

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

ŘÍZENÍ LABORATORNÍHO MODELU KULIČKA NA TYČI

Jan Leinweber

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Leinweber**
Osobní číslo: **I14011**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Řízení laboratorního modelu Kulička na tyči**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce: Úkolem je rekonstrukce existujícího laboratorního modelu Kulička na tyči, který bude následně řízen průmyslovým regulátorem PMA KS 90-1 resp. KS 98-1.

Teoretická část: Rešerše zadaného tématu a popis elektrické části laboratorního modelu. Návrh regulátoru typu PID a nalezení jeho optimálních parametrů.

Implementační část: Analýza stávajícího stavu elektrické části zařízení. Návrh a realizace nezbytných úprav pro zajištění jeho bezchybné funkce a s tím související případná modifikace řídicího software. Návrh regulačního algoritmu v prostředí Matlab & Simulink a jeho realizace v prostředí BlueControl Expert resp. ET/KS 98.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

BALÁTĚ, J. 2004. Automatické řízení. 2 vyd. Praha: BEN - technická literatura. 663 s. ISBN 80-7300-148-9.

ASTRŮM, K., J.; HÄGGLUND, T. 1995. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. 2 vyd. Research Triangle Park (USA): Instrument Society of America. ISBN 1-55617-516-7.

MATOUŠEK, D. 2006. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR 3. díl: edice uP a praxe. 2.vyd. BEN - technická literatura. 376 s. ISBN 978-80-7300-209-4.

VÁŇA, V. 2003. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN - technická literatura. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Kupka, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **6. prosince 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11. května 2018**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. prosince 2017

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 5. 2018

Jan Leinweber

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svým rodičům za podporu ve studiu a svému vedoucímu práce Ing. Liboru Kupkovi, Ph.D.

V Pardubicích dne 15. 5. 2018

Jan Leinweber

ANOTACE

Tato práce se zabývá posouzením a rekonstrukcí laboratorního modelu Kulička na tyči. Model se skládá z ramene, po němž se kutálí kulička dle naklonění, z motoru a regulátoru, který měří pozici kuličky a zároveň řídí náklon ramene. Laboratorní model je názorným příkladem astatické soustavy a jejího řízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kulička na tyči, řízení, PID regulátor

TITLE

CONTROL OF THE LABORATORY MODEL BALL ON BEAM

ANNOTATION

The work is oriented to the issue of recognition and reconstruction of a laboratory model Ball on beam. The parts of the model a the beam, on which the ball is rolling the motor and the regulator, which measures position of a ball and simultaneously controls banking of a beam. The Laboratory model is objective example of astatic assemblage and its controlling.

KEYWORDS

Ball on beam, controls, PID regulator

OBSAH

	Seznam zkratk a značek	8
	Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	9
	Seznam ilustrací	10
	Seznam tabulek	12
	ÚVOD	13
1	MODEL KULIČKA NA TYČI	14
2	POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ	15
2.1	Řídící ČÁST	15
2.2	Rameno modelu	16
2.2.1	Ovládání náklonu ramene	17
2.3	Displej	19
3	Možnosti měření polohy kuličky	20
3.1	Odporová dráha	20
3.2	Bezkontaktní měření	22
3.2.1	Měření pomocí vířivých proudů	22
3.2.2	Měření pomocí triangulace	23
4	Model systému	25
4.1	Odezva na jednotkový skok	28
5	Regulace soustavy	30
5.1	Spojité regulátory	30
5.1.1	Proporcionální regulátor	31
5.1.2	Integrační regulátor	31
5.1.3	Derivační regulátor	32
5.2	Diskrétní regulátory	33
5.3	Regulace v simulink	33
6	Úpravy na modelu	36
6.1	Výměna displeje	36
6.2	Výměna kuličky	37
6.3	Výměna servo motoru	39
7	Řízení pomocí externího regulátoru	42
8	ZÁVĚR	47
	CITACE A ODKAZY NA POUŽITOU LITERATURU	48

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AD	převod analog/digitál
CCD	charge-couple device
LCD	liquid crystal display
PDIP	plastic dual in-line package
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)
PWM	pulzně šířková modulace
R	regulátor
RO	regulační obvod

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

α	úhel náklonu ramene, °
a	zrychlení, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
b	radiány, rad
$d(t)$	porucha
$e(t)$	regulační veličina
f_{osc}	frekvence oscilátoru, Hz
Hz	hertz
K	konstanta
l	délka
P_{bl}	proporcionální konstanta regulátoru
R	elektrický odpor, Ω
s	dráha, m
s	sekunda
T	perioda vzorkování
T_d	derivační časová konstanta
T_{dl}	derivační konstanta regulátoru
T_i	integrační časová konstanta
T_{il}	integrační konstanta regulátoru
T_u	dopravní zpoždění systému
$u(t)$	akční veličina regulované soustavy
U_1	Vstupní napětí
U_2	Výstupní napětím
v	rychlost, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$w(t)$	požadovaná veličina regulované soustavy
$y(t)$	výstupní veličina regulované soustavy

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1-1 - Model.....	14
Obrázek 2-1 – Piny mikrokontroleru	15
Obrázek 2-2 – Tabulka použití pinů (Firbas, 2015).....	16
Obrázek 2-3 – Motor uprostřed ramene.....	17
Obrázek 2-4 - Motor mimo rameno	17
Obrázek 2-5 – Pootočení hřídele v závislosti na PWM signálu	19
Obrázek 2-6 – Piny řadiče displeje	20
Obrázek 3-1 - Potenciometr	21
Obrázek 3-2 – Princip vířivých proudů (Zárybnický, 2014)	23
Obrázek 3-3 – Princip triangulace (Vojáček, 2015)	24
Obrázek 4-1 - Integrátor	25
Obrázek 4-2 – Schéma simulace.....	26
Obrázek 4-4 – Jednotkový skok (Wikipedia, 2018)	26
Obrázek 4-3 – Přechodová charakteristika (Voráček, 2000).....	27
Obrázek 4-6 - Přechodová charakteristika pro úhel 2 stupně	28
Obrázek 4-5 – Přechodová charakteristika pro úhel 1 stupeň	28
Obrázek 4-7 - Přechodová charakteristika pro úhel 3 stupně	29
Obrázek 5-1 – Schéma regulovaného obvodu	30
Obrázek 5-2 – Proporcionální regulátor	31
Obrázek 5-3 – Integrační regulátor	32
Obrázek 5-4 – Derivační regulátor	33
Obrázek 5-5 – Regulační schéma s PID regulátorem.....	34
Obrázek 5-6 – Přechodová charakteristika s PID regulací	34
Obrázek 6-1 – Poškozený displej.....	36
Obrázek 6-2 – Funkční displej.....	37
Obrázek 6-3 – Kulička po úpravě	38
Obrázek 6-4 – Převodovka motorku	39
Obrázek 6-5 – Stavitelná hřídel	41
Obrázek 7-1 – Prostředí BlueControl	42
Obrázek 7-2 – Přechodová charakteristika při naklonění 1 stupeň	43
Obrázek 7-3 - Přechodová charakteristika při naklonění 2 stupně	44
Obrázek 7-4 - Přechodová charakteristika při naklonění 3 stupně	44

Obrázek 7-5 – Výstupní veličina externího regulátoru.....46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2-1 - Funkce pinů řadiče	20
Tabulka 7-1 - Nastavení regulátoru	45

ÚVOD

Laboratorní model Kulička na tyči je úloha, v níž je cílem dostat kuličku z počáteční polohy do požadované polohy a následně ji v tomto místě udržet. Předpokládá se, že při vychýlení ramene se kulička bude pohybovat ve směru k zemi. Rychlost kuličky závisí na více parametrech, nejdůležitějšími jsou gravitační zrychlení a úhel natočení ramene. Je příkladem rychle se měnící astatické soustavy, vizuálně osvětluje děje odehrávající se v dynamických systémech a jejich regulaci. Reálný výskyt regulace soustav podobných vlastností lze najít například u řízení letu letadla, kde je potřeba rychle a přesně regulovat astatickou soustavu.

Tato práce by měla provést rešerši již existujícího modelu, jeho úpravy a dokázat jeho funkci. Je nutné analyzovat veškeré fyzikální děje a nastavit správně parametry regulátoru, v tomto případě jednotky, která snímá polohu kuličky a zároveň řídí náklon ramene, po němž se kulička pohybuje.

1 MODEL KULIČKA NA TYČI

Tato kapitola pojednává o obecném rozboru modelu Kulička na tyči, který bude více popsán v dalších kapitolách.

Základem modelu, který má simulovat astatickou soustavu, je rameno modelu, v němž se kulička kutálí. Dále obsahuje řídicí část, jejíž smysl spočívá v regulaci modelu a ovládání funkcí modelu. Vzhled modelu pro lepší představu lze vidět na obrázku 1-1.



Obrázek 1-1 - Model

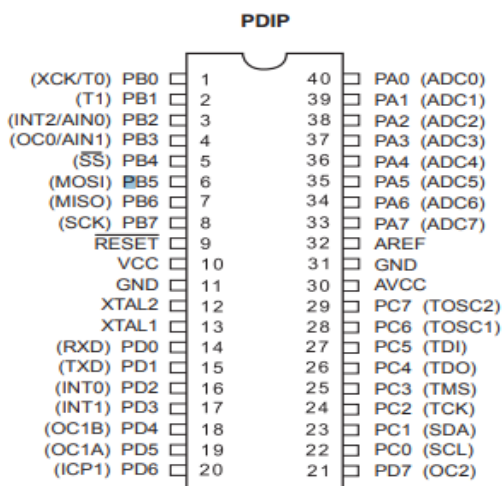
2 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ

Model se skládá z řídicí části, která obsahuje mikroprocesor ATmega32, a hardwaru potřebného k ovládání vlastností modelu. Jedná se o potenciometr, kterým lze v ručním režimu nastavovat polohu ramene, přepínač, který umožňuje volit mezi funkcí ručního ovládání, řízení automaticky podle regulátoru nastaveného v mikročipu nebo externím regulátorem, který je možno připojit.

Další částí je rameno, po němž se kulička, jejíž polohu je třeba regulovat, pohybuje v drážce. Délka drážky ovlivňuje spoustu výsledných parametrů celého modelu, a tak není nezanedbatelná. Další z parametrů a způsobů možného měření ovlivňuje i kulička, zejména materiál, ze kterého je vyrobena a její velikost. Náklon ramene ovládá servomotor.

2.1 ŘÍDÍCÍ ČÁST

Vlastní řídicí část je uložena v kovovém šasi přímo na podstavci modelu. Jeho nejdůležitější částí je mikroprocesor ATmega32 vyvinutý společností Atmel. Výhodou mikročipů v řídicích systémech je poměrně malý odběr proudu, cena a snadná reprodukovatelnost v případě sériového nasazení.



Obrázek 2-1 – Piny mikrokontroleru

Mikroprocesor umí zpracovávat vstupy a generovat odpovídající výstup. Při konstrukci zařízení je nutné znát možnosti jednotlivých registrů, což je třeba při měření analogových signálů, a také skutečnost, že mikroprocesor pracuje s TTL logikou. Ta pracuje s hodnotami napětí 0 V-5 V, kdy 0 V odpovídá logické 0 a 5 V logické 1.

