



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ DVOJICE SPŘAŽENÝCH STEJNOSMĚRNÝCH MOTORŮ

CONTROL OF TWO DC MOTORS ON COMMON SHAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ ORÁVIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLAHA, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Orávik

ID: 136568

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Řízení dvojice spřažených stejnosměrných motorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- seznámte se s existujícím přípravkem dvou spřažených stejnosměrných motorků, s prostředím LabView a s jeho použitím pro řízení systémem CompactRIO,
- vytvořte propojení přípravku se systémem CompactRIO od National Instruments a jeho I/O kartami,
- navrhnete několik typů regulátorů pro řízení přípravku,
- provedte identifikaci parametrů stejnosměrného motoru,
- navrhnete laboratorní úlohu pro návrh regulátorů stejnosměrného motoru a pro identifikaci jeho parametrů. Zadání, teoretický úvod a vzorové vypracování obou úloh uveďte v příloze bakalářské práce.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Soederstrom, T., Stoica, P.: System identification. Prentice Hall International, 1989.
- [2] Vas, P.: Parameter Estimation, Condition Monitoring and Diagnosis of Electrical Machines. Clarendon press, Oxford, 1993, ISBN 0-19-859375-9.
- [3] Žídek J.: Grafické programování ve vývojovém prostředí Labview, VŠB-TU Ostrava, říjen 2002.

další dle doporučení vedoucího

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 27.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práca sa zaoberá riadením dvojice spojených jednosmerných motorov pomocou programového prostredia LabVIEW, komunikujúceho s modelom Compact cRio 9076 a modulom NI 9505, metódami na identifikáciu parametrov sústav a návrhovými metódami regulátorov.

Kľúčové slová

Jednosmerné motory, Compact cRio, LabVIEW, modul NI 9505, Identifikácia parametrov, Metóda najmenších štvorcov, Návrh regulátora, Metóda štandardného tvaru frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu, Metóda symetrického optima.

Abstrakt

Thesis deals with control of two DC motors on common shaft using programing software LabVIEW, communicating with model CompactRio 9076 and I/O module NI 9505, methods for identifying paramaters, methods motion controllers.

Keywords

DC motors, Compact cRio, LabVIEW, Module NI 9505, Identification parameters, Method of least squares, Motion controller, Method of standard frequency characteristic shape of an open loop, Method symmetrical optimum.

Bibliografická citácia mojej práce:

ORÁVIK, T. *Řízení dvojice spřažených stejnosměrných motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 48 s.
Vedúci bakalárskej práce doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D..

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Riadenie dvojice spojených jednosmerných motorov som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI., diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne, dňa 27.5.2013

.....

Tomáš Orávik

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Petr Blahovi, Ph.D za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa: 27.5.2013

.....
Tomáš Orávik

Obsah

1	Úvod	9
2	Jednosmerné motory	10
2.1	Princíp a konštrukcia jednosmerného motora	10
2.2	Prechodný stav jednosmerného motora	11
3	CoMPACTRIO	13
3.1	CompactRio – 9076	13
3.2	NI 9505	14
4	Labview	19
4.1	Súčasti vývojového systému LabVIEW	19
4.2	Čelný panel	20
4.3	Bloková schéma	22
5	Identifikácia systémov	24
5.1	Metóda najmenších štvorcov	24
5.2	Identifikácia parametrov pomocou prechodovej charakteristiky	26
5.3	Identifikácia parametrov systému pomocou nástroja IDENT v programe MATLAB	26
5.4	Identifikácia elektrickej časti jednosmerného motora	27
6	Návrh regulátorov	29
6.1	Metódy štandardných prenosov	29
6.2	Metóda symetrického optima	29
6.3	Metóda štandardného tvaru frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu	30
6.4	Návrh regulátora pre sústavu	31
7	Prípravok	33
7.1	Bloková schéma	33
7.2	Aplikácia pre prípravok	33
8	Záver	37
9	Literatúra	38
10	Zoznam príloh	39

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1	Rez jednosmerného motora s budením permanentnými magnetmi [1].....	10
Obr. 2.2	Náhradná schéma jednosmerného motora s konštatným magnetickým tokom [1].....	11
Obr. 2.3	Model jednosmerného motora [1]	12
Obr. 3.1	CompacRIO – 9076 [2]	13
Obr. 3.2	Blokový diagram NI 9505 [3]	14
Obr. 3.3	NI 9505 LED indikátory [3]	15
Obr. 3.4	Konektor DSUB [3].....	16
Obr. 3.5	Konektor motor [3].....	16
Obr. 3.6	Diferenciálny obvod enkóderu [3].....	17
Obr. 3.7	Obvod enkóderu pripojeného pomocou jedného vodiča [3]	17
Obr. 4.1	Čelný panel virtuálneho prístroja	20
Obr. 4.2	Paletové menu [4].....	21
Obr. 4.3	Bloková schéma.....	22
Obr. 5.1	Prechodová charakteristika.....	27
Obr. 5.2	Prechodové charakteristiky	28
Obr. 6.1	Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- $K_r = 1$	31
Obr. 6.2	Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- $K_r = 10$	32
Obr. 7.1	Bloková schéma prípravku	33
Obr. 7.2	Aplikácia v LabVIEW	35
Obr. 7.3	Prípravok	36
Obr. 7.4	Compact cRIO	36

1 ÚVOD

Cieľom bakalárskej práce Riadene dvojice spojených jednosmerných motorov je zoznámiť sa s daným prípravkom a vytvoriť prepojenie s programovacím prostredím LabVIEW. Tento prípravok je vytvorený pre použitie do laboratórií na meranie vlastností jednosmerných motorov, meranie zaťažovacích charakteristík, identifikáciu parametrov danej sústavy. V jednotlivých kapitolách sa budem zaoberať jednosmernými motormi a ich matematickými modelmi, vlastnosťami a parametrami daného modulu Compact cRio, programovacím prostredím LabVIEW, cez ktoré je ovládaný prípravok dvojice motorov, možnosťami identifikácie parametrov sústav, na základe týchto parametrov možnosti návrhu regulátorov pre prípravok a aplikáciou vytvorenou v LabVIEW pre ovládanie prípravku.

2 JEDNOSMERNÉ MOTORY

2.1 Princíp a konštrukcia jednosmerného motora

Jednosmerný motor patrí k najstarším elektrickým strojom. Tento motor je ideálnym regulačným motorom – jeho otáčky sa dajú plynule riadiť zmenou privedeného napätia.

Pre regulované sústavy sa používajú najmä jednosmerné motory s cudzím buđením a motory s buđením permanentnými magnetmi v statore. Magnety sa používajú z magneticky tvrdých materiálov, feritov a spekaných materiálov zo vzácnych zemín, napr. zlúčeniny neodymu, železa a bóru. Aktívnymi časťami jednosmerného motora sú stator s permanentnými magnetmi a pólóvými nástavcami z mäkkého železa pre koncentráciu magnetického toku do vzduchovej medzery, rotor (kotva) s vinutím, tvoreným jednotlivými cievkami, uloženými v drážkach a vyvedenými na komutátor, ktorý spolu s uhlíkovými kefami a kefovými držiakmi tvorí tzv. zberné ústrojenstvo. Rez jednosmerných motorom s permanentnými magnetmi je na Obr. 2.1.

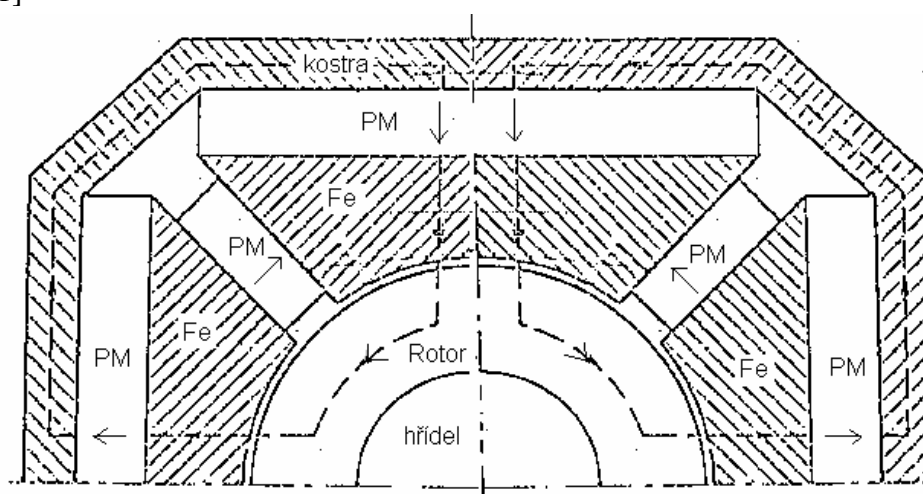
Pre jednosmerné motory platia tieto základné rovnice: pri točení uhlovou rýchlosťou ω sa vo vinutí kotvy indukuje napätie

$$U_i = C\phi\omega \quad [V] \quad (2.1)$$

Pôsobením prúdu a magnetického toku sa vytvára moment

$$M = C\phi I \quad [Nm] \quad (2.2)$$

C je konštanta motora (napäťová, momentová), ϕ je magnetický tok a I je prúd kotvy.[1]



Obr. 2.1 Rez jednosmerného motora s buđením permanentnými magnetmi [1]

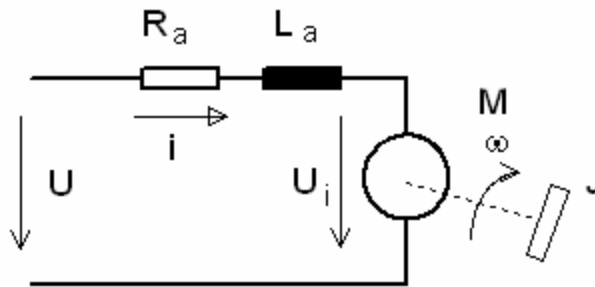
Jednosmerný motor s permanentnými magnetmi má konštantný magnetický tok, jeho veľkosť je daná použitým typom magnetov a konštrukciou magnetického obvodu. Otáčky je možné riadiť len zmenou napätia kotvy. Pre obvod kotvy je možné napísať rovnicu rovnováhy elektrických napätí

$$U = R_a I_a + C\phi\omega \quad [\text{V}] \quad (2.3)$$

R_a je odpor vinutia kotvy, I_a je prúd kotvy. [1]

2.2 Prechodný stav jednosmerného motora

Jednosmerný motor ako dynamický systém je popísaný sústavou diferenciálnych rovníc, ktoré je možné odvodiť z náhradnej schémy, ktorá je na **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..**



Obr. 2.2 Náhradná schéma jednosmerného motora s konštantným magnetickým tokom [1]

$$u_a = R_a I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + C\phi\omega \quad [\text{V}] \quad (2.4)$$

$$C\phi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + M_0 \quad [\text{Nm}] \quad (2.5)$$

J je celkový moment zotrvačnosti na hriadeli motora, B koeficient viskózneho trenia a M_0 moment mechanického odporu. Rovnica (2.4) predstavuje rovnováhu napätí v obvode kotvy, rovnica (2.5) je rovnováha momentov na hriadeli motora.

