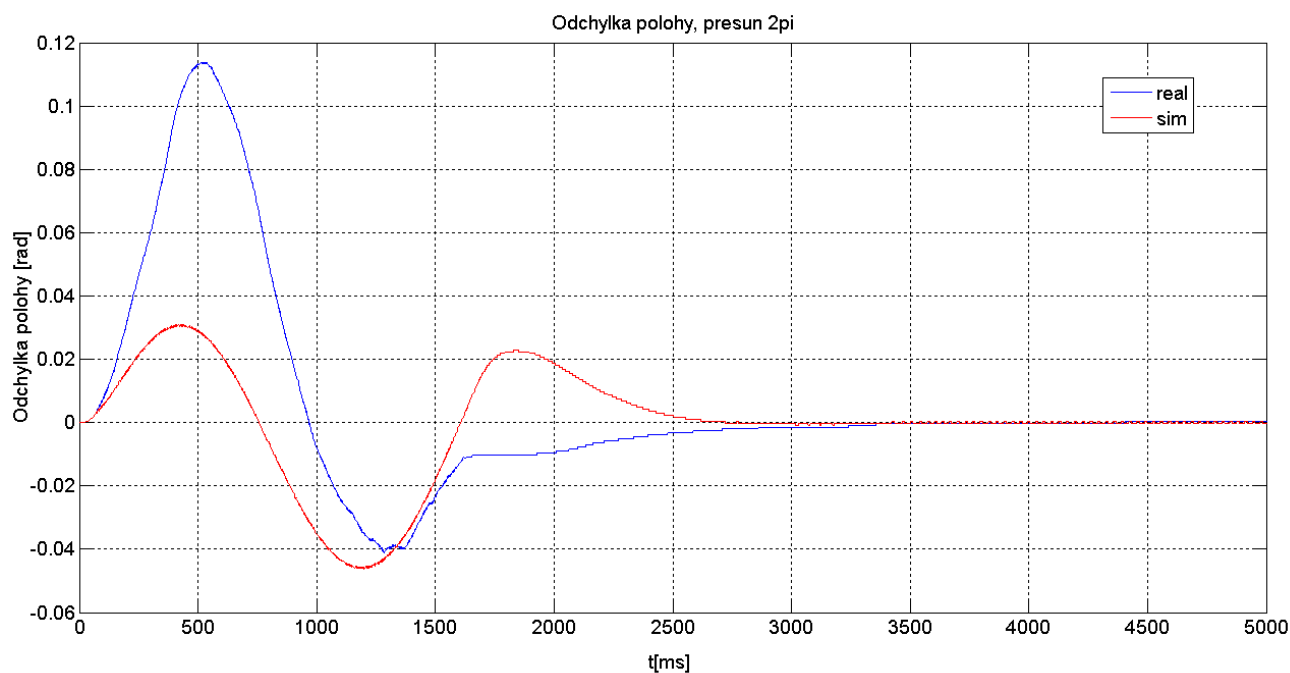
Obr.3. Simulačná schéma polohového servopohonu s P+PI regulátorom s predkorekciou s filtrom

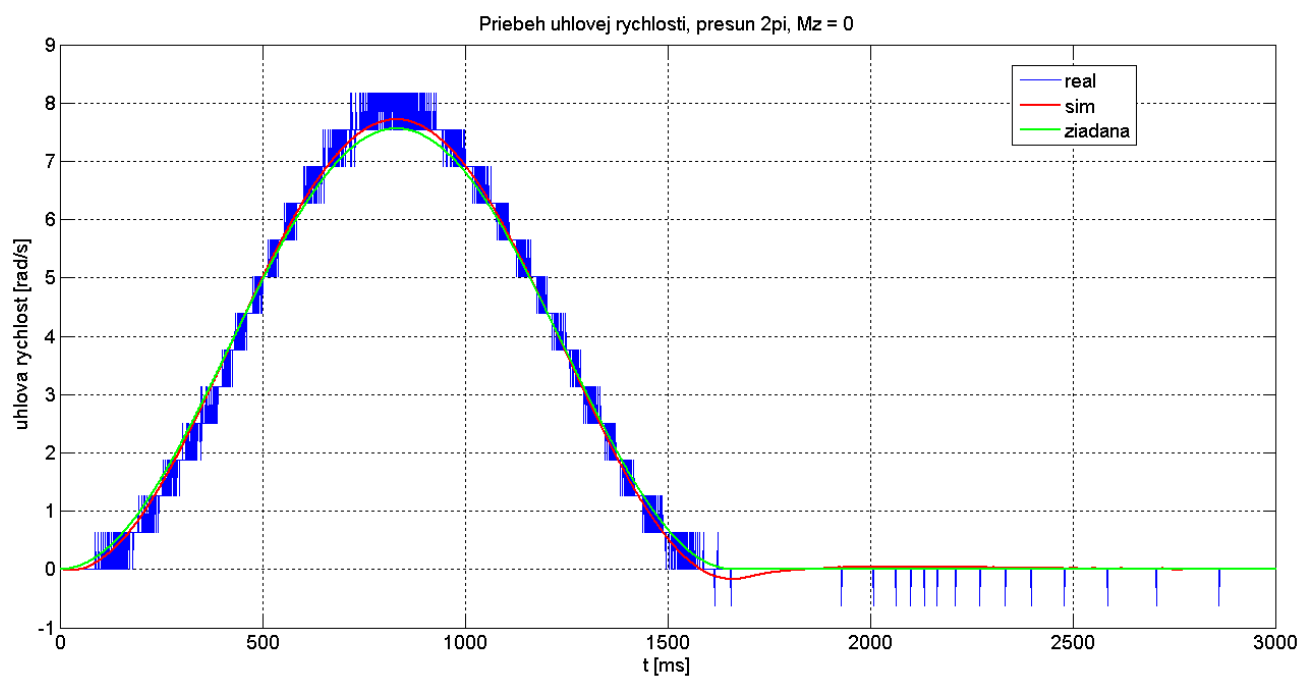
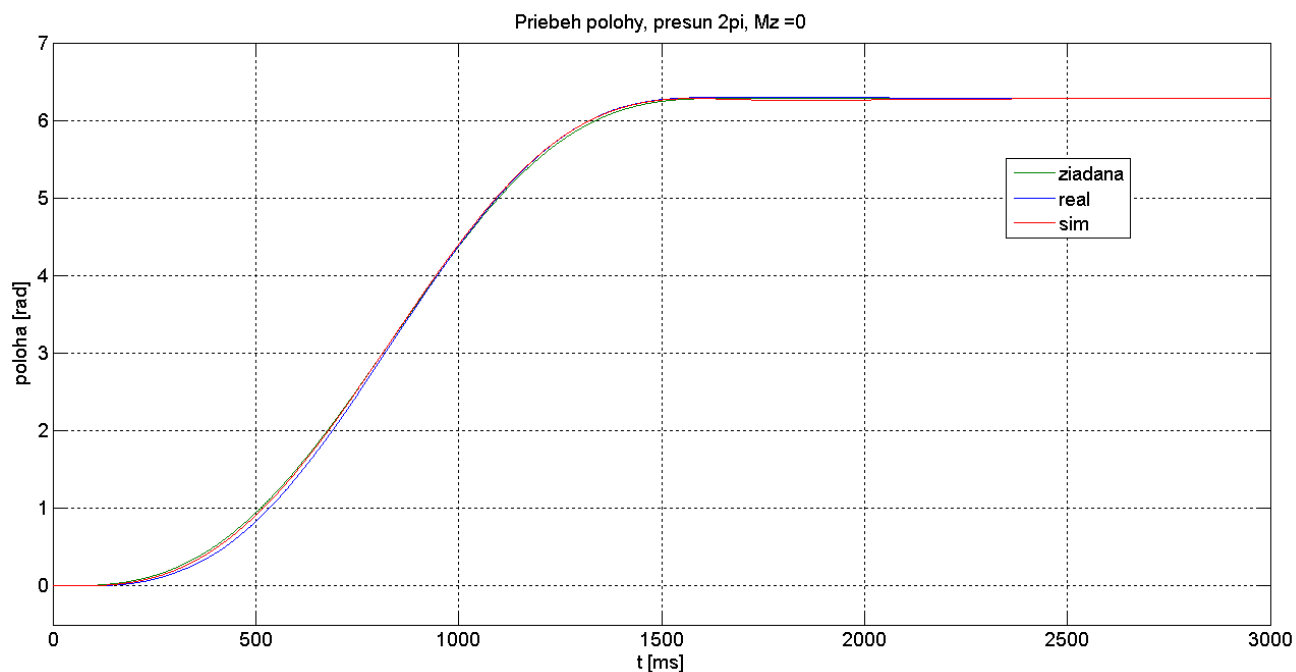
Overenie navrhnutého riešenia