Obrázek 2-1, který lze nalézt v katalogu, ukazuje piny, které mikroprocesor obsahuje a lze je tedy použít k realizaci modelu. V modelu je použito pouzdro PDIP.

Obrázek 2-2 Dále obsahuje piny, které jsou skutečně použity. (Firbas,2015)

Pin	ATmega32	Funkce	Pin	ATmega32	Funkce
1	PB0	Přepínač režimu	23	PC1	LCD displej D1
2	PB1	Přepínač režimu	24	PC2	LCD displej D2
3	PB2 (INT2)	Tlačítko OK	25	PC3	LCD displej D3
6	PB5	LED dioda 1	26	PC4	LCD displej D4
7	PB6	LED dioda 2	27	PC5	LCD displej D5
8	PB7	LED dioda 2	28	PC6	LCD displej D6
9	/RESET	Reset mikrokontroléru	29	PC7	LCD displej D7
10	VCC	Napájení (+5 V)	30	AVCC	Referenční napětí A/D
11	GND	Napájení (GND)	31	AGND	Napájení (GND)
12	XTAL2	Externí krystal (16 MHz)	32	AREF	Napájení (GND)
13	XTAL1	Externí krystal (16 MHz)	33	PA7 (ADC7)	Ladící pin
15	PD1	LCD displej on/off	34	PA6 (ADC6)	Ladící pin
16	PD2 (INT0)	Tlačítko +	35	PA5 (ADC5)	Ladící pin
17	PD3 (INT1)	Tlačítko -	36	PA4 (ADC4)	Ladící pin
18	PD4 (OC1B)	PWM	37	PA3 (ADC3)	Ladící pin
19	PD5	LCD displej RW	38	PA2 (ADC2)	Potenciometr
20	PD6	LCD displej RS	39	PA1 (ADC1)	Externí vstup
21	PD7	LCD displej E	40	PA0 (ADC0)	Měření polohy
22	PC0	LCD displej D0			

Obrázek 2-2 – Tabulka použití pinů (Firbas, 2015)

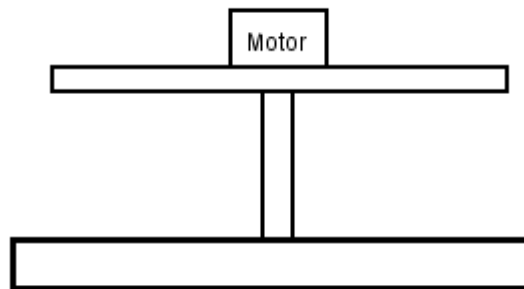
2.2 RAMENO MODELU

Rameno je konstruováno s drážkou, v níž se kulička pohybuje. Drážka obsahuje odporovou dráhu, která umožňuje měřit aktuální polohu kuličky. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla kulička, kterou používá model, z vodivého materiálu. Polohu by bylo možné měřit i v případě kuličky z nevodivého materiálu, muselo by být však použito jiné měřicí metody.

Drážka v rameni je dlouhá 47 cm, což je poměrně důležitý parametr sloužící k výpočtům, zejména kvůli limitům, které daná astatická soustava skýtá. V drážce je využita odporová dráha s odporem $0 \div 106,5 \Omega$, což bylo zjištěno jejím změřením. Její konstrukce pomocí závitů znemožňuje měřit polohu kuličky spojitě, naopak lze pouze nespojitě při dosažení jednotlivého zubu.

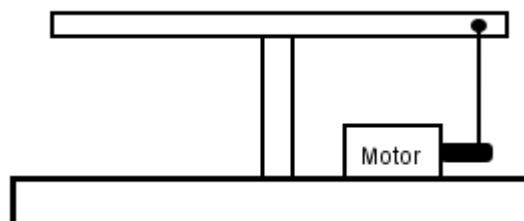
Umístění akčního členu, který v případě modelu představuje motor nastavující úhel naklonění ramene, lze principiálně rozdělit do dvou typů.

Prvním je umístění motoru uprostřed ramene, připojeným na hřídel ramene. Důležité je, aby těžiště ramene bylo přímo v místě hřídele. Tento typ připojení motoru je snadnější z hlediska výpočtu úhlu naklonění ramene, je však potřeba vyššího momentu motoru s ohledem na velikost ramene a případně i váhu kuličky. Princip konstrukce popisuje obrázek 2-3.



Obrázek 2-3 – Motor uprostřed ramene

Další možností je motor spojený s ramenem v libovolné vzdálenosti od středu, čím je však dál, tím je možné použití motoru s menším momentem. To je však vykoupeno větším rozdílem mezi pootočením hřídele motoru a samotného ramene, což je nutno brát v potaz při pozdějším výpočtu úhlu natočení ramene. Hřídel motoru je pak pomocí osy fyzicky připojena k ramenu, které ovládá. Princip tohoto typu konstrukce popisuje obrázek 2-4.



Obrázek 2-4 - Motor mimo rameno

2.2.1 OVLÁDÁNÍ NÁKLONU RAMENE

K ovládní ramene lze použít více typů elektromechanických motorů, nejvhodnějším se však zdá být servomotor. Další možností by mohl být krokový motor, u něj je však nevýhoda získávání informace o poloze, navíc každý krokový motor vyžaduje ke svému provozu speciální

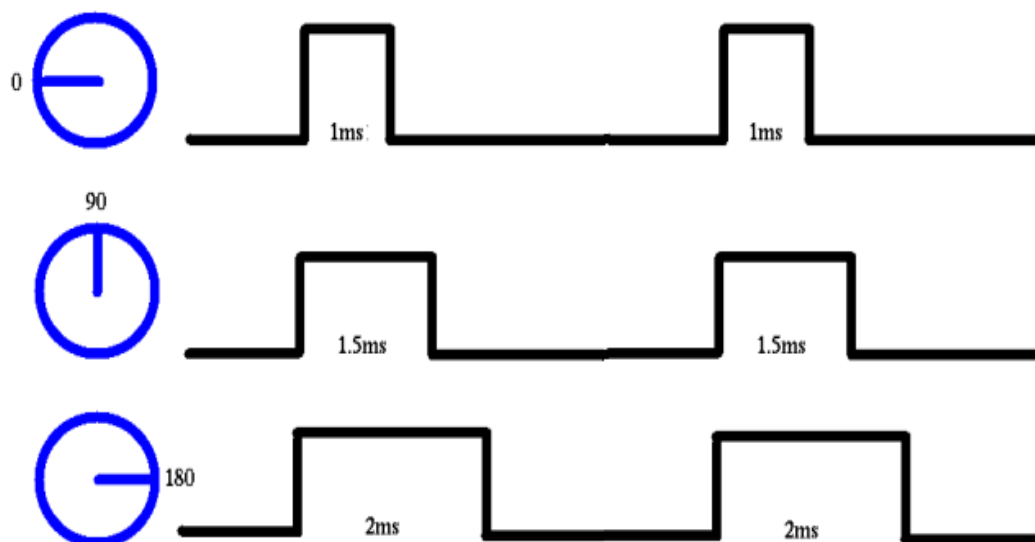
řídící elektroniku. U krokových motorů může dojít ke ztrátě kroku, k níž dochází při překročení mezního zatížení. Dále mají sklon k mechanickému zakmitávání. Zpětná vazba o poloze hřídele by se dala získávat například optočlenem nebo koncovým spínačem, které by vedlo k větší složitosti zařízení. Výhodou těchto motorů je vysoká životnost.

V případě servomotoru jde o motorek s převodovkou a hřídelí, jejíž poloha je snímána většinou potenciometrem a informace o ní předávána zpět do elektroniky servomotoru. Elektronika na základě přiváděných informací ovládá směr a rychlost otáčí hřídele. Pokud přestane být do servomotoru přiváděn signál, zpětná vazba se uvolní a správně poloha hřídele není nijak zajištěna.

Většina servomotorů umožňuje otáčení hřídele o 90 úhlových stupňů, nicméně některé servomotory umožňují i rozsah 180 stupňů. Servomotory je také možné upravit pro trvalé otáčení, nicméně při takovéto úpravě není možné řídit přesně polohu, ale rychlost a směr otáčení. Takto upravené servomotory se používají například jako pohony ke kolům robotů. V případě modelu je tato úprava zjevně nevhodná.

Řízení servomotorů se provádí pomocí pulzně šířkovou modulací, ve zkratce PWM. PWM je způsob, jímž lze pomocí dvoustavového signálu, tzn. logické 0 a 1, regulovat například otáčky, jas LED diody nebo polohu servomotoru. Dalším způsobem využití může být modulace analogového signálu kvůli přenosu. Důležitými vlastnostmi PWM je frekvence a střída. Frekvence určuje, jak rychle bude docházet ke změně signálu, střída určuje, jaký je poměr mezi logickou 1 a celou periodou. Právě velikost střídy určuje tedy jas LED diody nebo v případě modelu natočení hřídele.

Většina servomotorů je dnes řízena střídou 1-2 ms, podle výrobce a velikosti natočení hřídele se hodnoty však mohou lišit. Čip ATmega32 dokáže takovýto signál generovat, je však nutné správně programově nastavit frekvenční předděličku. Závislost otočení hřídele na střídě je patrné na obrázku 2-5



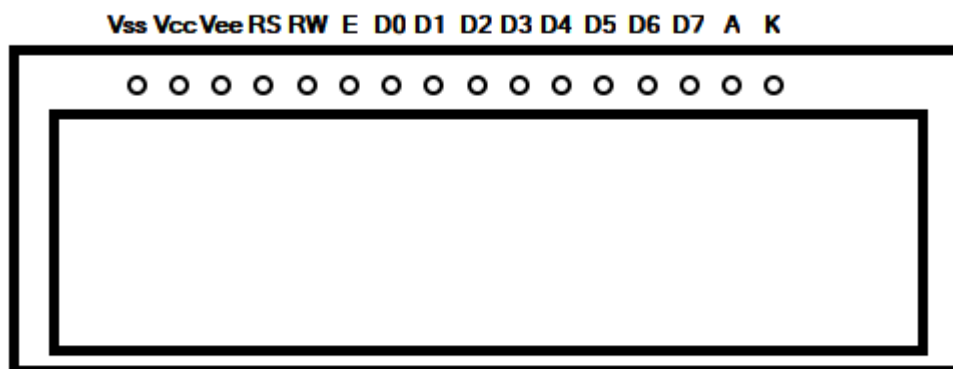
Obrázek 2-5 – Pootočení hřídele v závislosti na PWM signálu

2.3 DISPLEJ

Ke zobrazování stavu modelu, nastavovacích parametrů a náklonu ramene slouží dvouřádkový display. V modelu byl původně alfanumerický LCD displej MC1602E-TRV vyrobený firmou Velleman. Jeho součástí je i řadič HD44780, který je pro ovládání těchto displejů naprosto standardní.

Displej vypisuje na řádek 16 znaků a je dvouřádkový. Tyto parametry bohatě postačí pro zobrazování informativních a nastavovacích parametrů.

Tento původní display musel být vyměněn z důvodu nefunkčnosti řadiče. Vyměněn byl za displej stejného typu.



Obrázek 2-6 – Piny řadiče displeje

Řadič umožňuje komunikovat s mikrokontrolerem pomocí 8 nebo 4 datových vodičů a dalších třech řídicích vodičů. Na Obrázku 2-6 jsou zobrazeny piny displeje. Význam pinů je znázorněn v tabulce 2-1.