Prenosovú funkciu jednosmerného motora je možné odvodiť z rovníc (2.4), (2.5) použitím Laplaceovej transformácie. Po dosadení $C\phi\omega = u_i$ je rovnica rovnováhy napätí v operátorovom tvare

$$U_a = R_a I_a + pL_a I_a + U_i \quad [\text{V}] \quad (2.6)$$

Prenos $F_1(p)$ je pomer výstupu k vstupu: výstupom je prúd I_a , vstupom rozdiel privádzaného napätia na kotvu U_a a indukovaného napätia U_i . Prvá časť modelu má tvar

$$F_1(p) = \frac{I_a}{U_a - U_i} = \frac{1/R_a}{1 + p\tau_a} \quad \tau_a = \frac{L_a}{R_a} \quad (2.7)$$

Ďalším členom modelu je proporcionálny člen, vyjadrujúci závislosť momentu motora na prúde kotvy $m = C\phi i_a$, v operátorovom tvare $M = C\phi I_a$. Prenos tohto člena je

$$F_2(p) = \frac{M}{I_a} = C\phi \quad (2.8)$$

Rovnica rovnováhy momentov (2.5), po zanedbaní viskózneho trenia B , je v operátorovom tvare

$$M = pJ\omega + M_0 \quad (2.9)$$

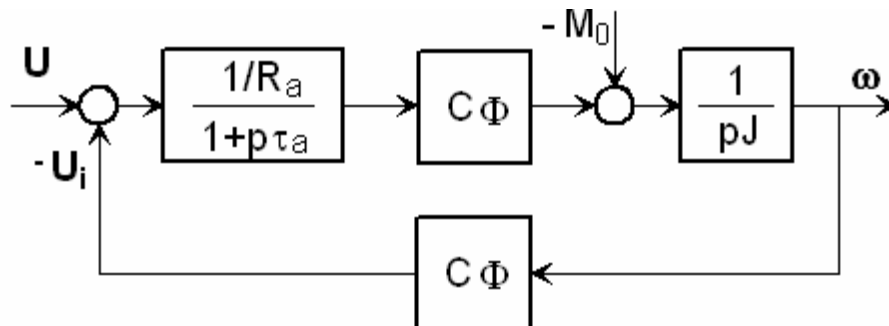
Prenos člena s momentom zotrvačnosti J má integračný charakter

$$F_3(p) = \frac{\omega}{M - M_0} \quad (2.10)$$

Závislosť medzi indukovaným napätím v kotve a uhlovou rýchlosťou je lineárna, prenos tohto člena je proporcionálny

$$F_4(p) = \frac{U_i}{\omega} = C\phi \quad (2.11)$$

Prenosové funkcie $F_1(p)$, $F_2(p)$, $F_3(p)$, $F_4(p)$ tvoria matematický model jednosmerného motora s konštantným magnetickým tokom, bloková schéma je na Obr. 2.3. [1]



Obr. 2.3 Model jednosmerného motora [1]

3 COMPACTRIO

3.1 CompactRio – 9076

CompactRio - 9076 je konfigurovateľné šasi pre Embedded systémy s integrovaným inteligentným Real-Time prostredím a prostredím hradlových polí FPGA od firmy National Instruments ako je vidieť na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 CompactRIO – 9076 [2]

Špecifikácie

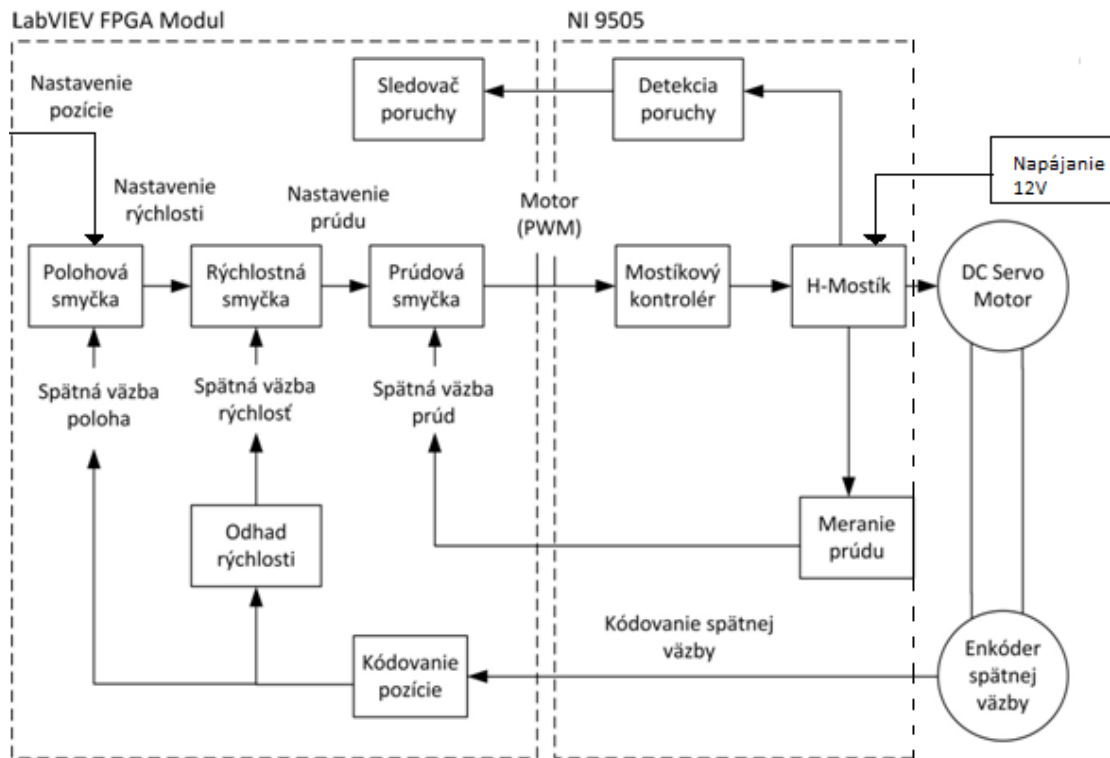
- 10BaseT a 100BaseTX Ethernet sieťové rozhranie
- Kompatibilita IEEE 802.3
- Komunikačné rýchlosti 10Mbps, 100Mbps
- Maximálna dĺžka prepojenia 100m/segment
- RS – 232 Serial port
- Systémová pamäť 256 MB
- Nevolatilná pamäť 512MB
- Konfigurovateľné FPGA

Požiadavky na napájanie

- Odporúčané napájanie 24 W, 24 VDC
- Spotreba maximálne 15 W
- Rozsah napájacieho napätia 9 – 30V[2]

3.2 NI 9505

NI 9505 je karta pre jednosmerný servo pohon. Poskytuje jedinečnú flexibilitu a prispôsobenie. Spolupracuje s modulom LabVIEW FPGA. Na **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** vidíme funkčnosť NI 9505, pracuje v spojení s modulom LabVIEW FPGA na ovládaní aplikácie.



Obr. 3.2 Blokový diagram NI 9505 [3]

Obsahuje typické aplikácie ako slučka na určenie polohy, slučka na určenie rýchlosti a slučka na určenie prúdu. Tieto aplikácie sa vykonávajú v FPGA module.

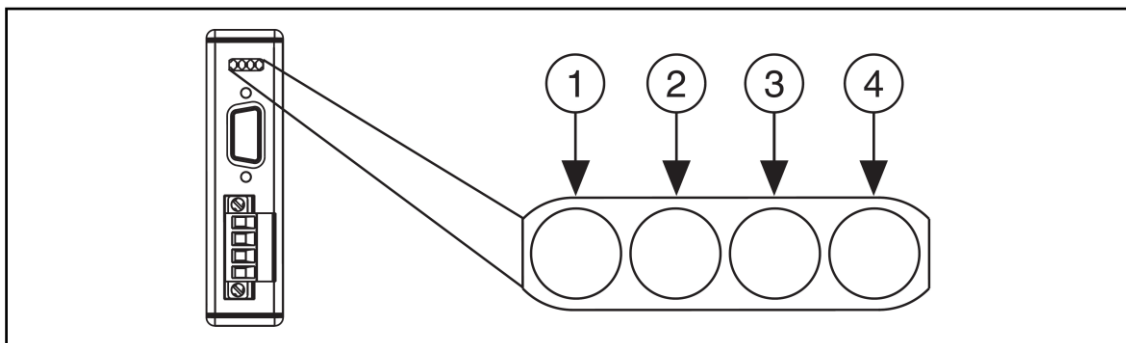
NI 9505 vráti z motora alebo pohonu aktuálne dáta do LabVIEW FPGA modulu pre ďalšie použitie a spracovanie v prúdovej slučke alebo monitorovanie.

Tiež vracia informácie o stave ako sú chybový stav, správne napájanie, núdzové zastavenie.

LabView FPGA modul generuje PWM signál, ktorý odošle do NI 9505. PWM, ktorý odpovedá výstupu prúdového regulátora. Z momentovej rovnice je vidieť, že moment je priamo úmerný prúdu. Mohli by sme tento regulátor nazývať taktiež regulátor momentu.

Signály z kvadrátneho enkódera sú cez NI 9505 ďalej spracované v module LabVIEW FPGA, na určenie polohy a rýchlosti motora alebo pohonu.

NI 9505 má 4 LED indikátory, ktoré vidíme na Obr. 3.3, na poskytnutie informácií o svojom aktuálnom stave.



Obr. 3.3 NI 9505 LED indikátory [3]

- 1 – POWER (zelená)
- 2 – V_{SUP} (Motor Power) (zelená)
- 3 – Disable (žltá)
- 4 – Fault (červená)

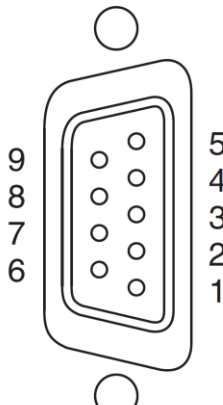
POWER – rozsvieti sa, keď je správne vložený do šasi

V_{SUP} – rozsvieti sa, keď motor je správne pripojený a má privedené napájanie

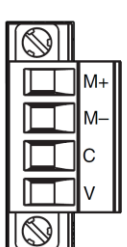
Disable – rozsvieti sa, keď je zakázaný pohon, je zakázaný pri každom zapnutí

Fault – rozsvieti sa, ak dôjde k poruche, napr. prepätie, prekročenie teploty

NI 9505 má 9-pinový DSUB konektor, (Obr. 3.4), ktorý poskytuje pripojenie vstupov z enkódera, pripojenie napájania +5V pre enkóder, pripojenie pre núdzové zastavenie a pripojenie COM. Má tiež konektor na pripojenie motora a napájanie pre motor (Obr. 3.5).

Connector	Pin	Signal
	1	Encoder Phase A+
	2	Encoder Phase B+
	3	Encoder Index+ (Phase Z+)
	4	Emergency Stop (E-Stop)
	5	+5 V (output)
	6	Encoder Phase A-
	7	Encoder Phase B-
	8	Encoder Index- (Phase Z-)
	9	Common (COM)

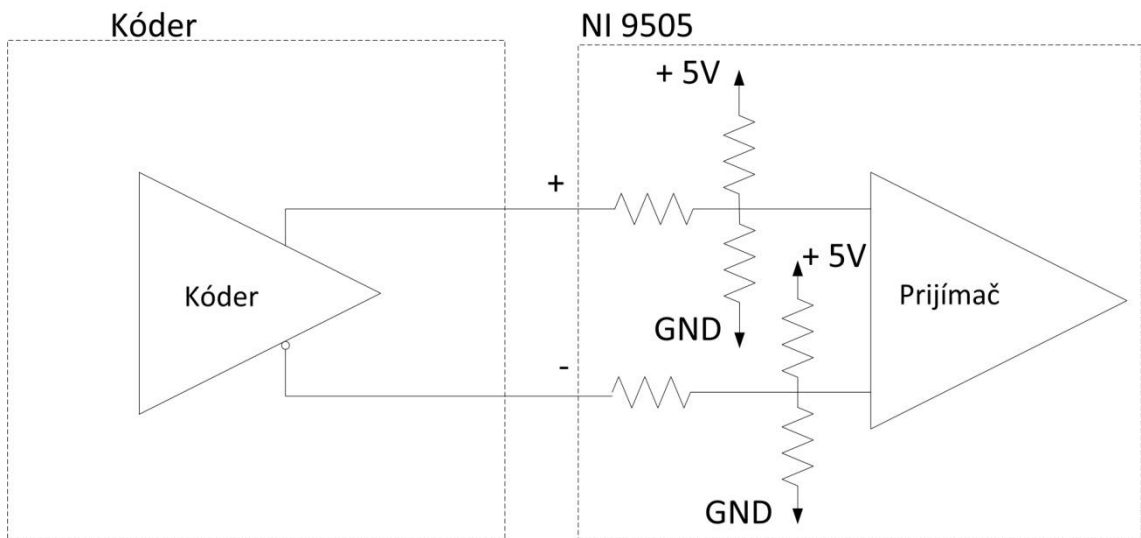
Obr. 3.4 Konektor DSUB [3]

Module	Terminal	Signal
	M+	MOTOR+
	M-	MOTOR-
	C	COM (motor DC power supply reference)
	V	V _{SUP} (motor DC power supply)

Obr. 3.5 Konektor motor [3]

Signály z enkóderu sa skladajú z fázy A, fázy B a indexu Z. Tieto signály sú digitálne signály, sú používané v module LabVIEW na určenie pozície a rýchlosti motora.

Ak je dĺžka kábla väčšia ako 3 metre používa sa zapojenie enkóderu, ako snímač s diferenciálnymi výstupmi. Napájanie pre enkóder je generované v module NI 9505 a pripojené pomocou 5 pinu DSUB konektora. Zapojenie je možné vidieť na Obr. 3.6.



