ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická

INVERZNÍ KYVADLO

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vaněk

Autor: Tomáš Bulánek

Praha 2007

České vysoké učení technické v Praze, fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky | Školní rok:2005/2006

Zadání bakalářské práce

Student: Tomáš Bulánek

Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: Inverzní kyvadlo

Zásady pro vypracování:

- seznamte se s modelem inverzního kyvadla v K26
- analyzujte současný stav kabeláže, která připojuje model k PC (ISA-měřící karta)
- zapojte do PC novou měřící kartu se sběrnicí PCI (Advantech PCI-1711)
- upravte kabelové připojení tak, aby se zachovaly původní funkce modelu
- proveďte základní sadu měření
- zpracujte stručný návod na obsluhu modelu vytvořte dokument na formát A1-A2 (umístěný na stěnu nad modelem), který bude obsahovat popis systému, HW-zapojení a ukázkový řídicí program v Simulinku

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vaněk

Datum zadání bakalářské práce: zimní semestr 2005/06

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 6. 2006

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE Fakulta elektrotechnická -4-

Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze, dne 1. 2. 2006

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne ……. …….

podpis

Anotace

BULÁNEK, T. *Inverzní kyvadlo* Praha: ČVUT,
Fakulta elektrotechnická, katedra řídicí techniky – K 13135
Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Vaněk

Tato bakalářská práce se zabývá připojením modelu inverzního kyvadla v učebně K26 k počítači. První část je zaměřena na popis modelu a jeho původní zapojení. Druhá část obsahuje popis nynějšího zapojení a jeho změnu oproti původnímu.

Klíčová slova

Inverzní kyvadlo, inkrementální snímač, snímač IRC 205, karta MF 614

Annotation

BULÁNEK, T. *Inverted pendulum* Prague: CTU,
Faculty of Electrical Engineering, Department of Control Engineering – K 13135
Thesis Head: Ing. František Vaněk

This Bachelor work deals with connection of inverted pendulum model to PC in classroom K26. The first part covers with the model and its original connection. The second part includes description of present connection and its differences in comparison with the former one.

Key words

Inverted pendulum, incremental sensor, sensor IRC 205, card MF 614

Obsah

1 Úvod 5

2 Analýza původního zapojení 6

2.1 Původní propojení sestavy modelu 8

2.1.1 Přístrojová skříň 10

2.1.2 Zapojení jednotlivých pinů konektorů 10

2.2 Popis řídících signálů 11

2.2.1 Kalibrace (signál P.C. CAL) 11

2.2.2 Analogový řídící signál P.C. ANA 12

2.2.3 STOP a ENABLE funkce (signály P.C. STOP, P.C. ENA) 12

2.2.4 Signál pro spínač magnetu (P.C. MAG) 12

2.2.5 Signály ze spínačů na kolejnici 12

2.2.6 Další signály z PC 12

2.3 IRC 205 snímače 13

2.3.1 Princip činnosti senzoru IRC 205 13

2.3.2 Princip činnosti IRC desky 14

2.3.3 Konektor IRC 205 15

3 Zapojení s novou měřicí kartou 16

3.1 Propojení sestavy modelu 16

3.1.1 Připojení IRC senzorů k PC 18

3.1.2 Připojení řídicích signálů k PC 19

3.2 Multifunkční karta MF 614 20

3.2.1 Vlastnosti karty MF 614 20

3.2.2 Popis signálů výstupních konektorů X1 a X2 21

3.3 Ověření funkčnosti 23

4 Nová řídicí jednotka s procesorem 8051 24

4.1 Popis programu procesoru 24

4.1.1 Režim STOP 24

4.1.2 Režim PROVOZ 24

4.1.3 Režim KALIBRACE *24*
4.1.4 Režim LIMIT *25*
4.2 Zapojení řídicí jednotky 25
4.3 Ověření funkčnosti 28
5 Závěr 29
6 Poděkování 30
7 Seznam použité literatury 31
8 Seznam použitého softwaru 31

1 Úvod

Inverzní kyvadlo v učebně K26 bylo připojeno starou měřicí kartou Adventech PCL 812, která se ještě připojuje do sběrnice ISA. Tato sběrnice se však v dnešní době již nepoužívá. Cílem mé bakalářské práce je tedy upravit zapojení pro novější měřicí kartu tak, aby se zachovaly původní funkce modelu. Poté provést základní sadu měření a vytvořit dokument popisující model inverzního kyvadla.

Pro připojení modelu k PC použiji multifunkční kartu MF 614. Ta nabízí kromě digitálních a analogových vstupů a výstupů také vstupy pro inkrementální senzory. Jelikož model inverzního kyvadla používá dva IRC snímače, bude zapojení s touto kartou mnohem jednodušší. Původní karta nemá tyto vstupy pro IRC čidla, proto se signál ze snímače nejprve převede na 16-ti bitové slovo a to je poté připojeno na 16 digitálních vstupů měřicí karty. Na to je potřeba 16 vodičů. Použitím inkrementálních vstupů karty MF 614 bude snímač připojen pouze třemi vodiči.

V první části této bakalářské práce popisuji celý systém modelu inverzního kyvadla a jeho zapojení.

Druhá část je zaměřena na mnou vytvořené zapojení, popis signálů jdoucích z a do PC a také zde uvádím základní informace o použité měřicí kartě.

2 Analýza původního zapojení

Na obrázku 2.1 je zjednodušeně zobrazena celá sestava modelu inverzního kyvadla. Obrázek 2.2 pak naznačuje skutečné rozměry mechanického modelu. Stejnosměrný motor pohybuje vozíkem, který je umístěný na kolejnici. Pohyb vozíku způsobuje tenký ocelový pás, který je upevněn k vozíku. Když se na motor připojí napětí, začne se vozík posouvat po kolejnici vlevo nebo vpravo podle toho, jaké má dané napětí polaritu.

Na vozíku je připevněna jedním svým koncem kovová tyč. Takto upevněná tyč reprezentuje kyvadlo. Když se vozík pohybuje, pohybuje se také i tato tyč.