Master generátor je trojrozmerný so sínusovým priebehom momentu. Pri jednotlivých experimentoch sú uvedené hodnoty, ktoré sa počas experimentov menia, ostatné sú v tabuľke 1. Maximálne hodnoty generátora sú nastavené na 25% z maximálnych hodnôt ($\omega_{\max}=37.50 \text{ rad/s}$; $e_{\max}=12.0482 \text{ rad/s}^2$). Navrhnutá štruktúra je simulačne overovaná pre malé premiestnenie ($2\pi \text{ rad}$) a pre veľké premiestnenie ($30\pi \text{ rad}$). Konštanty $\omega_0 = 15 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$, $k = 5.5$, $\xi = 1$ boli stanovené experimentálne.

1. Vyšetrenie presunu o malé hodnoty

Pri tomto overení sa hriadeľ motora otočí o $2\pi \text{ rad}$. V grafoch sú znázornené a porovnávané priebehy simulačného modelu spolu s fyzikálnym modelom, pričom neuvažujeme skok záťaže.



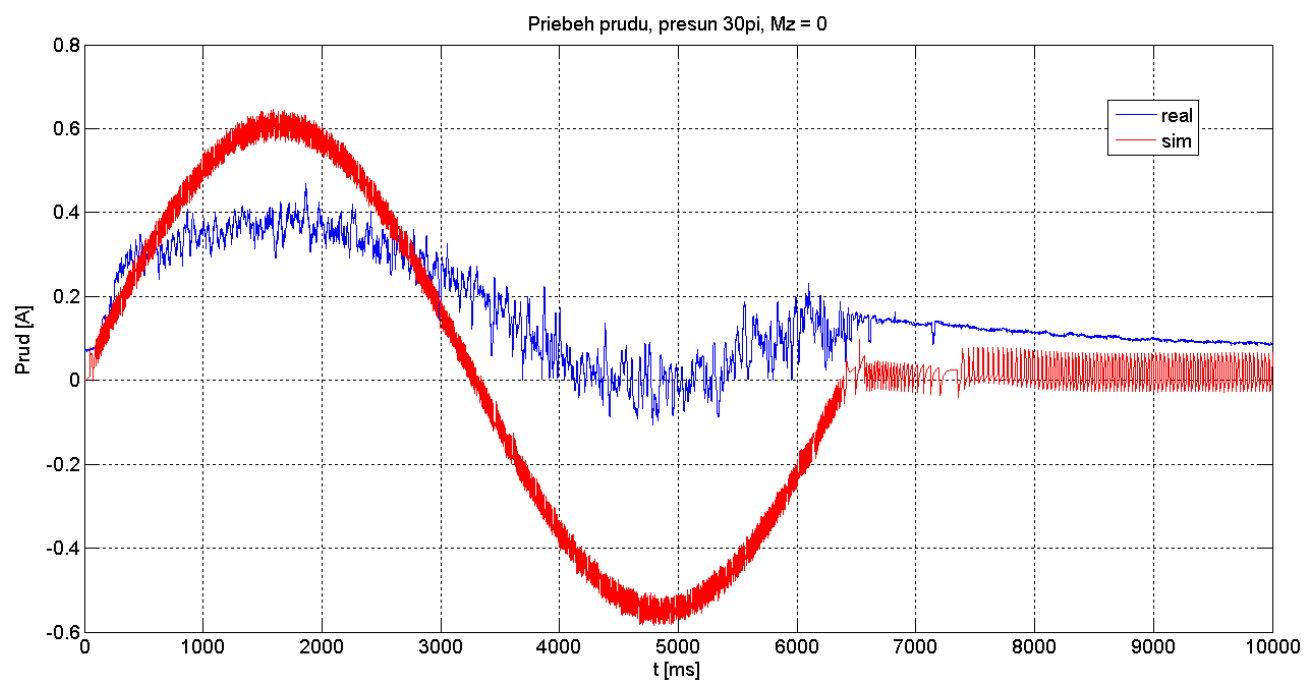
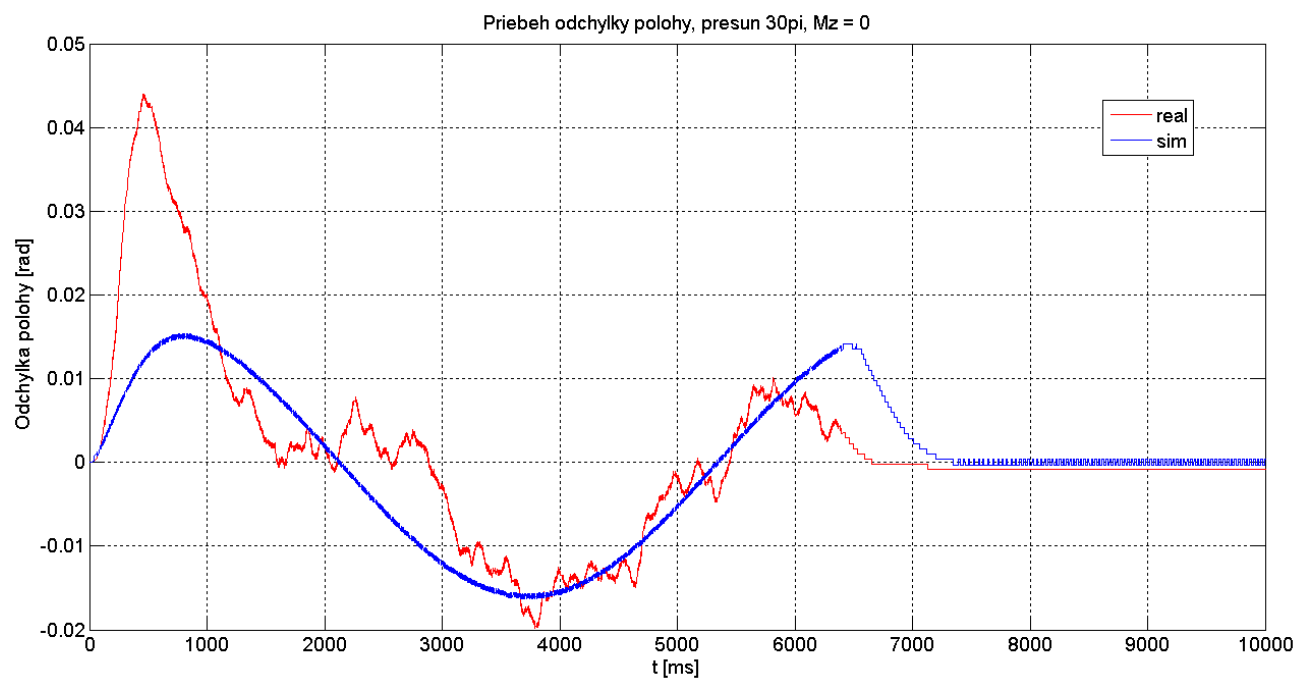