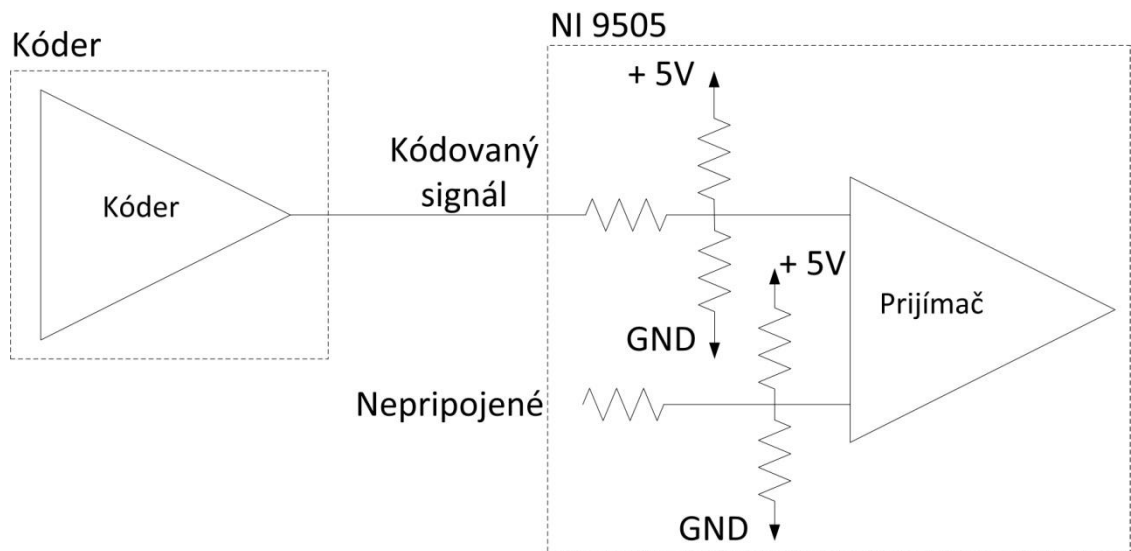
Obr. 3.6 Diferenciálny obvod enkóderu [3]

Uzavreté slučky servo aplikácií vyžadujú smerovú polaritu medzi motorom a snímačom pre správnu funkciu. Jeden zo štandardov smerovej polarity je nasledujúci:

Pozitívny – v smere hodinových ručičiek

Negatívny – proti smeru hodinových ručičiek

Ak enkóder počíta nesprávne, tak treba zmeniť polaritu enkóderu v FPGA alebo vymeniť pripojenie fáz A a B. Zapojenie je možné vidieť na Obr. 3.7.



Obr. 3.7 Obvod enkóderu pripojeného pomocou jedného vodiča [3]

Parametre:

- Napájanie motora 8-30 V, 12 A max
- Frekvencia impulzov PWM 20 kHz odporúčaná, 40 kHz max
- Rozsah merania prúdu $\pm 12,7\text{A}$
- Maximálna prevádzková teplota 115 °C
- Výstup z enkódera 5V $\pm 5\%$, prúd 125 mA
- Spotreba 100 mW max [3]

4 LABVIEW

4.1 Súčasti vývojového systému LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je všeobecným vývojovým prostredím s bohatými knižnicami pre vytváranie aplikácií zameraných do oblasti merania vo všetkých fázach tohto procesu – zber, analýza a prezentácia nameraných dát. Poskytuje užívateľovi plnohodnotný programovací jazyk so všetkými odpovedajúcimi dátovými a programovými štruktúrami v grafickej podobe.

LabVIEW je teda vývojovým prostredím na úrovni napr. C jazyka, ale na rozdiel od neho nie je orientovaný textovo, ale graficky. Výsledný produkt tohto vývojového prostredia sa nazýva virtuálny prístroj (Virtual Instrument), pretože svojimi prejavmi a činnosťami pripomína klasický prístroj vo svojej fyzickej podobe.

Virtuálny prístroj ako základná jednotka aplikácie vytvorenej v tomto vývojom prostredí obsahuje:

Interaktívne grafické rozhranie (GUI) ku koncovému užívateľovi, tzv. čelný panel (Front Panel), ktorý simuluje čelný panel fyzického prístroja. Obsahuje prvky pre ovládanie a indikáciu (prepínače, tlačidlá, LED indikátory, grafy...). Tento čelný panel ovláda užívateľ myšou alebo z klávesnice.

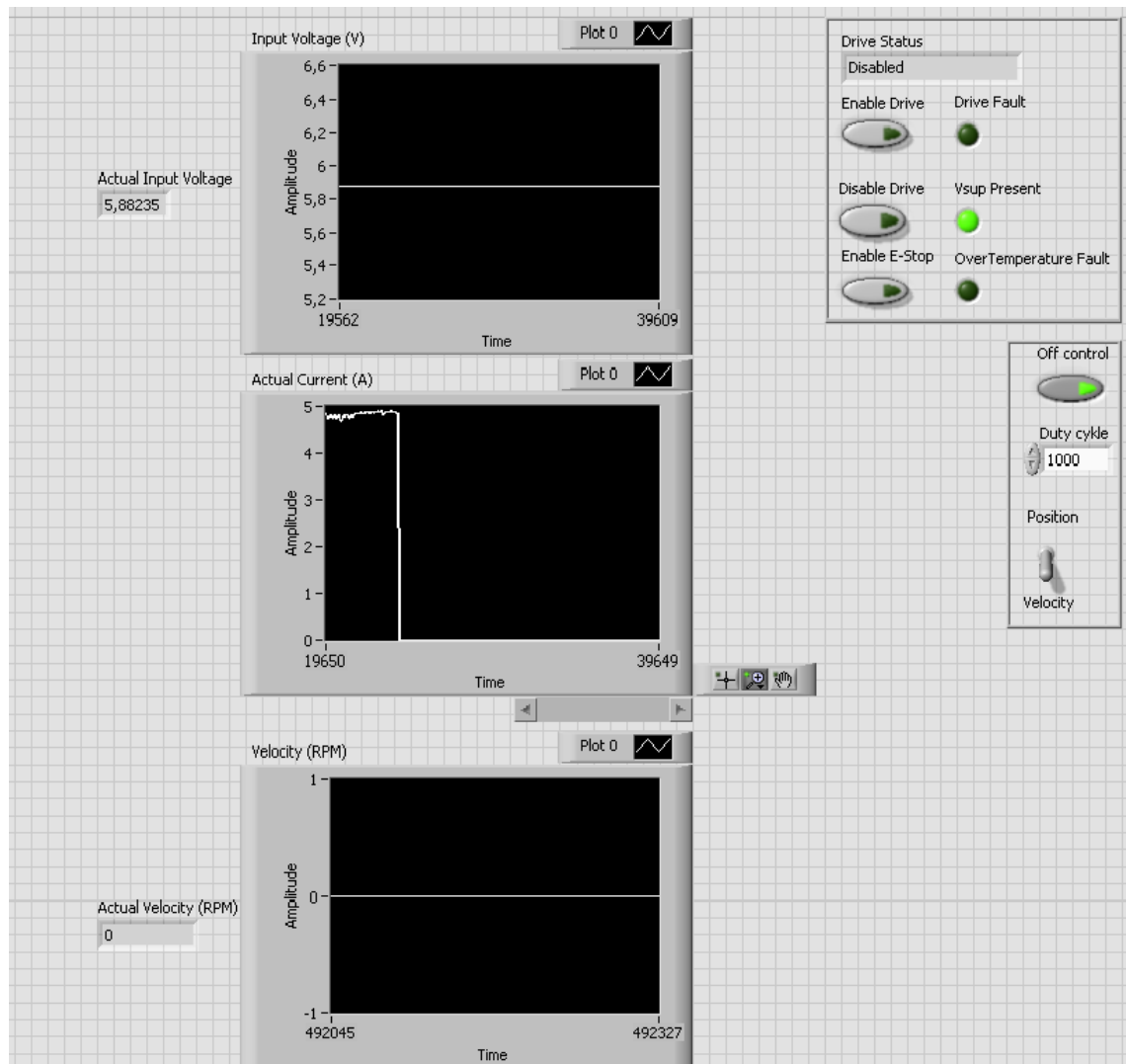
Činnosť virtuálneho prístroja je daná blokovou schémou (Block Diagram). Táto bloková schéma je vytvorená ikonami reprezentujúcimi v koncových blokoch ovládacie a indikačné prvky čelného panela a vo svojich uzlových blokoch sú to bloky spracovávajúce prechádzajúce dáta.

Virtuálny prístroj má hierarchickú a modulárnu štruktúru. Je možné ju používať ako celý program alebo jeho jednotlivé podprogramy, ktoré sa nazývajú podriadenými virtuálnymi prístrojmi (Sub-VI). Súčasťou každého virtuálneho prístroja je jeho ikona, ktorou je prezentovaný v blokovej schéme a konektor s pripájacími miestami pre vstupné a výstupné signály.

Týmito charakteristickými popismi naplňuje vývojové prostredie LabVIEW podmienky modulárneho programovania. Svojou aplikáciou delí užívateľ na jednotlivé úlohy, pre ktoré vytvára čiastkové virtuálne prístroje (Sub-VI) a z nich potom buduje celú aplikáciu ich spojením do výsledného virtuálneho prístroja. Na záver je možné celú aplikáciu preložiť do EXE tvaru a používať nezávisle na vývojovom prostredí. [4]

4.2 Čelný panel

Grafické rozhranie plní k užívateľovi takisto úlohu ako čelný panel fyzického prístroja. Pre vytváranie čelného panelu je k dispozícii samostatné okno, ako je vidieť na Obr. 4.1.



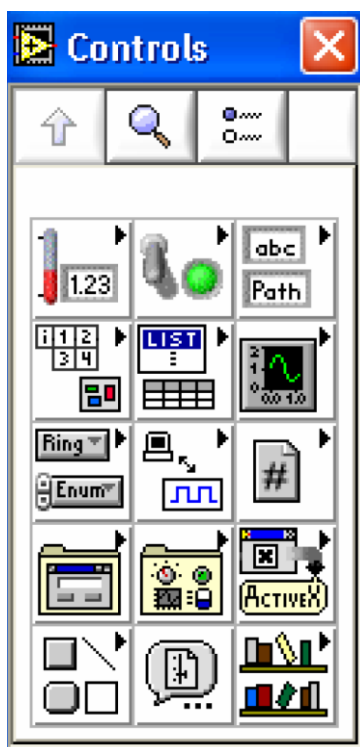
Obr. 4.1 Čelný panel virtuálneho prístroja

Na čelnom paneli sa nachádzajú dva typy prvkov:

Ovládacie – simulujú vstupné zariadenia a slúžia pre ovládanie virtuálneho prístroja. Sprostredkujú vstup informácie od užívateľa do aplikácie, v blokovom diagrame sú to bloky, z ktorých signál vystupuje do algoritmu.

Indikačné – simulujú výstupné zariadenia a slúžia k indikácii stavu virtuálneho prístroja a výstupu výsledkov. Sprostredkujú teda predávanie informácií smerom od aplikácie k užívateľovi, v blokovej schéme sú to bloky, v ktorých signálové cesty končia.

Oba tieto typy prvkov sa na čelný panel umiestňujú z knižnice, ktorá je súčasťou systému. Z knižnice je možné tieto prvky vyberať pomocou paletovej ponuky, ktorú je možné sprístupniť pomocou roletovej ponuky *Windows/Show Controls Palette* alebo kliknutím pravého tlačidla myši hocikde v okne čelného panelu Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Paletové menu [4]

Toto paletové menu je hierarchicky členené. Okno paletového menu je zobrazované buď dočasne po dobu výberu prvku alebo trvalo. [4]

Priebeh aplikácie v LabVIEW je riadený tokom dát. Tok dát je charakterizovaný jediným pravidlom, a to, že uzlový blok zahajuje spracovanie dát, ak má k dispozícii platné dáta na všetkých svojich vstupoch a po spracovaní ich posiela ku všetkým svojim výstupom. Jednotlivé bloky môžu pracovať i súčasne, a tým sa tento spôsob líši od sekvenčného spôsobu spracovania dát v textovo orientovaných jazykoch, kde je beh aplikácie riadený postupnosťou príkazov. [4]

5 IDENTIFIKÁCIA SYSTÉMOV

5.1 Metóda najmenších štvorcov

V aplikáciách, kde je nutné určovať neznáme parametre systému, sa často používa metóda najmenších štvorcov. Vychádza z minimalizácie stratovej funkcie

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \epsilon^2(k) \quad (5.1)$$

$$\text{kde } \epsilon(k) = y(k) - \varphi^T(k)\theta \quad (5.2)$$

Význam jednotlivých symbolov:

N	počet prevedených meraní
$\varphi(k)$	stĺpcový vektor meraných veličín v kroku k
$y(k)$	skutočný (meraný) výstup systému v kroku k
θ	stĺpcový vektor neznámych parametrov

Ďalej je možné odvodiť vzťah na výpočet neznámych parametrov, ktorý minimalizuje stratovú funkciu na tvar

$$\theta = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T Y \quad (5.3)$$

$$\text{kde } \Phi = \begin{bmatrix} \varphi^T(1) \\ \varphi^T(2) \\ \dots \\ \varphi^T(N) \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \dots \\ y(N) \end{bmatrix}$$

Uvedený vzťah je možné použiť len jednorázovo v situácii, kde bude získaný parameter potrebný pre identifikáciu. Nie je teda vhodný pre priebežný spresňujúci výpočet. Na tieto účely sa používa tzv. rekurzívna metóda najmenších štvorcov, ktorá umožňuje identifikovať parametre priebežne, počas merania. Pre náš prípad by sa dala metóda najmenších štvorcov použiť takto

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{La} (u - Ra * i - c\phi * \omega) \quad (5.4)$$

Diferenciálnu rovnicu prevedieme na diferenčnú s periódou vzorkovania T_{vz}

$$i(k) = i(k-1) + \frac{T_{vz}}{La} (u(k-1) - Ra * i(k-1) - c\phi * \omega(k-1)) \quad (5.5)$$

$$i(k) = \left(1 - \frac{Ra * T_{vz}}{La}\right) * i(k-1) + \frac{T_{vz}}{La} * u(k-1) - \frac{T_{vz} * c\phi}{La} * \omega(k-1) \quad (5.6)$$

Potom matice Y, ϕ, θ

$$Y = \begin{bmatrix} i(k)_1 \\ i(k)_1 \\ \dots \\ i(k)_n \end{bmatrix} \quad \phi = \begin{bmatrix} i(k-1)_1 & u(k-1)_1 & \omega(k-1)_1 \\ i(k-1)_2 & u(k-1)_2 & \omega(k-1)_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ i(k-1)_n & u(k-1)_n & \omega(k-1)_n \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

kde n je počet meraní a koeficienty matice θ

$$a = \left(1 - \frac{Ra \cdot Tvz}{La}\right) \quad b = \frac{Tvz}{La} \quad c = -\frac{Tvz \cdot c \phi}{La}$$

Po výpočte matic z rovnice (5.3) dostaneme maticu neznámych koeficientov θ .[5]

5.2 Identifikácia parametrov pomocou prechodovej charakteristiky

Systém daného prípravku, jednosmerného motora s permanentnými magnetmi, má blokovú schému na Obr. 2.3.

