

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

POLOHOVÝ SERVOSYSTÉM
ZADANIE

Obsah

Úvod	1
1 Úlohy	2
2 Popis motora a regulátorov	3
2.1 Model sústavy	3
2.2 PIV regulátor	4
2.3 I-PD regulátor	5
3 Syntéza	6
3.1 Syntéza PIV regulátora	6
3.2 Syntéza I-PD regulátora	7
4 Simulačné overenie regulátorov	8
4.1 PIV regulátor	8
4.2 I-PD regulátor	9
5 Experiment na reálnom zariadení	12
6 Súhrn	15
Záver	16
Zoznam použitej literatúry	17

Zoznam obrázkov a tabuliek

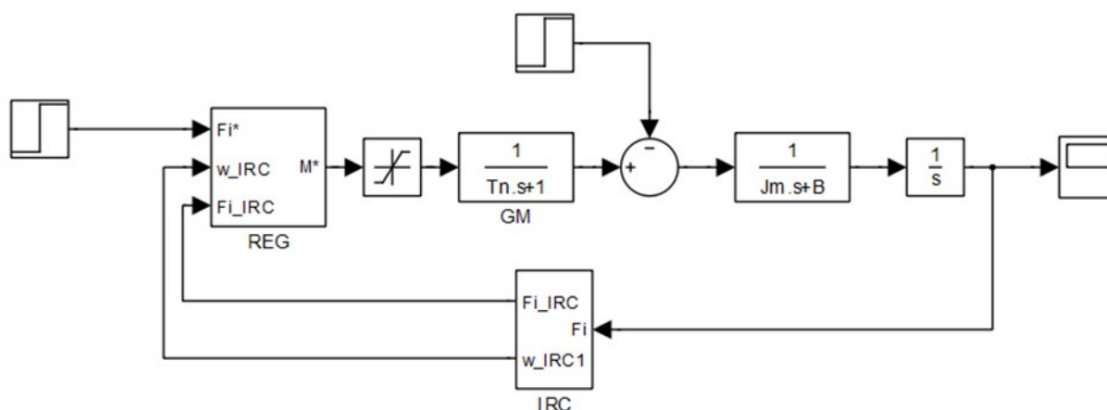
Obrázok 1.1	Simulačná schéma	2
Obrázok 2.1	Bloková schéma motora	3
Obrázok 2.2	Bloková schéma PIV regulátora	4
Obrázok 2.3	Bloková schéma I-PD regulátora	5
Obrázok 3.1	Bloková schéma riadenia motora s použitím PIV regulátora	6
Obrázok 3.2	Bloková schéma riadenia motora s použitím I-PD regulátora	7
Obrázok 4.1	Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času	8
Obrázok 4.2	Závislosť momentu motora od času	8
Obrázok 4.3	Závislosť rýchlosti motora od času	9
Obrázok 4.4	Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času	10
Obrázok 4.5	Závislosť momentu motora od času	10
Obrázok 4.6	Závislosť rýchlosti motora od času	11
Obrázok 5.1	Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času	12
Obrázok 5.2	Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času	13
Obrázok 5.3	Závislosť momentu motora od času	13
Obrázok 5.4	Závislosť rýchlosti motora od času	14

Úvod

Cieľom zadania je naučiť sa navrhovať regulátor, zostrojiť syntézu pre riadiaci systém pre jednosmerný/asynchrónny motor a zistiť ako vplyvajú parametre regulátorov na priebehy modelu. V zadaní je potrebné simulovať dva modely regulátorov, konkrétne PIV a I-PD regulátor. Porovnať simulované a namerané priebehy.

1 Úlohy

Navrhните riadenie polohového servomechanizmu. Simulačne overte funkčnosť na zadanom matematickom modeli. Navrhnuté riešenie overte aj na reálnom zariadení (HSM150 resp. ACS800). Simulačne aj na reálnom systéme overte vlastnosti navrhnutého riešenia. Vypracujte



Obr. 1.1: Simulačná schéma

písomný referát, ktorý má obsahovať:

1. Model sústavy: riadiaci systém - generátor momentu - jednosmerný/asynchrónny motor(spojité).
2. Návrh a opis aspoň dvoch regulačných štruktúr obvodu polohy (v spojitkej forme).
3. Syntézu dvoch vybraných regulátorov polohy (v spojitkej forme).
4. Simulačne overte kvalitu riadenia pre oba typy regulátora - a aspoň pre 2 rôzne zmeny polohy (malá zmena a extrémne veľká zmena). Maximálnu hodnotu žiadaného momentu motora obmedzte na hodnotu $0,75 \cdot M_n$.
5. Simulačne overte vplyv záťaže, ako poruchovej veličiny v ustálenom stave (napr. 10-40% z M_n).
6. Rovnaký experimenty realizujte na reálnom zariadení (avšak bez vplyvu záťaže).
7. Vyhodnot' te dosiahnuté výsledky, vypracujte protokol.
8. Uved' te použitú literatúru.