Tabulka 2-1 - Funkce pinů řadiče

Pin	Označení	Funkce
1	Vss	GND
2	Vcc	Napájení
3	Vee	Kontrast
4	RS	Zápis instrukce (0)/dat (1)
5	RW	Čtení (0) / zápis (1)
6	E	Hodinový impuls
7	D0	Data 0
8	D1	Data 1
9	D2	Data 2
10	D3	Data 3
11	D4	Data 4
12	D5	Data 5
13	D6	Data 6
14	D7	Data 7
15	A	Anoda
16	K	Katoda

3 MOŽNOSTI MĚŘENÍ POLOHY KULIČKY

3.1 ODPOROVÁ DRÁHA

K měření tohoto jevu se využívá vlastností vodivých látek, které se nazývá elektrický odpor. Tento způsob je využit v tomto modelu. Poprvé odpor jednoho ohmu realizoval Werner Siemens jako odpor sloupku rtuti o průřezu 1 mm² a délce 106 cm při teplotě 0 C. Jeho definice

jednotky byla přijata v roce 1884 jako součást nové soustavy elektrických a magnetických jednotek navržených Wilhelmem Weberem. (Králová, 2015)

V principu se kulička kutálí po drážce a spojuje část, na níž je přivedeno napětí s částí odporové dráhy, čímž spojí obě části v určitém bodě, který určí výsledný odpor podle vzdálenosti, na které se kulička nachází. Podle úbytku napětí na odporové dráze vyhodnotí její přesnou polohu řídicí systém.

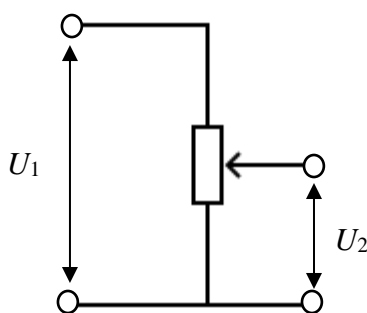
Nejmenší vzdálenosti dráhy, tedy její hraně, odpovídá elektrický odpor 0Ω , největší vzdálenosti dráhy odpovídá elektrický odpor $106,5 \Omega$. V reálné situaci je však třeba počítat s velikostí kuličky, jelikož při jejím dotyku s hranou zůstane měřené místo s největší pravděpodobností ve vzdálenosti poloměru kuličky. Například pro kuličku o průměru 1 cm by odpovídala hodnota elektrického odporu

$$\frac{R_{max}}{R_{min}} = \frac{l_{max}}{l_{min}}. \quad (3-1)$$

$$R_{min} = \frac{R_{max} \times l_{min}}{l_{max}} = \frac{106,5 \times 0,5}{47} = \frac{53,25}{47} = 1,13\Omega. \quad (3-2)$$

Z této rovnice lze odvodit přepočítání elektrického odporu na 1 cm, který je $2,26 \Omega$, což nám pomůže při výpočtech.

Vzhledem k tomu, že ATmega32 měří pouze velikost napětí, nikoliv odpor, je nutné si dráhu přepočítat pomocí známých veličin na velikost výstupního napětí. Je-li známo, že náhradní schéma potenciometru je na obrázku 3-1.



Obrázek 3-1 - Potenciometr

Z předchozího obrázku vyplývá rovnice

$$U_2 = \frac{U_1 \times R_x}{R}, \quad (3-3)$$

z čehož lze snadno při změření napětí U_2 vypočítat dráhu, pokud je dosazena za elektrický odpor R , vyjde rovnice

$$U_2 = \frac{U_1 \times l_x}{l_{max}}, \quad (3-4)$$

z níž je možné si určit úpravou dráhu

$$l_x = \frac{U_2 \times l_{max}}{U_1}, \quad (3-5)$$

Toto řešení je možné blíže prozkoumat v knize (Chlebný, 2015).

3.2 BEZKONTATNÍ MĚŘENÍ

Tento způsob měření využívá fyzikálních principů elektromagnetických vlnění. V praxi je možné použít vlastnosti odrazu světla, zvuku, případně vlastností elektromagnetického pole.

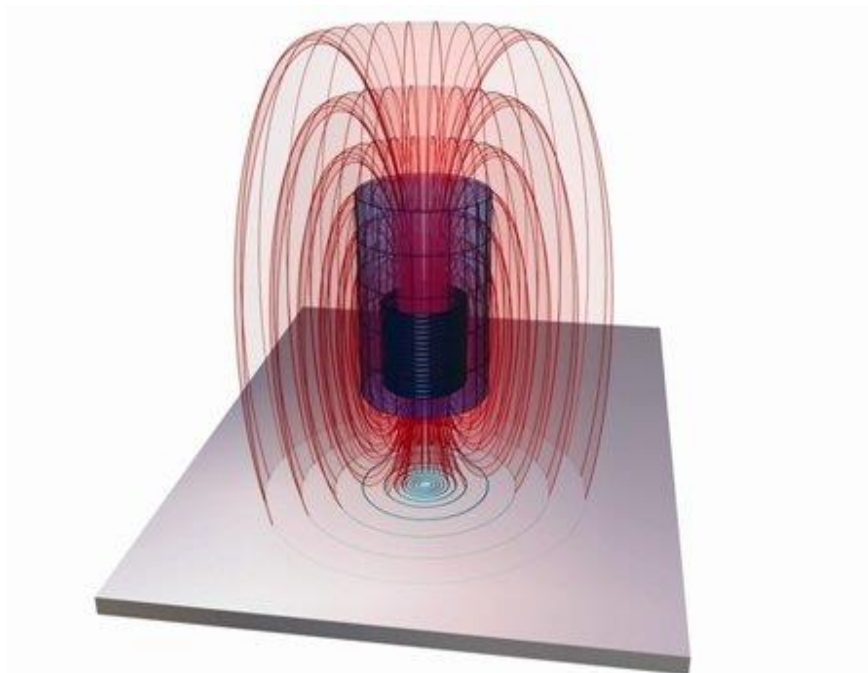
3.2.1 MĚŘENÍ POMOCÍ VÍŘIVÝCH PROUDŮ

Při této metodě se využívá vlastností střídavých elektrických obvodů.

Pokud je cívka napájena střídavým proudem, tvoří se okolo ní magnetické pole. Je-li poté do tohoto pole cívky umístěn elektricky vodivý předmět, indukují se vířivé proudy, které následně působí proti jejímu magnetickému poli, což změní její výslednou impedanci.

Tato metoda, kterou popisuje autor (Zárybnický, 2014), může být tedy použita na všechny kovy, i na nemagnetické. Výhodou je vysoká odolnost proti nečistotám a vysoký rozsah pracovní teploty.

Velkou nevýhodou je nutno kalibrace a linearizace systému, které závisí na vlastnostech měřeného materiálu, v případě modelu by tedy byla její realizace poměrně zbytečně složitá.



Obrázek 3-2 – Princip vířivých proudů (Zárybnický, 2014)

3.2.2 MĚŘENÍ POMOCÍ TRIANGULACE

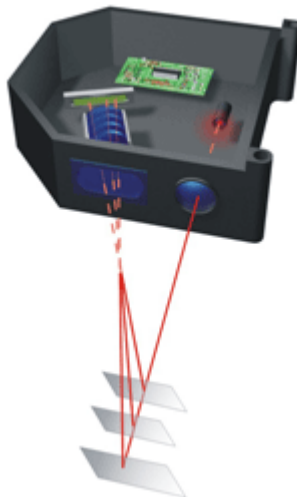
Tento princip se realizuje pomocí laserových snímačů. Využívá jevu, že pokud se vyslaný paprsek odráží od měřeného předmětu pod stejným úhlem, je vzdálenost jeho dopadu na senzor vždy úměrná vzdálenosti tohoto předmětu. Čím roste vzdálenost předmětu, tím roste i vzdálenost dopadu na snímač senzoru.

Jednou z možných realizací je vyslání světelného paprsku z polovodičového laseru, který dopadne v cílovém objektu na určitý bod. Dle fyzikálního zákona úhlu dopadu a odrazu se paprsek odrazí v určeném úhlu a vrací se zpět k senzoru, kde dopadne na vstupní čočku, za níž letí na CCD snímač, který již vyhodnotí polohu odraženého paprsku a tím i vzdálenost objektu, jak je uvedeno v článku (Vojáček, 2015).

Z principu je jasné, že tento způsob měření je limitován velikostí snímacího senzoru, z čehož vyplývá, že lze snímače použít pouze na předem daný vzdálenostní úsek a není možné měřit mimo něj.

Výhodou tohoto způsobu je fakt, že je poměrně jednoduchý, jelikož není vyhodnocovaná doba letu paprsku nebo jeho intenzita, nýbrž pouze vzdálenost dopadu.

Při využití tohoto způsobu je ideální zvolit barvu měřeného předmětu co nejpodobnější barvě samotného laseru, případně naopak. Paprsek není tolik pohlcen předmětem, lépe se odrazí a ztratí méně své intenzity.



Obrázek 3-3 – Princip triangulace (Vojáček, 2015)

4 MODEL SYSTÉMU

Před skutečným měřením lze model a parametry PID regulátoru otestovat v simulačním prostředí, v tomto případě v modulu SIMULINK programu MATLAB. Ke správnému sestavení modelu je třeba si model správně identifikovat.

Jako výstup ze systému nás zajímá poloha, respektive dráha, kterou kulička při náklonu ramene ujede. Matematicky lze dráhu odvodit z rychlosti, kterou je možno zase odvodit ze zrychlení kuličky. To se jeví jako nejvhodnější, jelikož zrychlení kuličky je rovné gravitačnímu zrychlení, které je konstantní.

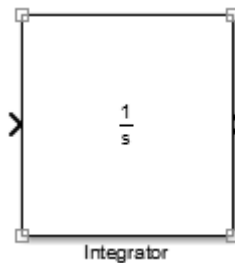
Zrychlení je definováno jako

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (4-1)$$

a rychlost jako

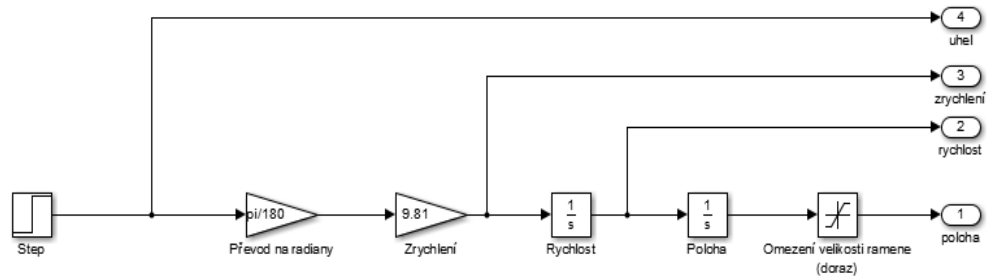
$$v = \frac{ds}{dt} \quad (4-2)$$

Po integraci zrychlení podle času je tedy možné zjistit okamžitou rychlost v čase a z ní zároveň okamžitou dráhu v čase. V prostředí SIMULINK lze využít komponenty integrátor.