Pri zanedbaní momentu zotrvačnosti na hriadelí nám zostanú tri neznáme parametre, a to odpor vinutia R_a , konštantu stroja $C\phi$ a elektromagnetická časová konštanta τ_a .

Odpor vinutia R_a určíme tak, že privedieme na motor nízke napätie U_a , aby sa motor netočil, tzn. $\omega = 0$, rovnica (2.3) sa nám upraví do tvaru Ohmovho zákona

$$U_a = R_a I_a \quad (5.7)$$

a môžeme si vyjadriť neznámy parameter R_a .

Keď poznáme parameter R_a , privedieme na motor také napätie, aby sa motor točil. Z rovnice (2.3) dokážeme vyjadriť parameter $C\phi$ a so známymi otáčkami ω vypočítame jeho hodnotu.

Posledný parameter, elektromagnetická časová konštanta τ_a , určíme ako čas, kedy po privedení skokovej zmeny na vstup systému, bude mať prúd na výstupe hodnotu rovnú 63% ustálenej hodnoty prúdu.

Pre takto zidentifikovanú sústavu môžeme navrhnúť regulátory prúdu. [1]

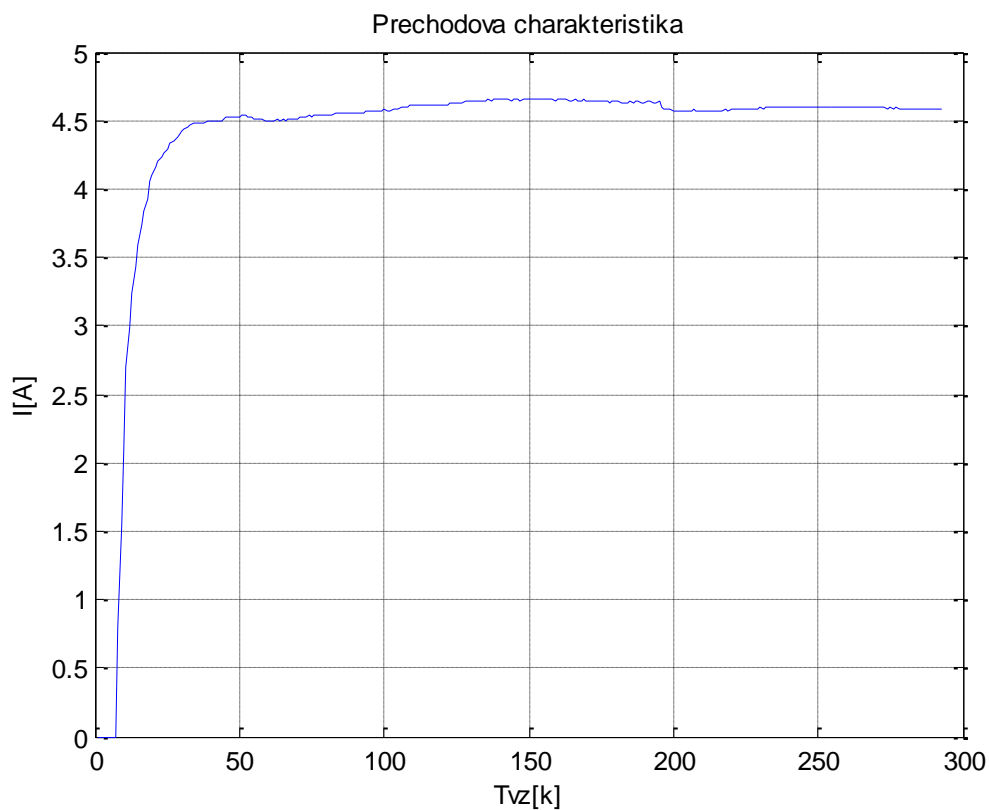
5.3 Identifikácia parametrov systému pomocou nástroja IDENT v programe MATLAB

Identifikačný nástroj IDENT v prostredí MATLAB ponúka interaktívne prostredie pre analýzu dát, z ktorých potom navrhne rôzne modely (parametrickej a neparametrickej identifikácie). Týmto modelom je možné potom porovnávať prechodové charakteristiky, zistiť zhodu navrhnutého modelu so zadanými dátami. Do nástroja je potrebné importovať vstupné, výstupné dáta a periódu vzorkovania, s ktorou boli dáta zmerané. Z týchto dát je možné vytvoriť rôzne modely. Pre identifikáciu elektrickej časti jednosmerného motora môžeme použiť lineárnu parametrickú estimáciu modelom ARX alebo modelom zotrvačného článku prvé rádu. Navrhnuté modely je možné medzi sebou porovnávať podľa rôznych kritérií.

5.4 Identifikácia elektrickej časti jednosmerného motora

Elektrickú časť jednosmerného motora tvorí zotrvačný článok prvého rádu z jednou časovou konštantou v menovateli a zosilnením. Pre identifikáciu použijeme aplikáciu vytvorenú v programe LabVIEW. Vypneme všetky regulátory, ktoré sú tam naprogramované tlačidlom OFF CONTROL, tým zabezpečíme, že signál z PWM je priamo pripojený na jednosmerný motor a nie je pripojená žiadna spätná väzba. Spustíme systém tlačidlom ENABLE DRIVE, os motora zaistíme, aby sa neotáčala a nastavíme striedu pulzne šírkovej modulácie od 0-2000 (DUTY CYCLE). Vhodné je voliť striedu nie moc veľkú, pretože bude väčší moment motora a bude problém udržať motor, aby sa netočil. Vhodná je 500. V grafe *Output Current* je vykreslená závislosť výstupného prúdu jednosmerného motora na perióde vzorkovania a v grafe *Input Voltage* skokovú zmenu strednej hodnoty napätia privádzaného na sústavu.

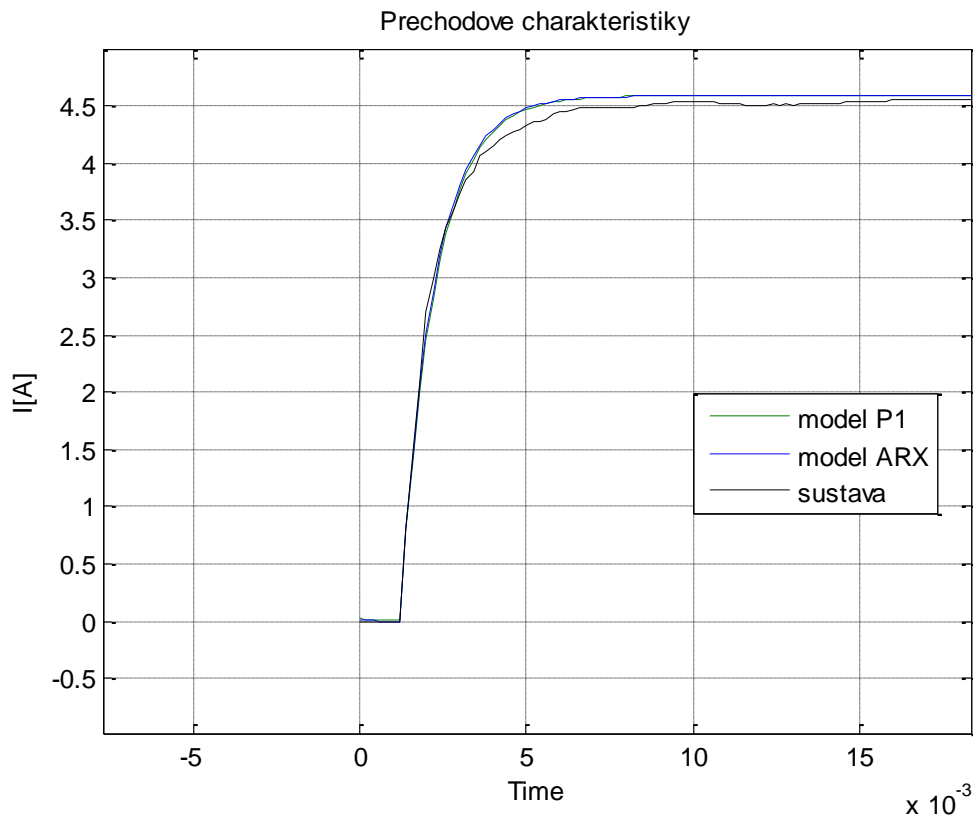
Tieto namerané dáta je možné exportovať do Excelu a následne do programu MATLAB.



Obr. 5.1 Prechodová charakteristika

Tieto výstupné dáta a vstupné dáta (Obr. 5.1) importujeme do nástroja IDENT programu MATLAB s periódou vzorkovania takou akou sme dáta namerali. V našom prípade to bolo $200\mu s$.

Z týchto importovaných dát dáme navrhnuť lineárne parametrický model ARX, prípadne model zotrvačného článku prvého rádu, ktoré potom môžeme medzi sebou porovnať. Na (Obr. 5.2) vidíme prechodové charakteristiky nášho systému (čierna farba), modelu ARX (modrá farba) a modelu prvého rádu (zelená farba).



Obr. 5.2 Prechodové charakteristiky

Percentuálna zhoda modelov so sústavou vyšla pre model P1 93,06% a pre model ARX 92,96%. Po prevedení modelu ARX na spojitý systém, tak zosilnenie sústavy vyšlo 0,78 a časová konštanta 0,0011s. Výsledný prenos je

$$F_S(p) = \frac{0,78}{(0,0011p+1)} \quad (5.8)$$

Pre porovnanie sme spravili identifikáciu elektrickej časti jednosmerného motora pomocou prechodovej charakteristiky, z osciloskopu sme odčítali parametre systému, zosilnenie vyšlo $K_s = 0,85$ a časová konštanta $T_a = 2,5$ ms. Rozdiel týchto parametrov môže byť spôsobený zmenou začiatočných podmienok, napríklad zvýšenie teploty vinutia alebo iné natočenie rotora voči kartáčikom.

6 NÁVRH REGULÁTOROV

6.1 Metódy štandardných prenosov

Metódy štandardných prenosov sú založené na známom prenose otvorenej regulačnej slučky. Tieto prenosy sú odvodené pre časovo optimálnu odozvu regulačnej slučky. Metóda symetrického optima a metóda optimálneho modulu majú nevýhodu v prekmitie prechodovej charakteristiky, čo je v niektorých technologických procesoch neprípustné. Prenos regulátora sa potom určí z prenosu otvorenej slučky

$$F_R = F_0 \frac{1}{F_S} \quad (6.1)$$

V prenosoch pre otvorenú slučku vystupuje časová konštantna τ_σ . Jedná sa o malú alebo súčtovú časovú konštantu. V praxi je to najmenšia časová konštantu. V prípade sústav vyššieho rádu je to súčet všetkých malých časových konštant. [1]

6.2 Metóda symetrického optima

Je vhodná pre integračné (astatické) sústavy. Je možné použiť ju i pre sústavy statické, ale je to nevýhodné, pretože metóda optimálneho modulu dáva lepšie výsledky – menší prekmit, rýchlejšie ustálenie. [1]

Prenos otvorenej slučky: $F_0(p) = \frac{4\tau_\sigma p + 1}{8\tau_\sigma^2 p^2 (\tau_\sigma p + 1)} \quad (6.2)$

Sústava $F_S(p) = \frac{K_S}{p(1+p\tau_\sigma)} \quad (6.3)$

PI regulátor $F_R(p) = \frac{1+p\tau_1}{p\tau_0} \quad \begin{matrix} \tau_0 = 8K_S\tau_\sigma^2 \\ \tau_1 = 4\tau_\sigma \end{matrix} \quad (6.4)$

6.3 Metóda štandardného tvaru frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu

Návrh regulátora touto metódou sa vykonáva tvarovaním frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu tak, aby sme dosiahli jej vhodný tvar.