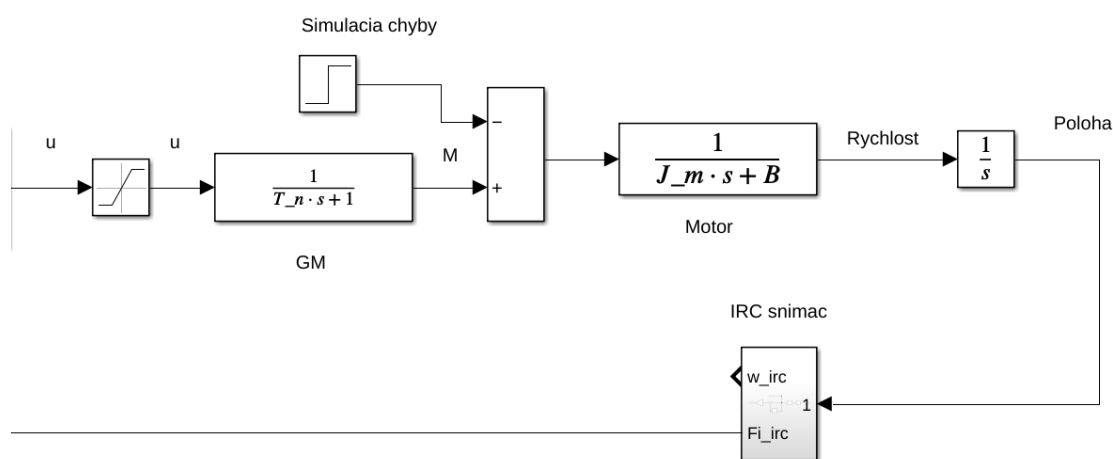
2 Popis motora a regulátorov

V zadaní sme použili motor ASC800, na ktorého riadenie sme použili regulátor PIV a simulačné sme ho porovnali s regulátorom I-PD.

Označenie	Hodnota	Názov
M_n	$6.4Nm$	Nominálny moment motora
T_n	$15ms$	Náhradná časová konštanta generátora momentu
J_n	$0.005kg.m^2$	Moment zotrvačnosti
M_{z0}	$0.033Nm$	Suché trenie
B'	$0.0024Nm/rad/s$	Koeficient viskózneho trenia
N_{el}	$10000imp/ot$	Počet impulzov IRC na jednu otáčku po štvornásobení
T_{vz}	$4ms$	Periódna vzorkovania

Parametre motora ACS800

2.1 Model sústavy

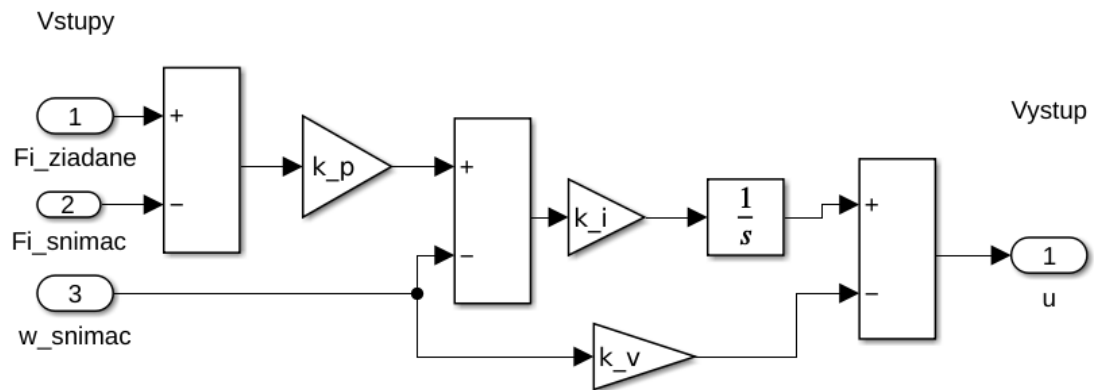


Obr. 2.1: Bloková schéma motora

V prostredí Simulink sme si namodelovali schému motora s generátorom momentu. Tak-
tiež sme pri simulácii použili blok saturácie aby sme zamedzili motoru vyvíjať maximálne
momenty. Moment sme nastavili na 75% maximálnej hodnoty. Použili sme prenosovú funkciu
jednosmerného motora.

2.2 PIV regulátor

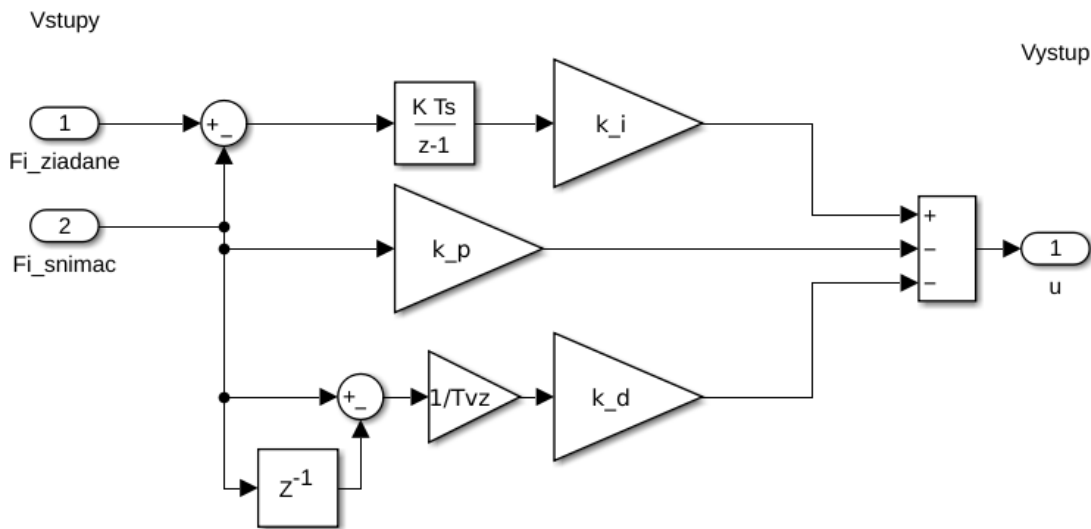
PIV regulácia je jednou z najbežnejších metód ladenia v servo aplikáciách. Pracuje s dvoma regulačnými slučkami, pre polohu a rýchlosť. Táto metóda riadenia potrebuje referenčný vstupný signál a dva spätnoväzbové signály, ktoré sa môžu merať pomocou tachometra a snímača alebo len pomocou meradla, ale doplneného o odhad stavu. Odmietanie porúch je jednou z dôležitejších vlastností regulátora. Regulátor PIV môže mať dobrú mieru odmietnutia, ale vykonaním aktívnej kompenzácie porúch môžeme zlepšiť referenčnú hodnotu regulátora.[1]