Obrázek 4-1 - Integrátor

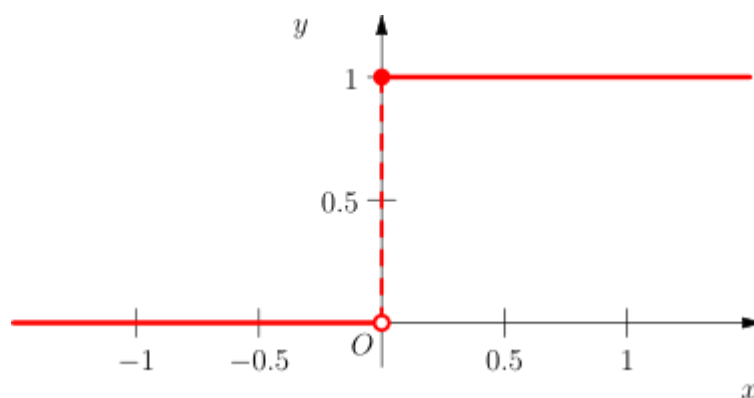
V případě ideální soustavy, kdy jsou zanedbány parametry kuličky, zpoždění motoru a valivý odpor, lze použít k simulaci model na obrázku 4-1. Přenosová funkce bude pak soustavy 1.řádu, ačkoliv v reálu se tak chovat nebude.



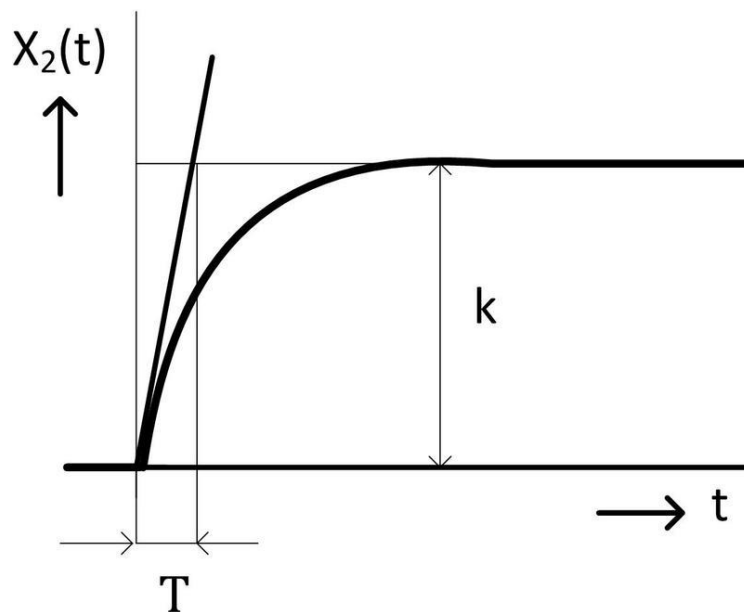
Obrázek 4-2 – Schéma simulace

Vstupem do soustavy je úhel natočení ramene, zde reprezentován funkcí step, která zastupuje jednotkový skok. Pomocí jednotkového lze zjistit chování systému při rychlé změně požadované hodnoty.

Jednotkový skok neboli Heavisideova funkce je definovaná jako nespojitá funkce. Velmi často se používá v teorii řízení a zpracování signálu, jelikož slouží jako reprezentace okamžité a jednorázové změny. Její pomocí lze odvodit po reakci řízeného systému jeho přechodovou charakteristiku a z ní vypočítat dynamiku, řád a zesílení. V praxi se realizuje velmi obtížně, jelikož je téměř nemožné vyvolat změnu signálu bez menšího či většího zpoždění.



Obrázek 4-3 – Jednotkový skok (Wikipedia, 2018)



Obrázek 4-4 – Přejchodová charakteristika (Voráček, 2000)

Úhel natočení je nutné dále přepočítat na radián. Ten je definován jako bezrozměrná jednotka a jde o poměr délek oblouku a poloměru. Převod mezi stupňovou a obloukovou mírou lze vypočítat jako

$$b = \frac{\alpha \times \pi}{180}, \quad (4-3)$$

kde b je velikost úhlu v radiánech

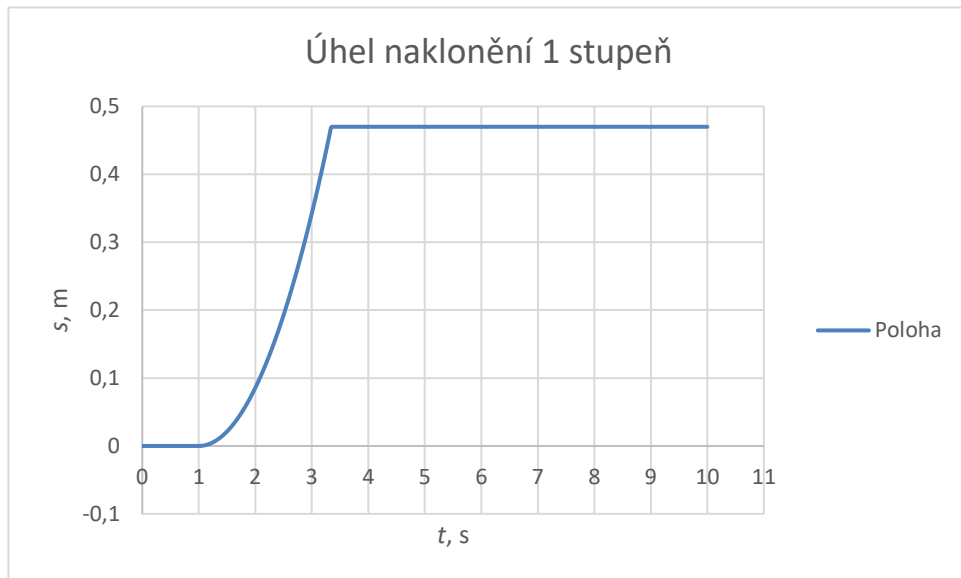
a α je velikost úhlu ve stupních.

Zde je reprezentován blokem pro zesílení, v němž je zavedena funkce pro převod. Dalším blokem zesílení v soustavě je reprezentováno gravitační zrychlení.

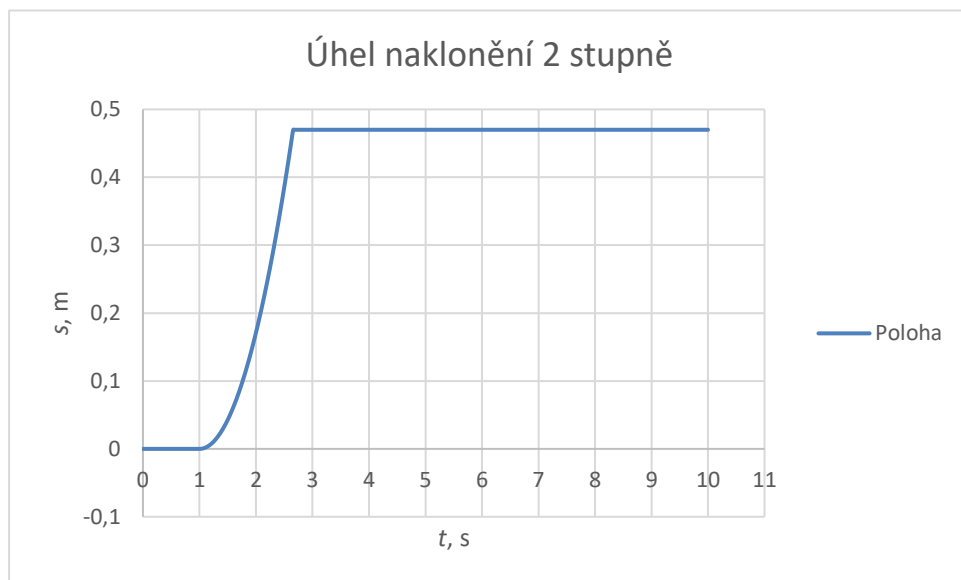
Po zrychlení následuje blok integrace. Jeho výstupem je okamžitá rychlost v závislosti na čase. Z rychlosti je dalším blokem integrace vyhodnocovaná dráha, která reprezentuje polohu kuličky na rameni. Dalším blokem je saturace, která omezuje vzdálenost, do níž se kulička může dostat s omezením velikosti ramene. Bez tohoto bloku by kulička pokračovala dále po dráze bez limitu, ačkoliv to v reálu není možné. Dráha, tedy skutečná poloha kuličky je výstupní veličina, kterou je třeba regulovat.

4.1 ODEZVA NA JEDNOTKOVÝ SKOK

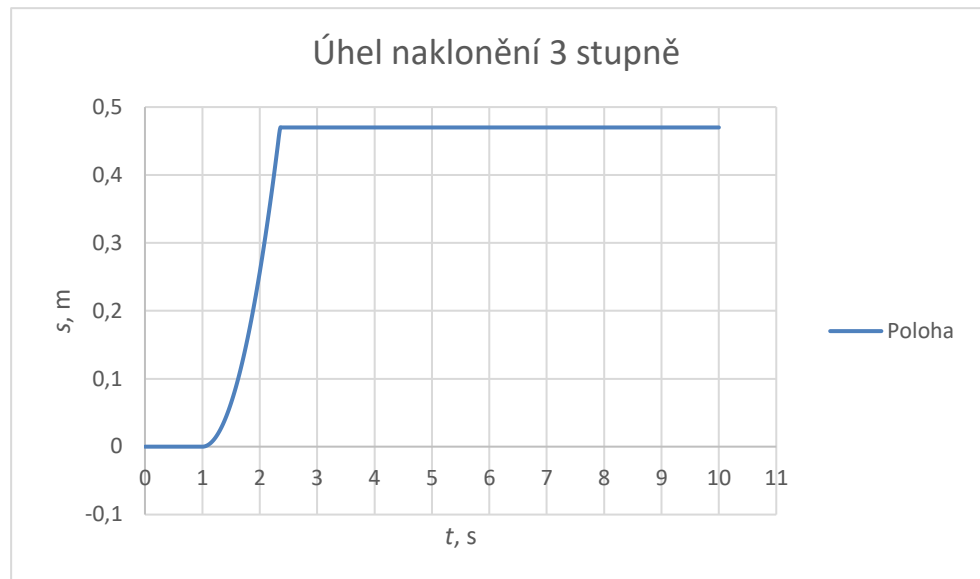
Simulace byla provedena pro tři různé náklony roviny 1 až 3 stupně. Jednotkový skok na požadovanou hodnotu byl proveden po 1 sekundě z důvodu lepší přehlednosti odezvy. Měřená oblast je v časovém rozmezí 0 ÷ 10 sekund.



Obrázek 4-6 – Přejchodová charakteristika pro úhel 1 stupeň



Obrázek 4-5 - Přejchodová charakteristika pro úhel 2 stupně



Obrázek 4-7 - Přejchodová charakteristika pro úhel 3 stupně

Z grafů na obrázcích 4-5 až 4-7 je patrné, že velikost úhlu náklonu je důležitým parametrem, jeho zvětšení způsobí rychlejší odezvu systému.

System po simulaci odpovídá soustavě 1.řádu.