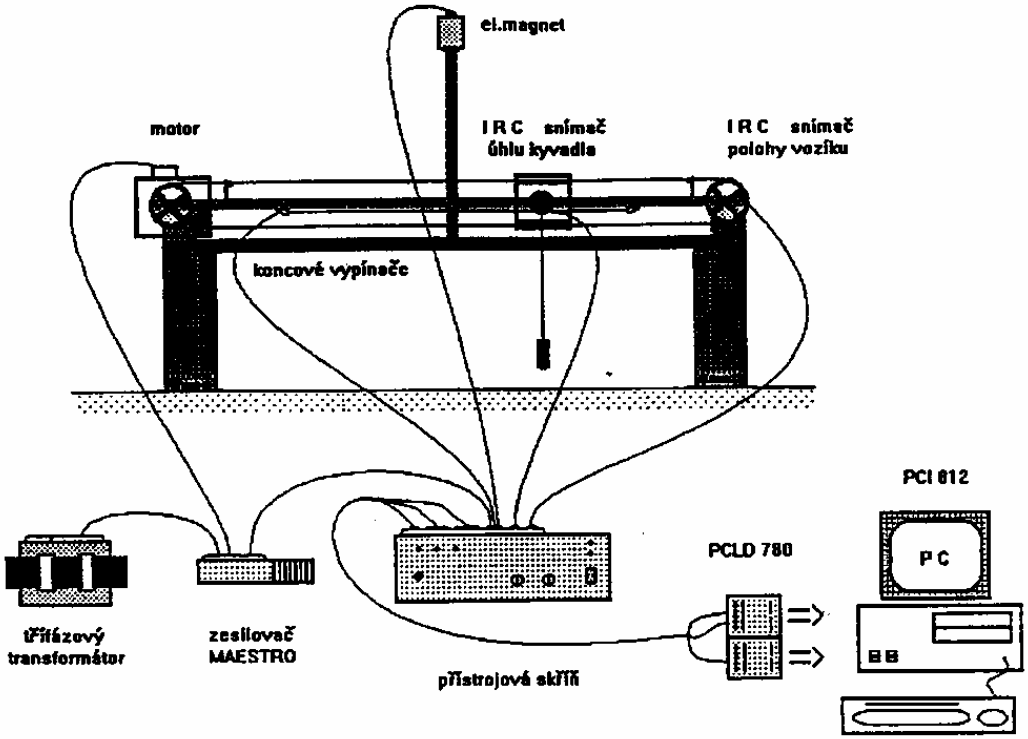
Pro detekování pozice vozíku a úhlu natočení tyče zde jsou dva inkrementální snímače. Pro snímání polohy vozíku je čidlo umístěné na kotouči, kterým otáčí ocelový pás při pohybu vozíku. Tento kotouč leží na pravém konci kolejnice. Druhý snímač, určující úhel natočení tyče, je připevněn v ose otáčení kyvadla, tj. v místě, kde je spojena tyč s vozíkem. Tyto snímače jsou blíže popsány v další kapitole.

Další součástí modelu je elektromagnet. Ten dokáže udržet kyvadlo v horní pozici, což umožňuje začínat regulaci s úhlem kyvadla posunutým o 180 stupňů (inverzní kyvadlo).

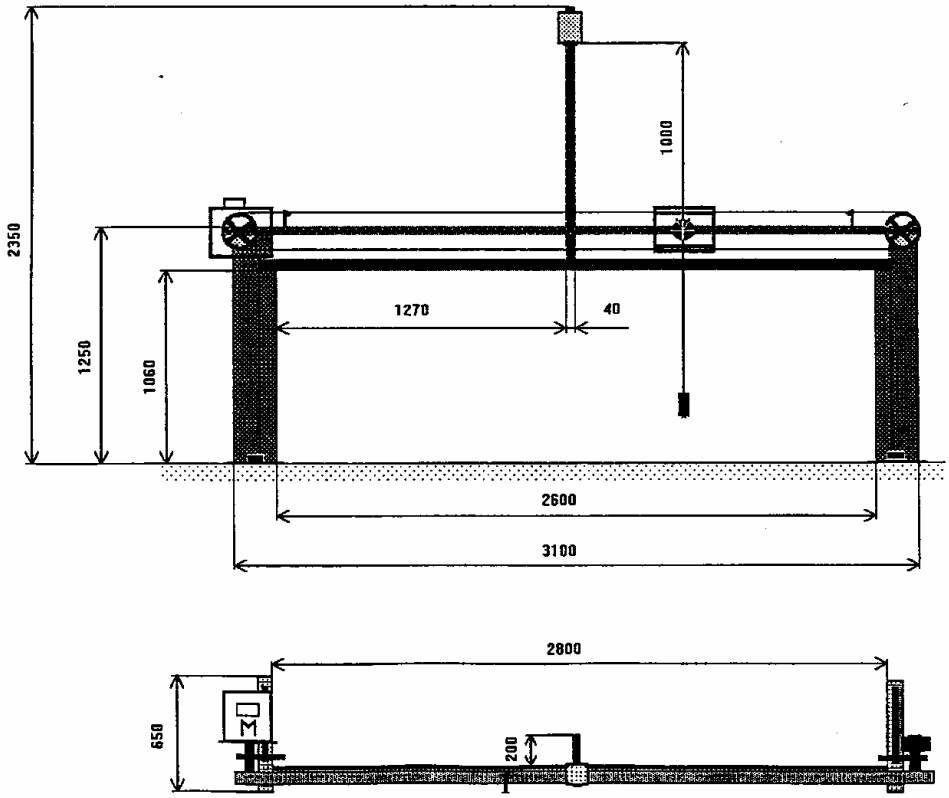
Propojení systému s počítačem zajišťuje přístrojová skříň, skrz propojovací desku PCLD 780, do rozhraní měřicí zásuvné desky do PC Adventech PCL 812.

Stejnosměrný motor je řízen analogovým signálem z měřicí desky PCL 812, zesíleným zesilovačem MAESTRO typu 140x8/16. Toto zařízení je napájeno třífázovým transformátorem 2:1. Pro případ nebezpečí se kompletně vypne přívod elektřiny stisknutím červeného tlačítka. Z důvodů bezpečnosti není toto tlačítko součástí přístrojové skříně, ale je vyvedeno 4 metrovým kabelem pro dálkové ovládání.

Dále jsou podél kolejnice umístěny čtyři spínače. Jeden je na levém konci kolejnice, druhý je uprostřed a určuje výchozí pozici. Další dva jsou vzdáleny asi 60 centimetrů od středu kolejiště na pravou a levou stranu. Funkce těchto koncových spínačů bude objasněna v kapitole 2.2.