Amplitúdová charakteristika regulátora v dB je daná rovnicou

$$|F_R(j\omega)|_{dB} = |F_0(j\omega)|_{dB} - |F_S(j\omega)|_{dB} \quad (6.5)$$

a fáza vzťahom

$$\varphi_R(\omega) = \varphi_0(\omega) - \varphi_S(\omega) \quad (6.6)$$

Podľa týchto vzťahov sa dá frekvenčná charakteristika regulátora určiť rozdielom frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu a frekvenčnej charakteristiky sústavy. Toto platí iba v prípade, že frekvenčné charakteristiky sú vyjadrené v dB. Preto sa táto metóda vykonáva v logaritmických súradniciach. Charakter prechodného deja určuje stredné pásmo frekvencií.

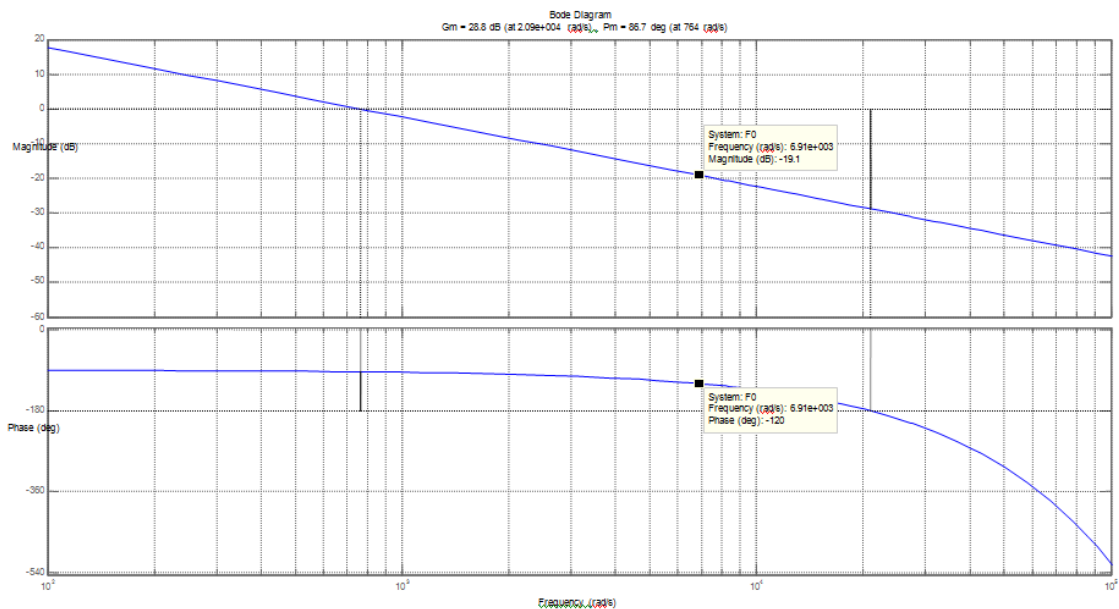
Požiadavky:

- čo najvyššia hodnota frekvencie rezu ω_r , ktorá určuje rýchlosť prechodného deja
- čo najväčšia fázová bezpečnosť, ktorá zaistí malý prekmit na prechodovej charakteristike. [6]

6.4 Návrh regulátora pre sústavu

Zvolili sme metódu štandardného tvaru frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu, pretože je to jednoduchá metóda. Pre vyregulovanie poruchy aj na vstupe sústavy je potrebný regulátor typu PI. Identifikovanú sústavu vynásobíme dopravným oneskorením o veľkosti 0,00005s spôsobeného omeškaním výstupného prúdu voči vstupnému napätiu po jednu dobu vzorkovacej periódy a vzorkovač s tvarovačom nahradíme členom typu dopravného oneskorenia o veľkosti polovice vzorkovacej periódy 0,000025s. Pre takýto systém sa navrhne spojitý regulátor a následne sa prevedie na diskretný ekvivalent.

Časovú konštantu (nulu) regulátora zvolíme takú istú veľkú, ako je časová konštantu (pól) sústavy. Tým zabezpečíme, že celá amplitúdová charakteristika bude mať sklon -20 dB/dekádu ako môžeme vidieť na (Obr. 6.1).



Obr. 6.1 Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- Kr = 1

Na (Obr. 6.1) je zobrazená amplitúdovo-fázová frekvenčná charakteristika otvoreného obvodu v logaritmických súradniciach. Prenos regulátora má tvar

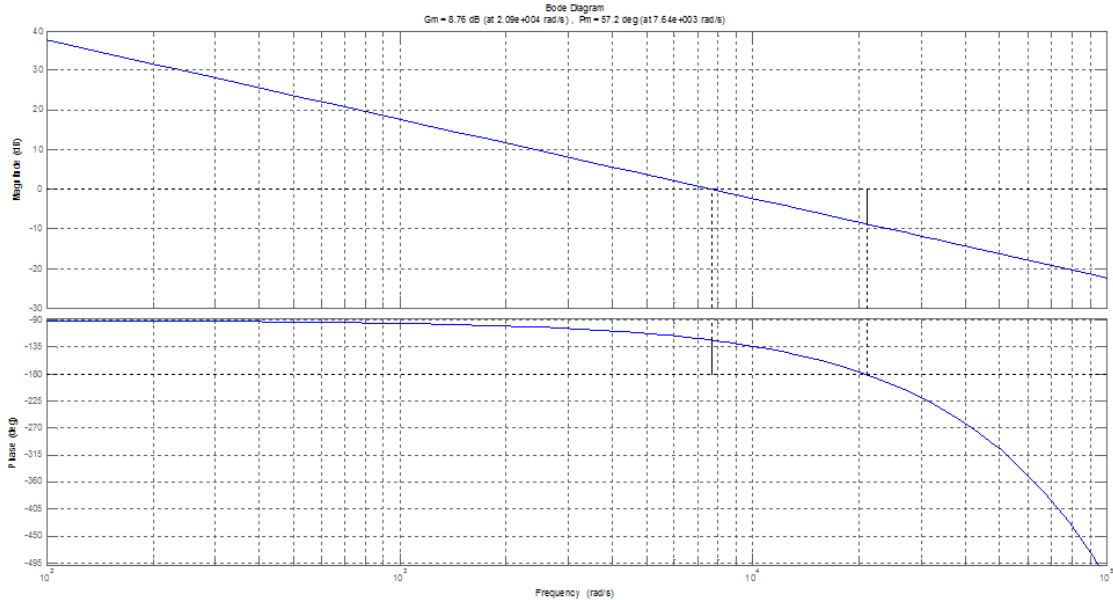
$$F_R(p) = \frac{Kr(p+977)}{p} \quad (6.7)$$

kde Kr=1. Keď chceme, aby systém mal fázovú bezpečnosť približne 60 stupňov musíme zosilnenie regulátora zvoliť tak, aby sa amplitúdová charakteristika „posunula vyššie“ o 19,1 dB podľa vzťahu

$$Kr(p) = 10^{\frac{19,1}{20}} \doteq 10 \quad (6.8)$$

Výsledný prenos regulátora je

$$F_R(p) = \frac{10(p+977)}{p} \quad (6.10)$$



Obr. 6.2 Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- Kr = 10

Z obrázku (Obr. 6.2) vidíme, že systém s navrhnutým regulátorom má fázovú bezpečnosť $P_m = 57,2^\circ$.

Regulátor prevedieme na jeho diskretný ekvivalent

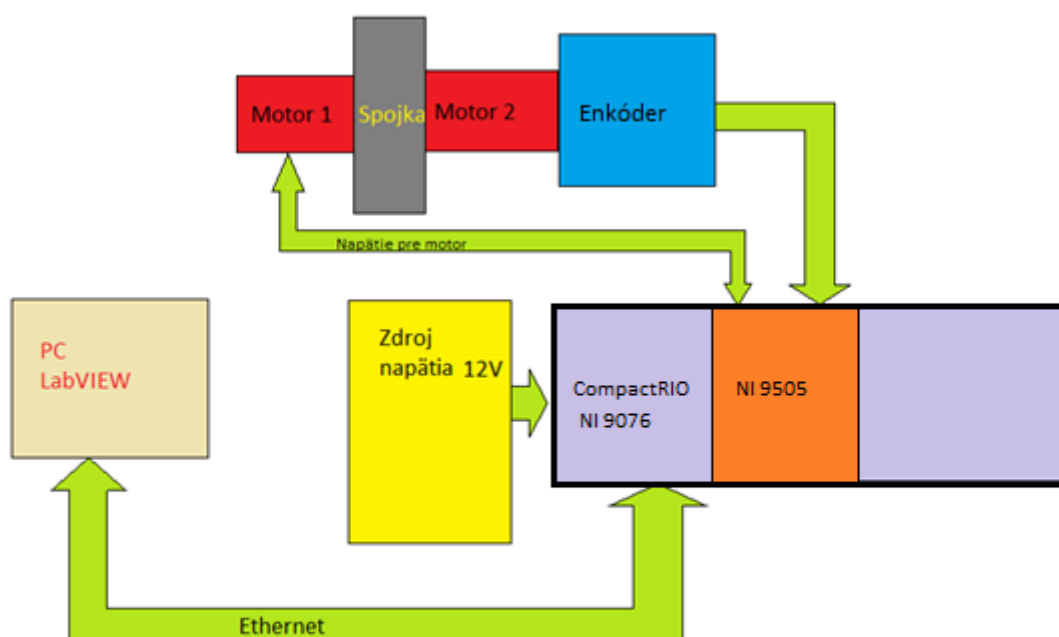
$$D(z) = 10 + 0,5 \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}} \quad (6.11)$$

Regulátor v takomto tvare môžeme vyskúšať v aplikácií, kde za konštantu K_c dosadíme 10 a za konštantu K_i 0,5. Po otestovaní regulátor fungoval správne. V aplikácií je naprogramovaný aj otáčkový regulátor a polohový regulátor. Tieto regulátory sú zapojené pomocou kaskádnej slučky. Boli navrhnuté experimentálne, pretože I/O karta NI 9505 nedokáže posielat' na motor veľkú zmenu opačného napätia. Keď sa takáto vec stala, celé CompactRIO sa reštartovalo.

7 PRÍPRAVOK

7.1 Bloková schéma

Dvojica jednosmerných motorov je spojená hriadeľom prevodovku. Na tento hriadeľ je pripojený enkóder, z ktorého vedie vodič do modulu NI 9505. Tento vodič je pripojený k 5 pinu na DSUB konektore. Do modulu NI 9505 je privedené napájanie a z neho je privedené napätie na motor. Modul NI 9505 je pripojený do zásuvného modulu cRIO 9076. Modul cRIO 9076 je pripojený pomocou sieťového kábla k počítaču, kde komunikuje s prostredím LabVIEW. Blokovú schému je vidieť na (Obr. 7.1).



Obr. 7.1 Bloková schéma prípravku

7.2 Aplikácia pre prípravok

Motor prípravku je riadený pomocou PWM regulácie. Frekvencia PWM regulácie je 20 kHz, čo odpovedá 2000 tikom. Pracuje v oblasti 4-96% z 2000 tikov. Ak sú tiky menšie ako 4 %, automaticky sa cyklus nastaví na 0. Keď sú tiky väčšie ako 96 %, nastaví cyklus na 2000. Ak sú tiky záporné číslo, motor sa otáča proti smeru hodinových ručičiek, ak kladné číslo, tak v smere hodinových ručičiek.

Rýchlosť otáčania hriadeľa sa určuje pomocou signálov z enkodéra, a to fázy A, fázy B a indexu Z. Podľa toho, ktorý zo signálov fáz príde skôr, sa určí, či je rýchlosť kladná alebo záporná. Použitím týchto signálov sme naprogramovali počítanie pulzov z enkodéra. Tieto pulzy počítame určitý čas, aby sme mohli vypočítať rýchlosť otáčania. Na jednu otáčku pripadá približne 4096 pulzov. Otáčky určíme ako počet pulzov za určitý čas vydelený počtom pulzov jednej otáčky. Následne sa dajú tieto otáčky prerátať na uhlovú rýchlosť. Pri určovaní otáčok sme prišli na problém, že napätie z enkóderu nedosahuje hodnotu +5V ale celá logická úroveň bola „posunutá nižšie“ o 1,3V. Tento problém sme vyriešili prevodníkom napäťovej úrovne.

Modul NI 9505 obsahuje obvod na meranie prúdu tečúceho motorom. Túto hodnotu je potrebné prenásobiť hodnotou 6,2, aby výsledný prúd mal jednotku mA. Tento prúd je použitý na identifikáciu elektrickej časti jednosmerného motora.

Aplikáciu v RealTime môžeme vidieť na (Obr. 7.2). Celý prípravok spúšťame (vypíname) tlačidlami Enable Drive (Disable Drive). PWM Duty Cycle nám ukazuje striedu pulzne šírkovej modulácie a Actual Input Voltage strednú hodnotu napätia na motore.

Ďalej môžeme vidieť okno s PID polohovým regulátorom, kde sa dajú nastaviť jednotlivé konštanty regulátora, žiadaná hodnota polohy, resetovanie pozície enkodéra na nami zvolenú hodnotu. Správnosť a presnosť regulátora si môžeme overiť pomocou Position Error Read, čo je odchýlka (rozdiel žiadanej a aktuálnej polohy).

V okne nižšie vidíme PID otáčkový regulátor. Tento regulátor pracuje tak isto ako polohový regulátor. Navyše si tam môžeme nastaviť smer otáčania. Encoder Cycles/Revolution predstavuje číslo rovné počtu pulzov fázy A z enkóderu za jednu otáčku.

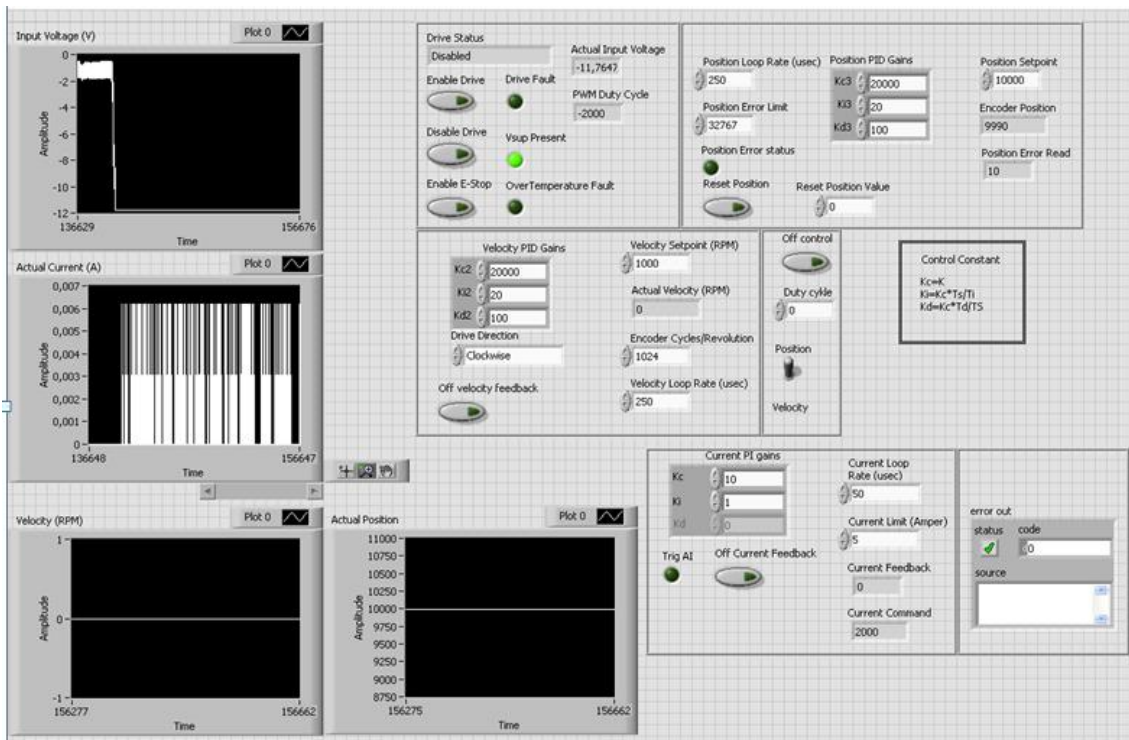
Akčné zásahy regulátorov sú pripojené buď na vstup ďalšieho regulátora (v prípade polohového a otáčkového regulátora), alebo na vstup sústavy. Regulátory majú obmedzený akčný zásah v rozsahu -2000 až 2000. Tieto regulátory sú zrealizované pomocou blokov diskretných PID regulátorov. V prípade prúdového regulátora sa D zložka nepoužíva a je rovná 0.

Okno napravo slúži na ovládanie prípravku bez pripojených regulátorov. Toto sa využíva hlavne pri identifikácii systému, kde potrebujeme zmerať a exportovať dáta vstupného napätia a výstupného prúdu. Prepínač Position/Velocity sa používa pri výbere kaskádnej slučky- polohový regulátor, prúdový regulátor a sústava, alebo otáčkový regulátor, prúdový regulátor a sústava.

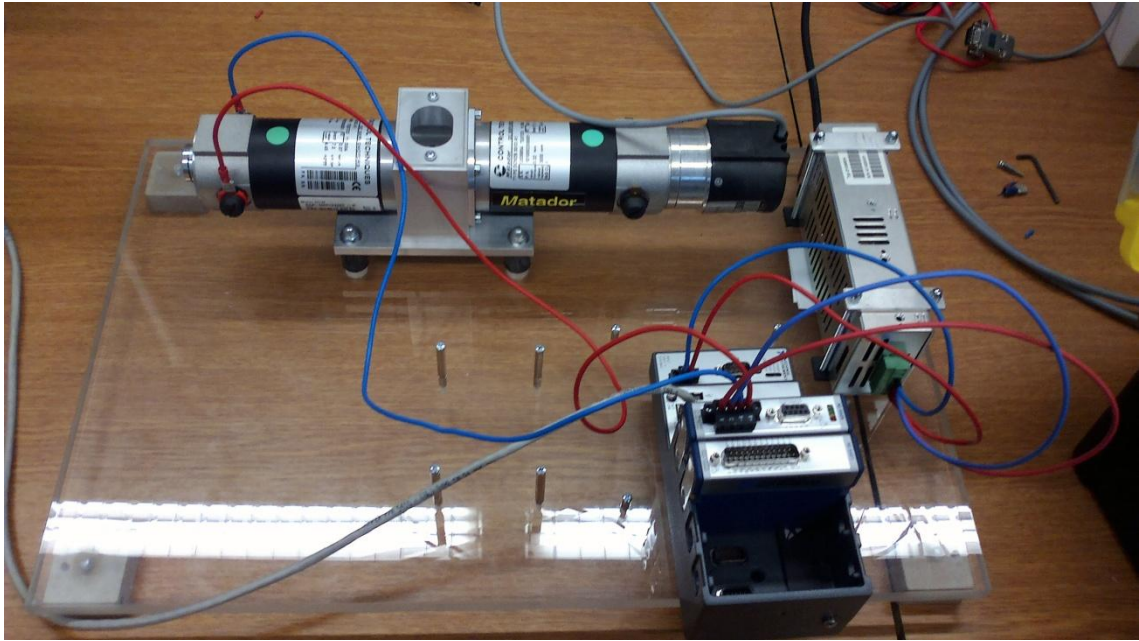
V okne s PI prúdovým regulátorom môžeme taktiež nastaviť jednotlivé konštanty regulátora, vypnúť spätnú väzbu a overiť si správnosť regulátora pomocou žiadanej a aktuálnej hodnoty prúdu.

Naľavo sú grafy, kde vykresľujeme závislosť prúdu motora, vstupného napätia privedeného na motor, aktuálne otáčky motora a pozíciu motora na krokoch periódy vzorkovania, z ktorých exportujeme namerané dáta slúžiace na indentifikáciu sústavy, overenie správnosti regulátorov.

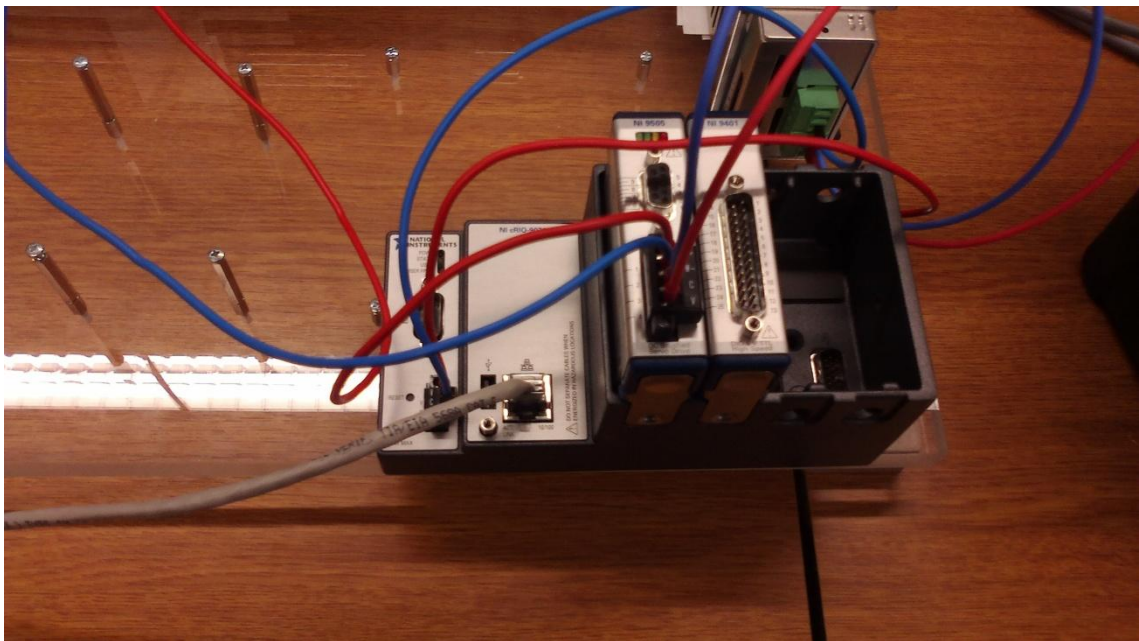
Tento panel vytvorený v prostredí RealTime slúži len na predávanie a získavanie dát z prostredia FPGA. Všetky regulátory, či už meranie prúdu a otáčok je naprogramované v prostredí FPGA, z ktorého potom načítavame dáta do prostredia RealTime.



Obr. 7.2 Aplikácia v LabVIEW



Obr. 7.3 Přípravok



Obr. 7.4 Compact cRIO

8 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zoznámiť sa s prípravkom dvojice spojených jednosmerných motorov. Prípravok je prepojený s programovacím prostredím LabVIEW cez modul Compact cRio 9076, v ktorom je použitá karta NI 9505, od National Instruments. Použitá bola len jedna karta NI 9505, tzn. že sme ovládali iba jeden motor z dvojice, pretože karta nedokázala rekuperovať. Objasnili sme možnosti identifikácie danej sústavy, identifikovali sústavu pomocou nástroja IDENT v programe Matlab. Pre túto identifikáciu bolo potrebné zmerať cez LabVIEW prechodovú charakteristiku. Čo sa nepodarilo hneď na prvýkrát, pretože bol problém udržať rotor bez otočenia, a aby prechodová charakteristika bola zameraná správne bez prekmitov prúdu. Takto identifikovanú sústavu sme porovnali s identifikáciou pomocou prechodovej charakteristiky na osciloskope. Hodnoty sa líšili minimálne. Rozdiel týchto hodnôt mohol byť spôsobený iným natočením rotora a kartáčikov kotvy alebo ohriatím vinutia motora.

Ďalej sme sa zaoberali možnosťami návrhu regulátorov pre daný prípravok. Metódu sme si zvolili návrh pomocou frekvenčných charakteristík, pretože táto metóda je rýchla a jednoduchá. Takto navrhnutý prúdový regulátor sme otestovali na prípravku. Polohový a otáčkový regulátor sme navrhovali experimentálne, tak aby sa modul 9076 nereštartoval a dokázal regulovať.

Popísali sme vytvorenú aplikáciu v prostredí LabVIEW na ovládanie prípravku. Aplikácia je vytvorená tak, aby sa dala urobiť na nej laboratórna úloha na identifikáciu parametrov sústavy a overenie správnosti návrhu regulátora.

Laboratórna úloha na identifikáciu systému a návrh regulátora môže tak prispieť ku skvalitneniu výučby. Vzorové riešenie úlohy je uvedené v prílohe.

9 LITERATÚRA

- [1] SKALICKÝ, J.: Elektrické regulované pohony. Elektronické skriptum. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2007.
- [2] OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS Compact cRIO - 9075/9076. National Instruments [online]. Október 2011 [cit. 2012-12-1]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375650b.pdf>
- [3] OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS NI 9505. National Instruments [online]. Január 2010 [cit. 2012-12-1]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374211f.pdf>
- [4] ŽÍDEK, J.: Grafické programování ve vývojovém prostředí Labview, VŠB-TU Ostrava, október 2002.
- [5] DUŠEK, M.: *Identifikace parametrů synchronních motorů s permanentními magnety*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav automatizace a měřicí techniky.
- [6] BLAHA, P., VAVŘÍN, P.: Řízení a regulace. Elektronické skriptum. Brno: FEKT, VUT v Brně, 2009.