5 REGULACE SOUSTAVY

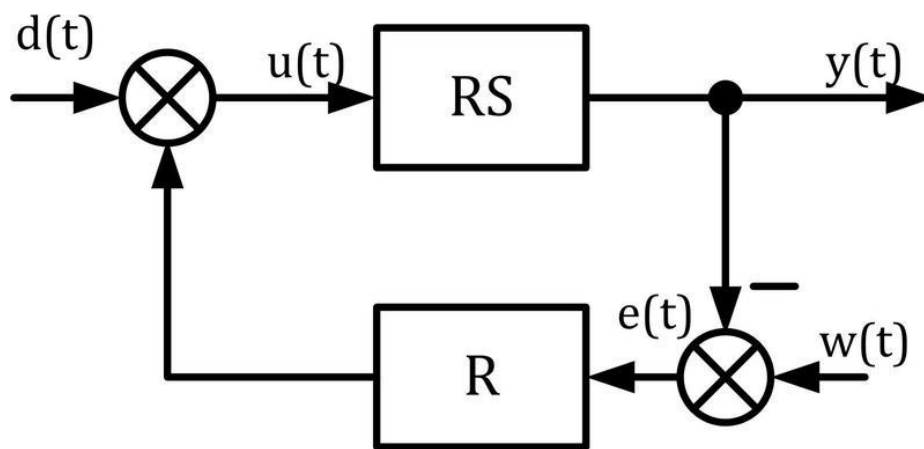
Požadované polohy je třeba dosáhnout pomocí regulátoru. Z dnešního pohledu lze regulátory rozdělit do dvou typů:

- spojité
- diskrétní (číslicové).

Spojité pracují většinou s analogovým signálem, zatímco nespojité s digitálním.

Na obrázku 5-1 lze vidět schéma regulované soustavy.

Veličiny vstupující do regulačního schématu a veličiny z něj vystupující popisují vlastnosti



Obrázek 5-1 – Schéma regulovaného obvodu

regulátoru R a regulované soustavy RS. Od požadované veličiny $w(t)$ je odečtena výstupní veličina $y(t)$, z čehož vyjde regulační odchylka $e(t)$, která je dále zpracována regulátorem. Z regulátoru vystupuje do regulované soustavy akční veličina $u(t)$, která je ovlivňována poruchou $d(t)$. Z regulované soustavy vychází výstupní veličina, která je měřena a zavedena jako zpětná vazba k požadované veličině.

5.1 SPOJITÉ REGULÁTORY

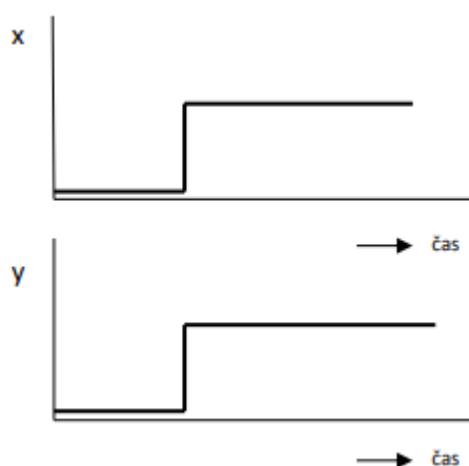
Spojité regulátory jsou takové regulátory, jejichž výstupní veličina je spojitou funkcí vstupní veličiny, což znamená, že všechny prvky regulátoru pracují spojitě bez skoků či vzorkování. Regulovaná veličina tedy v každém okamžiku ovlivňuje tu akční a zásah do regulačního procesu je tedy téměř okamžitý. Oproti nespojitým regulátorům jsou tedy přesnější, nicméně složitější na provedení a nastavení parametrů. Nejrozšířenějším a nejúčinnějším typem těchto regulátorů je PID. Chování tohoto regulátoru ovlivňují tři složky.

5.1.1 PROPORCIONÁLNÍ REGULÁTOR

Výstupní signál z regulátoru je přímo úměrný signálu vstupnímu. Chová se jako zesilovač. V praxi se regulátor chová tak, že roste-li hodnota požadované veličiny, zvyšuje se i hodnota akční veličiny nebo naopak. Velikost zesílení lze ovlivňovat, čímž lze ovlivnit reakci regulátoru na požadovanou hodnotu. Se zvětšujícím se součinitelem zesílení obecně roste citlivost a přesnost regulace, zhoršuje se však její stabilita. Výstupní rovnice P regulátoru odpovídá zesilovači

$$x(t) = r_0 e(t) . \quad (5-1)$$

Jeho přechodová charakteristika na obrázku 5-2 vypovídá o tom samém.



Obrázek 5-2 – Proporcionální regulátor

5.1.2 INTEGRAČNÍ REGULÁTOR

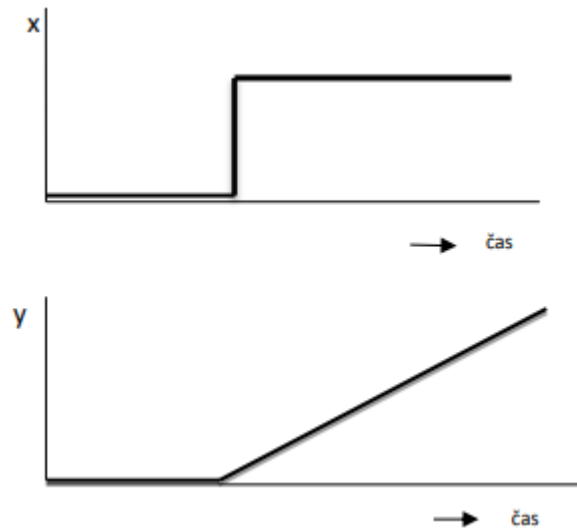
U tohoto regulátoru je akční veličina úměrná integrálu vstupní veličiny. Výstupní veličina se tedy mění podle velikosti regulační odchylky, kterou zcela odstraní. Tento typ regulátoru je vhodné použít v kombinaci s jinými typy regulátorů. Jeho nevýhodou je pokles zesílení se zvyšující se frekvencí, kdy velmi pomalu odstraňuje poruchy. Do obvodů, kde se tedy často vyskytují poruchy, je nevhodný. Vhodný je pro statické regulované soustavy. Obecně lze říci, že stabilizuje regulační pochod.

Výstupní rovnice tohoto regulátoru je

$$x(t) = r_i \int_0^t e(t) dt + x(0), \quad (5-2)$$

kde $x(0)$ je počáteční podmínkou, vlastně tedy výstupní veličina na počátku regulace.

Přechodová charakteristika regulátoru je pak zobrazena na Obrázek 5-3.



Obrázek 5-3 – Integrovní regulátor

5.1.3 DERIVAČNÍ REGULÁTOR

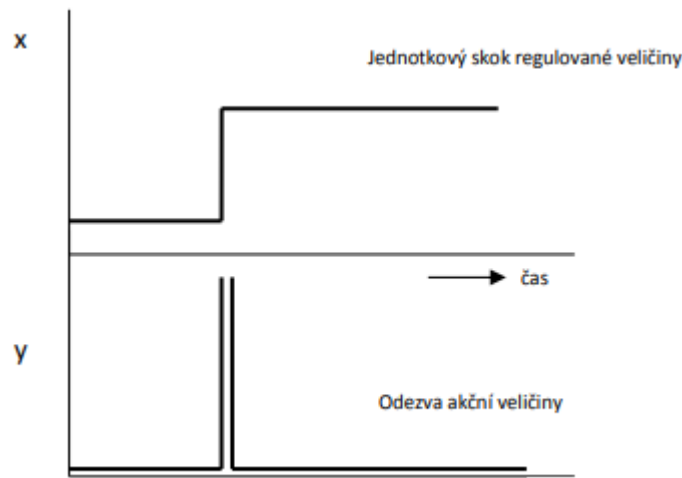
Výstupní veličina tohoto regulátoru je při konstantní výchylce nulová, mění se pouze se změnou regulační odchylky. Tento regulátor lze použít samostatně jako zpětnovazební, v přímé větvi jej však nelze využít právě kvůli nulové výstupní veličině při konstantní výchylce. Lze jej použít pouze v kombinaci s P složkou. Obecně lze říci, že tento typ regulátoru zrychluje regulační pochod.

Jeho rovnice vypadá následovně

$$x(t) = r_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5-3)$$

a jeho výstupem by měl být Diracův impuls, který však fyzikálně není proveditelný.

Jeho přechodová charakteristika na obrázku 5-4.



Obrázek 5-4 – Derivační regulátor

5.2 DISKRÉTNÍ REGULÁTORY

Diskrétní regulátory se často v praxi užívají tam, kde není možné měřit signál v každém časovém okamžiku, tedy spojitě. K tomuto případu dochází ve většině případech, kde je k regulaci použit číslicový počítač, který pracuje ve smyčkách a každou instrukci tedy vykonává pouze v určitý okamžik. Řízený proces je však spojitý, z čehož vyplývá, že tato regulace bude méně stabilní. Tento případ regulace se týká i modelu, jelikož je jeho řídicí částí mikropočítač.

Regulátor, má v tomto případě složky PSD, u jejich výpočtů se používá přírůstkového algoritmu, kdy se určuje přírůstek hodnoty v jednom časovém okamžiku k oproti hodnotě v okamžiku $k - 1$. Přenosová funkce tohoto regulátoru je pak

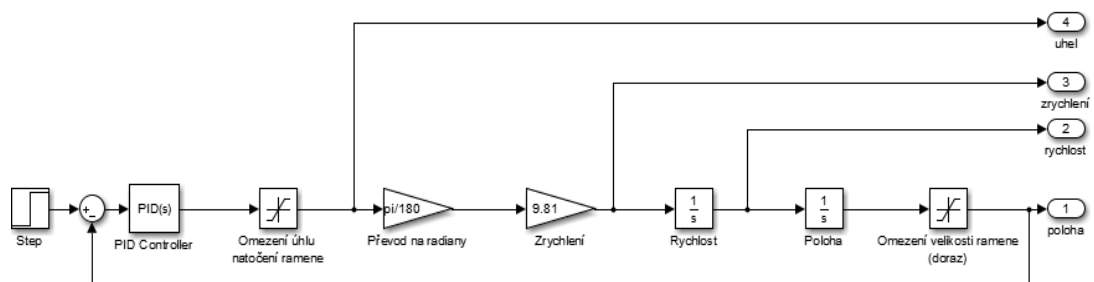
Rovnice pro diskrétní regulátor P

$$x(k) = r_0 \left\{ e(k) + \frac{T}{T_i} \cdot \left[\frac{e(0)}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} e(j) + \frac{e(k)}{2} \right] + \frac{T_d}{T} \cdot [e(k) - e(k - 1)] \right\}, \quad (5-4)$$

kde T je interval vzorkování.