Obr. 2.2: Bloková schéma PIV regulátora

2.3 I-PD regulátor

Pozícia I-PD je algoritmus, ktorý možno použiť na riadenie pohybu v uzavretej slučke na polohovej osi. I-PD znamená centrálné zisky používané v tomto režime: Integrálny, proporci-
onálny a diferenciálny. Písmeno označuje, ako algoritmus používa tieto zisky. Pre väčšinu pohy-
bových aplikácií nie je polohový I-PD taký vhodný ako polohový PID. Polohový I-PD sa však
od polohového PID líši tým, že sa dá ľahko vyladiť tak, aby nedochádzalo k jeho prekročeniu.
Polohový I-PD je preto veľmi vhodný pre aplikácie, kde cieľová poloha skáče. Príkladom je
os orientovaná na referenčný vstup, ktorá robí diskrétné skoky. Polohový I-PD zvyčajne nerea-
guje tak rýchlo a nepoužíva posuv dopredu. Preto bude pri pohybe vždy zaostávať za cieľovou
polohou.[2]



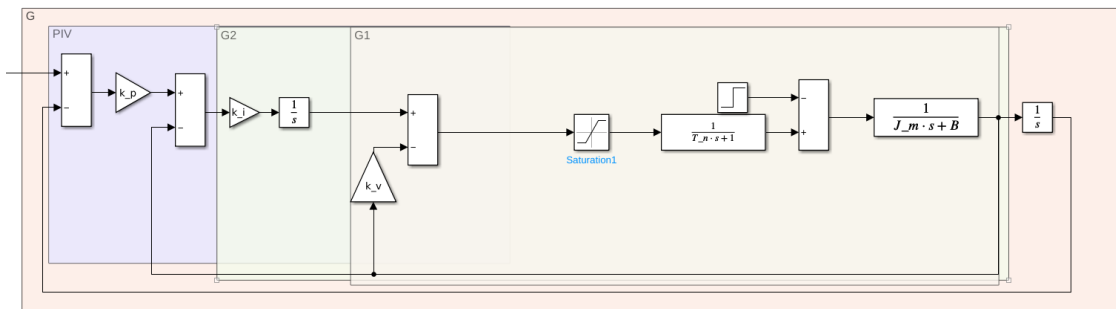
Obr. 2.3: Bloková schéma I-PD regulátora

3 Syntéza

$$N_{o(s)} = s^3 + \omega_0(2b_0 + k)s^2 + \omega_0^2(2b_0k + 1)s + k\omega_0^3$$

Charakteristický polynóm $N_{o(s)}$ vložíme neskôr do rovnosti s charakteristickým polynómom $N(s)$ aby sme si vyjadrili nastaviteľné parametre regulátora.

3.1 Syntéza PIV regulátora



Obr. 3.1: Bloková schéma riadenia motora s použitím PIV regulátora

Pre zjednodušenie syntézy si model rozdelíme na menšie pod modely 3.1.

$$G_{1(s)} = \frac{G_{ORO}}{1 + G_{ORO}} = \frac{\frac{1}{J_s + B'}}{1 + \frac{1}{J_s + B'}k_v} = \frac{1}{J_s + B' + k_v}$$

$$G_{2(s)} = \frac{\frac{1}{J_s + B' + k_v} \frac{k_i}{s}}{1 + \frac{1}{J_s + B' + k_v} \frac{k_i}{s}} = \frac{\frac{k_i}{J}}{s^2 + \frac{B' + k_v}{J}s + \frac{k_i}{J}}$$

$$G(s) = \frac{G_{2(s)}G_{2(s)}\frac{k_p}{s}}{1 + G_{2(s)}G_{2(s)}\frac{k_p}{s}} = \frac{\frac{k_p k_i}{J}}{s^3 + \frac{B'k_v}{J}s^2 + \frac{k_i}{J}s + \frac{k_p k_i}{J}}$$