Obr. 2.1 Sestava modelu inverzního kyvadla



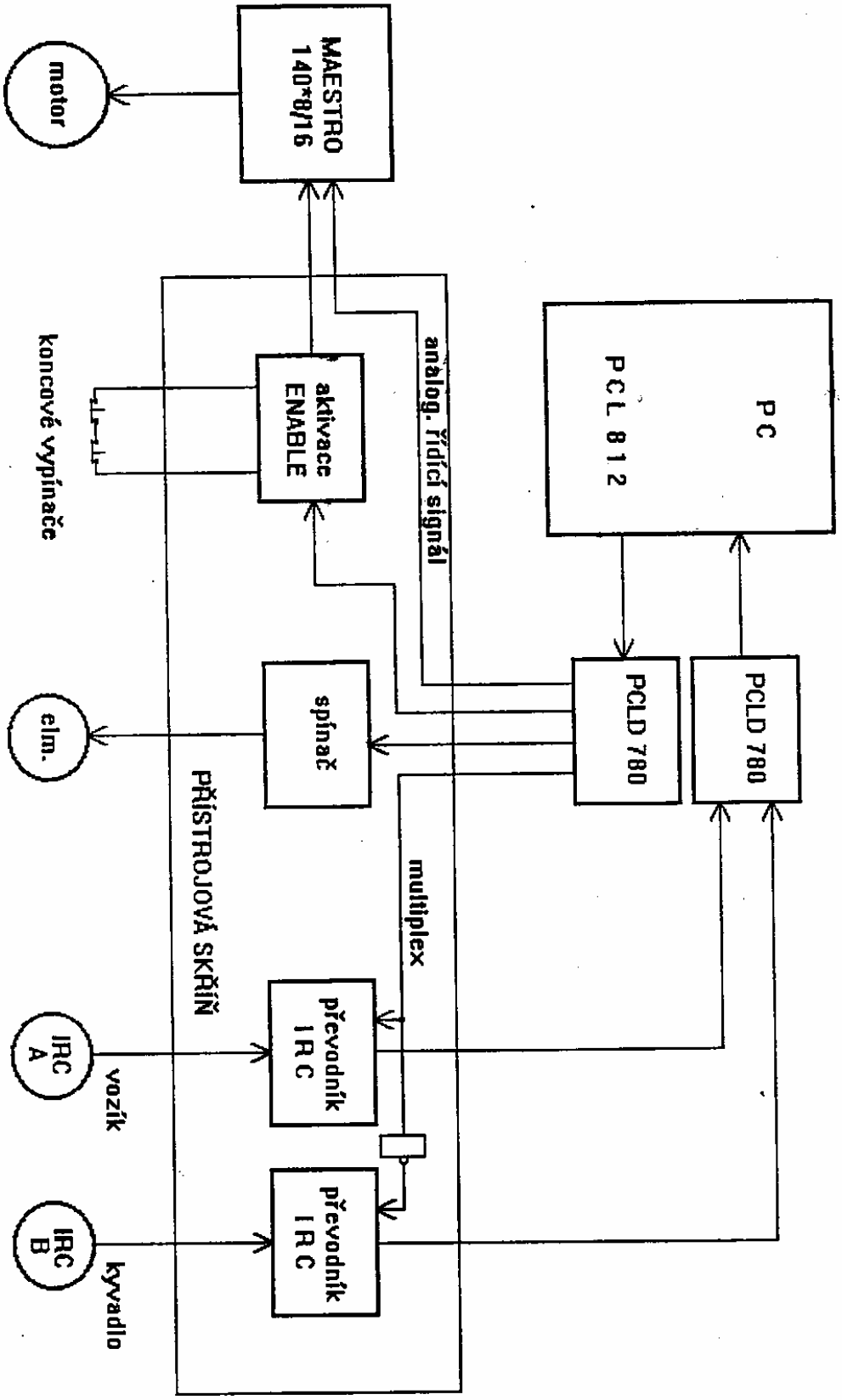
Obr. 2.2 Rozměry mechanického modelu

2.1 Původní propojení sestavy modelu

Na obrázku 2.3 je znázorněno blokové schéma propojení systému. Na pravé straně jsou výstupy z inkrementálních snímačů vozíku a kyvadla (IRC A, IRC B). Jelikož měřicí karta PCL 812 umožňuje připojení jen 16 bitů v jednom časovém okamžiku, je mezi IRC převodníky multiplexer, který je řízen signálem z počítače a přepíná mezi sebou hodnotu převodníku vozíku a hodnotu převodníku ze snímače kyvadla. Převodníky zde slouží k převedení signálu ze snímače na 16 bitové slovo a jako vyrovnávací paměť.

Pro zjednodušení jsou v blokovém schématu zobrazeny pouze čtyři řídící signály: multiplex, analogový signál pro MAESTRO, signál ENABLE a spínač pro elektromagnet. Signálů, které jdou z a do PC, je celkem 13. Tyto signály jsou popsány v kapitole 2.2.

Obr. 2.3 Blokové schéma propojení sestavy modelu



2.1.1 Přístrojová skříň

Tato skříň propojuje jednotlivé části systému. Obsahuje dvě IRC desky, které převádějí signály z IRC snímačů na 16-ti bitové číslo. Desku s TTL logikou, která zajišťuje bufferování signálů z a do PC, automatickou kalibraci a nulování IRC čítačů. Je v ní také stabilizovaný zdroj stejnosměrného napětí +5V pro napájení TTL obvodů a nestabilní zdroj cca 18-23V pro spínání magnetu a pro signály Stop a Enable pro Maestro.

Na zadní straně skříně je sedm konektorů, dva 25-ti pinové konektory Canon DSUB-25(F), jeden pro signály z a do PC (konektor K1) a druhý pro data z IRC snímačů (K2). Dále 15-ti pinový konektor Canon DSUB-15(F) pro signály MAESTRO (K3) a dva konektory Canon DSUB-9(F) pro připojení IRC snímačů (K4 – IRC vozíku, K5 – IRC kyvadla). Šestý konektor Canon DSUB-9(F) připojuje spínače na kolejnici (K6). Magnet je připojen pomocí stereo jacku 6,3mm (K7).

2.1.2 Zapojení jednotlivých pinů konektorů

konektor K1 - D-25 female (signály z/do PC)	
pin	signál
1	bit 14
2	bit 15
3	bit 16
4	P.C. ANA
5	P.C. STOP
6	P.C. STOP BACK
7	P.C. CAL
8	P.C. CAL BACK
9	P.C. ENA
10	P.C. ENA BACK
11	P.C. MAG
12	P.C. MAG BACK
13	P.C. MUX
14-22	0V
23	+5V
24	P.C. TROL RESET
25	P.C. ARM RESET

konektor K3 - D-15 female (signály z/do Maestro)	
pin	signál
1	P.A. ANA
2	0V
3	P.A. ENA
4	P.A. STOP
5	-10V (Maestro)
6-8	volné
9	0V
10	HEALTHY
11	I^2T
12	volné
13	+10V (Maestro)
14-15	volné

konektor K4,K5 - D-9 female (IRC 205)	
pin	signál
1	stínění
2	výstup 3
3	výstup 1
4	výstup 2
5	volné
6-7	+5V
8-9	0V

konektor K6 - D-9 female (spínače na kolejnici)	
pin	signál
1-5	GND
6	levý koncový
7	prostřední
8	levý bezpečnostní
9	pravý bezpečnostní

konektor K2 - D-25 female (data do PC)	
pin	signál
1-13	datové bity 1-13
14-25	0V

K7 - 6,3mm STEREO JACK (pro magnet)	
pin	signál
LEVÝ	magnet 0V
PRAVÝ	magnet +21V
GND	stínění

!!! POZOR, v původní dokumentaci je chyba. U konektoru K3 pro připojení Maestra je chyba v pinu 12. Napětí +10V je na pinu 13, pin 12 je volný. Dále u IRC konektorů K4 a K5 jsou prohozeny piny 6-7 s piny 8-9. Piny 6-7 jsou pro +5V a 8-9 pro 0V.

2.2 Popis řídících signálů

2.2.1 Kalibrace (signál P.C. CAL)

Jelikož nevíme v jaké pozici se nachází vozík při zapnutí, je nutné provádět kalibraci. Režim kalibrace zajišťuje správnou výchozí pozici vozíku, tj. aby při začátku měření na modelu byl vozík uprostřed kolejnice přímo pod magnetem. Kalibrace se spouští buď automaticky při zapnutí napájení, nebo signálem P.C. CAL z počítače. Signál P.C. CAL BACK je jen zpětný signál, který indikuje, že je systém v kalibraci.

Při spuštění režimu kalibrace se nejprve vynuluje čítač inkrementálního čidla náklonu tyče, jelikož se přepokládá, že tyč na začátku visí volně směrem dolů. Pak se vozík začne pohybovat směrem vlevo, dokud se nestiskne levý koncový spínač. Když vozík na tento spínač najede zleva, vynuluje se čítač IRC vozíku (tj. zde je jeho nulová pozice), změní se polarita kalibračního napětí na motoru a vozík se začne pohybovat vpravo. Po sepnutí středního spínače se kalibrační napětí odpojí, vozík se zastaví a na motor se přivede Maestrem zesílený signál P.C. ANA z počítače.

Při kalibraci je vypnuta funkce Stop, tj. bezpečnostní spínače na kolejnici jsou ignorovány.

2.2.2 Analogový řídící signál P.C. ANA

Tento signál ovládá směr a rychlost vozíku. Čím větší je napětí, tím větší rychlostí se vozík pohybuje. Směr závisí na polaritě napětí. Tento signál je ignorován v režimu kalibrace nebo v režimu Stop. Aby se vozík pohyboval, musí být zároveň signál Enable v log. 1.

2.2.3 STOP a ENABLE funkce (signály P.C. STOP, P.C. ENA)

Když je signál P.C. ENA z počítače v log. 1, zesilovač Maestro má povolení zesilovat analogový signál P.C. ANA a tím se vozík může pohybovat podle dané hodnoty napětí tohoto signálu. Jestliže se vozík dostane přibližně 60cm od středu a najede na bezpečnostní spínač, zesilovač dostane signál Stop a zesílení Maestra klesne na nulu. Tím se vozík zastaví. Vozík lze také zastavit kdykoliv přivedením signálu P.C. STOP. Signály P.C. STOP BACK a P.C. ENA BACK jsou opět jen pro indikaci daného režimu.

2.2.4 Signál pro spínač magnetu (P.C. MAG)

Když je tento signál v log.1, je spínač sepnut a na magnet je připojeno napětí o velikosti +21V. To způsobí sepnutí elektromagnetu. P.C. MAG BACK signál jdoucí do PC ukazuje, jestli je magnet sepnut.

2.2.5 Signály ze spínačů na kolejnici

Signály z levého koncového a prostředního spínače jsou použity v režimu kalibrace viz. kapitola 2.2.1. Bezpečnostní spínače, které jsou vzdáleny asi 60cm vlevo a vpravo od střední polohy, zabraňují z bezpečnostních důvodů přejetí vozíku až na konec kolejnice. Jejich sepnutím se spustí funkce Stop, viz kapitola 2.2.3.

2.2.6 Další signály z PC

P.C. MUX signál přepíná mezi převodníky IRC vozíku a tyče.

P.C. ARM RESET a P.C. TROLLEY RESET slouží k resetování čítačů počítačem.

2.3 IRC 205 snímače

2.3.1 Princip činnosti senzoru IRC 205

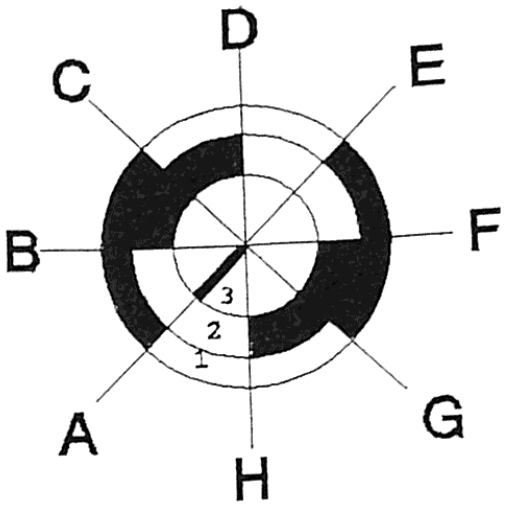
Informace o pozici vozíku a úhlu natočení tyče jsou generovány dvěma senzory. Snímač, který snímá pozici vozíku, je umístěn na pasivním kotouči pohonu. Druhý snímač úhlového natočení tyče je umístěn v bodě, kde je tyč spojena s vozíkem, tedy v ose otáčení tyče. Tyto snímače byly vyrobeny českou firmou LARM s.p. Netolice.

Jádrem tohoto optického inkrementálního snímače je tzv. pulsní disk vyrobený z plastu. Tento disk je mechanicky spojen s hřídelí procházející osou snímače. Disk obsahuje světlá a tmavá pole. Světlo generované žárovkou prochází přes membránu na tento pulsní disk a je zachyceno fotodetektorem umístěným z jeho druhé strany. Při otáčení hřídele pak disk střídavě světlo propouští a nepropouští (zacloňuje fotodetektor).

Tyto světelné pulsy jsou dále zpracovány elektronikou snímače a převedeny na výstupní elektrický obdélníkový signál. Počet tmavých (neprůhledných) a světlých (průhledných) polí odpovídá počtu pulsů na jednu otáčku, což je jeden z nejdůležitějších parametrů udávaných u každého inkrementálního snímače.

Signály dvou kanálů jsou vzájemně posunuty o 90°, což umožňuje rozpoznat směr otáčení. Třetí kanál generuje puls jednou za otáčku a zpravidla se nazývá “nulový puls”. Z principu činnosti si inkrementální snímače na rozdíl od snímačů absolutních „nepamatují“ polohu při vypnutí napájení.

Na obrázku 2.1 je uveden příklad disku inkrementálního snímače s 8 kroky ve 360 stupních. Princip určování polohy takovéhoto snímače je zobrazen v tabulce 2.1.



Obr. 2.4 Inkrementální snímač s 8 kroky ve 360°

Tabulka 2.1 Určování polohy a směru otáčení

	po směru hodinových ručiček		proti směru hodinových ručiček	
pozice	signál 1	signál 2	signál 1	signál 2
A	0 → 1	0	1 → 0	0
B	1	0 → 1	0	0 → 1
C	1 → 0	1	0 → 1	1
D	0	1 → 0	1	1 → 0
E	0 → 1	0	1 → 0	0
F	1	0 → 1	0	0 → 1
G	1 → 0	1	0 → 1	1
H	0	1 → 0	1	1 → 0

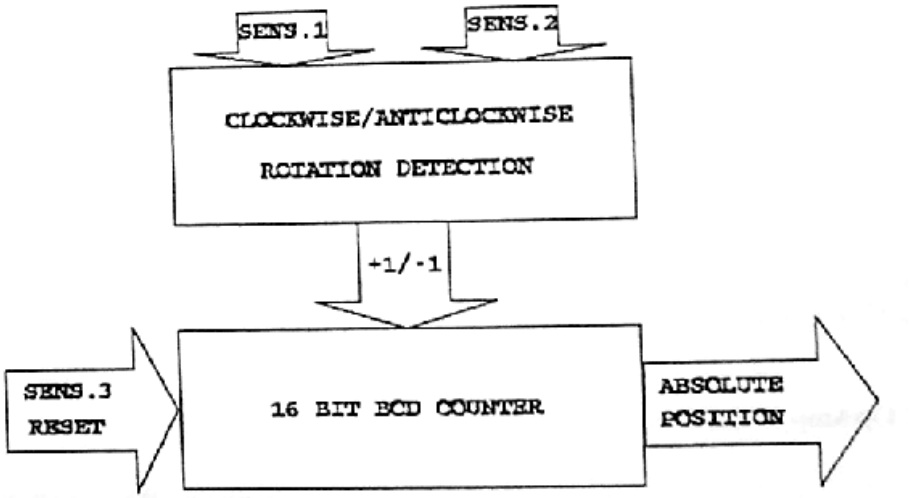
pozn.: černou barvu reprezentuje 1

Pro příklad byl použit osmipolohový snímač. Ale samozřejmě snímač IRC 205 nemá jenom 8 pozic, ale 1024. Princip je ale v podstatě stejný, pouze černé a průhledné sekce jsou mnohem menší.

2.3.2 Princip činnosti IRC desky

IRC deska převádí polohu ze snímače na binární číslo, které je pak zpracováváno pomocí PC. Deska byla navržena firmou HUMUsoft. K uložení 1024

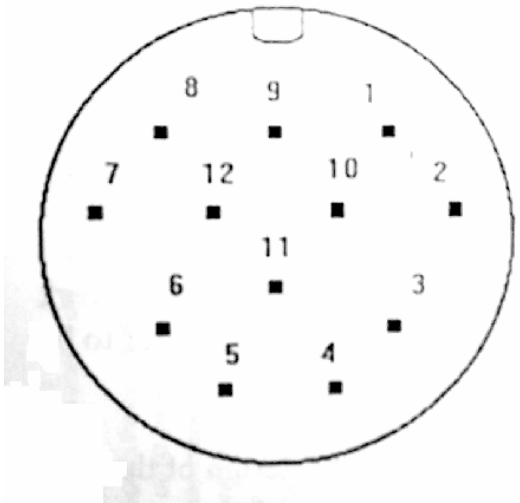
pozic generovaných snímačem nám stačí pouze 10 bitů, ale jak jsem se už zmínil výše, kotouč se může otáčet jak vlevo, tak i vpravo. To znamená více bitů. Tato deska převádí polohu do 16 bitů. Pokaždé, co se senzor pootočí o $\frac{360}{1024}$ stupňů, BCD čítač se inkrementuje nebo dekrementuje o 1, v závislosti na směru otáčení. Obrázek 2.2 zobrazuje základní funkční diagram IRC desky.



Obr. 2.5 Funkční diagram IRC desky

Resetování BCD čítače se v našem případě neprovádí pomocí třetího „nulového“ signálu, ale čítač se nuluje pomocí spínačů na kolejnici.

2.3.3 Konektor IRC 205



PIN	funkce
1	inverzní výstup 2
2	+5 V pro elektroniku
3	výstup 3
4	inverzní výstup 3
5	výstup 1
6	inverzní výstup 1
7	nepoužit
8	výstup 2
9	stínění
10	0 V pro lampu
11	0 V pro elektroniku
12	+5 V pro lampu

Obr 2.6 Rozložení pinů konektoru IRC 205

3 Zapojení s novou měřicí kartou

Hlavní změnou a také velkým zjednodušením je použití novější karty MF 614. Ta se zasouvá do PCI slotu, oproti staré kartě, která používá ISA slot. Nová karta má čtyři vstupy pro inkrementální snímače. Výstupy z IRC snímačů vozíku a tyče jsou tedy přímo připojeny k těmto vstupům. Tím obě IRC desky, které převáděly signály ze snímačů na 16-bitové slovo, nejsou potřebné. Také signál pro přepínání mezi těmito deskami P.C. MUX lze zrušit.

Odpadl konektor Data do PC v přístrojové skříni a jeho kabeláž, která přenášela 16-bitové slovo z IRC převodníku. Konektor pro Maistro, magnet a konektor pro spínače na kolejnici zůstávají beze změny. Konektor pro signály z a do PC je předělán. Jsou z něho použity jen důležité signály pro řízení modelu.

3.1 Propojení sestavy modelu

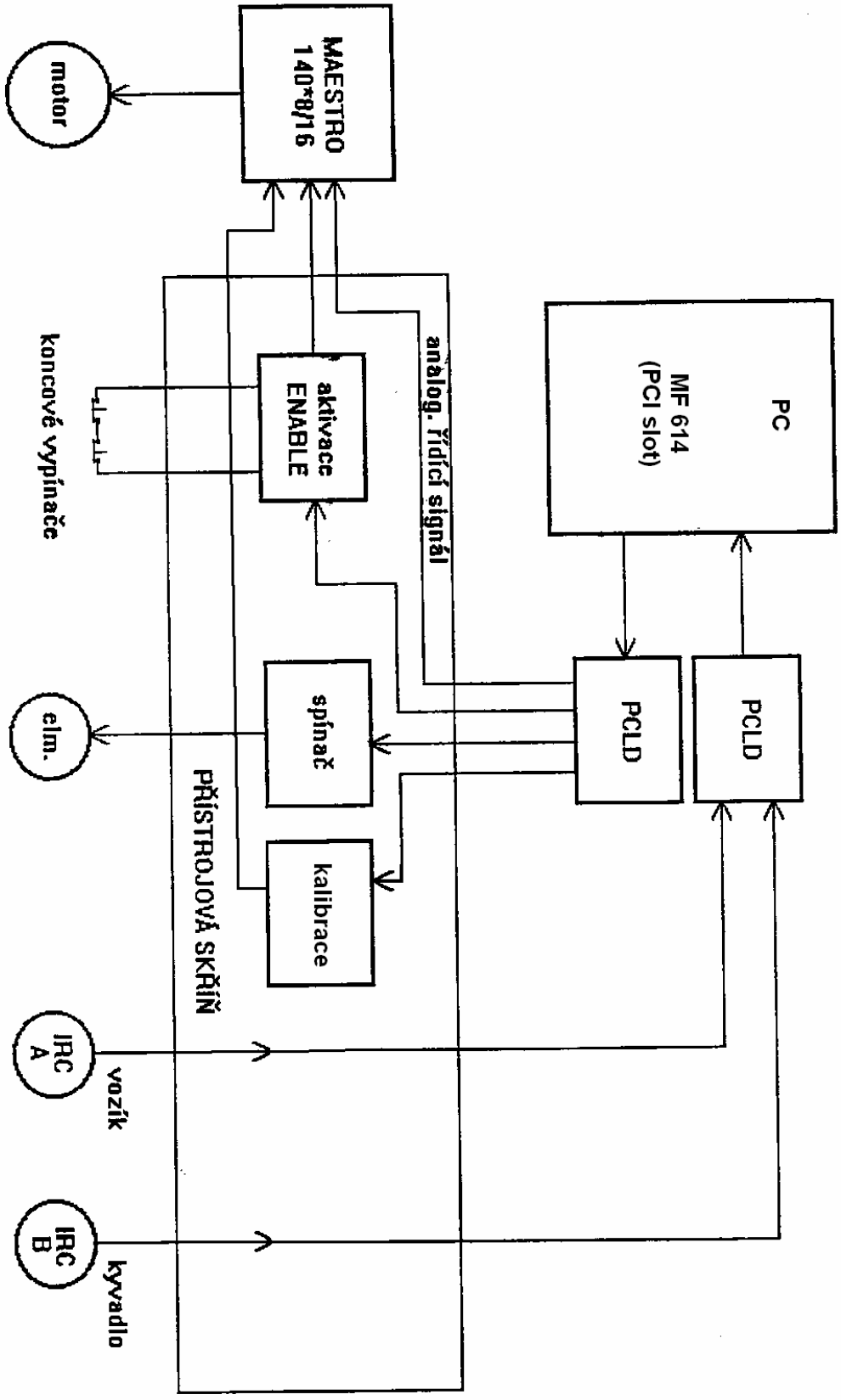
Na obrázku 3.1 je blokové schéma zapojení sestavy modelu pomocí karty MF 614 s vyznačenými řídicími signály. Pro řízení celého systému nám tedy stačí signály stop, enable, kalibrace, analogový signál pro ovládání motoru, signál pro sepnutí magnetu.

Pro všechny signály jdoucí do nebo z PC, ať řídící, nebo signály z inkrementálních snímačů, jsem vytvořil vlastní konektor K8 Canon DSUB-25 (F), kterým jsem nahradil původní konektor K1 z/do PC. Z tohoto původního konektoru jsem použil jenom signály určené pro řízení vyjmenované výše. Signály z inkrementálních snímačů jsou na mnou vytvořený 25-ti pinový konektor K8 přivedeny přímo z obou původních IRC konektorů K4 a K5.

Použitá multifunkční karta MF 614 má dva konektory. Jeden pro analogové a digitální vstupy a výstupy X1 a druhý pro vstupy z inkrementálních snímačů X2. Proto je zapotřebí dvou propojovacích PCLD desek, kterými se vodiče s danými signály jednoduše propojí s počítačovou kartou. Konektor je pak propojen s PLCD deskami dvěma osmi-žilovými kabely. Jednotlivé vodiče v kabelu jsou rozlišeny jinou barvou izolace.

Jednotlivé piny konektorů X1 a X2 jsou popsány v kapitole 3.2.

Obr. 3.1 Blokové schéma propojení sestavy modelu



3.1.1 Připojení IRC senzorů k PC

IRC senzory jsou připojeny z konektoru K8 na propojovací desku PCLD, která je pak zapojena do konektoru X2 multifunkční karty. Tabulka 3.1 a 3.2 popisuje propojení IRC senzorů vozíku a tyče k počítači. Z tabulek je patrné, že oba IRC snímače mají společné napájení i zem.

IRC polohy vozíku				
konektor K4 D-9 (IRC)	Signál	konektor K8	Barva izolace 8-mi žilového kabelu	Konektor X2 karty MF614
6-7	+5V	2	bílá	28
8-9	GND	1	černá	29
4	Výstup 2	4	zelená	3
3	Výstup 1	3	modrá	1
2	Výstup 3	5	červená	5

Tabulka 3.1 Propojení IRC vozíku

IRC úhlu vychýlení tyče				
konektor K5 D-9 (IRC)	Signál	konektor K8	Barva izolace vodiče 8-mi žilového kabelu	Konektor X2 karty MF614
6-7	+5V	2	bílá	28
8-9	GND	1	černá	29
4	Výstup 2	17	hnědá	9
3	Výstup 1	16	žlutá	7
2	Výstup 3	18	bílá	11

Tabulka 3.2 Propojení IRC tyče

3.1.2 Připojení řídicích signálů k PC

Řídicí signály jsou připojeny ke kartě MF 614 na konektor X1. Z těchto signálů je jeden analogový, a to signál, který ovládá motor. Ostatní signály jsou digitální TTL kompatibilní. Tabulka 3.3 zobrazuje zapojení jednotlivých signálů.

IRC úhlu vychýlení tyče			
Signál	Konektor K8	Barva izolace vodiče 8-mi žilového kabelu	Konektor X1 karty MF614
P.C. ANA	13	zelená	20
P.C. STOP	25	hnědá	33
P.C. CAL	12	žlutá	32
P.C. ENA	11	modrá	30
P.C. MAG	9	černá	31

Tabulka 3.3 Propojení řídicích signálů

3.2 Multifunkční karta MF 614

Multifunkční I/O karta MF 614 je navržena pro potřebu propojení PC kompatibilních počítačů se signály reálného světa. MF 614 obsahuje 12 bitový A/D převodník o frekvenci 100 kHz s funkcí sample/hold, čtyři softwarově volitelné vstupní rozsahy a osmikanálový vstupní multiplexer, čtyři nezávislé 12 bitové D/A převodníky, 8 digitálních vstupů a 8 digitálních výstupů, čtyři vstupy pro signály z inkrementálních snímačů a pět časovačů (čítačů). Karta je navržena pro standardní měřicí účely a je optimalizována k použití s Real Time Toolboxem pro MATLAB. Díky malému rozměru a nízké spotřebě může být MF 614 použita nejen ve stolních počítačích, ale i v počítačích přenosných.

V tabulkách 3.4 a 3.5 je popis jednotlivých pinů konektorů X1 a X2.

3.2.1 Vlastnosti karty MF 614

- 10 μs 12 bitový A/D konvertor s funkcí sample/hold
- osmi kanálový vstupní multiplexer
- softwarově volitelné vstupní rozsahy ±10V, ±5V, 0-10V, 0-5V
- vnitřní hodiny a informace o napětí
- čtyři 12 bitové D/A převodníky s výstupním rozsahem ±10V
- vstupy pro připojení čtyř IRC snímačů
- softwarově volitelný digitální vstupní filtr šumu (0.2 - 50 μs)
- kvadraturní vstupní frekvence až 2 MHz
- softwarově volitelná indexní impulsní operace
- 9513A pět časovačů/čítačů s rozlišením 50 ns
- 8 bitový TTL kompatibilní digitální vstupní port
- 8 bitový TTL kompatibilní digitální výstupní port
- přerušení
- vyžaduje dva PCI sloty pro 2 konektory X1 a X2
- spotřeba 400 mA@+5V, 50 mA@+12V, 50 mA@-12V
- provozní teplota 0°C až +70°C

3.2.2 Popis signálů výstupních konektorů X1 a X2

AD0	1	20	DA0
AD1	2	21	DA1
AD2	3	22	AGND
AD3	4	23	DA2
AD4	5	24	DA3
AD5	6	25	AGND
AD6	7	26	-12V
AD7	8	27	+12V
AGND	9	28	+5V
AGND	10	29	GND
GND	11	30	DOUT0
DIN0	12	31	DOUT1
DIN1	13	32	DOUT2
DIN2	14	33	DOUT3
DIN3	15	34	DOUT4
DIN4	16	35	DOUT5
DIN5	17	36	DOUT6
DIN6	18	37	DOUT7
DIN7	19		

Tabulka 3.4 Konektor X1

IRC0A+	1	20	IRC3A+
IRC0A-	2	21	IRC3A-
IRC0B+	3	22	IRC3B+
IRC0B-	4	23	IRC3B-
IRC0I+	5	24	IRC3I+
IRC0I-	6	25	IRC3I-
IRC1A+	7	26	
IRC1A-	8	27	
IRC1B+	9	28	+5V
IRC1B-	10	29	GND
IRC1I+	11	30	T0IN
IRC1I-	12	31	T0OUT
IRC2A+	13	32	T1IN
IRC2A-	14	33	T1OUT
IRC2B+	15	34	T2IN
IRC2B-	16	35	T2OUT
IRC2I+	17	36	T3IN
IRC2I-	18	37	T3OUT
GND	19		

Tabulka 3.4 Konektor X2

AD0-AD7	Analogové vstupy
DA0-DA3	Analogové výstupy
DIN0-DIN7	TTL kompatibilní digitální vstupy
DOUT0-DOUT7	TTL kompatibilní digitální výstupy
IRC0-IRC3	Vstupy pro IRC snímače
T0IN-T3IN	Vstupy časovače/čítače
T0OUT-T3OUT	Výstupy časovače/čítače
+12V	Napájení +12V
-12V	Napájení -12V
+5V	Napájení +5V
AGND	Analogová zem
GND	Digitální zem

3.3 Ověření funkčnosti

Po výše popsaném zapojení, jsem začal testoval funkčnost celého systému. Při testování však došlo k problému. Po zapnutí napájení by se měl spustit režim kalibrace a vozík by se měl zastavit ve výchozí pozici uprostřed pojízdné dráhy pod magnetem. To se však nestalo. Kalibrace se sice spustila, ale vozík se ve výchozí pozici nezastavil a jezdil po dráze sem a tam.

Znovu jsem tedy prostudoval technickou dokumentaci k modelu. Prošel jsem zapojení logické řídicí jednotky uvnitř přístrojové skříně, která také zajišťuje kalibraci vozíku. Podle dokumentace by však moje zapojení nemělo mít vliv na režim kalibrace. Zapojení IRC senzorů a ostatních signálů propojených s PC, které jsem upravoval, by tedy neměli podle dokumentace ovlivnit kalibraci.

Po neúspěšném zprovoznění mého zapojení jsem tedy upravil propojení modelu přesně podle původního zapojení, tedy konektorem K1. To však také nepomohlo. Ani s vedoucím práce se nám nepovedlo chybu odstranit. Tento problém však může být způsoben i nepřesnou původní technickou dokumentací modelu, ve které byly zjištěny i chyby v zapojení některých konektorů viz. kapitola 2.1.2.

Proto po dohodě s vedoucím práce, vytvořil pan ing. Vaněk novou řídicí jednotku s procesorem 8051. Tuto jednotku jsem nevytvářel já, protože by to značně přesáhlo zadání mé bakalářské práce.

4 Nová řídicí jednotka s procesorem 8051

Vytvořením nové řídicí jednotky, se celá sestava modelu značně pozměnila. Z přístrojové skříně byl použit pouze zdroj +5V, ±15V a +21V. Dále je z původního zapojení k řídicí jednotce připojen zesilovač MAESTRO, koncové snímače na modelu a konektor magnetu.

4.1 Popis programu procesoru

Program byl vytvořen tak, aby model fungoval obdobně jako s původní řídicí jednotkou. Program se dá zjednodušeně popsat pomocí čtyř režimů, ve kterých se kyvadlo může nacházet. Jsou to režimy Stop, Provoz, Kalibrace a Limit. Na obrázku 4.1 jsou znázorněny tyto režimy a vazby mezi nimi.

4.1.1 Režim STOP

V tomto režimu kyvadlo stojí. Nedá se tedy pohybovat vozíkem analogovým signálem z PC. Do tohoto stavu se lze dostat signálem Stop z PC nebo koncovými spínači SW2 a SW4 v režimu Provoz nebo při dokončení kalibrace. Tj. když vozík najede správným směrem (z leva) na spínač SW3 uprostřed kolejiště pod magnetem.

4.1.2 Režim PROVOZ

V režimu Provoz probíhá vlastní měření (regulace) na modelu. Pohyb kyvadla se ovládá pomocí analogového signálu z PC. Do tohoto stavu se lze dostat pouze signálem Run z PC ze stavu Stop.

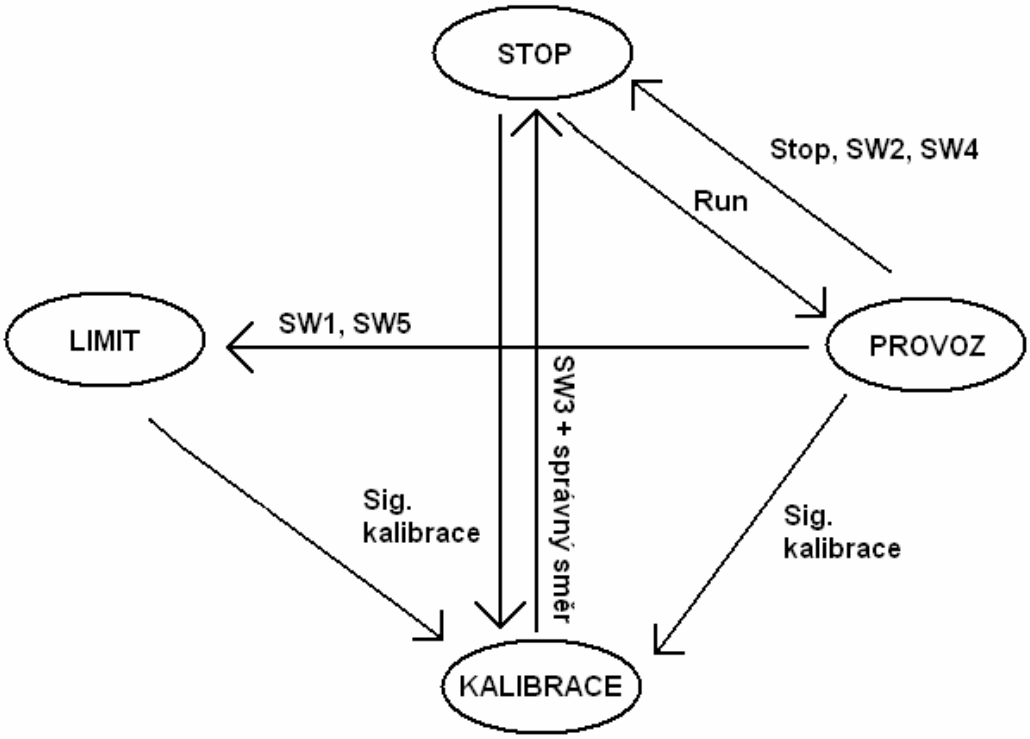
4.1.3 Režim KALIBRACE

V tomto režimu dochází ke kalibraci kyvadla stejným způsobem jako byl režim kalibrace popsán v kapitole 2.2.1. Do tohoto režimu se lze dostat pomocí signálu Kalibrace z PC ze stavu Limit, Provoz nebo Stop.

4.1.4 Režim LIMIT

Do tohoto režimu se kyvadlo dostane najetím na krajní bezpečnostní spínače SW1 nebo SW5 z režimu Provoz. Z tohoto stavu se lze dostat pouze kalibračním signálem do režimu kalibrace.

Obr. 4.1 Zjednodušený popis programu procesoru



4.2 Zapojení řídicí jednotky

K jednotce je připojeno 6 řídicích signálů z PC: kalibrace, enable, run, magnet, stop a analogový signál pro ovládání vozíku. Výstupní signály z jednotky vedené zpět do PC jsou pouze zpětné signály pro kontrolu, které ukazují v jakém stavu se nachází kyvadlo. Pro tuto kontrolu slouží také LED diody D1 až D4. Všechny signály spojené s PC jsou odděleny optočleny PC814. Magnet je k jednotce připojen ze stereo jacku K7. Schéma zapojení řídicí jednotky je na obrázku 4.2.

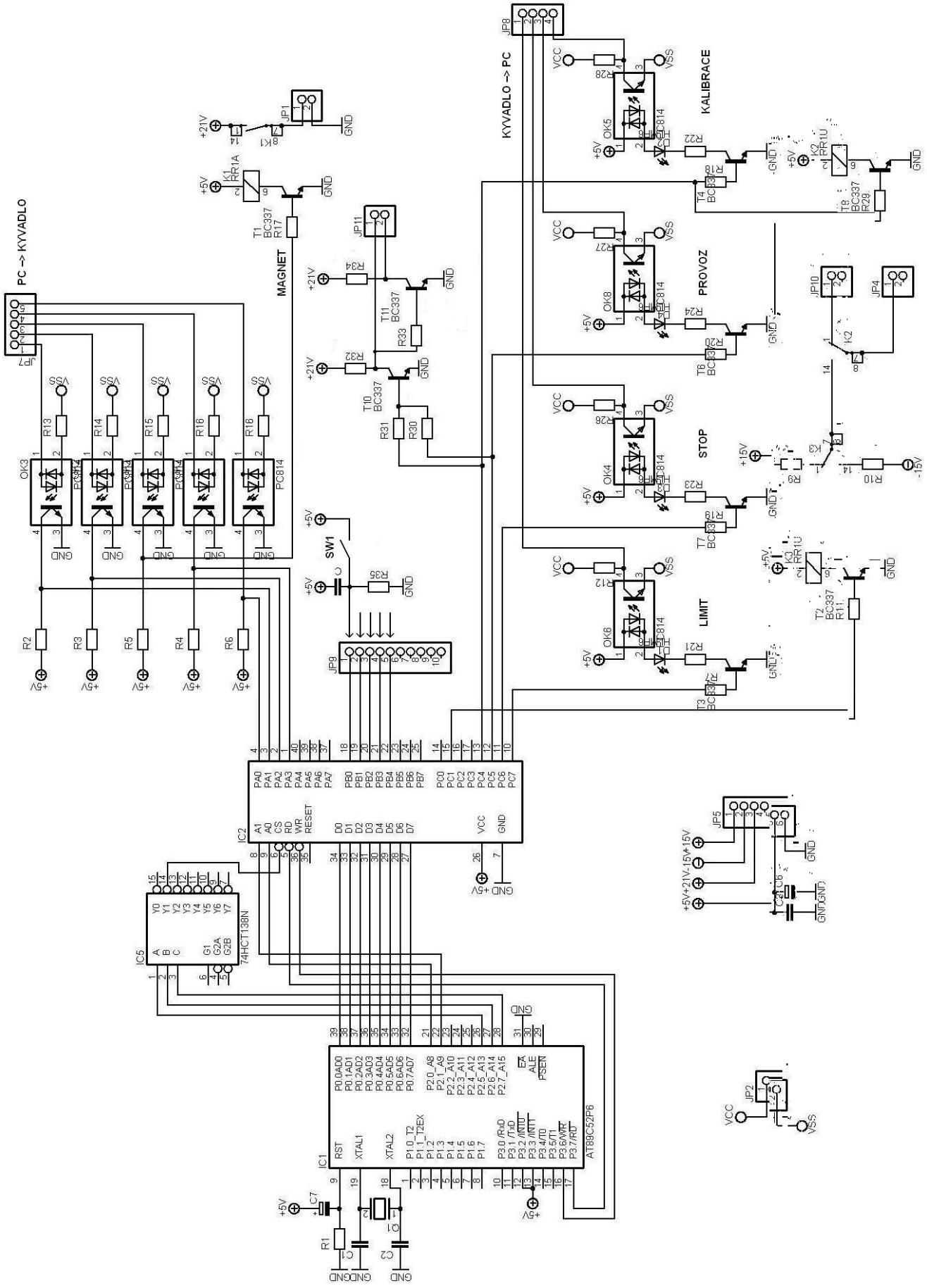
Připojení koncových spínačů je opatřeno RC filtrem pro odstranění zákmitů. Ve schématu je znázorněno pouze připojení spínače SW1. Ostatní spínače jsou připojeny stejným způsobem. Signál Enable je přiveden do Maestra právě tehdy, když je aktivní jeden z režimů Kalibrace nebo Provoz. Signál stop je negací signálu Stop. Tuto funkci zajišťují tranzistory T10 a T11. Dále zde v jednotlivých tabulkách popisuji připojení jednotlivých vstupů a výstupů řídicí jednotky s PC a modelem kyvadla.

Signály z PC do řídicí jednotky	
	signál
JP 7.1	Kalibrační signál
JP 7.2	Run
JP 7.3	Magnet
JP 7.4	Stop
JP 7.5	Enable
JP 10.1	Analogový signál

Signály z řídicí jednotky do PC	
	signál
JP 8.1	Signalizace režimu LIMIT
JP 8.2	Signalizace režimu STOP
JP 8.3	Signalizace režimu PROVOZ
JP 8.4	Signalizace režimu KALIBRACE

Propojení řídicí jednotky s modelem kyvadla		
	signál	
JP 9.1	SW1 – levý koncový spínač	připojení spínačů
JP 9.2	SW2 – levý bezpečnostní spínač	
JP 9.3	SW3 – střední spínač	
JP 9.4	SW4 – pravý bezpečnostní spínač	
JP 9.5	SW5 – pravý koncový spínač	
JP 1.1	pravý pin stereo jacku magnetu K7	připojení magnetu
JP 1.2	levý pin stereo jacku magnetu K7	
JP 4.1	Analogový řídicí signál	připojení zesilovače MAESTRO
JP 11.1	Signál Stop	
JP 11.2	Signál Enable	
JP 5.1	+15V	připojení napájení
JP 5.2	-15V	
JP 5.3	+21V	
JP 5.5	+5V	
JP 5.6	GND	

Obr. 4.2 Schéma zapojení řídicí jednotky



4.3 Ověření funkčnosti

Nejprve byl otestován program mikroprocesoru 8051 v simulátoru. Poté jsem k řídicí jednotce připojil tlačítka která nahrazovala řídicí signály Kalibrace, Run, Magnet, Enable a Stop. Dalšími čtyřmi tlačítky jsem nahradil koncové spínače. Tak se dal simulovat pohyb vozíku po kolejnici a na LED diodách D1-D4 jsem kontroloval v jakém stavu se kyvadlo nachází. Vše fungovalo bez problémů.

Poté jsem tedy řídicí jednotku připojil k modelu kyvadla. Avšak po spuštění napájení se model choval podobným způsobem jako v zapojení v kapitole 3. Vozík jezdil v kalibraci sem a tam a na středním spínači SW3 se nezastavil. Tento problém způsobovala společná zem a napájení řídicí elektroniky a zesilovače Maestra.

5 Závěr

Seznámil jsem se s modelem inverzního kyvadla v učebně K26. Podle technické dokumentace k modelu jsem analyzoval jeho připojení k počítači. Vyměnil jsem starou ISA měřicí kartu za novější multifunkční kartu MF 614, která používá PCI sběrnici. Upravil jsem zapojení tak, že jsou zachovány všechny původní funkce modelu.

IRC senzory vozíku a kyvadla jsou přímo propojeny s měřicí kartou. Tím odpadla velká část kabeláže. V programu MATLAB se ověřila jejich funkčnost.

Ze zbývajících signálů propojených s PC jsem vybral pouze ty, které sloužily k ovládání modelu kyvadla. Ostatní signály jsem s měřicí kartou nepropojoval, protože podle původní dokumentace, nebyly nezbytně nutné pro správnou funkčnost modelu.

Při testování však došlo k problému. Po zapnutí napájení by se měl spustit režim kalibrace a vozík by se měl zastavit ve výchozí pozici uprostřed pojízdné dráhy pod magnetem. To se však nestalo. Kalibrace se sice spustila, ale vozík se ve výchozí pozici nezastavil a jezdil po dráze sem a tam. Vzhledem ke špatné původní dokumentaci a zbytečně složité řídicí jednotky modelu, vytvořil pan Vaněk novou řídicí jednotku.

Ta byla otestována, ale po připojení k modelu a zapnutí napájení se model choval podobným způsobem, jako v předchozím případě. Špatné chování modelu způsobovalo rušení od napájení. Rušení vznikalo kvůli společné zemi a napájení elektroniky a zesilovače Maestra. Proto by bylo nutné předělat ještě celou výkonovou jednotku se zesilovačem Maestro. To by však bylo nad rámec mé bakalářské práce.

Proto, po dohodě s vedoucím práce, odpadly poslední dva body zadání: provést sadu měření a dokument popisující model a jeho zapojení.

6 Poděkování

Děkuji panu Ing. Františku Vaňkovi za odborné vedení mé bakalářské práce a za jeho rady a připomínky v průběhu jejího zpracování.

7 Seznam použité literatury

1. MF 614 Multifunction I/O card, User's Manual. Praha: Humusoft, 2002
2. PCL 812 Enhanced Multi-Lab card, User's Manual. Advantech Co, 1990
3. R.A. VAN DE MUNT. The inverted pendulum project. Praha: Allen Bradley, 1995

8 Seznam použitého softwaru

1. Microsoft Office 2000 SR-1 Professional
2. MATLAB R2006a