5.3 REGULACE V SIMULINK

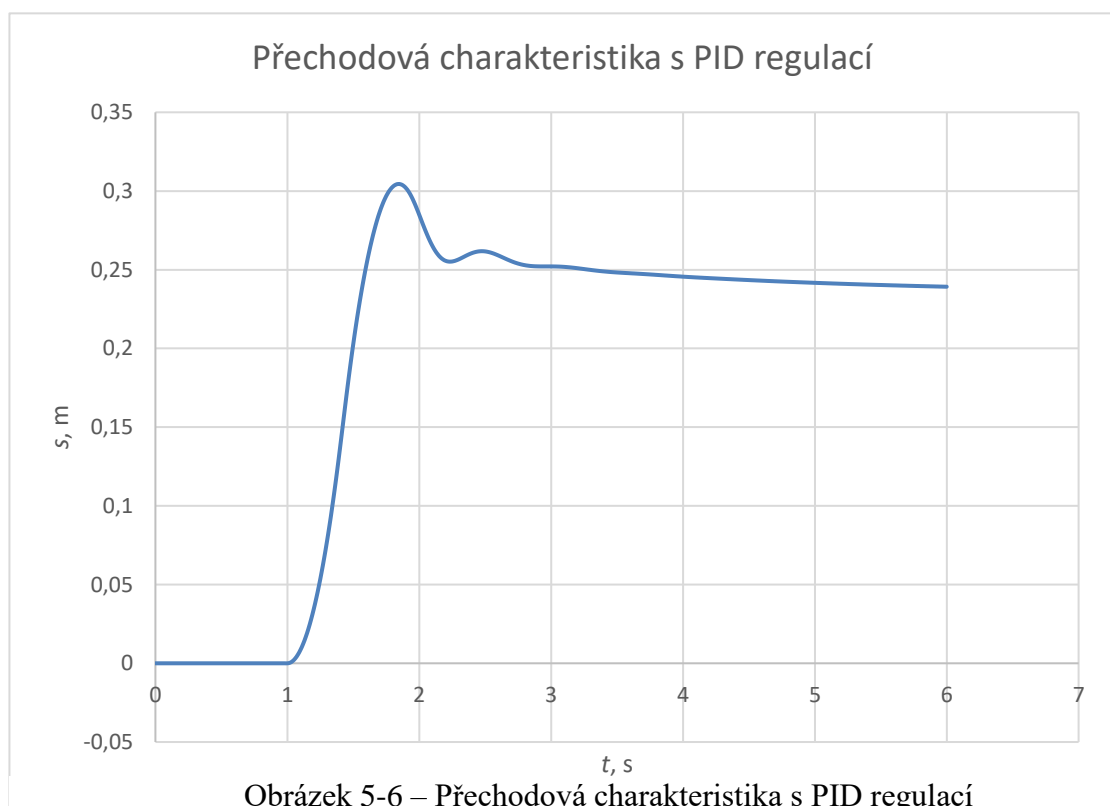
Pro případ regulace v prostředí SIMULINK je dosavadní schéma modelu kuličky třeba upravit. Úprava je patrná na obrázku 5-5.



Obrázek 5-5 – Regulační schéma s PID regulátorem

Do obvodu byl přidán PID regulátor, zpětná vazba od polohy ramene a omezení natočení úhlu ramene. PID regulátor by počítal s možností nekonečného úhlu natočení, což v reálném případě není možné. Pro tuto pokusnou simulaci bylo toto omezení nastaveno na interval ± 10 stupňů.

Prostředí SIMULINK umožňuje automatické nastavení parametrů PID regulátoru podle zvolených parametrů rychlost a robustnost. Je-li zvolena vyšší rychlost a nižší robustnost, PID regulátor je nastaven na co nejvyšší rychlost za cenu překmitů.



Obrázek 5-6 – Přechodová charakteristika s PID regulací

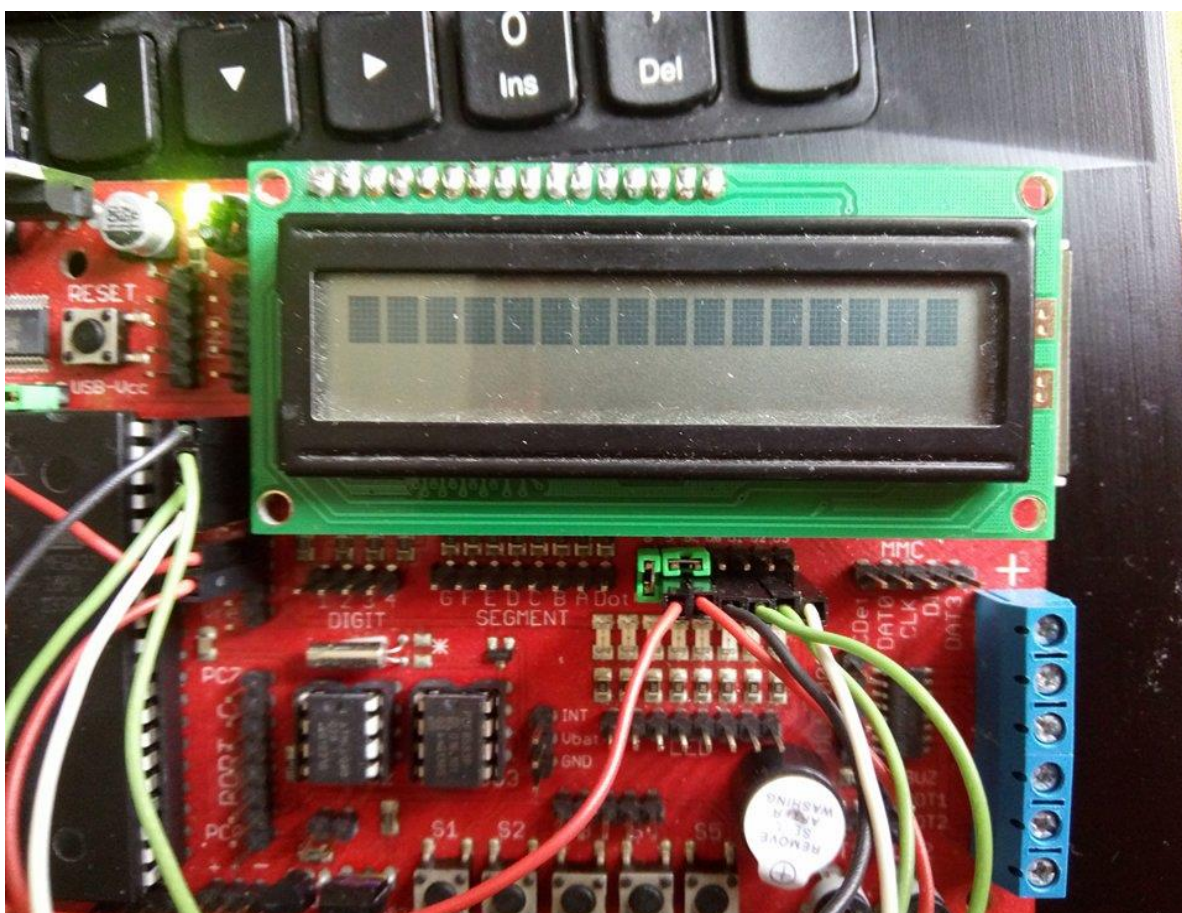
Při nastavení požadované polohy kuličky na 23,5 cm, což odpovídá polovině délky ramena modelu, a simulaci regulačního pochodu při automaticky nastavených hodnotách PID regulátoru, vyjde přechodová charakteristika patrná na obrázku 5-6.

Jedním ze způsobů, jak nastavit PID regulátor, je použití Ziegler-Nicholsova pravidla. Prvním způsobem tohoto nastavení je při vypnutích I a D složkách postupně zvyšovat složku P, dokud se obvod dostane na mez stability. Tato je tedy čistě experimentální a v podstatě nevyžaduje hlubší matematickou a fyzikální znalost systému. Tento způsob lze však aplikovat pouze na statickou soustavu.

6 ÚPRAVY NA MODELU

V této kapitole jsou popsány úpravy, které byly provedeny na původním modelu. Většina těchto úprav byla nutná k funkci modelu a možnosti jeho nastavení.

6.1 VÝMĚNA DISPLEJE



Obrázek 6-1 – Poškozený displej

První viditelnou závadou na modelu byla závada na zobrazovacím displeji. Při připojení modelu na napájení se displej rozsvítil, zobrazoval všechny jednotky prvního řádku, nicméně i všechny pixely, nebylo tedy možné získávat informace o modelu a případně nastavovat jeho parametry. Prvním krokem tedy byla zkouška funkčnosti displeje. Tu bylo možné provést na vývojovém kitu EvB 4.3, který disponuje stejným mikroprocesorem jako řídicí část jednotky.

Při zapojení na desku a nahrání programu do mikropočítače display stále nezobrazoval požadovaná data. Z této situace se dalo usoudit, že jde o závadu řadiče a následně byl tedy vyzkoušen jiný displej, který již fungoval.



Obrázek 6-2 – Funkční displej

6.2 VÝMĚNA KULIČKY

Dalším pravděpodobným problémem správně regulace byla kulička, která byla zkorodovaná, což znemožňovalo správné měření polohy kuličky a snižovalo přesnost měření a tím i kvalitu regulace. Na obrázku 6-3 lze vidět kuličku po jemném obroušení, které zlepšilo regulaci. Kulička nakonec byla vyměněna úplně za jinou se stejnými parametry.



Obrázek 6-3 – Kulička po úpravě

6.3 VÝMĚNA SERVO MOTORU

Dalším z problémů modelu byl servomotor. Jedná se o servomotor od značky Hitec model HS-635HB. Při rozebrání bylo zjištěno, že má vylámané zuby na převodech, díky čemuž docházelo při regulaci k určité hysterzezi. Vylámané zuby se nacházely přímo ve vodorovné poloze, díky čemuž měla kulička problém se zastavit i na vodorovné ploše. Došlo proto k nahrazení motorku za stejný typ.



Obrázek 6-4 – Převodovka motorku

Následně bylo nutné upravit střihu v programu, který je k dispozici v digitální knihovně Univerzity Pardubice, jelikož poloha ramene motorku ve výchozí pozici neodpovídala vodorovnému směru, ale byla níže. Šířka pulzu podle katalogu výrobce odpovídá od 900 do 2100 μs při celkové periodě PWM signálu 20 ms. V programu je pro PWM signál využita předdělička kmitočtu /8 při frekvenci oscilátoru 16 MHz. Jednotlivá hodnota kroku lze tedy vypočítat jako

$$t_{krok} = \frac{1}{\frac{f_{osc}}{8}} = \frac{1}{\frac{16 \cdot 10^6}{8}} = 0,5 \cdot 10^{-6}. \quad (6-1)$$

Původně byla v programu pro hodnotu 0 stupňů nastavena hodnota střídy 3120, což odpovídá 1,56 ms, jejichž střída vychází na 7,8 %. Pro správné pootočení motorku bylo nutné jej otočit o půl stupně. Jelikož maximum a minimum pro ± 5 stupňů bylo 1920 a 4320 kroků, bylo nutné spočítat počet kroků o jeden stupeň.

$$\varphi_{stup} = \frac{4320 - 1920}{10} = 240. \quad (6-2)$$

Je tedy zřejmé, že o půl stupně bylo nutné upravit v programu střední polohu, minimum a maximum o hodnotu 120. Původní zdrojový kód

```
uint16_t strida = 3120;
ISR(TIMER1_OVF_vect)           // Obsluha přerušení čítače/časovače1.
{
    if(strida < 1920) {         // Minimální hodnota střídy = 1920 = 0,96 ms.
        strida = 1920;
    }
    if(strida > 4320) {       // Maximální hodnota střídy = 4320 = 2,16 ms.
        strida = 4320;
    }
    OCR1B = strida;           // Do registru OCR1B se uloží vypočtená
hodnota strida.
}
```

byl upraven na

```
uint16_t strida = 3240;
ISR(TIMER1_OVF_vect)           // Obsluha přerušení čítače/časovače1.
{
    if(strida < 2040) {       // Minimální hodnota střídy = 2040 = 1,02 ms.
        strida = 2040;
    }
    if(strida > 4440) {       // Maximální hodnota střídy = 4320 = 2,22 ms.
        strida = 4440;
    }
    OCR1B = strida;           // Do registru OCR1B se uloží vypočtená
hodnota strida.
}
```

Vzhledem k tomu, že byla hřídel pevná, bylo nutné ke správnému fungování vždy vyvážit model tak, aby bylo rameno ve vodorovné poloze. Model totiž neobsahuje gyroskop, který by umožňoval vyváženou polohu přepočítávat. Hřídel byla vyměněna za stavitelnou, která tento problém do malé míry řeší. Novou hřídel znázorňuje Obrázek 6-5.