10 ZOZNAM PRÍLOH

A Laboratórna úloha

B CD

A. Laboratórna úloha

Zadanie:

- Identifikujte elektrickú časť jednosmerného motora pomocou nástroja IDENT v programe Matlab.
- Navrhните na identifikovanú sústavu prúdový PI regulátor metódou štandardného tvaru frekvenčnej charakteristiky otvoreného obvodu.

Teoretický úvod:

Jednosmerný motor- patrí k najstarším elektrickým strojom. Tento motor je ideálnym regulačným motorom – jeho otáčky sa dajú plynule riadiť zmenou privedeného napätia. Pre regulované sústavy sa používajú najmä jednosmerné motory s cudzím budením a motory s budením permanentnými magnetmi v statore. Magnety sa používajú z magneticky tvrdých materiálov, feritov a spekaných materiálov zo vzácnych zemín, napr. zlúčeniny neodýmu, železa a bóru. Aktívnymi časťami jednosmerného motora sú stator s permanentnými magnetmi a pólovými nástavcami z mäkkého železa pre koncentráciu magnetického toku do vzduchovej medzery, rotor (kotva) s vinutím, tvoreným jednotlivými cievkami, uloženými v drážkach a vyvedenými na komutátor, ktorý spolu s uhlíkovými kefami a kefovými držiakmi tvorí tzv. zberné ústrojenstvo.

Pre jednosmerné motory platia tieto základné rovnice: pri točení uhlovou rýchlosťou ω sa vo vinutí kotvy indukuje napätie

$$U_i = C\phi\omega \quad [\text{V}]$$

Pôsobením prúdu a magnetického toku sa vytvára moment

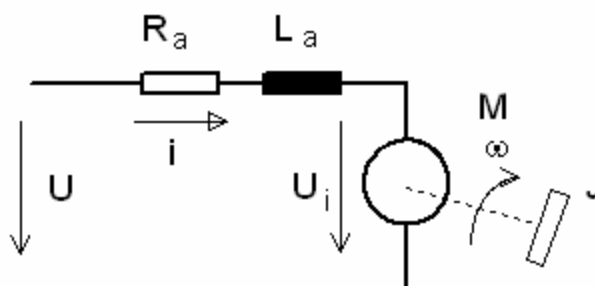
$$M = C\phi I \quad [\text{Nm}]$$

C je konštanta motora (napät'ová, momentová), ϕ je magnetický tok a I je prúd kotvy.

Jednosmerný motor s permanentnými magnetmi má konštantný magnetický tok, jeho veľkosť je daná použitým typom magnetov a konštrukciou magnetického obvodu. Otáčky je možné riadiť len zmenou napätia kotvy. Pre obvod kotvy je možné napísať rovnicu rovnováhy elektrických napätí

$$U = R_a I_a + C\phi\omega \quad [\text{V}]$$

Jednosmerný motor ako dynamický systém je popísaný sústavou diferenciálnych rovníc, ktoré je možné odvodiť z náhradnej schémy, ktorá je na (Obr. 10.1).



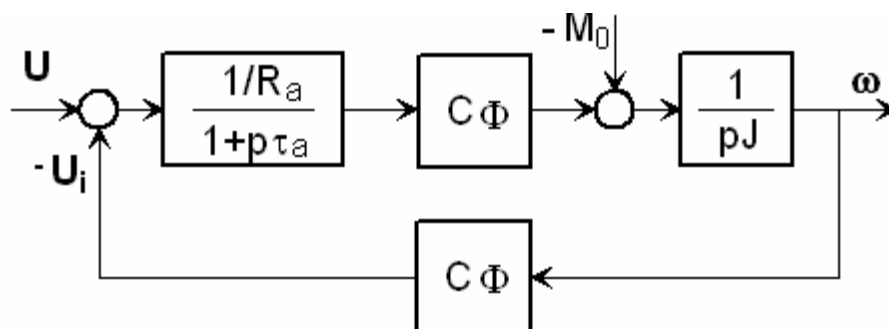
Obr. 10.1 Náhradná schéma jednosmerného motora[1]

$$u_a = R_a I_a + L_a \frac{di_a}{dt} + C\phi\omega \quad [\text{V}]$$

$$C\phi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + M_0 \quad [\text{Nm}]$$

J je celkový moment zotrvačnosti na hriadeli motora, B koeficient viskózneho trenia a M_0 moment mechanického odporu. Prvá rovnica predstavuje rovnováhu napätí v obvode kotvy, druhá rovnica je rovnováha momentov na hriadeli motora.

Použitím Laplaceovej transformácie dostaneme matematický model



Obr. 10.2 Matematický model jednosmerného motora[1]

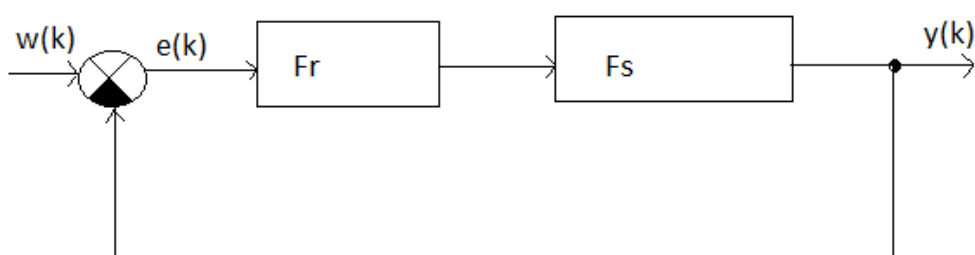
Elektrickú časť jednosmerného motora tvorí zotrvačný článok prvého rádu. Prenos tejto časti je

$$F_s(p) = \frac{Ks}{(Tp+1)}$$

K tejto sústave navrhne PI regulátor s prenosom

$$F_r(p) = \frac{Kr(Trp+1)}{p}$$

Bloková schéma je obrázku

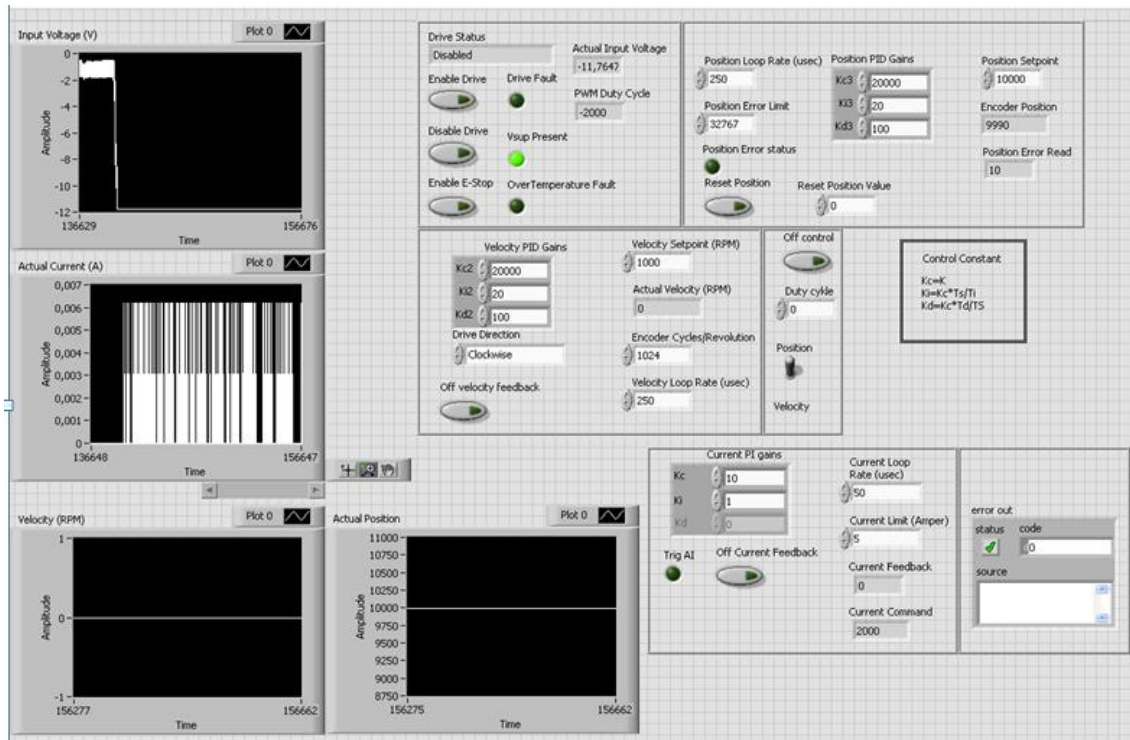


Obr. 10.3 Bloková schéma

Postup:

a)

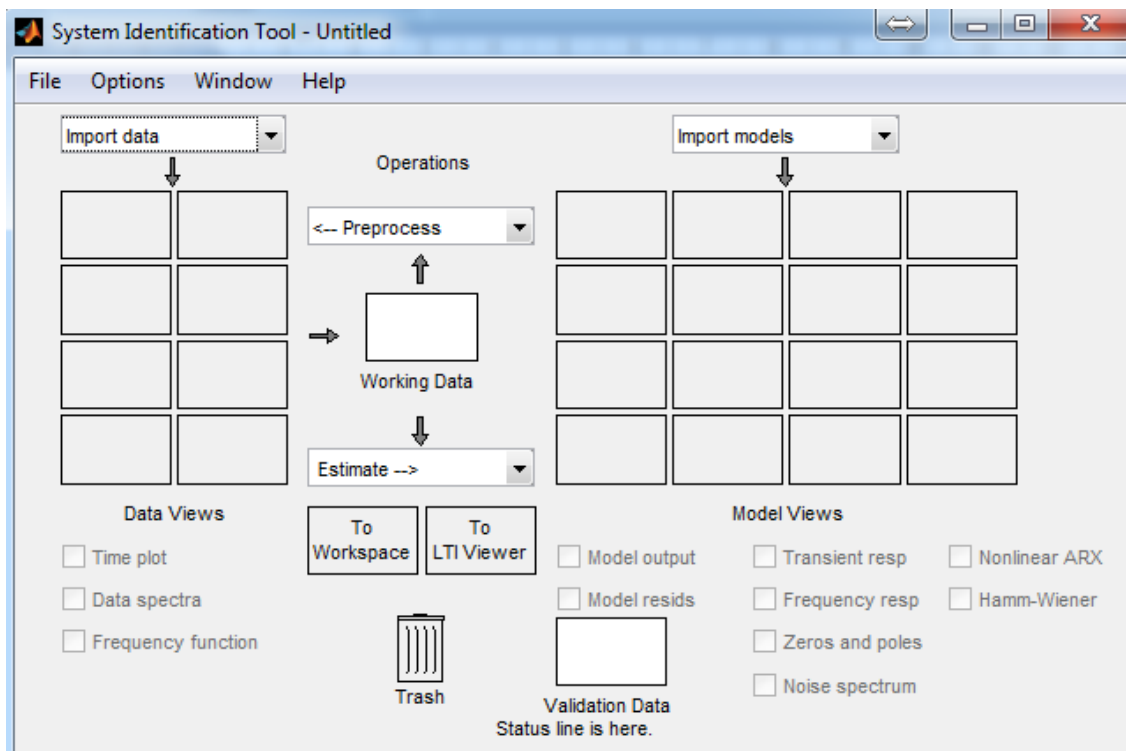
Otvoríme si aplikáciu v LabVIEW test(RT).vi.



Obr. 10.4 Aplikácia

Spustíme ju. Vypneme regulátory pomocou tlačidla OFF CONTROL. Zaisťíme si hriadel' motora, nastavíme si striedu pulzovo šírkovej modulácie (Duty Cycle) na hodnotu 500 (malá, pretože pri väčšej striede je aj väčší moment). Stlačíme tlačidlo ENABLE DRIVE.

Na grafe INPUT VOLTAGE vidíme skokovú zmenu vstupného napätia a v grafe ACTUAL CURRENT prechodovú charakteristiku výstupného prúdu. Zmerané dáta exportujeme do Excelu pomocou pravého tlačidla na myši. A následne do Workspace programu Matlab ako dve matice (vstupnú a výstupnú). V Matlabe spustíme nástroj IDENT.



Obr. 10.5 Nástroj IDENT

V ponuke IMPORT DATA si zvolíme TIME DOMAIN DATA. Otvorí sa nové okno, kde zadáme názov matice vstupných hodnôt a názov matice výstupných hodnôt. Períodu vzorkovania dáme takú, akú máme nastavenú v LabVIEW (0,00002). Importujeme dáta.

V ponuke ESTIMATE si vyberieme LINEAR PARAMETRIC MODELS, nastavíme si model ARX [1 1 1] a dáme ESTIMATE.

Takto navrhnutý model si môžeme porovnať z nameranými dátami cez funkciu MODEL OUTPUT.