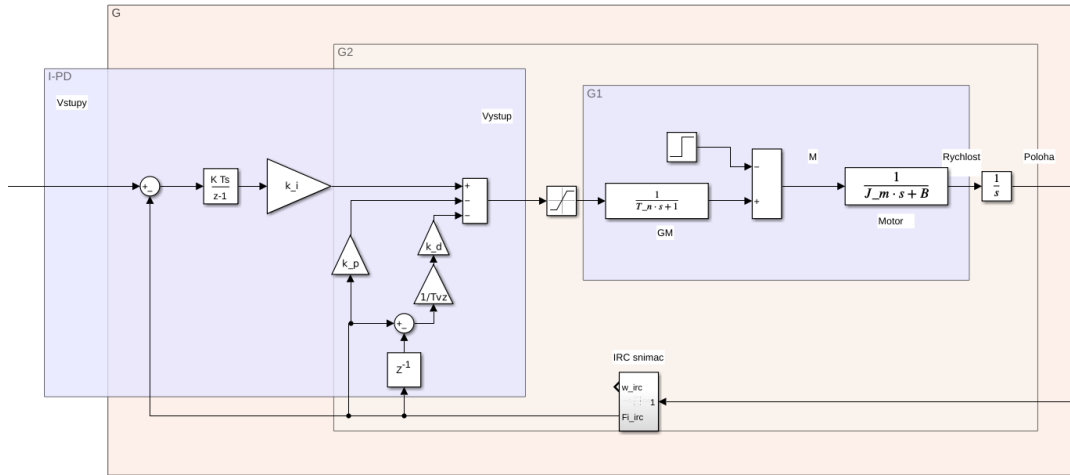
Z menovateľa $G(s)$ získame charakteristický polynóm $N(s)$. Nastaviteľné parametre regulátora vypočítame rovnosťou $N_{o(s)} = N(s)$ a porovnáme členy s rovnakými rádmi. Pri metóde poleplacement si volíme konštanty k, ω_0, b_0 .

$$\frac{B' + k_v}{J} = \omega_0(2 * b_0 + k) \Rightarrow k_v = \omega_0(2b_0 + k)J - B'$$

$$\frac{k_i}{J} = \omega_0^2(2 * b_0k + 1) \Rightarrow k_i = \omega_0^2(2b_0k + 1)J$$

$$\frac{k_p k_i}{J} = k\omega_0^3 \Rightarrow k_p = \frac{k\omega_0^3 J}{k_i} = \frac{k\omega_0}{2b_0k + 1}$$

3.2 Syntéza I-PD regulátora



Obr. 3.2: Bloková schéma riadenia motora s použitím I-PD regulátora

Pre zjednodušenie syntézy si model rozdelíme na menšie pod modely 3.2.

$$G_{1(s)} = \frac{1}{Js + B'}$$

$$G_{2(s)} = \frac{\frac{1}{Js+B'} \frac{1}{s}}{1 + \frac{k_p+k_d}{s} \frac{1}{Js+B'}} = \frac{1}{Js^2 + (B' + k_d)s + k_p} = \frac{\frac{1}{J}}{s^2 + (\frac{B'+k_d}{J})s + \frac{k_p}{J}}$$

$$G_{(s)} = \frac{\frac{k_i}{Js} \frac{1}{s^2 + (\frac{B'+k_d}{J})s + \frac{k_p}{J}}}{1 + \frac{k_p}{Js} \frac{1}{s^2 + (\frac{B'+k_d}{J})s + \frac{k_p}{J}}} = \frac{\frac{k_i}{J}}{s^3 + \frac{B'+k_d}{J}s^2 + \frac{k_p}{J}s + \frac{k_i}{J}}$$

Nastaviteľné parametre regulátora vypočítame rovnosťou $N_{o(s)} = G_{(s)}$ a porovnáme členy s rovnakými rádmi. Pri metóde pole-placement si volíme parametre k, ω_0, b_0 , kde simuláciami sme zistili že konštanty k, ω_0 majú vplyv na rýchlosť ustálenia na požadovanej hodnote a konštanta b_0 má vplyv na pre regulovanie.

$$\frac{B' + k_v}{J} = \omega_0^2(2 * b_0 + k) \Rightarrow k_v = \omega_0^2(2b_0 + k)J - B'$$

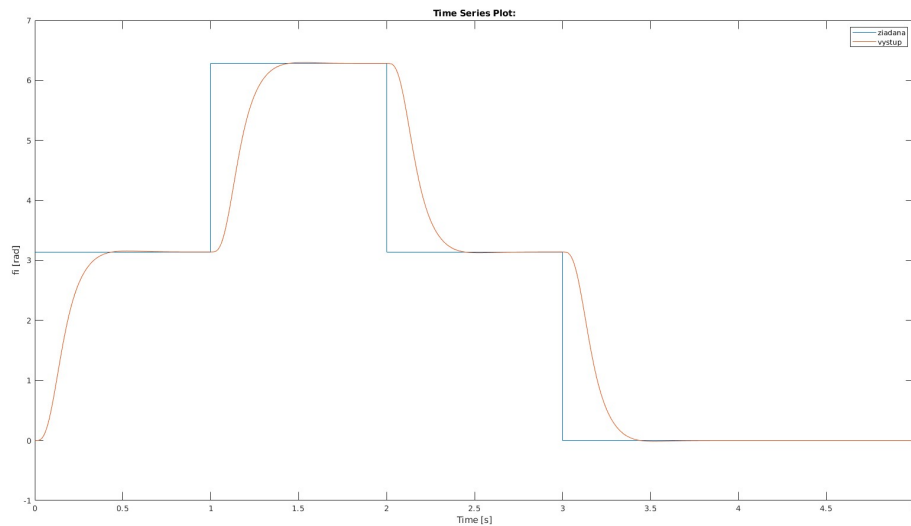
$$\frac{k_i}{J} = \omega_0^2(2 * b_0 k + 1) \Rightarrow k_i = \omega_0^2(2b_0 k + 1)J$$

$$\frac{k_i}{J} = k\omega_0^3 \Rightarrow k_p = k\omega_0^3 J$$

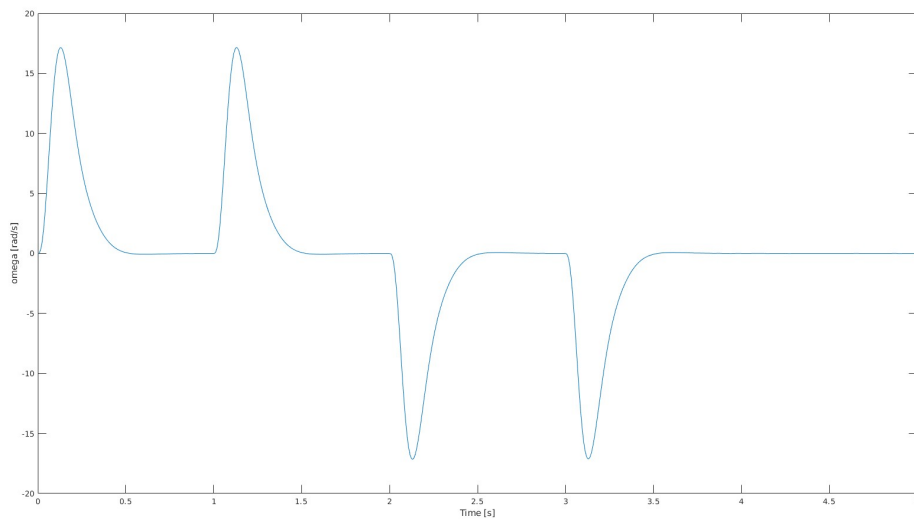
4 Simulačné overenie regulátorov

4.1 PIV regulátor

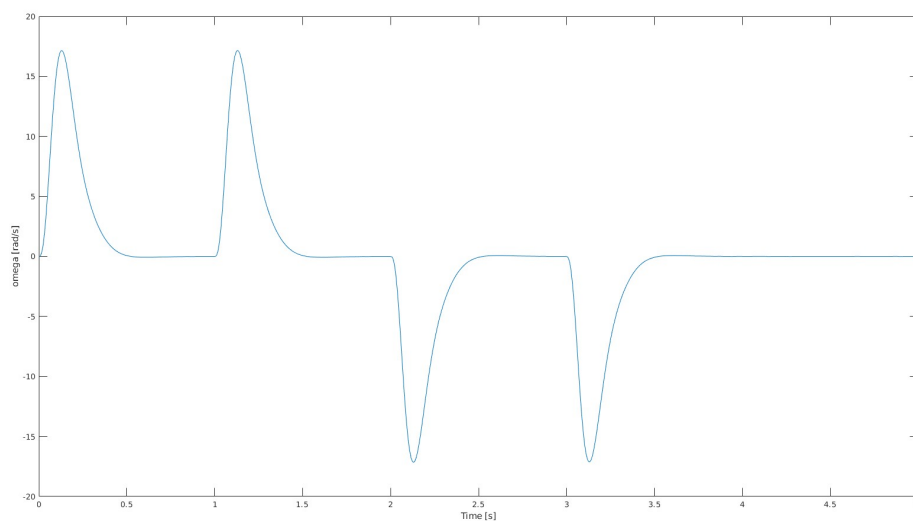
Pri PIV regulátore sme hľadali parametre k , ω_0 , b_0 , aby výsledný model bol čo najstabilnejší. V simulácii sme použili parametre $k = 0.5$, $\omega_0 = 7.4$, $b_0 = 0.707$.



Obr. 4.1: Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času



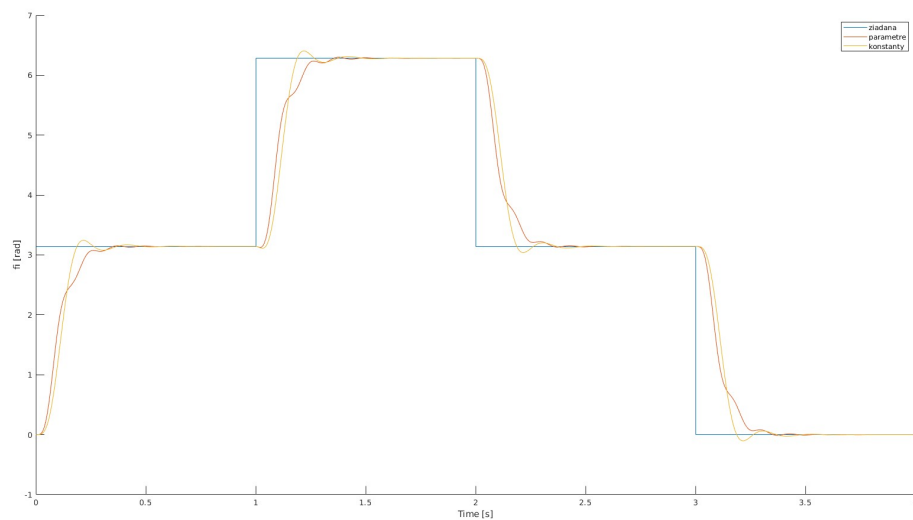
Obr. 4.2: Závislosť momentu motora od času



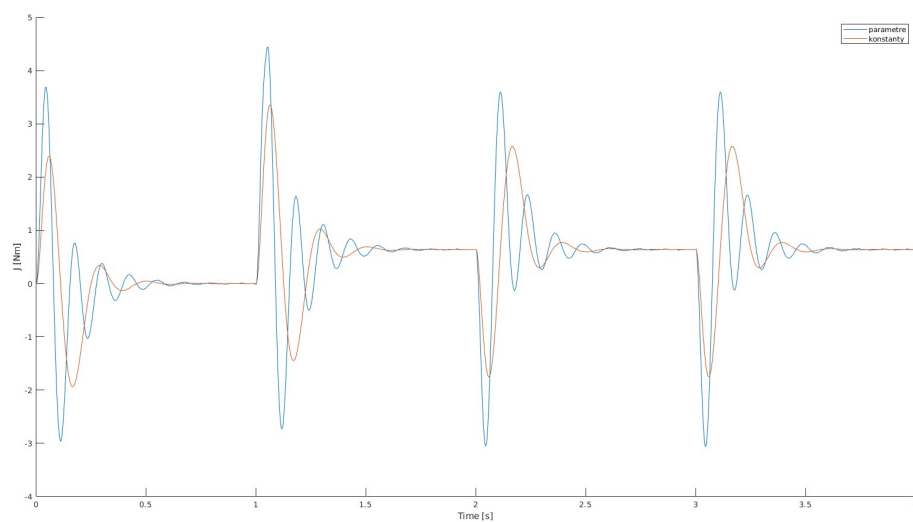
Obr. 4.3: Závislosť rýchlosti motora od času

4.2 I-PD regulátor

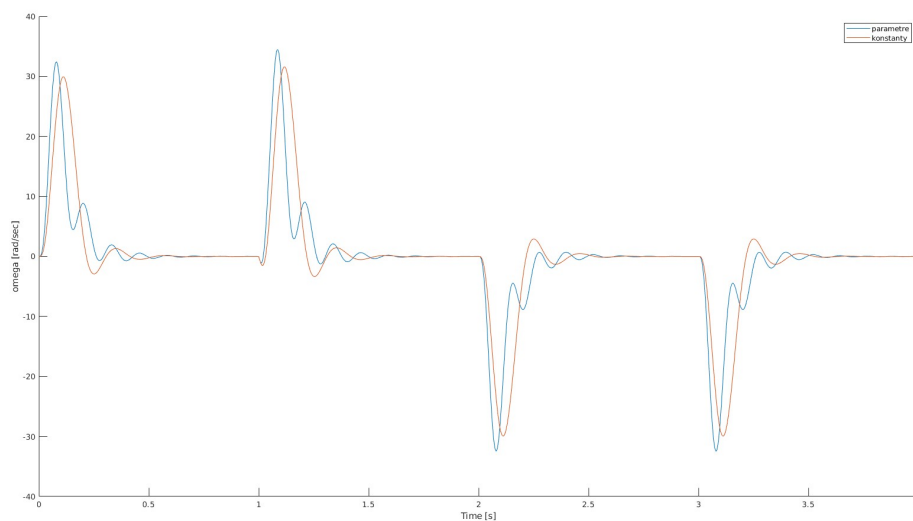
Parametre regulátora sme hľadali dvoma spôsobmi. Obe spôsoby mali spoločný genetický algoritmus pomocou, ktorého sme sa snažili minimalizovať chybu modelu. Chyba modelu je rozdiel medzi žiadanou a skutočnou polohou motora. Prvým spôsobom sme hľadali parametre k , ω_0 , b_0 . V druhom spôsobe sme pomocou genetického algoritmu nastavovali priamo konštanty I-PD regulátora k_i , k_p , k_d . Nastaviteľné parametre pomocou genetického algoritmu: $k = 0.5123$, $\omega_0 = 30$, $b_0 = 0.707$ a pre druhu simuláciu $k_i = 30$, $k_p = 3.4$, $k_d = 0.165$.



Obr. 4.4: Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času



Obr. 4.5: Závislosť momentu motora od času

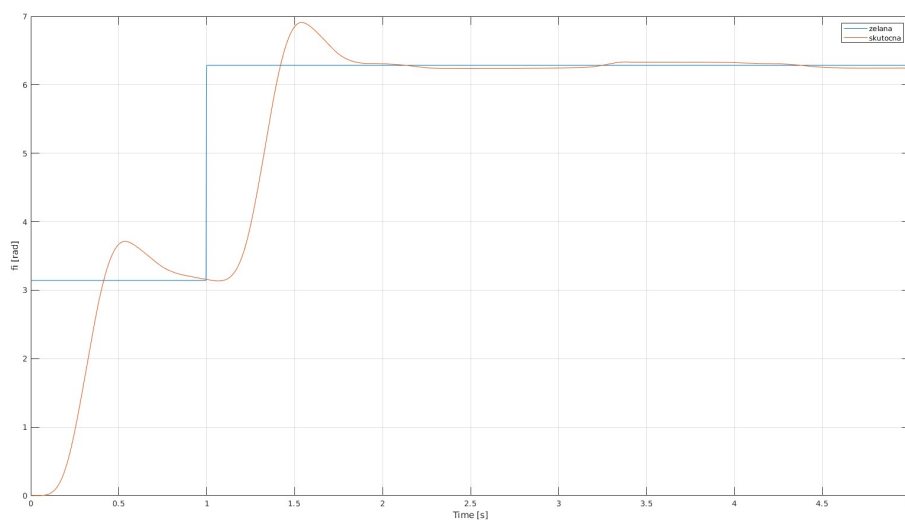


Obr. 4.6: Závislosť rýchlosti motora od času

V závislosti 4.4 môžeme pozorovať, že pri nastavovaní konštánt nám nastalo pre regulovanie a nastavovanie parametrov k_i , k_p , k_d malo stabilnejšie ustálenie motora na žiadanej polohe. Prekmit pri nastavovaní parametrov nám nastal z dôvodu vysokého momentu motora ako môžeme vidieť v závislosti 4.5.

5 Experiment na reálnom zariadení

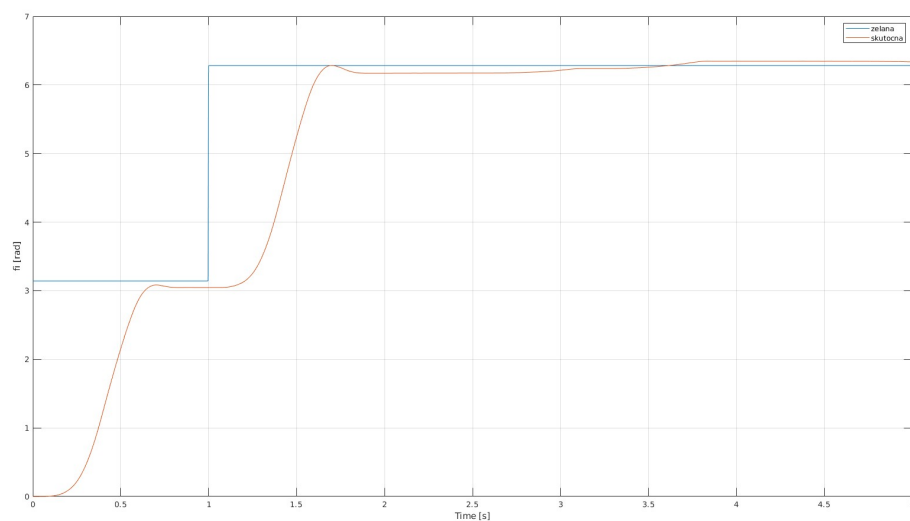
Na experiment sme si zvolili regulátor zo sekcie 4.1, pretože oproti regulátoru 4.2 mal síce pomalší rozbeh na žiadanú hodnotu, ale motor nemusel vyvíjať vysoké momenty. Vykonalí sme meranie s rôznymi parametrami regulátora a vybrali sme najvhodnejšie parametre.



Obr. 5.1: Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času

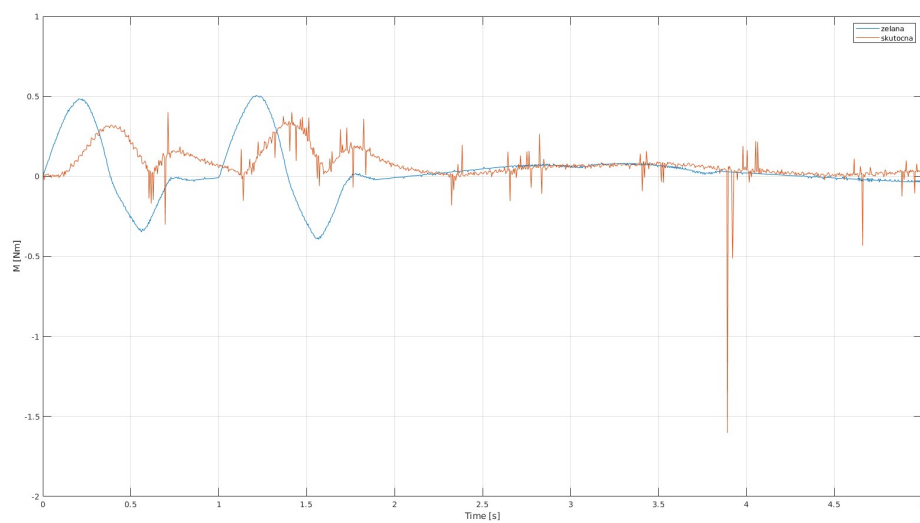
Nastavené parametre PIV regulátora rovnaké ako v sekcii 4.1.

Na obrázku 5.1 môžeme sledovať priebeh polohy motora s nastavenými parametrami zo simulácie. Nastalo pre-regulovanie, pretože meranie prebiehalo na skutočnom modeli a v simulácii sme zanedbávali sily ktoré pôsobia na skutočný motor. Počas experimentu sme nastavovali hodnoty regulátora aby čo najlepšie kopírovali žiadaný signál.

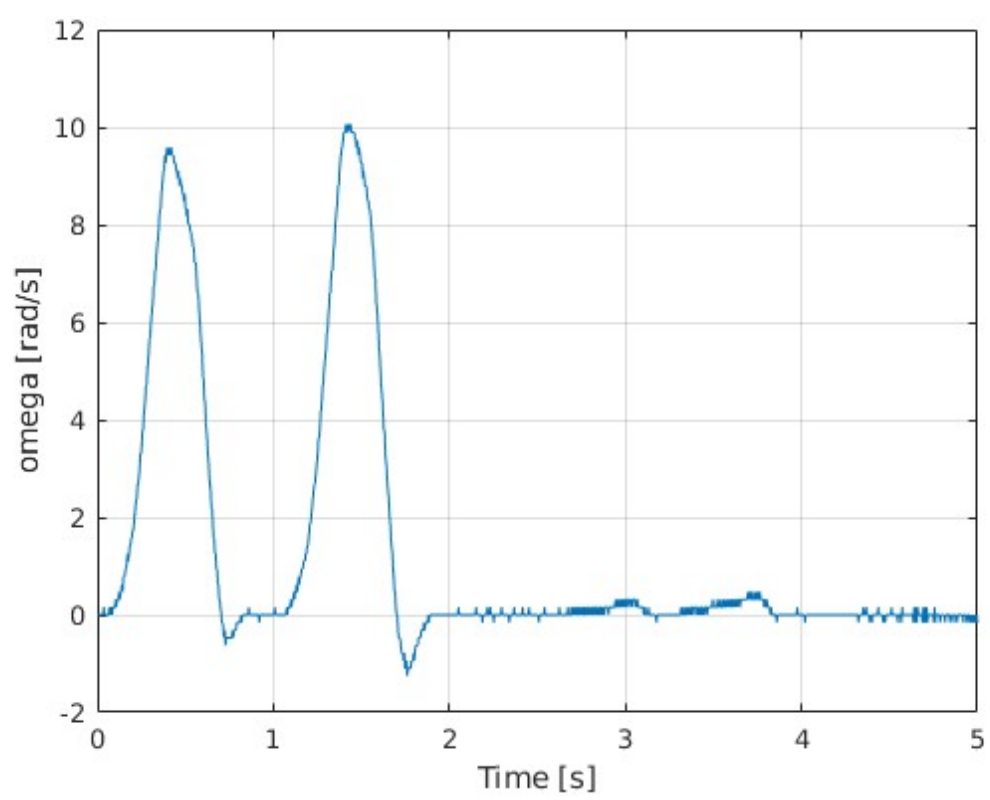


Obr. 5.2: Závislosť žiadanej a aktuálnej polohy motora od času

Nastavené parametre PIV regulátora rovnaké ako v sekcii $k_i = 0.4674$, $k_v = 0.0684$, $k_p = 2.1675$.



Obr. 5.3: Závislosť momentu motora od času



Obr. 5.4: Závislost' rychlosti motora od času

6 Súhrn

Zo simulácie modelu sme získali parametre na regulovanie polohy motora, ale neboli vhodné na použitie regulovania polohy na reálnom motore, pretože v simulácii sme zanedbávali trenia motora, počiatočne natočenie ak sa magnety motora nachádzali v inej polohe voči cievkam, motor potreboval vyvinúť vyšší moment aby sa dostal na žiadanú polohu. Na obrázku 4.1 a 4.4 môžeme pozorovať ako mal vyzerat' experiment so skutočným motorom. Parametre pri PIV sme odhadovali simuláciami, kde sme porovnávali rôzne nastavenia konštánt k , b_o a ω_0 a vybrali sme najlepší model, ktorý sme otestovali. Pri regulátore I-PD sme parametre hľadali pomocou genetického algoritmu, kde sme najprv skúšali nájsť optimálne konštanty k , b_o a ω_0 a v druhej simulácii optimálne parametre k_p , k_i a k_d . Lepšie výsledky sme dosiahli pri hľadaní konštánt a porovnali sme ich simulačné s regulátorom PIV, kde sa dosiahli rýchlejšie ustálenie na žiadanej hodnote, ale motor musel vyvíjať vyšší moment. Po nastavení najlepších parametrov PIV regulátora sa požadovaná poloha motora dostala na žiadanú hodnotu za vyšší čas ako v simulácii, pretože na motor pôsobili aj iné sily a nemal dostatočný čas na ustálenie môžeme pozorovať na obrázku 5.2. A zároveň nám nastalo pre regulovanie pretože na motor pôsobilo trenie takže regulátor sa snažil do regulovať odchýlku a to spôsobilo pre regulovanie.

Záver

Z od simulovaných polôh oboch regulátorov sme získali parametre vhodné na riadenie motora. Aj napriek tomu sa experiment líšil od simulácie, kvôli externým silám ktoré pôsobili na motor. Ako môžeme vidieť na závislosti 5.1 na motore nastalo pre regulovanie, čo sme sa snažili znížiť pomocou zmeny parametrov. Po experimentov sme dostali najlepší model ktorý môžeme vidieť v závislosti 5.2, kde môžeme pozorovať pomalší nábeh na žiadanú hodnotu, ale motor nezastavil priamo na žiadanej polohe. Rôznosť simulačnej a experimentálnej závislosti spôsobil aj model motora, kde v simulácii sme použili model jednosmerného motora a merali sme na asynchrónnom motore.

Zoznam použitej literatúry

1. ORTEGA-CONTRERAS, Jorge, SHMALIY, Yuriy S. a LUCIO, José A. Andrade. Improvements on PIV Servo-Controller Using Online Disturbance Estimation. In: S. SHMALIY, Yuriy a ABDELNABY ZEKRY, Abdelhalim (ed.). *6th International Technical Conference on Advances in Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE 2021)*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, s. 3–13. ISBN 978-981-19-3927-3.
2. DELTA COMPUTER SYSTEMS, Inc. Position I-PD. In: Delta Computer Systems, Inc., 2023. Dostupné tiež z: https://deltamotion.com/support/webhelp/rmctools/Controller_Features/Control_Modes/Advanced_Control/Position_I-PD.htm.