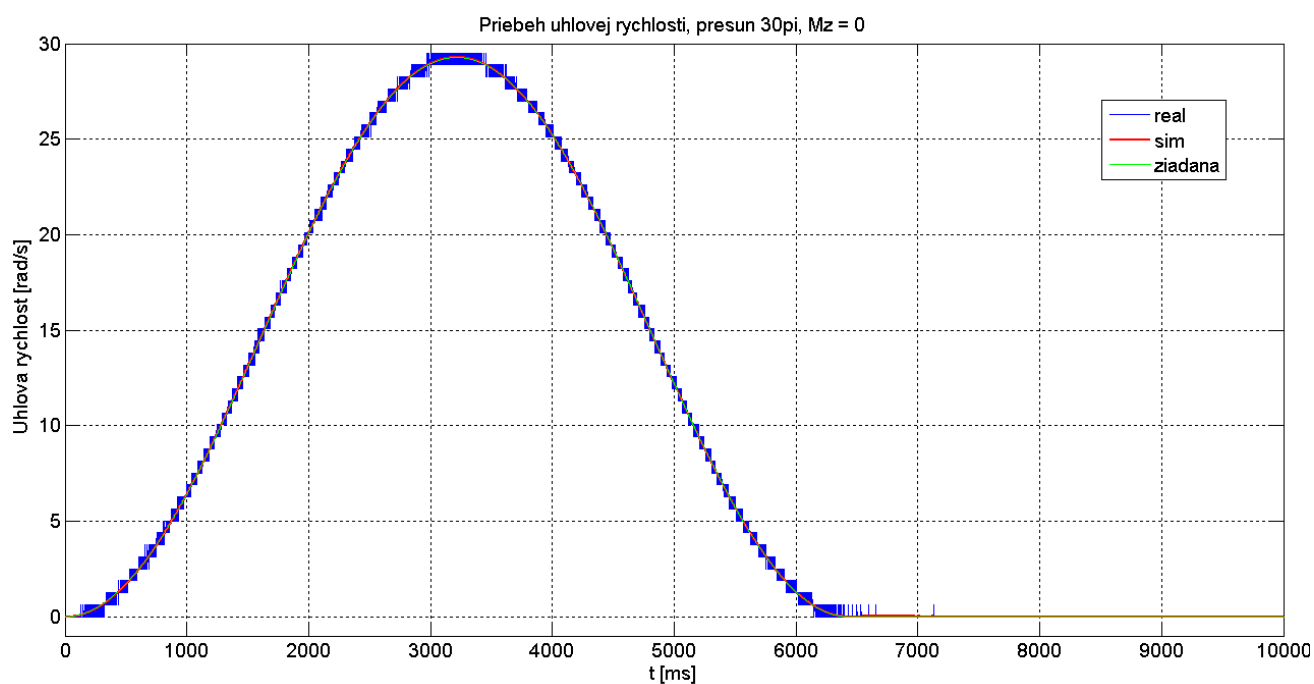
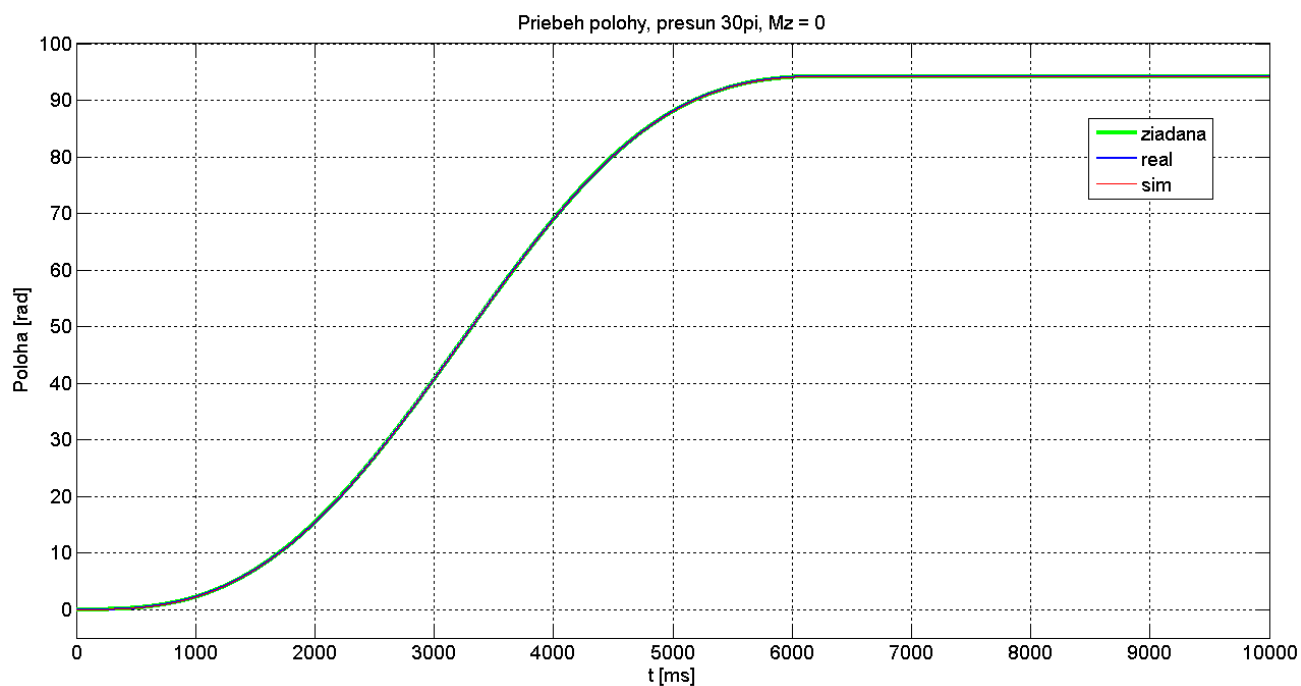
1.1 Zhodnotenie