Model prenesieme do WORKSPACE a prevedieme ho na spojitéj funkciou d2c.

b)

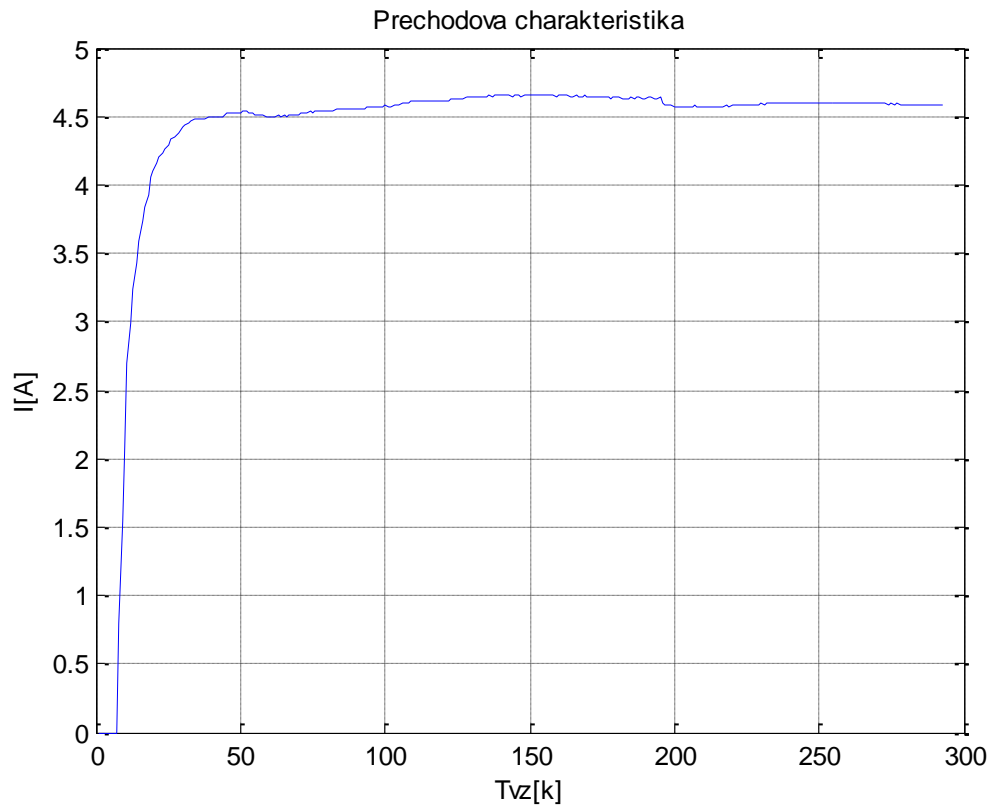
Časovú konštantu regulátora dáme takú istú, ako je časová konštanta sústavy, čím vytvoríme sklon amplitúdovo frekvenčnej charakteristiky -20 dB/dekáda a zosilnenie regulátora $K=1$. Vytvoríme si otvorenú slučku $F0=Fs*Fr$.

Tento prenos vynásobíme dopravným oneskorením $e^{-0,000075}$. To vykonáme funkciou `set(F0, 'outputdelay', 75E-6)`.

Vykreslite si amplitúdovo frekvenčnú charakteristiku otvoreného obvodu F0 funkciou `margin(F0)`. Upravte zosilnenie regulátora tak, aby fázová bezpečnosť systému bola približne 60° . Takto navrhnutý regulátor preved'te na jeho diskretný ekvivalent.

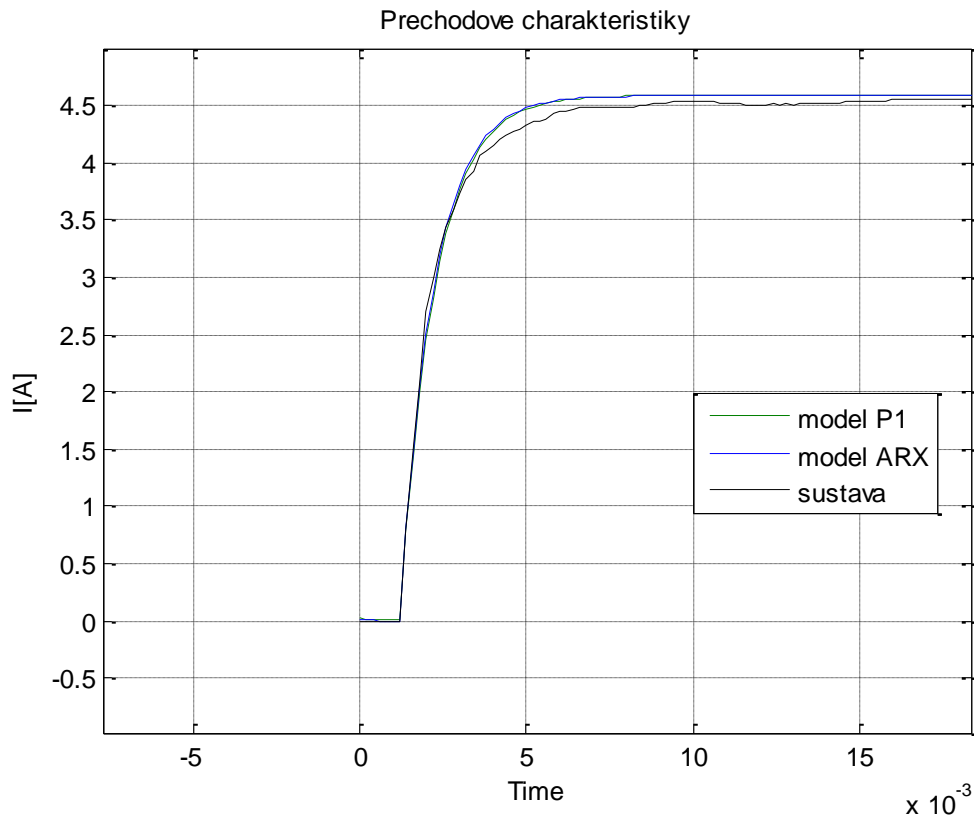
Vypracovanie:

a)



Obr. 10.6 Výstupné hodnoty prúdu

Identifikovali sme dva modely, model ARX111 a model zotrvačného článku prvého rádu. Porovnali sme ich so sústavou. Zhody v percentách vyšli pre model P1 93,06% a pre model ARX 92,96%.



Obr. 10.7 Porovnanie modelov

Po prevedení diskretného prenosu na spojité prenos sústavy vyšiel

$$F_S(p) = \frac{0,78}{(0,0011p+1)}$$

b)

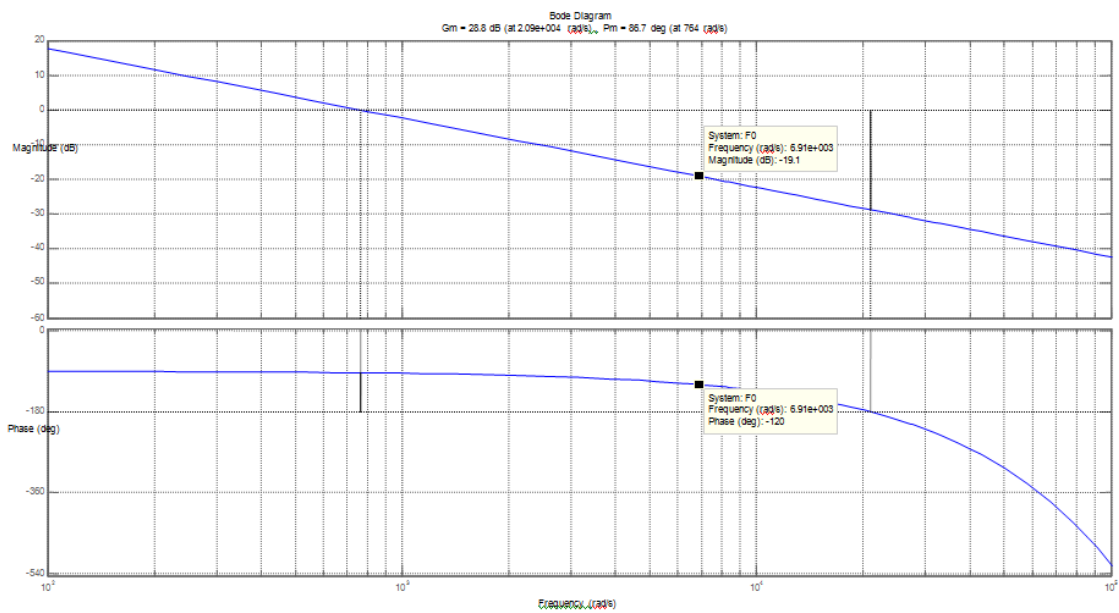
Sústavu sme upravili tým, že sme pridali dopravné oneskorenie 0,000075s. Upravená sústava má prenos

$$F_S(p) = \frac{0,78}{0,0011p+1} * e^{-0,000075p}$$

Otvorený obvod má prenos

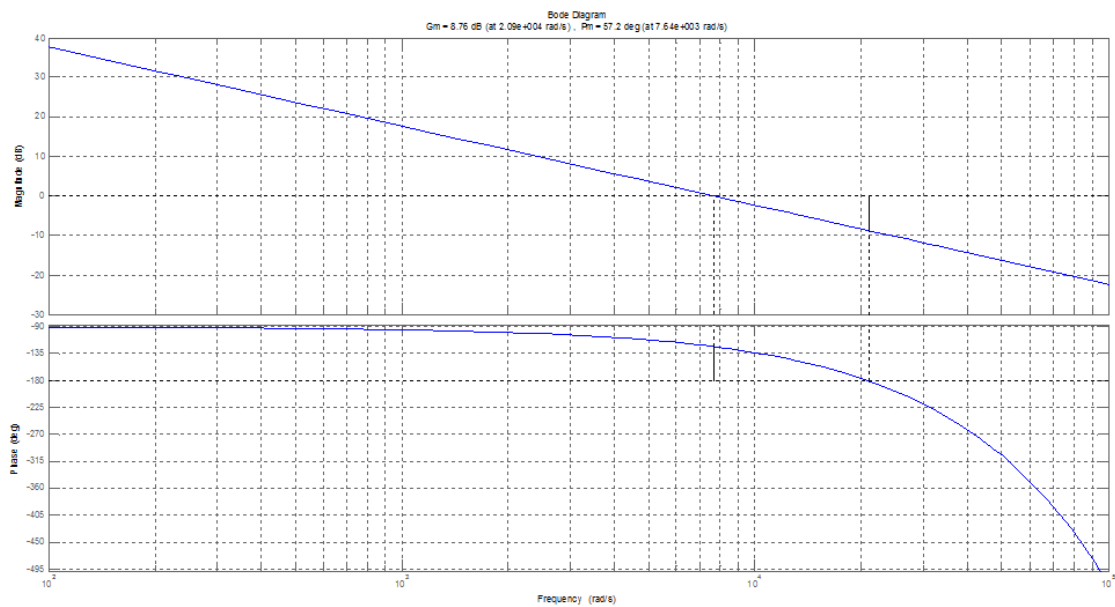
$$F_0(p) = F_R * F_S = \frac{Kr * 0,78 * (0,0011p+1)}{p(0,0011p+1)} * e^{-0,000075p}$$

Pre zosilnenie $K_r = 1$ je zobrazená frekvenčná charakteristika



Obr. 10.8 Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- $K_r = 1$

Na obrázku vidíme, že keď chceme dosiahnuť fázovú bezpečnosť približne 60° , musíme amplitúdovú charakteristiku „posunúť vyššie“ o 19,1 dB. To dosiahneme zosilnením regulátora približne rovným 10.



Obr. 10.9 Amplitúdovo fázová frekvenčná charakteristika- $K_r = 10$

Výsledný prenos regulátora

$$F_R(p) = \frac{10(0,0011p+1)}{p}$$

Regulátor prevedieme na jeho diskretný ekvivalent. Perióda vzorkovania je 0,00005s. Diskretný regulátor má potom prenos

$$D(z) = 10 + 0,5 \frac{z^{-1}}{1-z^{-1}}$$

Navrhnutý prúdový regulátor sme odskúšali v aplikácii. Do zložky K napíšeme hodnotu zosilnenia $d_0 = 10$ a do zložky Ki hodnotu $d_2 = 0,5$.

Záver:

Cieľom tohto merania bolo identifikovať elektrickú časť jednosmerného motora a navrhnuť prúdový PI regulátor. Navrhnutý regulátor metódou frekvenčných charakteristík po odskúšaní pracoval správne. Pri meraní prechodovej charakteristiky sa vyskytol problém. Až na niekoľký pokus sa podarilo zmerať peknú prechodovú charakteristiku bez prekmitov. Rotor pri skokovej zmene vstupného napätia bolo potrebné znehybniť a nesprávnym držaním došlo k prekmitom prúdu.