Obrázek 6-5 – Stavitelná hřídel

7 ŘÍZENÍ POMOCÍ EXTERNÍHO REGULÁTORU

Model je možné regulovat i pomocí vnějšího regulátoru, který lze připojit pomocí dvou Cinch konektorů, jeden na řízení motoru, druhý na měření polohy kuličky. Model byl následně připojen na regulátor PMA KS 90-1, na němž bylo nutné nastavit parametry PID regulace. Jelikož napěťový výstup tohoto regulátoru používá rozmezí $0 \div 10$ V, bylo nutné tuto skutečnost brát v potaz a nastavit jeho maximální hodnotu na 50 %, tj. 5 V, jelikož mikroprocesor převádí přes AD převodník hodnoty od $0 \div 5$ V na PWM impuls.

Nastavení regulátoru bylo provedeno přes prostředí Blue Control, které je vyvinuté přímo pro regulátor.

The screenshot displays the BlueControl software interface with three main panels:

- Parametry - Přístroj1:** A table of PID and control parameters for the regulator.
- Trend - Přístroj1:** A graph showing the control signal [W/ett] over time, with a step change from 0 to approximately 50,000.
- Ovládání - Přístroj1:** A control panel with various settings and status indicators.

Název	Popis	Hodnota	Z...	Rozsah
Cntr	Regulátor			
Pb1	proporcionální pásmo 1 [lyz.jedn.]	5		1...9999
Pb2	proporcionální pásmo 2 [lyz.jedn.]			
ti1	integrační čas. konstanta 1 [s]	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	0.1...9999
ti2	integrační čas. konstanta 2 [s]			
td1	derivační čas. konstanta 1 [s]	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.1...9999
td2	derivační čas. konstanta 2 [s]			
t1	min. doba cyklu 1 [s]	10.00		0.08...9999
t2	min. doba cyklu 2 [s]			
SH	neutrální pásmo [lyz.jedn.]			
HYS.L	hystereze spodní [lyz.jedn.]			
HYS.H	hystereze horní [lyz.jedn.]			
d.SP	přídavný kontakt D / Y [lyz.jednotky]			
IP	min. délka pulzu [s]			
tt	doba přeběhu pohonu [s]			
Y2	korekční proměnná 2	0		-100...100
Y.Lo	spodní mez akční veličiny [%]	0		0...49
Y.Hi	horní mez akční veličiny [%]	50		1...105
Y.O	pracovní bod [%]	0		-100...100
Ym.H	max. střední hodnota [%]			
Ym.Vm	max. min. střední hodnota [%]			

Ovládání - Přístroj1

Popis	Hodnota
Přehled	
procesní (regulovaná) veličina	9.87
vstup 1	9.87
vstup 2	0.00
Interní žádaná hodnota	30.00
Efektivní žádaná hodnota	30.00
regulační odchylka	<input checked="" type="checkbox"/>
akční veličina	20.0
Ruční ovládání	<input checked="" type="checkbox"/>
2. žádaná hodnota	<input type="checkbox"/>
externí žádaná hodnota	<input type="checkbox"/>
regulátor vypnut	<input type="checkbox"/>
2. akční veličina	<input type="checkbox"/>
Meze	
Mez 1	<input checked="" type="checkbox"/>
Mez 2	<input type="checkbox"/>
Mez 3	<input type="checkbox"/>
Alarm reg. smyčky	<input type="checkbox"/>
Reset	<input type="checkbox"/>
samooptimalizace	
korekce měřené hodnoty vstup 1	<input type="checkbox"/>
korekce měřené hodnoty vstup 2	<input type="checkbox"/>

Trend - Přístroj1

t = 30-APR-2018 09:52:18
 Xref = 9.872
 Ypid = 20.000

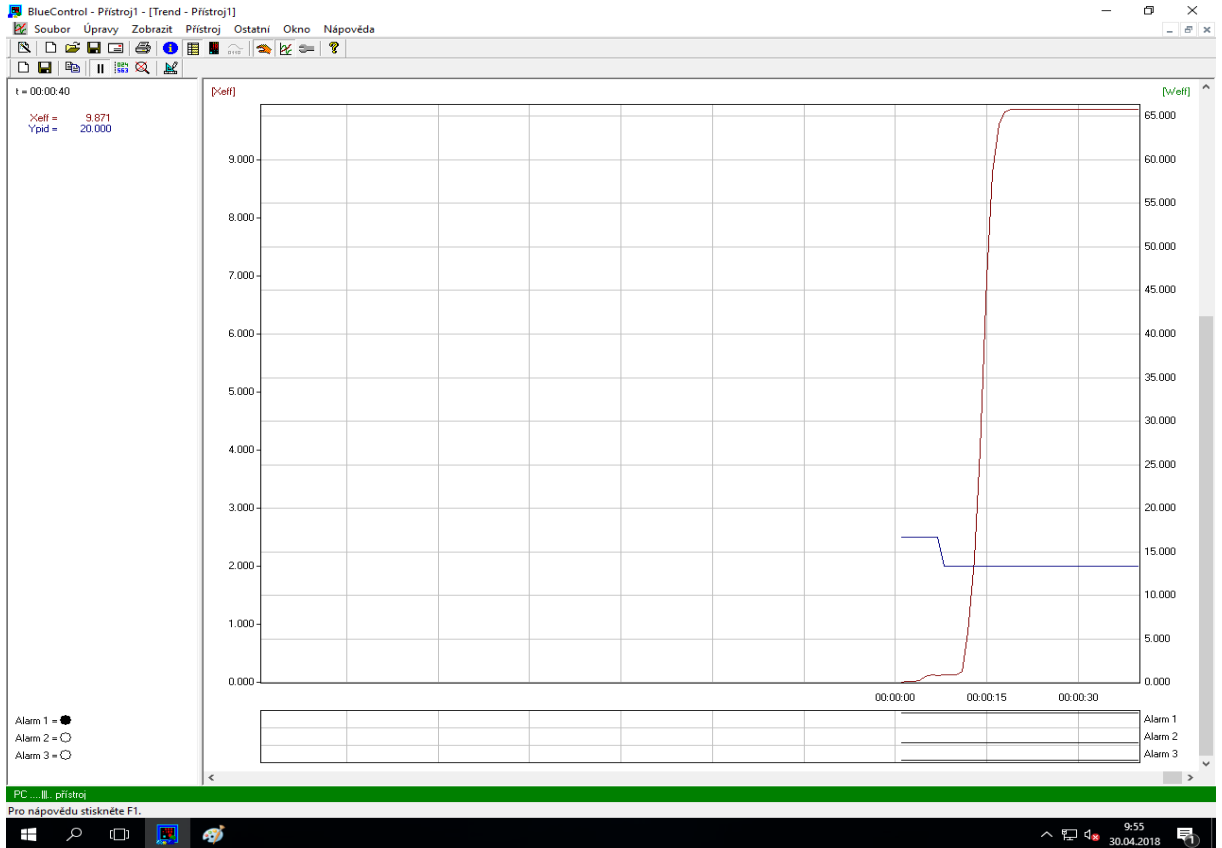
Alarm 1 =
 Alarm 2 =
 Alarm 3 =

PC ... přístroj

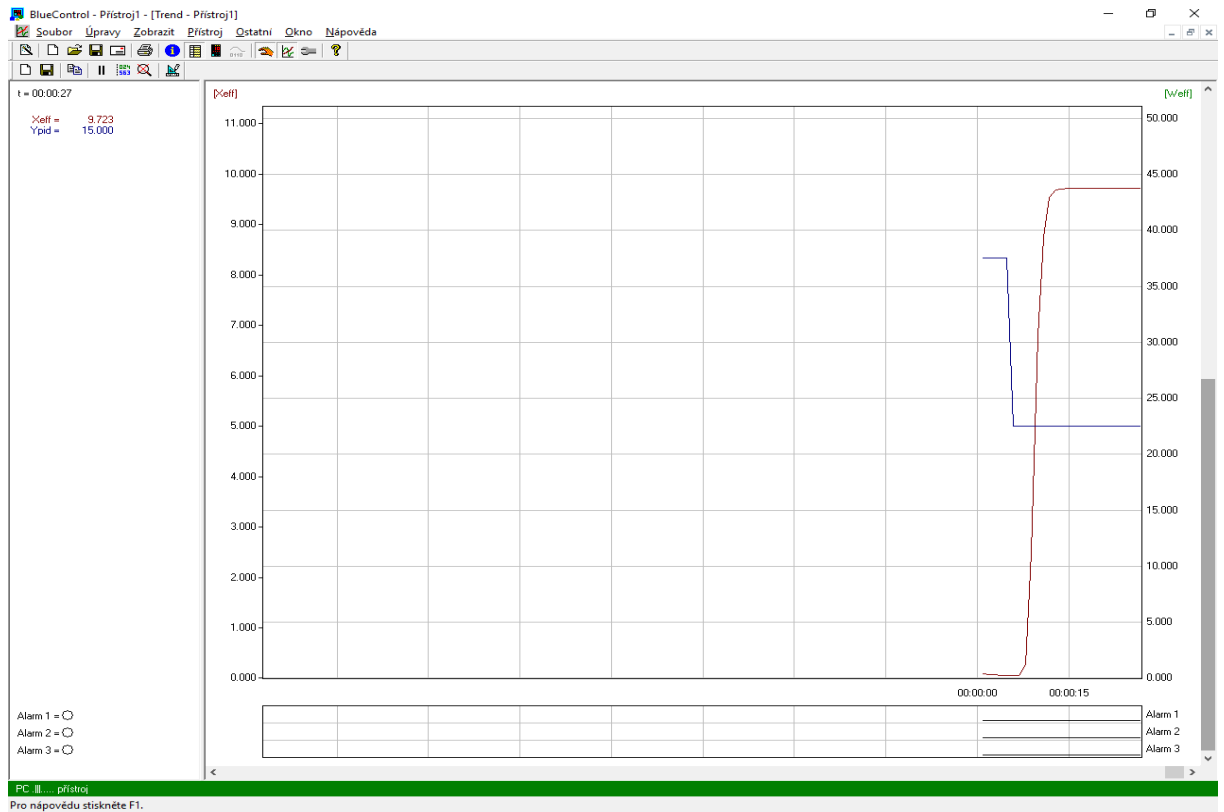
Obrázek 7-1 – Prostředí BlueControl

Prostředí je velice jednoduché a přehledné.