Pri presune z 0 na 2π je priebeh odchýlky od polohy pomerne malý pri simulácii a pri fyzickej realizácii je niekoľkonásobne väčší. Priebehy polohy a uhlovej rýchlosti pri porovnávaní simulácie a realizácie sú takmer totožné, objavujú mierne zákmity. Preregulovanie sa neobjavilo.

2. Vyšetrenie presunu o väčšie hodnoty

Pri tomto overení sa hriadeľ motora otočí z 0 na 30π rad. V grafoch sú znázornené a porovnávané priebehy simulačného modelu spolu s fyzikálnym modelom, pričom neuvažujeme skok záťaže.



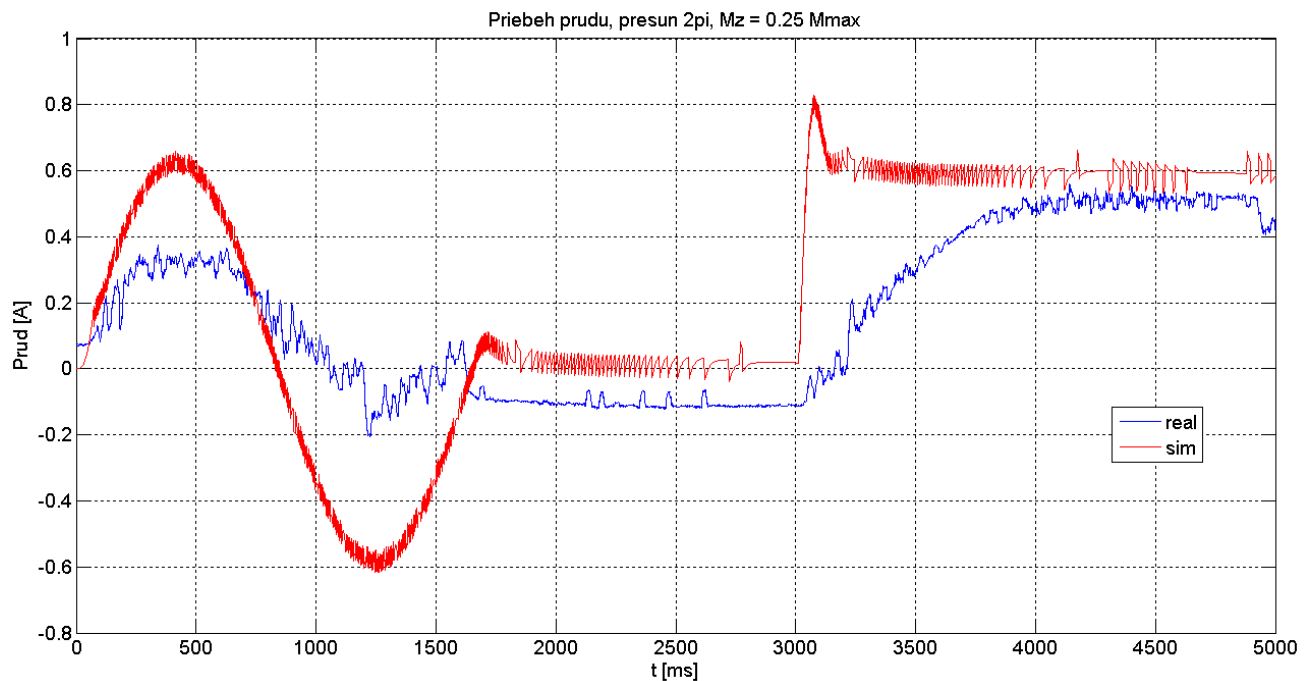
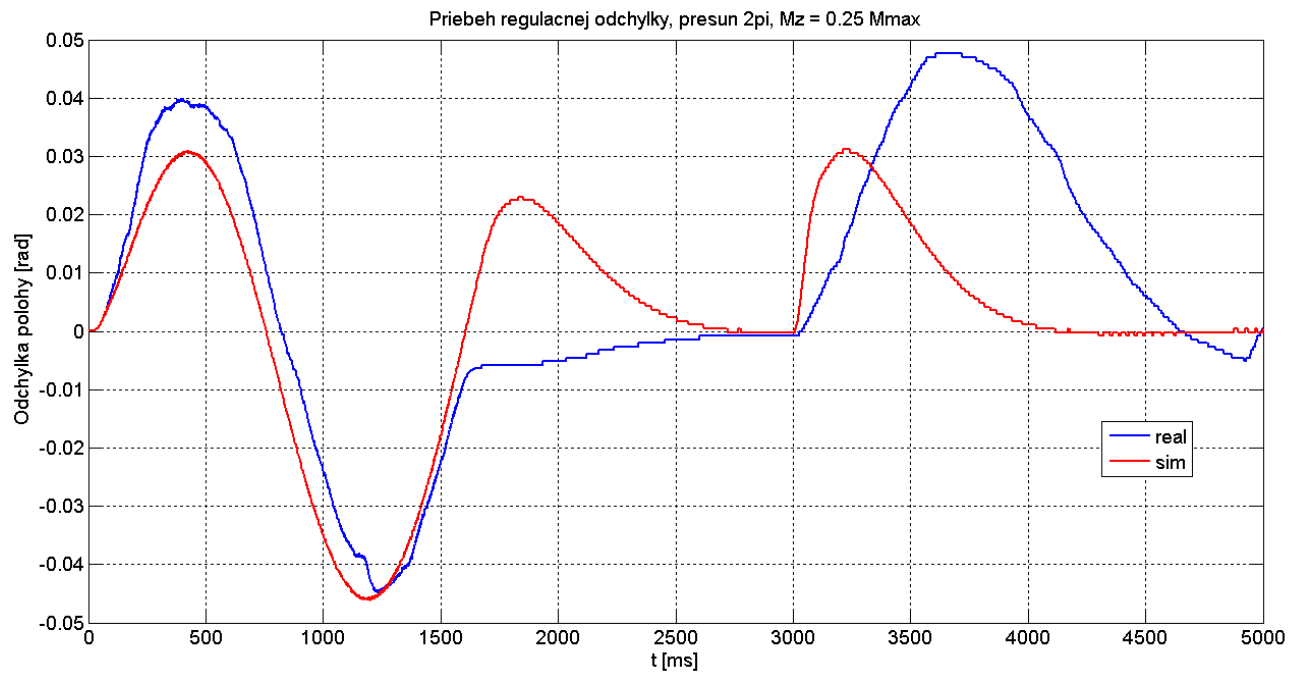


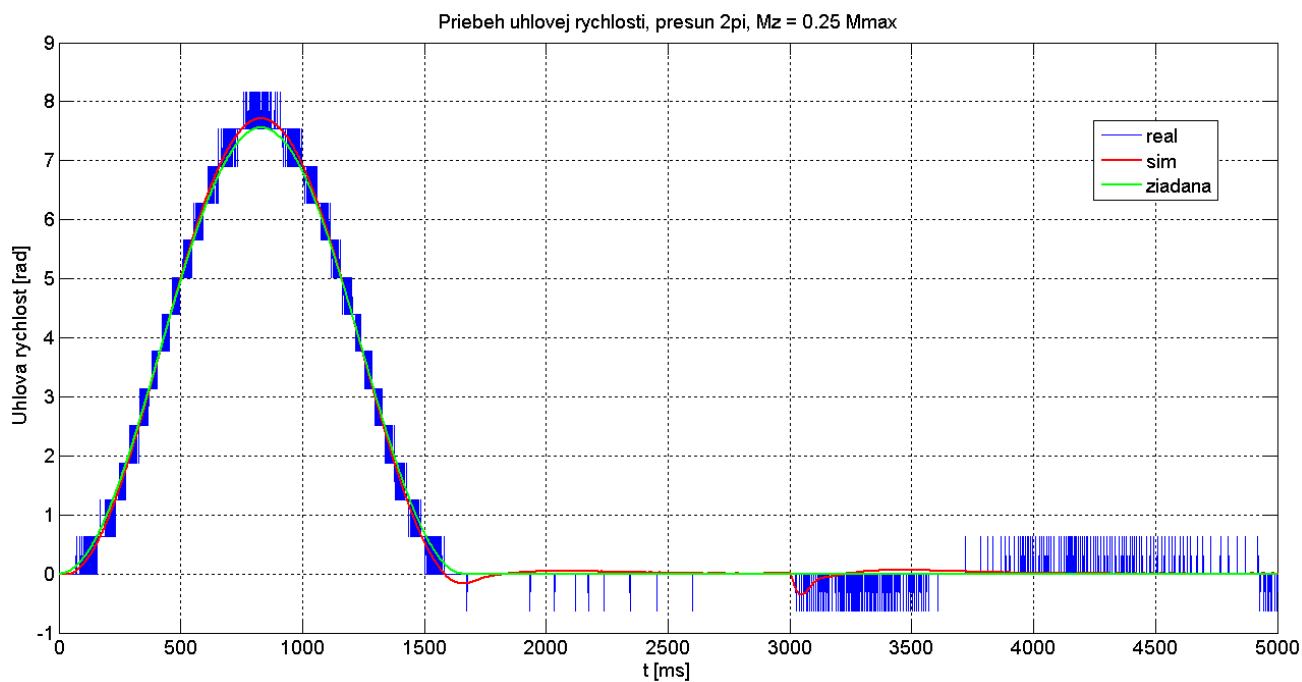
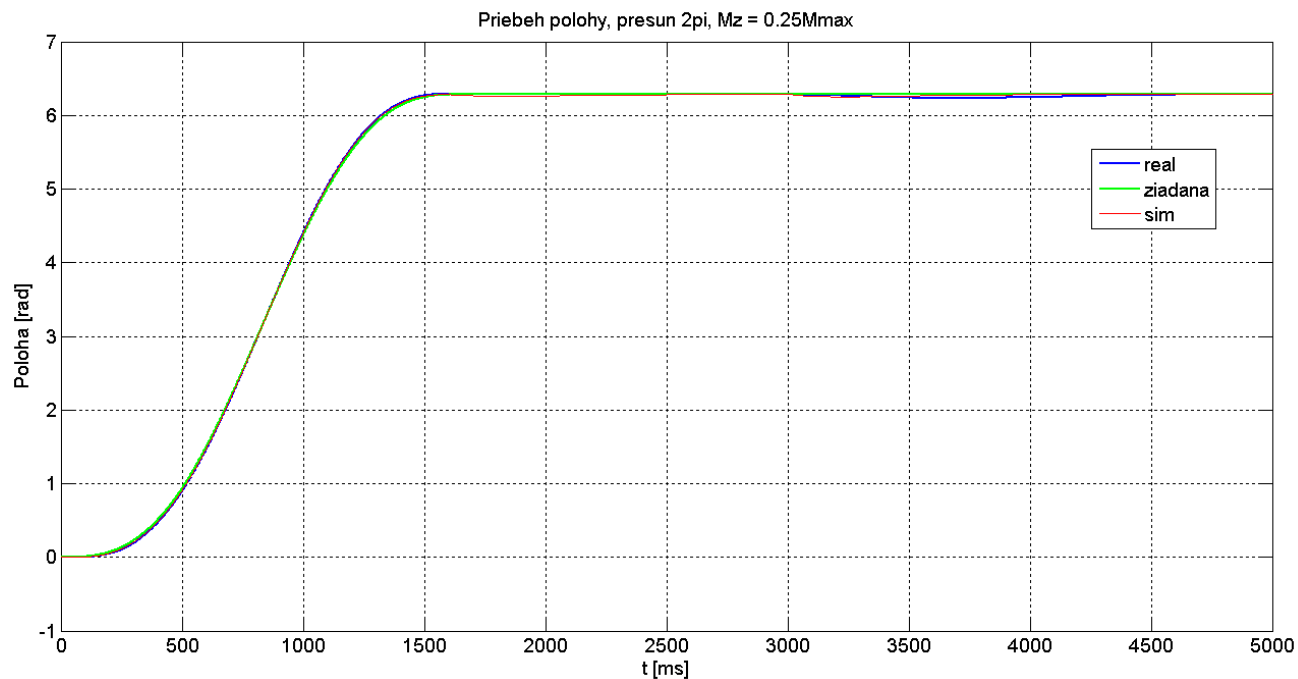
2.1 Zhodnotenie

Rovnako ako pri prvom meraní pre malé posunutie priebeh skutočnej polohy kopíruje priebeh požadovanej. Rozdiel medzi meraním na reálnom motore a simuláciou je pomerne malý. Požadovaná uhlová rýchlosť je obmedzená 25% maximálnej hodnoty, pretože pri väčších hodnotách dochádzalo k preregulovaniu, čo je pri polohovom servopohone nežiadúce. Priebeh momentu a regulačnej odchýlky neobsahujú kmitanie.

3. Vyšetrenie skoku záťaže

Pri tomto overení sa hriadeľ motora otočí o 2π rad. V grafoch sú znázornené a porovnávané priebehy simulačného modelu spolu s fyzikálnym modelom, pričom uvažujeme skok záťaže v čase 3s z 0 na 25% maximálneho momentu a potom trvalo pôsobí.



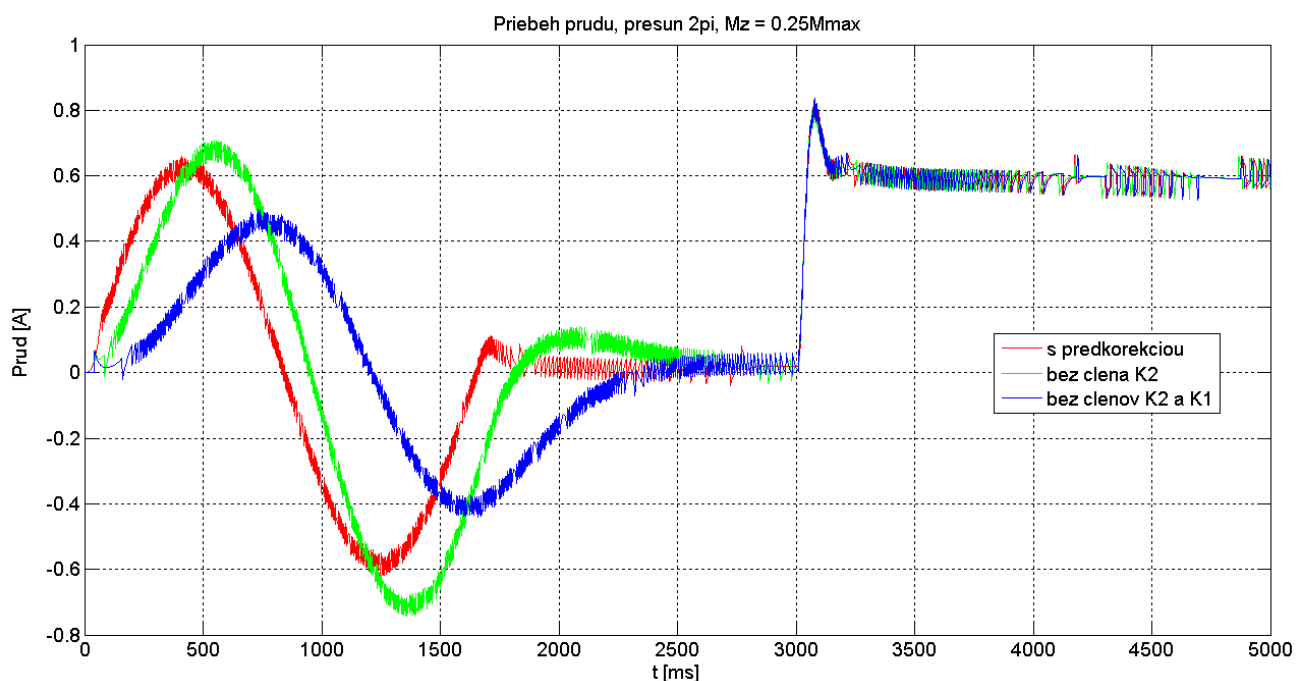
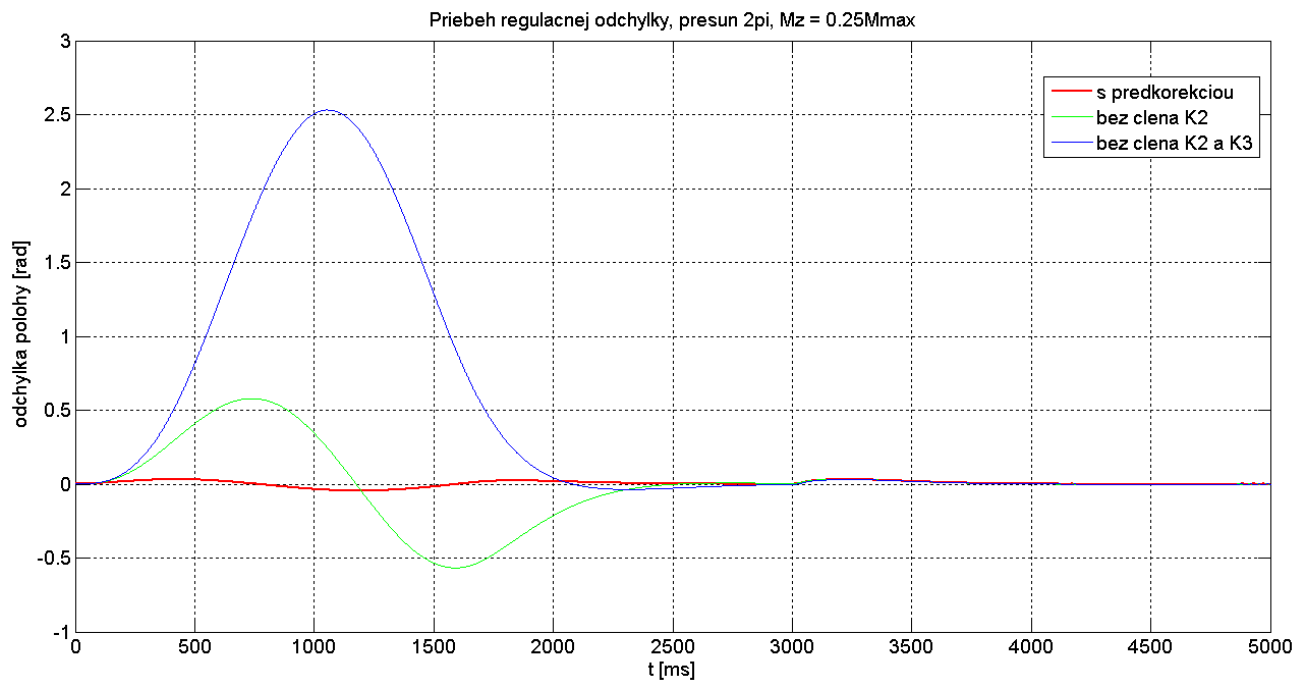


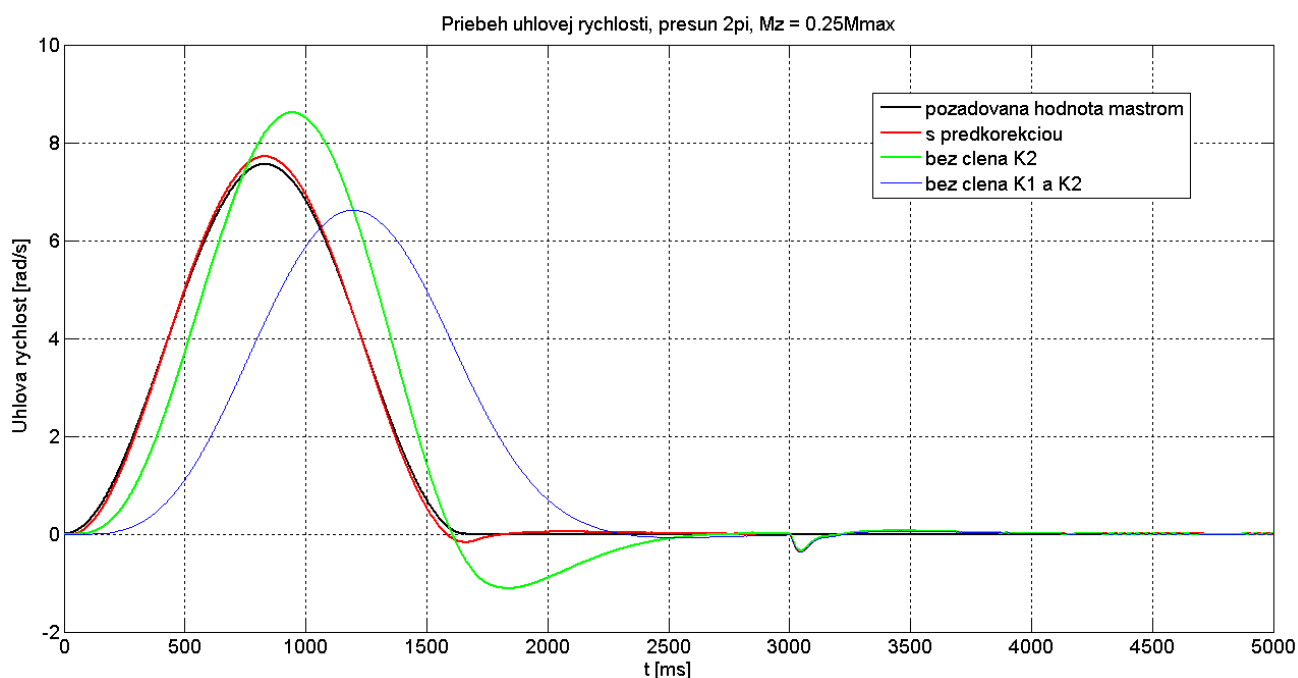
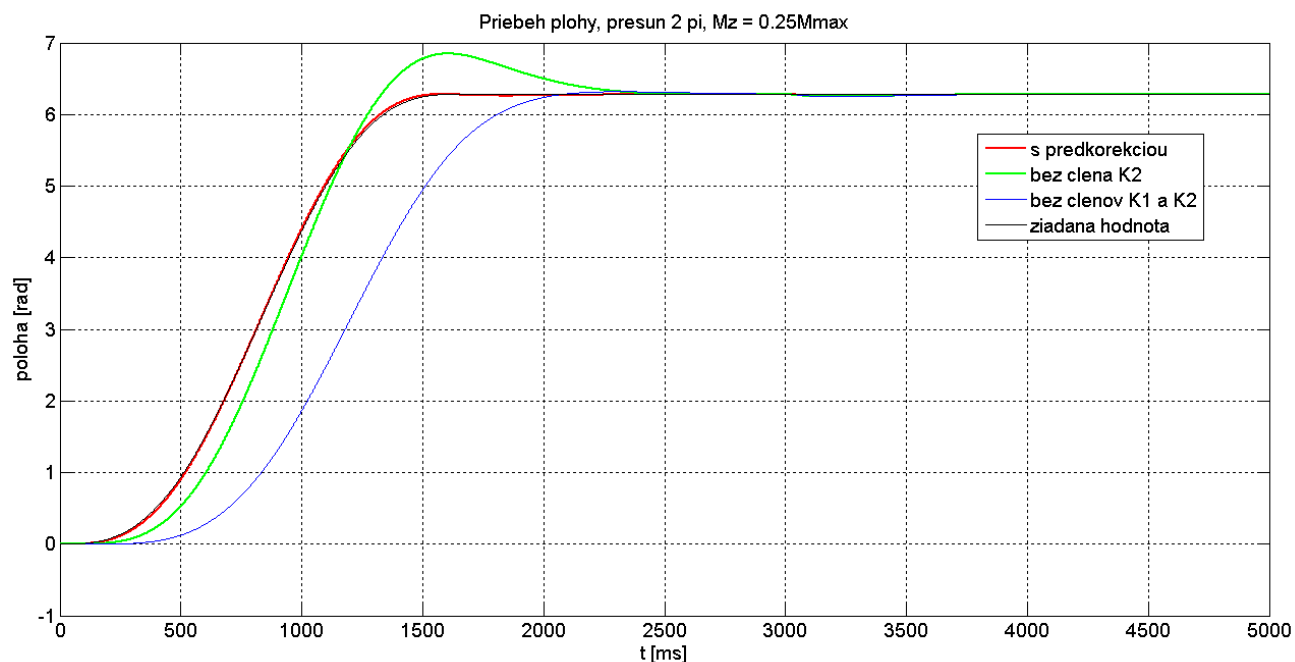
3.1 Zhodnotenie

Výšetrenie skoku záťaže bolo realizované pre malé hodnoty presunu a to z 0 na 2π rad. Čas potrebný na ukladanie dát pri reálnom experimente bol odvodený od času, ktorý bol potrebný pri simulácii a pri priebehu regulačnej odchýlky nie je zreteľne vidieť ustálenie v okolí požadovanej hodnoty. Priebehy, prúdu, polohy a uhlového zrýchlenia sú porovnateľné a odchýlky sú pomerne malé.

4. Vyšetrenie vplyvu predkorekcie

Pri tomto overení sa hriadeľ motora otočí o 2π rad. V grafoch sú znázornené a porovnávané priebehy simulačného modelu, pričom uvažujeme skok záťaže v čase 3s z 0 na 25% maximálneho momentu a potom trvalo pôsobí. Aby sa zistilo aký má vplyv predkorekcia na kvalitu riadenia, tak boli urobené priebehy s predkorekciou, bez člena K2, a bez predkorekcie (bez členov K1 a K1'), kde požadovanú polohu udával master generátor.





4.1 Zhodnotenie

Experiment mal overiť výhodu dopredného riadenia, zabezpečiť nezávislosť riadenia na vstupnej veličine. Cieľom bolo dosiahnuť ideálne prenosové vlastnosti, tak aby $y(s)=w(s)$. Experiment bol vykonávaný postupným odpájaním koeficientov predkorekcie. Zistení bol rozdiel ak sú odpojené tieto členy najmä pri regulačnej odchylke od polohy, kde rozdiel bol o 1 rad, najhoršie výsledky boli dosiahnuté, keď bol odpojený člen K2

Jednoznačne je výhodou využiť kombinované (dopredné) riadenie pri návrhu polohového riadenia, pretože systém využívajúci takéto riadenie má lepšiu dynamiku, čo je pre použitie v priemyselných aplikáciách niekedy dosť podstatné.

Záver

P+PI regulátor polohy bol navrhnutý metódou pole-placement. Pri návrhu bola uvažovaná dynamika systému. Z prenosovej funkcie 3.stupňa G_R boli odvodené koeficienty K_r a T_i , potom z prenosovej funkcie 3.stupňa, bol odvodený koeficient K_p

Voliteľné bolo pásmo priepustnosti ω_0 . Následne bola odvodená prenosová funkcia predkorekčného člena G_x .

Programový, sinusový 3D Master generátor ma želaný vektor $[\varphi, \omega_{\max}, \alpha_{\max}]$.

Vlastnosti navrhnutého riešenia sú overené simuláciou a meraním na funkčnom vzorku.

Regulátor je implementovaný číslicovo. Perióda vzorkovania $T_v=1$ [ms].

V dokumente je uvedená schéma simulácie.

Prvý experiment overuje správnosť návrhu P+PI regulátora a konštánt Master-Slave, vhodnosť voliteľných parametrov a funkčnosť celej schémy pri premiestnení o malé hodnoty. Priebehy simulácie a realizácie sú takmer totožné, objavilo sa kmitanie.

Druhý experiment simulačne overuje navrhnutú Master-Slave polohovú štruktúru pre premiestnenie o väčšie hodnoty ($30 \cdot \pi$ rad).

V treťom experimente bola v ustálenom stave overená schopnosť systému vzniknutý skok záťaže vyregulovať. P+PI regulátor sa po skoku vrátil na požadovanú hodnotu pri všetkých meraných veličinách.

Posledný experiment vyšetroval vplyv predkorekcie na kvalitu riadenia.

Aplikácia korekčného člena zabezpečuje lepšie prenosové vlastnosti regulačnej štruktúry.

Príloha

Matlab M-file:

```
format long;
Tgm = 0.018;
Tvz = 1e-3;
B = 0.003;
J = 0.083;
Cu = 1.73;

%Maximálny moment
Mn = 4;
%rozlisenie IRC
Nmech = 2500;
%suche trenie
Mz0 = 0.029;
%zataz
Mz=Mn*0.25;
%Maximalne uhlove zrychlenie - obmedzenie mastra
emax=0.25*Mn/J;
%Maximalna uhlova rychlost - obmedzenie mastra
wmax=150*0.25;
%poloha
fi=30;
%uhlova frekvencia
w0 = 15;
%tlmenie
b = 1;
%posunutie polov
%k = 0.085;
k = 5.5;
%zosilnenie antiwindup
AwG = 650;
%konstanty regulatora
Kr = ((w0^2*(1+2*b*k))*J*Tgm)-B;
Ti = (Kr)/(w0^3*J*Tgm*k);
Kp = w0/k;
K1 = 1;
K2 = (Ti*(B+Kr))/Kr;
K3 = (J+B*Tgm)/Kr;
%filter
D=exp(-Tvz/Ti);
```