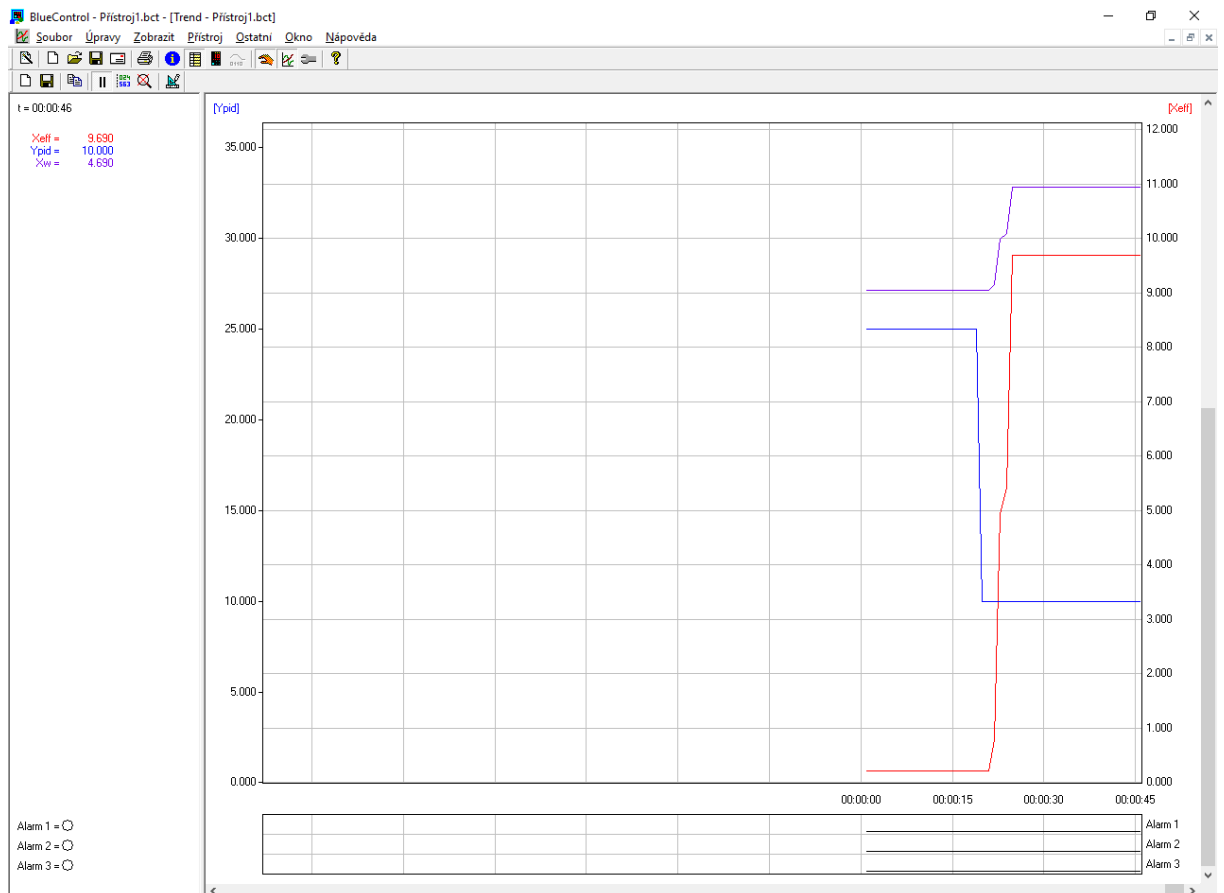
Ke správnému nastavení parametrů regulátoru, zejména složek PID, bylo nutné změřit přechodovou charakteristiku modelu. Toho bylo dosaženo natočením ramene z rovnovážného stavu na natočení o požadovaný úhel. V tomto případě o 1,2 a 3 stupně.



Obrázek 7-2 – Přechodová charakteristika při naklonění 1 stupeň



Obrázek 7-3 - Přejchodová charakteristika při naklonění 2 stupně



Obrázek 7-4 - Přejchodová charakteristika při naklonění 3 stupně

Parametry PID regulátoru bylo již možné nastavit podle přechodové charakteristiky a parametrů uvedených výrobcem v manuálu.

Tabulka 7-1 - Nastavení regulátoru

Typ regulátoru	P_{b1}	T_{d1}	T_{i1}
PID	$1,7 \cdot K$	$2 \cdot T_u$	$2 \cdot T_u$
PD	$0,5 \cdot K$	T_u	OFF
PI	$2,6 \cdot K$	OFF	$6 \cdot T_u$
P	K	T_u	$2 \cdot T_u$

T_u je dopravní zpoždění, způsobené pomalejší odezvou systému. V případě modelu bylo velmi malé, z čehož vyplývá, že i konstanty T_{d1} i T_{i1} byly velmi nízké.

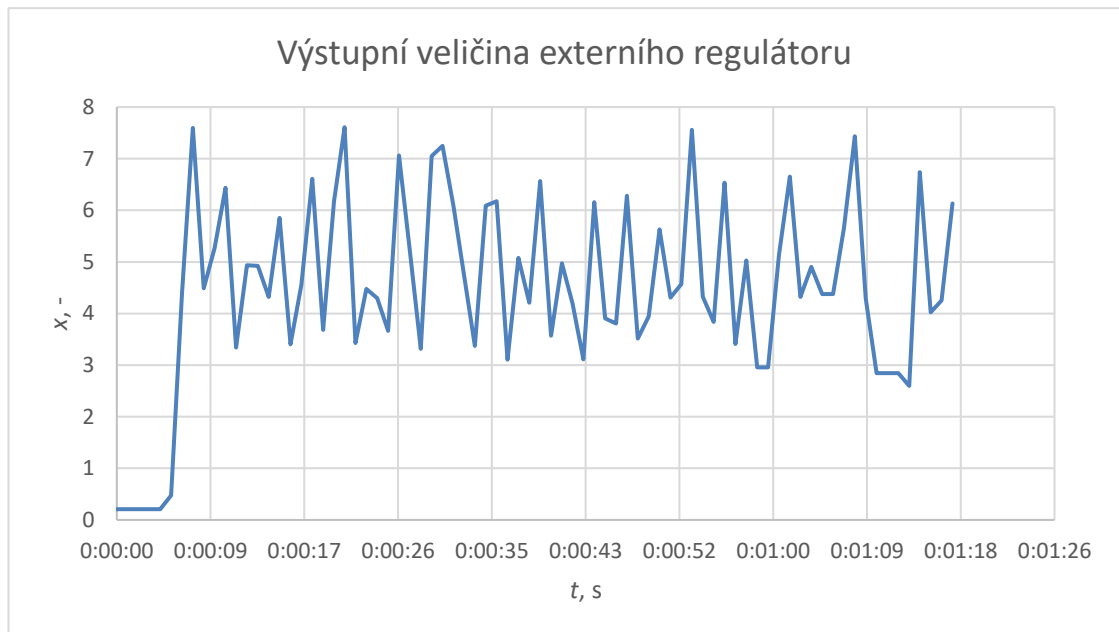
Rovnice 7-1 ukazuje výpočet parametru V_{max} , který se vypočítá jako směrnice výstupní veličiny neboli jako změna výstupní veličiny za přírůstek času.

Vynásobením přírůstku V_{max} dopravním zpožděním T_u lze získat konstantu K , nutnou k nastavení pásma proporcionality P_{b1} .

Výpočtem tedy byly stanoveny konstanty PID regulátoru na

- $P_{b1} = 1,$
- $T_{i1} = 0,4$
- $T_{d1} = 0,4.$

$$V_{max} = \frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (7-1)$$



Obrázek 7-5 – Výstupní veličina externího regulátoru

Po nastavení parametrů regulátoru a následovném nastavení žádané veličiny na hodnotu 5 byl proveden regulační pochod, jehož výsledná výstupní veličina je znázorněna na obrázku 7-5.

Regulační pochod zjevně není ideální a poměrně dost kmitá. Na vině může být špatné nastavení parametrů nebo nevyvážená nulová poloha ramene, která nebyla úplně vodorovná, případně delší prodleva při napěťovém převodu v mikroprocesoru.

Další alternativou je pomalejší odčítací frekvence regulátoru a tím i jeho pomalejší reakce na systém.

8 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provést rešerši již vytvořeného modelu, dále pak jeho úpravu do stavu funkčnosti, vytvoření jeho simulace v prostředí SIMULINK a následné změření na externím regulátoru.

Prvním krokem bylo seznámení s elektronikou a principem funkce modelu. K tomu bylo využito materiálů konstruktéra modelu Jaroslava Firbase. Samotná elektronika modelu je poměrně jednoduchá, tento krok tedy nebyl problémem.

Dále bylo nutné odstranění hlavních závad, které znemožňovaly modelu funkci a případně i ovládání samotným uživatelem. Mezi ně patřily spíše závady hardwarového charakteru, do programu nebylo třeba téměř zasahovat. Základním krokem byla výměna displeje, který měl špatný řadič. Po jeho výměně se projevíly další chyby modelu, jako vylámané zuby modelu či koroze na kontaktních plochách.

Simulace modelu v prostředí SIMULINK byla dalším krokem poněkud snadnějším, jelikož jsem měl možnost využít znalosti získané z předchozích předmětů. Simulace však byla poměrně jednoduchá, se zanedbáním méně se projevujících veličin.

K měření pomocí externího regulátoru byly využity výstup a vstup modelu pro externí zařízení, bylo však nutné počítat s rozdílnou napěťovou úrovní výstupu externího regulátoru a vstupu modelu. Samotná regulace příliš uspokojivá nebyla.

K vylepšení funkce modelu by bylo vhodné přidat gyroskop pro přepočítání vodorovné polohy a v případě vstupu do modelu nevyužívat pozdější přepočítání na PWM signál, jelikož je to nejpravděpodobnější problém pomalé odezvy na externí regulátory.

CITACE A ODKAZY NA POUŽITOU LITERATURU

- FIRBAS, Jaroslav. *Realizace laboratorního modelu Kulička na nakloněné rovině*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- Electrical engineering. *Electrical engineering* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com>
- KRÁLOVÁ, Magda. Odpor vodiče. *Eduportál Techmania* [online]. 2015 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz>
- ZÁRYBNICKÝ, Václav. *Bezkontaktní měření vzdálenosti* [online]. 2014, 54 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/bezkontaktni-mereni-vzdalenosti.html>
- VOJÁČEK, Antonín. *Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření* [online]. 2015 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>
- VORÁČEK, Rudolf, František ANDRÝSEK, Zdeněk BRÝDL, Luděk KOHOUT a Ladislav ŠMEJKAL. *Automatizace a automatizační technika II*. 1.vyd. Praha: Computer Press, 2000, 218s. ISBN 80-7226-247-5.
- CHLEBNÝ, Jan. *Automatizace a automatizační technika*. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2523-6.
- Heavisideova funkce. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Heavisideova_funkce
- Hitec HS-635HB - Karbonite High Torque Servo. *ServoDatabase.com* [online]. 2018 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://servodatabase.com/servo/hitec/hs-635hb>
- Industrial and process controller KS 90-1and KS 92-1. *WEST Control Solution* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.west-cs.com/assets/Manuals/KS-90-1-KS-92-1-Manual-English.pdf>

PŘÍLOHY

Příklad

A - CD

Příloha k bakalářské práci
Řízení laboratorního modelu Kulička na tyči

Jan Leinweber

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF