

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**NÁVRH A REALIZACE SNÍMAČE POLOHY ZAVĚŠENÉHO
BŘEMENE VOZÍKU PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU**

Ondřej Abraham

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Abraham**
Osobní číslo: **I14034**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Návrh a realizace snímače polohy zavěšeného břemene vozíku portálového jeřábu**
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 :

Cílem práce je návrh a realizace snímače polohy zavěšeného břemene vozíku laboratorního modelu portálového jeřábu. Snímač bude poskytovat informaci o hmotnosti břemene, délce závěsu a úhlech mezi závěsem břemene a rovinou vozíku portálového jeřábu. Základem snímače bude osmibitový mikropočítač řady ATmega, který bude zpracovávat informace z připojených snímačů a zároveň bude přes komunikační rozhraní umožňovat výměnu dat s nadřazeným systémem - osobním počítačem. Programové vybavení osobního počítače bude umožňovat vizualizaci a záznam dat ze snímače. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace snímače, včetně schémat zapojení elektronických obvodů a programového vybavení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

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

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2017**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. prosince 2016

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 17. 05. 2017

Ondřej Abraham

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Libor Havlíček, Ph.D. za vedení práce, ochotu, odborné rady a připomínky ke zpracování. Dále bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a přátelům za podporu po celou dobu studia.

V Pardubicích dne 17. 05. 2017

Ondřej Abraham

ANOTACE

Snímání polohy zavěšeného břemene spočívá ve zjištění úhlu náklonu mezi bodem zavěšení a břemenem v ose X a Y. Určení přesné polohy bylo zajištěno pomocí potenciometrů pro zjištění úhlu náklonu, enkodéru pro detekci polohy zavěšení břemene v ose Z, a finálně pomocí tenzometrů pro identifikaci hmotnosti zavěšeného břemene. Výpočetní část a následné zpracování informací zajišťuje vývojový kit Arduino Uno, díky němuž bude dostupné zobrazení pohybu břemene na osobním počítači.

KLÍČOVÁ SLOVA

monitorování, snímače, břemena, portálové jeřáby, úhel náklonu, Arduino Uno.

TITLE

DESIGN AND REALIZATION OF POSITION SENSORS FOR ANTI SWAY SYSTEM GANTRY CRANE.

ANNOTATION

Sensing the position of the suspended load is to determine the tilt angle between the suspension point and the load on the X and Y axes. Determination of the exact position was ensured by means of potentiometers for detecting the tilt angle, Z-axis load-sensing encoder, and finally by means of strain gauges for identifying the weight of the hinged load. The computational part and the subsequent processing of information is provided by the Arduino Uno development kit, which will allow you to view the movement of the load on the personal computer.

KEY WORDS

Monitoring, Sensors, Load, Portal crane, Tilt angle, Arduino Uno.

OBSAH

	Seznam ilustrací.....	10
	Seznam tabulek.....	12
	Seznam použitých zkratek.....	13
	Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí.....	15
	ÚVOD.....	17
1	TEORETICKÁ ČÁST.....	19
1.1	Portálový jeřáb.....	19
1.1.1	Lehký portálový jeřáb.....	19
1.1.2	Kolejový portálový jeřáb.....	20
1.1.3	Mobilní portálový jeřáb.....	20
1.1.4	Alternativy portálového jeřábu.....	21
1.2	Manipulační zařízení.....	23
1.3	Rozdělení systémů.....	24
1.3.1	Aktivní stabilizace břemene – potlačení kývání.....	25
1.3.2	Vyloučení možnosti šikmého tahu a rozkývání břemene.....	25
1.3.3	Ovládání jeřábu manipulací s břemenem.....	25
1.4	Matematický popis.....	25
1.4.1	Praktický provoz.....	26
2	SOUČÁSTI MODELU.....	31
2.1	Výpočetní technika – Arduino UNO SMD Rev3.....	31
2.1.1	Napájení.....	32
2.1.2	Paměť.....	33
2.1.3	Vstup a výstup.....	33
2.1.4	Komunikace.....	34
2.1.5	Programování.....	35
2.1.6	Automatický (software) reset.....	35
2.1.7	Proudová ochrana USB.....	36
2.2	Senzor hmotnosti – tenzometr.....	36
2.2.1	HX711.....	37
2.2.2	Možnosti napájení.....	37
2.2.3	Možnosti zdroje hodin.....	38
2.2.4	Výstupní rychlost a formát dat.....	39

2.2.5	Sériové rozhraní.....	39
2.2.6	Reset a vypnutí	40
2.3	Zdvih břemene	41
2.3.1	DC motor	42
2.4	Enkodér.....	42
2.4.1	Způsoby dekodování.....	43
2.4.2	Inkrementální snímání	44
2.4.3	Absolutní snímání.....	44
2.4.4	Způsoby zpracování signálu	45
2.5	Řízení motoru	46
2.6	Snímač proudu motorem	48
3	PRAKTICKÁ ČÁST	51
3.1	Návrh konstrukce modelu.....	51
3.1.1	Buben navijáku	52
3.1.2	Spojení motoru s bubnem	53
3.1.3	Hák navijáku.....	53
3.1.4	Přenos náklonu břemene.....	54
3.1.5	Upevnění motoru navijáku	55
3.1.6	Nástavec pro naviják	56
3.1.7	Nosná deska	56
3.1.8	Výpočetní část	57
4	SW ČÁST	59
4.1	Obsazení pinů Arduino Uno	59
4.2	Export dat	61
4.3	Schéma zapojení	62
4.4	Vývojový diagram	64
5	ZÁVĚR.....	71
	LITERATURA	72
	PŘÍLOHY	75

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Výsuvný portálový jeřáb	19
Obrázek 1.2 – Dvounosníkový kolejový portálový jeřáb	20
Obrázek 1.3 – Příklad využití mobilního portálového jeřábu.....	21
Obrázek 1.4 – Sloupcový otočný jeřáb	22
Obrázek 1.5 – Příklad stavebnicového systému typu KT ve výrobní lince.....	22
Obrázek 1.6 – Gaussova křivka znázorňující dobu cyklu na počet opakování	23
Obrázek 1.7 – Určení vzdálenost vůči těžišti	26
Obrázek 1.8 – Variabilní rychlostní rampy s i bez použití vyvažovacího systému.....	27
Obrázek 1.9 – Graf závislosti úhlu náklonu na rychlostním profilu v čase.....	27
Obrázek 1.10 – Implementace automatického řídicího systému	29
Obrázek 1.11 – Integrovaní řídicí jednotky do uzavřeného obvodu	29
Obrázek 1.12 – Přepínač se 3 předdefinovanými hodnotami.	30
Obrázek 2.1 – Arduino Uno SMD Rev3	31
Obrázek 2.2 – Schéma zapojení vývojového kitu Arduino Uno Rev3.....	32
Obrázek 2.3 – Popis pinů mikrokontroleru ATmega 328.....	34
Obrázek 2.4 – Zapojení tenzometru pomocí Wheatstoneova můstku	36
Obrázek 2.5 – Typické blokové schéma aplikace hmotnostního senzoru	38
Obrázek 2.6 – Výstup a vstup dat sériové komunikace, výběr časování, kanálu a zesílení	39
Obrázek 2.7 – Ovládání vypnutí obvodu HX711 signálem PD_SCK.....	41
Obrázek 2.8 – Stejnosměrný motor s převodovkou a enkodérem	41
Obrázek 2.9 – Generování signálu enkodéru na kanálech A a B	43
Obrázek 2.10 – Popis funkce inkrementálního snímače.....	44
Obrázek 2.11 – Disky osmibitových absolutních enkodérů: vlevo binární kód, vpravo Grayův kód. Černé plochy odpovídají hodnotě 0, bílé hodnotě 1	44
Obrázek 2.12 – Blokové schéma modulu L298N.....	46
Obrázek 2.13 – Schéma vstupních/výstupních pinů L298	47
Obrázek 2.14 – Obousměrné řízení motoru, můstek B	48
Obrázek 2.15 – Schéma vstupních/výstupních pinů ASC711 LC	49
Obrázek 2.16 – Funkční blokové schéma ASC711	50
Obrázek 3.1 – Návrh celkového modelu sensorové části.....	51
Obrázek 3.2 – Buben navijáku ve 3 dílech s ozubením obohacenou bočnicí.....	52
Obrázek 3.3 - Ozubené kolo na hřídeli motoru	53

Obrázek 3.4 – Model háku navijáku	54
Obrázek 3.5 – Vodící prvek pro zvýšení citlivosti detekce náklonu	54
Obrázek 3.6 – Objímka s otvory pro šrouby k připevnění motoru	55
Obrázek 3.7 – Podstavec motoru pro jeho upevnění s možnou korekcí polohy.....	55
Obrázek 3.8 – Model nástavce (pohled zezadu) pro usazení proudového snímače ACS711 s otvory pro pracovní piny joysticku	56
Obrázek 3.9 – Model nástavce (pohled zepředu) pro upevnění částí navijáku a průchozí otvor pro joystick snímající náklony břemene	56
Obrázek 3.10 – Nosná deska modelu.....	57
Obrázek 3.11 – Celková soustava dílů výpočetní součásti	57
Obrázek 4.1 – Příklad zobrazení dat ze senzorů pomocí sériového monitoru.....	61
Obrázek 4.2 – Příklad exportu dat do Excelu pomocí PLX-DAQ.....	62
Obrázek 4.3 – Vlastní schéma zapojení joysticku	62
Obrázek 4.5 – Schéma zapojení sběrnic, datového a napájecího kabelu a řídicí jednotky motoru L298 do Arduina	63
Obrázek 4.4 – Schéma zapojení desky s tlačítky	63
Obrázek 4.6 – Vývojový diagram kompletního procesu	64
Obrázek 4.7 – Vývojový diagram smyčky SETUP	65
Obrázek 4.8 – Vývojový diagram smyčky LOOP – část první	66
Obrázek 4.9 – Vývojový diagram smyčky LOOP – druhá část.....	67
Obrázek 4.10 – Vývojový diagram smyčky LOOP – část třetí	68
Obrázek 4.11 – Vývojový diagram podprogramu přerušení doEncoder	69
Obrázek 4.12 – Vývojový diagram podprogramu přerušení endButton.....	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Popis pinů HX711	38
Tabulka 2.2 – Časové konstanty sériového přenosu.....	40
Tabulka 2.3 – Volba kanálu a zesílení počtem pulzů na PD_SCK	40
Tabulka 2.4 – Popis pinů L298.....	47
Tabulka 2.5 – Logické úrovně pro řízení motoru	48
Tabulka 2.6 – Popis pinů ASC711 LC	49

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADC	Analog to digital converter
AREF	Analog reference
CG	Centrum of gravity
DC	Direct current
DTR	Data terminal ready
DTR	Data terminal ready
EEPROM	Electrically Erasable PROM
FTDI	Future technology devices international
GND	Ground
I2C	Inter-Integrated Circuit
IC	Integrated circuit
ICSP	In-Circuit Serial Programming
LED	Light emitting diode
LSB	Least Significant Bit
MCU	Microcontroler unit
MISO	Master in Slave Out
MOSI	Master out Slave in
MSB	Most Significant Bit
NC	Not connected
OS	Operating System
PLX-DAQ	Paralaxx Data Acquisition
PWM	Pulse width modulation
Rev	Revision
RX	Recive
SCK	Serial clock
SCL	Synchronous clock
SDA	Synchronous Data
SMD	Surface mounted device
SPI	Serial Peripheral Interface
SPS	Signals per second
SRAM	Static random access memory
SS	Slave select

TTL	Transistor-transistor logic
TWI	Two wire interface
TX	Transmit
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal serial bus
VCC	Integrated circuit power supply
VIN	Voltage input

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

a_x	zrychlení portálového jeřábu
a_y	zrychlení vozíku
d	průměr střední části bubnu navijáku
g	gravitační konstanta
L	délka zavěšení
o	obvod střední části bubnu navijáku
T	perioda oscilace
v_x	rychlost portálového jeřábu
v_y	rychlost vozíku
π	matematická konstanta
θ	úhel náklonu břemene

ÚVOD

V práci se zabývám návrhem a realizací snímače polohy břemene portálového jeřábu. První kapitola popisuje samotné portálové jeřáby, jejich rozdělení a způsob využití získaných dat z příslušných senzorů. Další částí je bližší popis námi vybraných elektronických součástí použitých v modelu. Snímání polohy zavěšeného břemene spočívá ve zjištění úhlu náklonu mezi bodem zavěšení a břemenem v ose X a Y. Určení přesné polohy bylo zajištěno pomocí zhodnocení signálů z potenciometrů pro zjištění úhlu náklonu, enkodéru pro detekci polohy zavěšení břemene v ose Z, a finálně pomocí tenzometrů pro identifikaci hmotnosti zavěšeného břemene. V následující kapitole se zabývá především návrhem mechanických součástí a kompletního modelu. Ten je rozdělen na sensorovou část a výpočetní, která je spojena sběrníci přenášející signály a data oběma směry. Výpočetní část a následné zpracování informací zajišťuje vývojový kit Arduino Uno, díky němuž bude dostupné zobrazení pohybu břemene na osobním počítači. Je poskytnut podrobnější popis funkce systému skrze vývojové diagramy.

Cílem bylo vytvořit funkční model v měřítku přibližně 10:1 vůči skutečnému portálovému jeřábu. Bylo zavedeno řízení pohonu navijáku pro oba směry skrze tlačítka a také jeho implementace pro zadání požadavku pro výpis aktuální hmotnosti zavěšeného břemene. Bylo tak učiněno především z důvodu šetření výpočetní kapacity. Systém také poskytuje bezpečnostní prvek, který po dosažení maximálního zdvihu automaticky ukončí běh motoru a následně spustí břemeno o pár centimetrů. Mechanická část modelu byla navržena pro výrobu na 3D tiskárně poskytující vysokou přesnost s možností tvorby komplexní soustavy. Výpočetní část byla navržena do modulové konstrukce, která nabízí možné jednoduché rozšíření.

Výpočetní část byla zajištěna vývojovým kitem Arduino Uno programovatelným stejnojmenným softwarem. Rychlost základních zpracování údajů je 10 Hz poskytující dostatečnou přesnost snímání polohy. Skrze software PLX-DAQ byl proveden export dat ze sériového monitoru Arduina do Excelu pro komplexnější zpracování naměřených dat.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 PORTÁLOVÝ JEŘÁB

Portálové jeřáby slouží ke zdvihání a manipulaci s břemeny ve venkovních i vnitřních prostorech. Využití nacházejí například při skladování, nebo v montážních a servisních dílnách. Rozhodovat se můžeme mezi lehkým portálovým jeřábem, který je vybaven brzděnými koly, nebo mezi kolejovým portálovým jeřábem, který má nosnost až 50 t.

1.1.1 Lehký portálový jeřáb

Lehké portálové jeřáby, jako třeba na obrázku 1.1, přinášejí efektivní řešení manipulace v široké škále aplikací. Uplatnění nacházejí především jako servisní jeřáby, jeřáby v autodílnách, lisovnách plastických hmot a v malých dílnách, kde frekvence použití není příliš vysoká.



Obrázek 1.1 – Výsuvný portálový jeřáb

Obvykle se lehké portálové dílenské jeřáby dodávají s řetězovými kladkostroji, elektrickými nebo ručními. Standardně jsou vybaveny natáčecími a brzděnými koly, kabelovou napájecí trolejí, hlavním uzamykatelným vypínačem a zástrčkou pro připojení kabelu. Nosnost tohoto typu se pohybuje v rozmezí 125 kg ÷ 6300 kg, rozpětím maximálně 700 cm a výškou zdvihu nejvýše 500 cm (Kranttechnik, 2017a).

1.1.2 Kolejový portálový jeřáb

Kolejové portálové jeřáby se využívají ve velkých skladovacích prostorech, dílnách nebo přístavech. Vyrábí se v provedení jednonosníkovém i dvounosníkovém, který je na obrázku 1.2. Rozpětí může být až 40 m a je schopen unést náklad o hmotnosti až 50 t. Kolejový portálový jeřáb je schopen obsloužit rozlehlé venkovní i vnitřní skladovací plochy.

K manipulaci s materiálem je jeřáb vybaven řetězovým, nebo lanovým kladkostrojem. Pohyb celého jeřábu zajišťují pojezdové bloky s pohony nebo řízené



Obrázek 1.2 – Dvounosníkový kolejový portálový jeřáb

frekvenčním měničem. Jeřáb může být ovládán závěsným i rádiovým ovladačem, nebo z kabiny. Pro napájení bývá využit motorový kabelový buben nebo trolej (Krantechnik. 2017b).

1.1.3 Mobilní portálový jeřáb

Díky lehké přenosné konstrukci z hliníku mají mobilní portálové jeřáby velmi širokou škálu využití všude tam, kde je nezbytná snadná montáž a lehce přemístitelná konstrukce, vidno na obrázku 1.3. Dodávají se v provedení stabilním nebo mohou být vybaveny pojezdovými koly. Osadit je lze ručními i elektrickými kladkostroji. Mimo portálové jeřáby lze dodat

i mobilní aluminiové trojnožky pro zvedání a spouštění břemen, pojízdné výložníkové jeřábky, speciální lehké traverzy a konstrukce (Krantchnik. 2017c).



Obrázek 1.3 – Příklad využití mobilního portálového jeřábu

1.1.4 Alternativy portálového jeřábu

Portálové jeřáby nemusí vždy splňovat všechny požadavky, ale lze i vybrat z různých alternativ, které mohou být vyhovující. Výběr je široký, zde je uvedeno jen pár příkladů:

- Sloupové otočné jeřáby – je vhodný pro obsluhu nejrůznějších pracovišť nebo jako servisní zdvihadlo. Je také optimální pro vyložení velkých objektů a vysoké nosnosti. Možnost otočení až o 360° a přesného najetí nad objekt. Jeřáb na obrázku 1.4 s nosností 125 kg ÷ 6300 kg a vyložením do 7 m (Krantchnik. 2017d).



Obrázek 1.4 – Sloupcový otočný jeřáb

- Stavebnicové systémy – systém nabízí nepřeberné varianty lehkých drážek a jeřábů s možností výhybek, točen a zatáček. Systém zobrazen na obrázku 1.5 je zvláště vhodný pro manipulaci v montážních linkách, v lehkých výrobních a skladových prostorech a pracovištích (Krantechnik, 2017e).



Obrázek 1.5 – Příklad stavebnicového systému typu KT ve výrobní lince

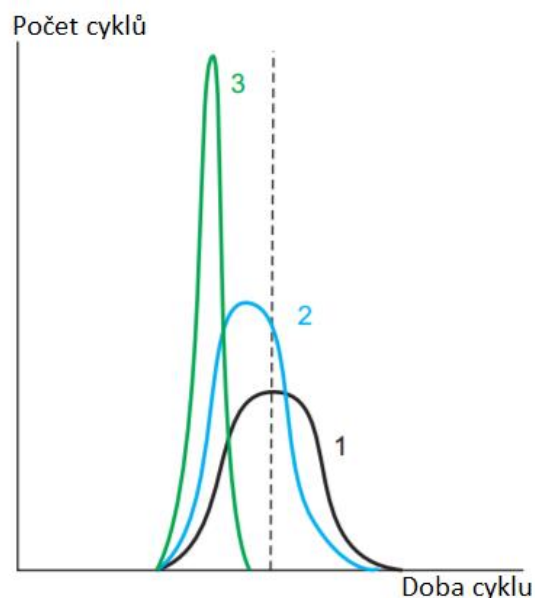
1.2 MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Přesun nákladu je základní operací ve všech lidských činnostech. Pohyb a přeprava objektů je každodenním údělem všech, kteří jsou v průmyslovém sektoru. V odvětví výroby a distribuce se tato operace velmi často provádí pomocí manipulační techniky, jakou jsou například mostové a portálové jeřáby řízeny operátorem a není neobvyklé, že tento proces zabírá až 20 % celkového cyklu. Tedy přesun objektu často určuje konzistenci výrobního cyklu. Aby se omezilo fragmentaci cyklu, je nezbytné, aby doba manipulace byla co:

- Nejkratší,
- nejspojitější, konzistentní.

Toho není možné dosáhnout bez využití zařízení pro kontrolu kývání objektů.

U mostových a portálových jeřábů je břemeno upevněno na upínací zařízení pomocí lan, z čehož se pak stává kyvadlové zařízení. Když manipulační zařízení začne s pohybem, rovnováha nákladu je nevyhnutelně narušena a vytvořené kývání způsobuje ovládací a polohovací problémy. Pro automatické nakládací a vykládací systémy či pro začínajícího operátora tento jev výrazně narušuje dobu cyklu. Když je portálový jeřáb řízen operátorem, reprodukuje se stejný cyklus v dostatečném počtu opakování, přičemž analýza ukazuje, že délka cyklu je rozmístěna po Gaussově křivce na obrázku 1.6. Většina nákladů bude přepravena



Obrázek 1.6 – Gaussova křivka znázorňující dobu cyklu na počet opakování

v průměrné době, se správnými a špatnými operacemi rovnoměrně rozloženými po obou stranách křivky (křivka 1 – černá). Opakováním stejného cyklu s vyvažovacím systémem, rozptyl a čas jsou redukovány (křivka 2 – modrá), což znamená, že pohyby jsou prováděny

přesněji a rychleji. Když jsou pohyby automatizované, jsou pokaždé zopakovány v kratším čase a s menším rozptylem. Výsledkem je rozdělení, ve kterém jsou všechny pohyby nákladu provedeny skoro identickým způsobem a téměř optimálně (křivka 3 – zelená) (Piriou, 2010).

Kromě toho, vyvažovací systém přináší následující výhody:

- Ochrana nákladu a strojního zařízení včetně menší údržby,
- nižší riziko úrazů,
- nižší únava obsluhy. Zvedací zařízení může být bezpečně řízeno i operátorem nováčkem,
- kratší cykly (až o 25 %), zejména u automatů, souvisí nepřímo s nižšími náklady na energii.

1.3 ROZDĚLENÍ SYSTÉMŮ

Vyvažovací systémy spadají do tří hlavních kategorií:

- Pasivní systémy: lana připojené k nákladu zabrání jeho kývání,
- aktivní systémy v uzavřené smyčce, kde je úhel výkyvu měřen kamerou připojenou k systému zpracování obrazu,
- aktivní systémy v otevřené smyčce využívají dostupné informace bez přídavných senzorů.

První systém zahrnuje mechanickou složitost a trvalou údržbu. Druhý vyžaduje nákladné pomocné systémy a případ od případu úpravy. Třetí je zdaleka nejjednodušší a nejnadanější realizovat. Poskytuje výkonné, ekonomické a bezúdržbové řízení bez potřeby změny zařízení (Piriou, 2010).

Originalita tohoto přístupu je, že funguje i bez měření skutečného kývání, prostřednictvím odhadce vloženého do regulátoru pohonu nebo jakéhokoliv externího automatu. Principem je, že řadič vyvažovacího systému vypočítává zrychlení (progresivní rychlostní profil), které umožňuje zdvihacímu zařízení dosažení dané rychlosti pohybu bez kývání nákladu. Protože neexistuje řádný způsob jak určit aktuální stav fyzického systému, řádný provoz vyžaduje nulové počáteční kývání a minimální externí narušení, jako je vítr. Instalace aktivního systému s otevřenou smyčkou má nepochybně ekonomickou výhodu ve srovnání se systémem s uzavřenou smyčkou (Piriou, 2010).

1.3.1 Aktivní stabilizace břemene – potlačení kývání

Systém snímá s vysokou přesností pohyb břemene a řídí pohyby mostu a kočky tak, že ve velmi krátké době zastaví kývání zavěšeného břemene. Není nutné sledování délky lan, na kterých visí hák. Při rozkývání břemene systém rychle utlumí kývání na minimum. To umožňuje využívat vyšší transportní rychlost jeřábu při opatrné manipulaci s břemenem. V prostorech, kde z důvodů např. bezpečnosti není možné aktivní stabilizaci využít, řídicí automat stabilizaci automaticky vypne (Vítek, 2009a).

1.3.2 Vyloučení možnosti šikmého tahu a rozkývání břemene

Systém zcela vylučuje šikmý tah břemene. Při náznaku šikmého tahu změni zcela automaticky a rychle polohu kočky či mostu tak, aby hák a břemeno bylo ve svislé ose dříve, než dojde ke zdvihnutí břemene. Tato funkce využívá principu, kdy při šikmém tahu vzniká síla na posuvné motory kočky či mostu. Protipohyb těchto motorů zapříčiní eliminaci těchto sil a dojde k centralizaci zdvihu podle těžiště břemene (SCS, 2005).

1.3.3 Ovládání jeřábu manipulací s břemenem

Tento způsob manipulace je umožněn tím, že počítač ovládá pohyby jeřábu tak, aby eliminoval jakékoliv výchylky břemene. Pokud např. obsluha zatlačí na břemeno a vychýlí jej, jeřáb se pohybuje ve směru vychýlení. Obsluha tak může plynule manipulovat s břemeny a přemisťovat je bez nutnosti používat ovladač jeřábu. Manipulace je zcela plynulá a bez kývání břemene (Vítek, 2009b).

1.4 MATEMATICKÝ POPIS

Břemeno podléhá jak gravitačnímu zrychlení, tak zrychlení v horizontálním směru při zrychlení vozíku; je tedy předmětem kyvadlového pohybu a houpaní podle vztahu:

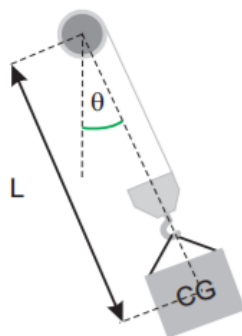
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1.1)$$

kde T – doba oscilace výkyvů, min,

L – vzdálenost mezi bubnem zdvihacího zařízení a těžištěm břemene, m,

g – gravitační zrychlení, $m \cdot s^{-2}$.

Nutno podotknout, že perioda kývání nezávisí na hmotnosti samotného tělesa, avšak jeho těžiště CG je rozhodující faktor pro určení periody, dle obrázku 1.7. Po celou dobu je poloha břemene zcela definována v případě, že poloha vozíku (X, Y), poloha těžiště (L), a úhel (θ funkcí času) výkyvu vůči vertikální ose, jsou známy (Piriou, 2010).



Obrázek 1.7 – Určení vzdálenost vůči těžišti

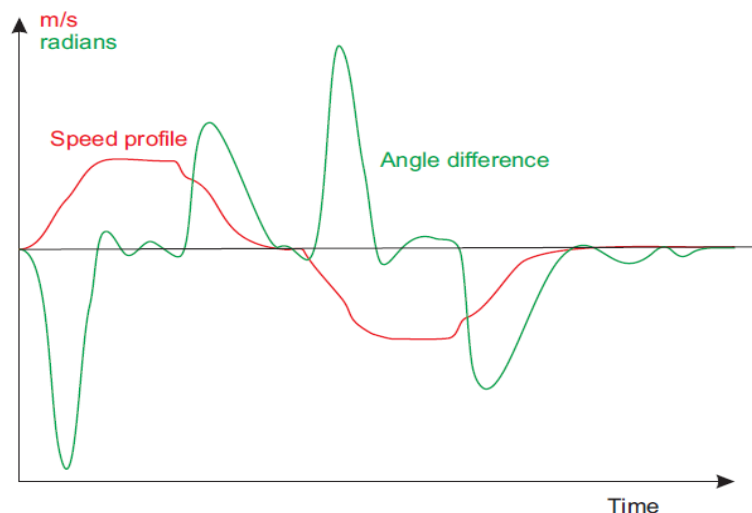
Aby bylo zajištěno, že operátor uloží břemeno přesně, musí být jeho kývání co nejslabší. Pro ideální případ musí platit:

$$\theta = 0; \frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (1.2)$$

kde θ – úhel výkyvu břemene vůči ose stabilní poloze, °.

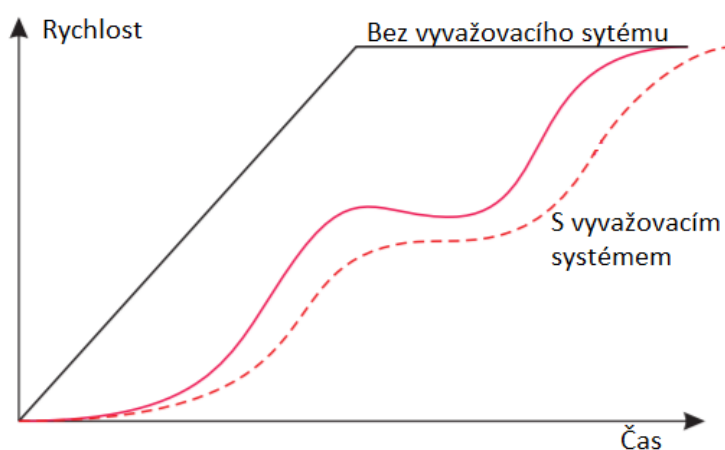
1.4.1 Praktický provoz

Aby nedošlo k násilnému provozu, frekvenční měniče mají progresivní systémové nastavení rychlosti, které má za následek optimalizaci. Tato nastavení rychlosti mohou být nastavena z hlediska času a tvaru (lineární, S křivky, atd.), aby vyhovovali většině aplikací. Lineární rychlost rampy (černé) nelze nastavit automaticky, což má za následek, že eliminace kývání je ponechána na operátorovi. Vyvažovací systém pomáhá operátorovi zajistit, aby zrychlení či zpomalení každého pohybu bylo upraveno v reálném čase s odhadem polohy břemene. Zde na obrázku 1.8 máme názorně uvedené 2 příklady červené křivky, ale v praxi je možný nekonečný počet profilů (Piriou, 2010).



Obrázek 1.9 – Graf závislosti úhlu náklonu na rychlostním profilu v čase

Na dalším obrázku 1.9 máme znázorněný graf se 2 křivkami. Červená představuje rychlostní profil vytvořený vyvažovacím systémem, zelená nám ukazuje úhel výkyvů břemene vůči vertikální ose (stabilní polohy). Každá změna v rychlosti nevyhnutelně tuto rovnováhu naruší, ale automatizovaný rychlostní profil velmi rychle řídí tento rozdíl. Na konci pohybu nám systém umožňuje zastavit a uložit břemeno v souladu s nejlepšími podmínkami v nastavitelném čase. Bez korekce od zkušeného operátora může návrat do stabilního stavu rovnováhy trvat až několik sekund. Kývající pohyb se objeví jen při lineárním pohybu portálového jeřábu (pohyb v ose X), nebo při pohybu samotného vozíku (pohyb v ose Y). Zvedání či spouštění břemene ve směru osy Z nemá vliv na vznik kývání (Piriou, 2010).



Obrázek 1.8 – Variabilní rychlostní rampy s i bez použití vyvažovacího systému

Princip systému pro vyvažování je založen na odhadu polohy břemene, který po celou dobu řeší rovnici:

$$\theta = \theta_0 \cos \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1.3)$$

kde θ – úhel výkyvu břemene vůči ose stabilní polohy, °,

θ_0 – původní úhel výkyvu, °,

L – vzdálenost mezi bubnem zdvihacího zařízení a těžištěm břemene, m,

g – gravitační konstanta.

Nutno podotknout, že délka zavěšení L je vztažena k těžišti zavěšeného tělesa, ne k místu spojení břemene a upínacího prvku. Systém využívá následujících informací:

- translační rychlost obou vodorovných os, tj. portálového jeřábu a vozíku:

$$v_x = \frac{dx}{dt}; v_y = \frac{dy}{dt} \quad (1.4)$$

kde v_x – rychlost portálového jeřábu, $m \cdot s^{-1}$,

v_y – rychlost vozíku, $m \cdot s^{-1}$.

- zrychlení a zpomalení v těchto osách podle rovnic:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}; a_y = \frac{d^2y}{dt^2} \quad (1.5)$$

kde a_x – zrychlení portálového jeřábu, $m \cdot s^{-2}$,

a_y – zrychlení vozíku, $m \cdot s^{-2}$.

- délku lana,
- a pozici těžiště zavěšeného břemene.

Poloha těžiště je proměnná hodnota, která závisí na geometrii břemene a musí být určena operátorem. Kývání břemene je regulováno a řízeno pomocí frekvenčního měniče, který neustále upravuje pohyb v obou vodorovných osách (Piriou, 2010).

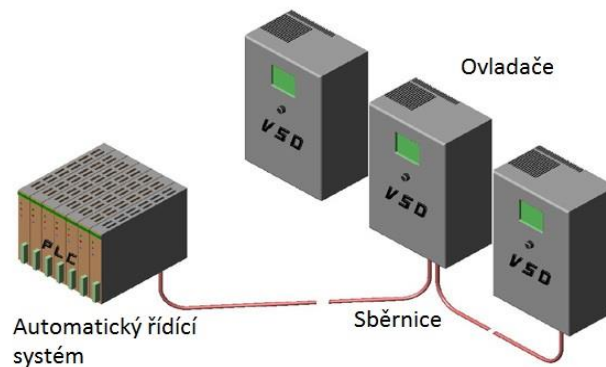
Užitečné informace (rychlost, zrychlení, případně i délka lana ze snímače připojeného k motoru) jsou přístupné přímo z frekvenčního měniče nebo externích snímačů (např. délka lana pomocí zámkové skříně nebo enkodéru). Z nastavitelného modelu jsou vypočteny přibližné hodnoty výkyvu břemena díky informacím v ovladači, délkou lana a polohou těžiště.

S pokročilým frekvenčním měničem je možné integrovat funkce ovládání výkyvů za pomoci specifických karet. Funguje to na automatickém zjištění ovladače a přebráním kontroly

při použití sběrnice. Může být použito stejné elektrické operační rozhraní bez jakýchkoliv úprav kabeláže. Tuto funkci lze rovněž provádět v dálkovém ovladači (Piriou, 2010).

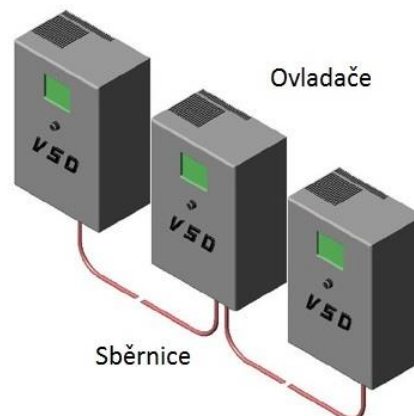
Bezpečnostní zóny jsou řízeny polohovými spínači (zpomalovací a zastavovací spínače). Příklady implementace:

- Funkce ovládání výkyvů je začleněna do automatizovaného řídicího systému nebo do dálkového ovladače na obrázku 1.10,



Obrázek 1.10 – Implementace automatického řídicího systému

- funkce je integrována do jedné řídicí jednotky, obrázek 1.11.



Obrázek 1.11 – Integrovaní řídicí jednotky do uzavřeného obvodu

Řadič průběžně vypočítává rychlostní rampu, též nazývanou jako rychlostní profil, pro zastavení kývání. Ve většině případů, frekvenční měniče (variabilní rychlost pojezdu) se senzorem jsou určeny pro zvedání a frekvenční měniče bez senzoru se používají pro pohyb jak jeřábu, tak vozíku. Karta s vyvažujícím systémem je s výhodou integrována do frekvenčního měniče pro zdvih za účelem získání informací ze snímače a předání rychlostních profilů ostatním prostřednictvím sběrnice, například CANopen (Piriou, 2010).

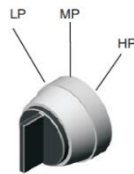
Proto realizace vyvažujícího systému nevyžaduje zdvihací zařízení modifikované jakýmkoli způsobem. Přítomnost frekvenčního měniče při každém translačním pohybu je jedinou nezbytnou podmínkou. Vyvažovací funkce může být nainstalována původním výrobcem nového stroje nebo snadným přizpůsobením na již existující zařízení. Je dostupných hned několik způsobů instalace v závislosti na zařízení a způsobu ovládání, tj. generování rychlostních instrukcí a přítomnost senzorů na zvedací pohyb (Piriou, 2010).

Rychlostní pokyny pro zdvihací zařízení jsou obvykle generovány:

- Ovládací skříně (nejčastěji 2 přednastavené rychlosti),
- manipulátory (normálně 4 rychlosti) vpravo/vlevo, vpřed/vzad, nahoru/dolů,
- průběžně (analogové napětí dodávané řídicí kartou nebo potenciometry).

Délka lana nemá velké nároky na přesnost, většinou se jedná pouze o rozdělení do zón. Lano může být měřeno různými způsoby:

- Manuálně pomocí přepínače se 3 předdefinovanými hodnotami délky na obrázku 1.12:
 - LP – nízká pozice,
 - MP – střední pozice,
 - HP – vysoká pozice.



Obrázek 1.12 – Přepínač se 3 předdefinovanými hodnotami.

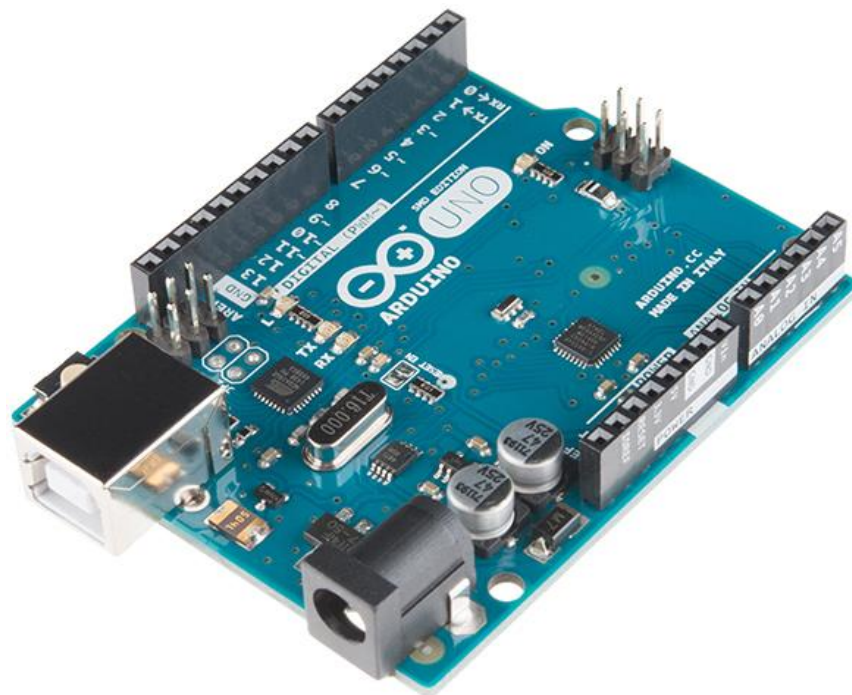
- automaticky skrze zámkové skříně se dvěma detektory pro 3 úrovně délky lana,
- průběžně pomocí enkodéru, obvykle připojeného přímo na motor, který oproti ostatním způsobům dokáže určit délku lana velmi přesně (Piriou, 2010).

2 SOUČÁSTI MODELU

Jak bylo popsáno výše, řešení a kompletace systému zahrnuje tenzometry pro zjištění hmotnosti, enkodér pro identifikaci výšky závěsu břemene, DC motor pro zdvih tělesa, lano jako tažné médium, modul L298N pro řízení motoru, proudový senzor ACS711 k zjištění zatížení motoru a výpočetní techniku zajišťující zpracování dat a následnou komunikaci s osobním počítačem pro možné zpracování např. v MATLAB, EXCEL a zobrazení 3D grafu pohybu. Veškerou výpočetní kapacitu zajišťuje vývojový kit Arduino UNO SMD Rev3. Konstrukcí nosných prvků se nebudu zabývat. Poměr velikosti konstrukce modelu oproti reálnému portálovému jeřábu činní přibližně 10:1.

2.1 VÝPOČETNÍ TECHNIKA – ARDUINO UNO SMD REV3

Možností výběru výpočetní techniky je nepřeborné množství. Námi zvolené Arduino Uno SMD Rev3 zobrazené na obrázku 2.1 bylo jasnou volbou především díky ceně, open-source distribucí a jednoduchostí tvorby programu. Stejnomený vývojový software Arduino využívá jazyku C a díky rozšířenosti společnosti a komunity je aplikace tohoto programu velmi snadná. Vývojový kit je složen z mikrokontroleru ATmega328, který poháněný krystalem o taktu 16MHz, 6 analogových vstupů, 14 digitálních z nichž je 6 možné použít pro PWM,



Obrázek 2.1 – Arduino Uno SMD Rev3

Napájecí piny jsou:

- VIN. Vstupní napětí do desky Arduino při použití externího napájecího zdroje (na rozdíl od 5 V z připojení USB nebo jiného regulovaného zdroje napájení). Napájecí napětí může být napájeno tímto pinem, nebo pokud je přivedeno napětí přes napájecí konektor, vynecháme přes tento pin.
- 5V. Tento pin vysílá regulované napětí 5 V z regulátoru na desce. Desku lze napájet buď ze stejnosměrného napájecího konektoru (7 V ÷ 12 V), USB konektoru (5 V) nebo VIN konektoru desky (7 V ÷ 12 V). Napájecí napětí přes 5 V nebo 3,3 V piny obchází regulátor a může poškodit desku. Není doporučeno.
- 3V3. Napájení 3,3 V generované integrovaným regulátorem. Maximální odběr proudu je 50 mA.
- GND. Zemnicí piny.

2.1.2 Paměť

ATmega328 má 32 kB (pro bootloader je použito 0,5 kB). Má také 2 kB SRAM a 1 kB EEPROM (které lze číst a zapisovat do knihovny EEPROM) (Arduino, 2017).

2.1.3 Vstup a výstup

Každý ze 14 digitálních pinů na jednotce Uno může být použit jako vstup nebo výstup pomocí funkcí `pinMode()`, `digitalWrite()` a `digitalRead()`. Pracují na 5 V. Každý pin může poskytovat nebo přijímat maximálně 40 mA a má vnitřní odpínač (odpojený ve výchozím nastavení) 20-50 kHz. Navíc některé piny mají speciální funkce:

- Sériové: 0 (RX) a 1 (TX). Používá se k přijímání (RX) a přenosu (TX) sériových dat TTL. Tyto kolíky jsou připojeny k odpovídajícím pinům ATmega16U2 USB-to-TTL sériového čipu.
- Externí přerušení: 2 a 3. Tyto piny mohou být konfigurovány tak, aby spouštěly přerušení na nízké hodnotě, na náběžné nebo sestupné hraně nebo na změně hodnoty. Podrobnosti viz funkce `attachInterrupt()`.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 a 11. Zajišťuje 8bitový výstup PWM (pulzně šířková modulace) s funkcí `analogWrite()`.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Tyto piny podporují komunikaci SPI pomocí knihovny SPI.

- LED: 13. Vestavěná LED dioda je připojena k digitálnímu pin 13. Když je pin na logické úrovni HIGH, LED svítí, když je pin na logické úrovni LOW, je vypnut (Arduino, 2017).

ATmega 328

(PCINT14/RESET) PC6	□ 1	[A5]28	□ PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	□ 2[0] ^{RX}	[A4]27	□ PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	□ 3[1] ^{TX}	[A3]26	□ PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	□ 4[2]	[A2]25	□ PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	□ 5[3]~	[A1]24	□ PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	□ 6[4]	[A0]23	□ PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	□ 7	22	□ GND
GND	□ 8	21	□ AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	□ 9	20	□ AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	□ 10	[13]19	□ PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	□ 11[5]~	[12]18	□ PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	□ 12[6]~	~[11]17	□ PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	□ 13[7]	~[10]16	□ PB2 (\overline{SS} /OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	□ 14[8]	~[9]15	□ PB1 (OC1A/PCINT1)

~ = PWM

Obrázek 2.3 – Popis pinů mikrokontroleru ATmega 328

Uno má 6 analogových vstupů označených A0 až A5, z nichž každý poskytuje 10bitové rozlišení (tj. 1024 různých hodnot). Ve výchozím nastavení měří od GND na 5 V, ačkoli je možné změnit horní hranici jejich rozsahu pomocí AREF pin a analogReference() funkce. Navíc některé kolíky mají specializované funkce:

- TWI: pin A4 nebo SDA a pin A5 nebo SCL. Podporujte komunikaci TWI pomocí knihovny Wire.

Na desce je pár dalších pinů:

- AREF. Referenční napětí pro analogové vstupy. Používá se s analogReference().
- Reset. Přineste tento pin na logickou úroveň LOW pro reset mikrokontroleru. Typicky se používá k přidání tlačítka resetování do nástaveb, tzv. shieldů, které blokují tlačítko na desce (Farnell, 2017).

2.1.4 Komunikace

Arduino Uno má řadu zařízení pro komunikaci s počítačem, jiným Arduinem nebo jinými mikrokontrolery. ATmega328 poskytuje sériovou komunikaci UART TTL (5 V), která je k dispozici na digitálních pinech 0 (RX) a 1 (TX). ATmega16U2 na desce vysílá tuto sériovou

komunikaci přes USB a objevuje se jako virtuální počítačový port pro software v počítači. Firmware 16U2 používá standardní ovladače USB COM a není potřeba žádný externí ovladač. V systému Windows je však vyžadován soubor INF. Software Arduino obsahuje sériový monitor, který umožňuje odesílání jednoduchých textových dat do a z desky Arduino. LED diody RX a TX na desce budou blikat, když budou data přenášena přes USB-to-Serial čip a USB připojení k počítači (ale ne pro sériovou komunikaci na digitálních pinech 0 a 1). Knihovna SoftwareSerial umožňuje sériovou komunikaci na libovolném digitálním pinu Uno. ATmega328 také podporuje komunikaci I2C (TWI) a SPI. Software Arduino obsahuje knihovnu Wire pro zjednodušení používání sběrnice I2C. Pro SPI komunikaci použijte knihovnu SPI (Farnell, 2017).

2.1.5 Programování

Arduino Uno lze programovat pomocí softwaru Arduino. ATmega328 na Arduino Uno je předběžně spuštěn s bootloaderem, který mu umožňuje nahrát nový kód bez použití externího hardwarového programátoru. Komunikuje pomocí původního protokolu STK500 (reference, soubory záhlaví C). Můžete také obejít bootloader a naprogramovat mikrokontroler prostřednictvím záhlaví ICSP (sériové programování v obvodu). Zdrojový kód firmware ATmega16U2 je k dispozici (Arduino, 2017).

2.1.6 Automatický (software) reset

Spíše než vyžadovat fyzické stisknutí tlačítka Reset před nahráním, Arduino Uno je navrženo tak, aby bylo možné jej resetovat softwarem běžícím na připojeném počítači. Jedna z linií řízení datového toku (DTR) ATmega16U2 je připojena k lince resetování ATmega328 přes 100nF kondenzátor. Když je tento řádek uplatněn (snížen), resetovací napětí klesne dostatečně dlouho, aby resetovalo čip. Software Arduino využívá tuto funkci, která umožňuje nahrát kód jednoduchým stisknutím tlačítka pro nahrávání v prostředí Arduino. To znamená, že bootloader může mít kratší časový limit, protože spuštění DTR může být dobře koordinováno se začátkem nahrávání. Toto nastavení má další důsledky. Když je Uno připojeno k počítači se systémem Mac OS X nebo Linux, obnoví se při každém připojení k němu ze softwaru (přes USB). Během následující půl sekundy běží bootloader na jednotce Uno. I když je naprogramováno ignorování chybně vytvořených dat (tj. všechno kromě nahrání nového kódu), prvních pár bajtů dat odeslaných do desky bude zablokováno po navázání spojení. Pokud skript spuštěný na desce obdrží při prvním spuštění jednorázovou konfiguraci nebo jiné údaje, je třeba se ujistit, že

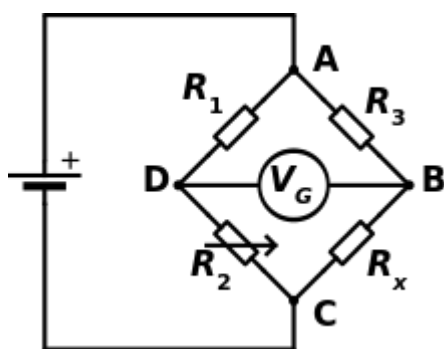
software, s nímž komunikuje, počká po otevření připojení a před odesláním těchto dat alespoň jednu sekundu. (Farnell, 2017).

2.1.7 Proudová ochrana USB

Arduino Uno má resetovatelnou pojistku, která chrání USB porty počítače před šokem a nadproudem. Přestože většina počítačů poskytuje vlastní vnitřní ochranu, pojistka poskytuje další vrstvu ochrany. Pokud je v portu USB použito více než 500 mA, pojistka automaticky přeruší připojení, dokud nebude zkratována nebo přetížena (Farnell, 2017).

2.2 SENZOR HMOTNOSTI – TENZOMETR

Jedná se o pasivní elektrotechnickou součástku používanou k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součástky prostřednictvím její deformace. Čidlo se dělí na odporové a polovodičové, přičemž jsou nalepena na povrch součástky (páskové tenzometry) nebo pevně spojeno s měřeným tělesem. V mém případě byla využita varianta, kde nosný prvek sloužící ke spojení posuvného rámu a navíjecího zařízení je též využit jako senzor váhy zdviženého břemene. Rozsah pro měření hmotnosti pomocí tenzometrů je $0.1 \div 5$ kg. Elektrické zapojení této součástky se obvykle realizuje přes Wheatstoneův můstek znázorněné na



Obrázek 2.4 – Zapojení tenzometru pomocí Wheatstoneova můstku

obrázku 2.4, kde rezistor R2 představuje samotný tenzometr a jeho změna pomocí deformace se též projevuje ve změně napětí v zobrazeném zapojení. Přičemž samotné zapojení má 3 varianty:

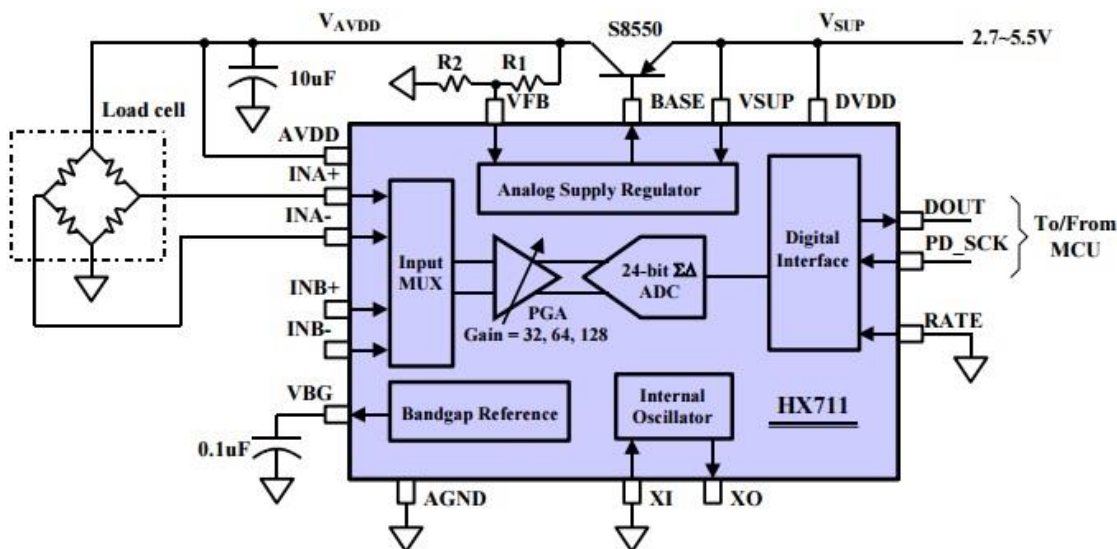
- Zapojení jednoho tenzometru do můstku,
- zapojení dvou do můstku pro částečnou kompenzaci vnějších vlivů,
- a zapojení plné, které poskytuje největší přesnost s nejmenším projevem nežádoucích jevů.

2.2.1 HX711

HX711 přesný 24bitový analogově-digitální převodník (ADC) určený pro vážení váhy a průmyslové řídicí aplikace pro rozhraní přímo s můstkovým senzorem. Vstupní multiplexer vybírá buď kanálový A, nebo B diferenciální vstup do zesilovače s nízkým šumem. Kanál A lze naprogramovat se zesílením 128 nebo 64, což odpovídá plnému rozdílu vstupního napětí $\pm 20\text{mV}$ nebo $\pm 40\text{mV}$, pokud je připojen napájecí zdroj 5V k analogovému zdroji napájení AVDD. Kanál B má pevné zesílení 32. Regulátor napájení na čipu eliminuje potřebu externího napájecího regulátoru, který poskytuje analogové napájení pro ADC a snímač. Vstup hodin je flexibilní. Může to být z externího zdroje hodin, krystalu nebo oscilátoru na čipu, který nevyžaduje žádné vnější součásti. Okruhy napájení na čipu usnadňují inicializaci digitálního rozhraní. Vnitřní registry nejsou nutné pro programování. Všechny ovládací prvky pro HX711 jsou přes piny. Zapojení tenzometru do převodníku je realizováno čtyřmi vodiči na piny – E+, E-, A+ a A-. Převodník je zapojen k Arduinou též čtyřmi vodiči – VCC, GND, DOUT a PD_SCK (Luboš, 2016).

2.2.2 Možnosti napájení

Digitální zdroj napájení (DVDD) by měl mít stejný zdroj napájení jako napájecí zdroj MCU. Při použití interního analogového napájecího regulátoru závisí napětí výpadku regulátoru na použitém externím tranzistoru. Toto napětí by mělo být navrženo s minimálním napětím 100mV pod VSUP. Pokud se nepoužívá analogový napájecí regulátor na čipu, pin VSUP by měl být připojen buď k AVDD nebo DVDD, v závislosti na tom, které napětí je vyšší. Pin VFB by měl být připojen k uzemnění a základna BASE se stane NC. Vnější obtokový kondenzátor 0,1uF na VBG výstupním pinu není tedy zapotřebí. Celé zapojení zobrazené na obrázku 2.5. Podrobnější popis pinů modulu HX711 v tabulce 2.1 (Avia, 2016).



Obrázek 2.5 – Typické blokové schéma aplikace hmotnostního senzoru

Tabulka 2.1 – Popis pinů HX711

Pin	Jméno	Funkce	Popis
1	VSUP	Napájení	Regulované napětí: 2,7 ÷ 5,5 V
2	BASE	Analogový výstup	Kontrola regulátoru výstup
3	AVDD	Napájení	Analogové napájení 2,6 ÷ 5,5 V
4	VFB	Analogový vstup	Kontrola regulátoru vstup
5	AGND	Země	Analogová zem
6	VBG	Analogový výstup	Obtokové referenční napětí
7	INA-	Analogový vstup	Vstup kanálu A negativní
8	INA+	Analogový vstup	Vstup kanálu A pozitivní
9	INB-	Analogový vstup	Vstup kanálu B negativní
10	INB+	Analogový vstup	Vstup kanálu B pozitivní
11	PD_SCK	Digitální vstup	Řízení napájení a vstup sériových hodin
12	DOUT	Digitální výstup	Výstup sériových dat
13	XO	Digitální vstup/výstup	Vstup/výstup krystalu
14	XI	Digitální vstup	Vstup/výstup krystalu nebo vnější vstup hodin; 0 pro použití oscilátoru na čipu
15	RATE	Digitální vstup	Řízení rychlosti výstupních dat
16	DVDD	Napájení	Digitální napájení 2,6 ÷ 5,5 V

2.2.3 Možnosti zdroje hodin

Připojením pinu XI k uzemnění je aktivován oscilátor na čipu. Nominální výstupní rychlost dat při použití interního oscilátoru je 10 SPS (RATE = 0) nebo 80 SPS (RATE = 1). Je-li zapotřebí přesné výstupní datové rychlosti, lze použít krystal nebo externí referenční hodiny. Krystal lze přímo připojit přes piny XI a XO. Externí hodiny mohou být připojeny k

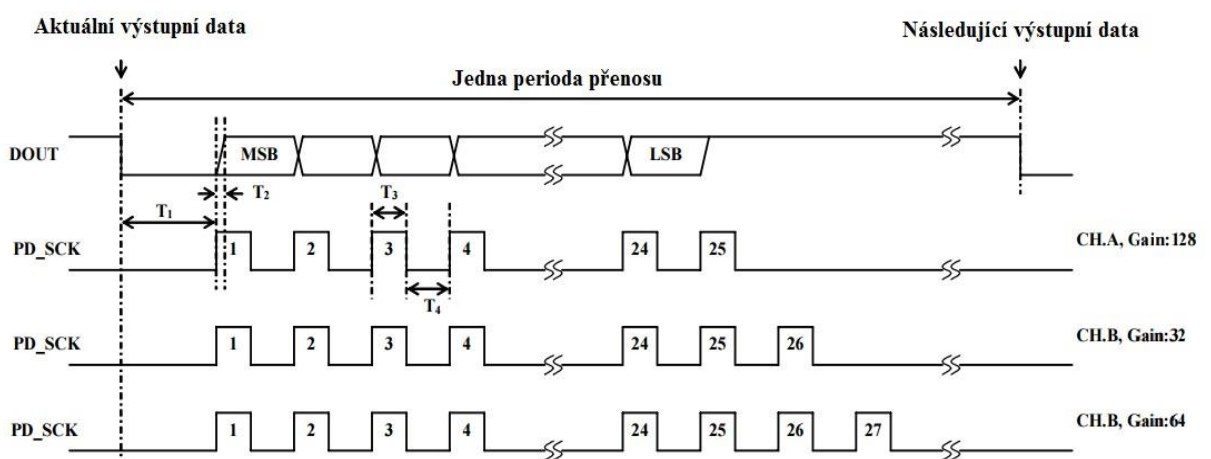
pinu XI, přes 20pF spojený kondenzátor. Tyto externí hodiny nemusí mít tvar čtvercové vlny. Může pocházet přímo z krystalového výstupního kolíku čipu MCU s amplitudou až 150 mV. Při použití krystalu nebo externích hodin se interní oscilátor automaticky vypne (Avia, 2016).

2.2.4 Výstupní rychlost a formát dat

Při použití oscilátoru na čipu je výstupní rychlost dat obvykle 10 SPS (RATE = 0) nebo 80 SPS (RATE = 1). Při použití externích hodin nebo krystalu je výstupní rychlost dat přímo úměrná frekvenci hodin nebo krystalů. Použitím 11.0592MHz hodin nebo krystalu je výsledná přesná výstupní datová rychlost 10 SPS (RATE = 0) nebo 80 SPS (RATE = 1). Výstup 24 bitů dat je ve formátu dvojkového doplňku. Když vstupní diferenciální signál přesáhne rozsah 24 bitů, výstupní data budou nasycena na 800000h (MIN) nebo 7FFFFFFh (MAX), dokud se vstupní signál nevrátí zpět do vstupního rozsahu (Avia, 2016).

2.2.5 Sériové rozhraní

Pin PD_SCK a DOUT se používají pro vyhledávání dat, volbu vstupu, výběr zesílení a ovládání vypnutí. Pokud výstupní data nejsou připravená k získání, je logická úroveň digitálního výstupního pinu DOUT vysoká. Sériový vstup hodin PD_SCK by měl mít nízkou logickou úroveň. Když hodnota DOUT klesne, znamená to, že data jsou připravená k načtení. Použitím 25 ~ 27 kladných hodinových impulzů na pinu PD_SCK se data vyvedou ze výstupního pinu DOUT. Každý impuls PD_SCK posune jeden bit, počínaje nejprve bitem



Obrázek 2.6 – Výstup a vstup dat sériové komunikace, výběr časování, kanálu a zesílení

MSB, dokud nebude všech 24 bitů posunuto. 25. puls na vstupu PD_SCK vytáhne pin DOUT zpět na vysokou úroveň, podle obrázku 2.6 (Avia, 2016).

Jednotlivé časové konstanty vyhovující pro správný přenos dat sériové komunikace jsou popsány v následující tabulce 2.2.

Tabulka 2.2 – Časové konstanty sériového přenosu

Symbol	Poznámka	Min.	Typ.	Max.	Jednotky
T ₁	Od DOUT sestupné hrany po PD_SCK náběžnou hranu.	0,1			μs
T ₂	Od PD_SCK náběžné hrany po DOUT data připravena.			0,1	μs
T ₃	PD_SCK vysoká úroveň.	0,2	1	50	μs
T ₄	PD_SCK nízká úroveň.	0,2	1		μs

Dle tabulky 2.3 je volba vstupu a zesílení řízena počtem vstupních impulsů PD_SCK. Časové impulsy PD_SCK by neměly být menší než 25 nebo více než 27 v rámci období jedné konverze, aby nedošlo k chybě sériové komunikace (Avia, 2016).

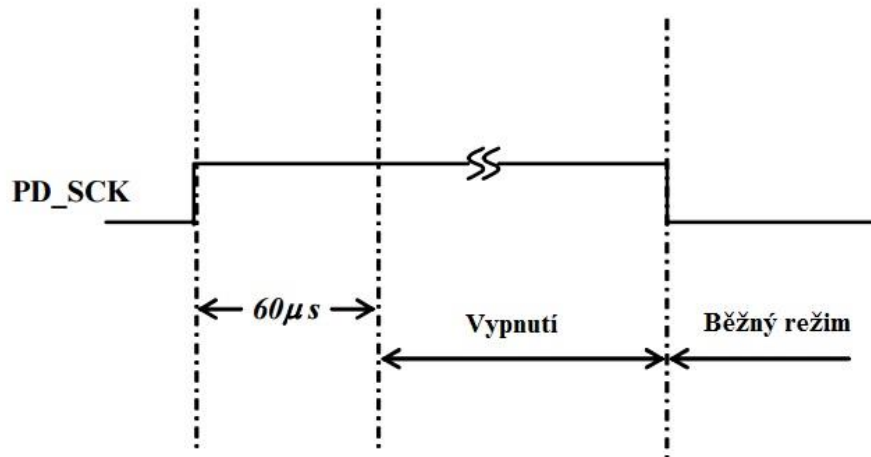
Tabulka 2.3 – Volba kanálu a zesílení počtem pulzů na PD_SCK

PD_SCK pulzy	Vstupní kanál	Zesílení
25	A	128
26	B	32
27	A	64

2.2.6 Reset a vypnutí

Když je čip zapnutý, na čipu napájení v klidovém obvodu resetuje čip. Pinový vstup PD_SCK slouží k vypnutí zařízení HX711. Pokud je vstup PD_SCK nízké logické úrovně, čip je v normálním pracovním režimu (Avia, 2016).

Když se pin PD_SCK změní z nízké úrovně na vysokou a zůstane tak déle než $60 \mu s$, HX711 vstoupí do režimu vypnutí, podrobněji popsáno na obrázku 2.7. Při použití vnitřního regulátoru pro HX711 a externí převodníku, bude HX711 i snímač vypnutý. Když se PD_SCK



Obrázek 2.7 – Ovládání vypnutí obvodu HX711 signálem PD_SCK

vrátí na nízkou úroveň, čip se resetuje a vstoupí do normálního provozního režimu. Po události vynulování nebo vypnutí je výběr vstupu výchozí pro Kanál A se zesílením 128 (Avia, 2016).

2.3 ZDVIH BŘEMENE

Pohonnou jednotkou pro náš modul je stejnosměrný motor se zabudovanou převodovkou a enkodérem, DFROBOT FIT0487 zobrazen na obrázku 2.8. Napájecí napětí činní 6 V DC, maximální pracovní proud 170 mA, 41 ot/min na hřídeli za převodovkou



Obrázek 2.8 – Stejnosměrný motor s převodovkou a enkodérem

s translačním poměrem 380:1 a maximální moment otáčení je 274 mNm. V porovnání s poměrem velikosti reálného portálového jeřábu vůči modelu jsem zvolil výšku zdvihu 0,6 m a rychlost zdvihu $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Buben, na kterém je navinuté lano, má průměr 3 cm, a tedy jedna otáčka činní cca 10 cm zdvihu. Doba zdvihu k nejvyššímu bodu zabere přibližně 30 sekund. Spojení mezi hřídelí bubnu a hřídelí motoru zajišťují 2 kolečka se silovým stykem, což také funguje jako ochranný prvek proti přetížení motoru. Při zapřáhnutí příliš těžkého břemene se kolečka prokluzují a nedochází k přenosu síly. Pro dosažení správné rychlosti zdvihu je poměr mezi průměry koleček, a tedy i jejichmi obvody, zvolen 3,41:1, kdy z 41 ot/min na motoru dosáhneme 12 ot/min na hřídeli bubnu. Dosažení nejvyššího bode je indikováno koncovým spínačem, který zabrání dalšímu navíjení a poškození soustrojí. Pro včasné zjištění dosažení maximálního zdvihu a následné částečné spuštění břemene zajišťuje funkce přerušování běhu systému. Nosné médium je vedeno středem snímače pro indikaci náklonu břemene. Řízení běhu motoru je realizováno pomocí 2 tlačítek v zapojení pull-up. Jedno tlačítko pro zdvih, druhé pro spuštění břemene (DFRobot, 2017).

2.3.1 DC motor

Motor využívá principu minimální energie. Ve vnitřním magnetickém poli se nachází smyčka, kterou protéká proud. Ten indukuje magnetické pole, které je vždy orientováno stejně jako vnější magnetické pole; toho je dosaženo díky komutátoru, který změni směr proudu smyčkou pokaždé, kdy dojde k překlopení. Energie této soustavy bude nižší, pokud budou magnetická pole orientována proti sobě. Proto působí na smyčku moment, který se ji snaží překlopit. Protože po překlopení se změni směr proudu protékajícího smyčkou, pokračuje toto pak dále (Roubíček, 2004).

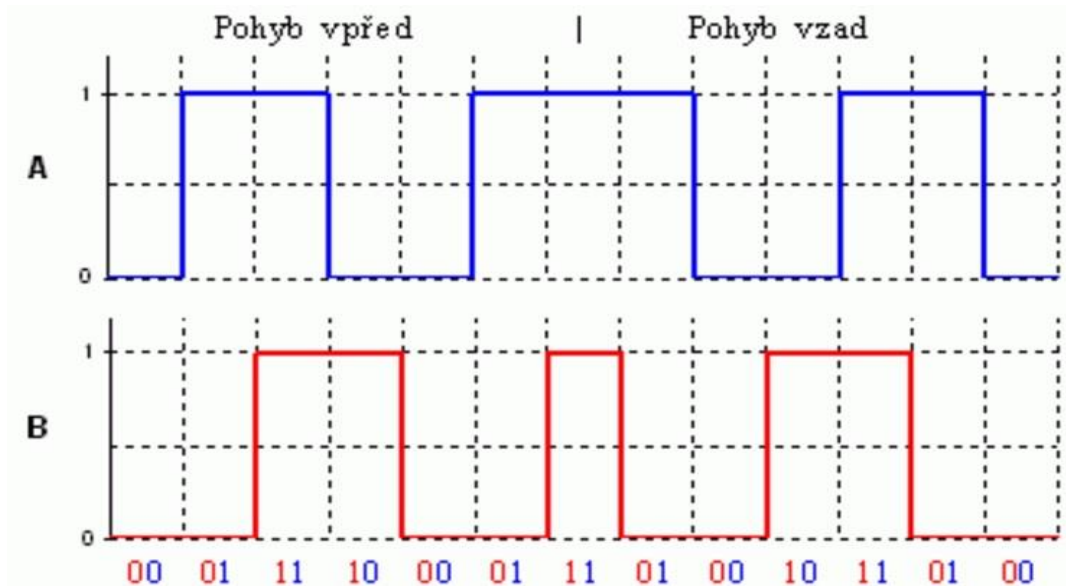
Další možné, ekvivalentní vysvětlení: Proud protékající smyčkou se chová stejně jako permanentní magnet, který se může otáčet. Díky komutátoru se navíc dvakrát za otáčku změni jeho polarita. Jelikož souhlasné póly magnetů se odpuzují, tak pokud je komutátor nastavený tak, že se polarita magnetů změni v okamžiku, kdy jsou si jejich opačné póly nejbližší, tak budou na pohyblivý magnet neustále působit síly, které ho budou nutit k pohybu (Roubíček, 2004).

2.4 ENKODÉR

Základním principem funkce enkodérů je měření přítomnosti či nepřítomnosti nějakého dobře detekovatelného materiálu na otáčejícím se kolečku. V případě tachometru pro jízdní kolo je to magnet, v případě kuličkové myši je to díra v kolečku (Dlouhý, 2010).

2.4.1 Způsoby dekódování

Při pohybu generuje výstup enkodéru během jedné periody 4 různé stavy, viz obrázek 2.9.



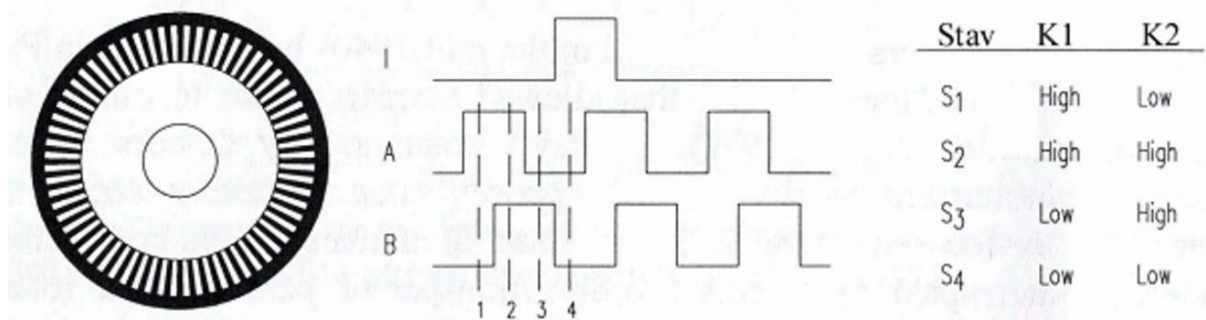
Obrázek 2.9 – Generování signálu enkodéru na kanálech A a B

Pokud provádíme zpracování pouze při jedné změně signálu A (např. při vzestupné hraně) a signál B použijeme pouze pro určení směru pohybu, pak je rozlišení snímače přímo rovno počtu štěrbin, či odrazových plošek. Hlavně u amatérsky vyráběných enkodéru ovšem bývá základní rozlišení příliš nízké, proto je možné využít dělení celé periody na části. Při využití obou hran kanálu A získáme dvojnásobné rozlišení a při využití obou hran kanálu A i B dokonce čtyřnásobné rozlišení (Locker, 2009).

Existuje mnoho způsobů identifikace rotace v jednom či opačném směru, avšak hlavní rozdělení enkodérů je na inkrementální a absolutní.

2.4.2 Inkrementální snímání

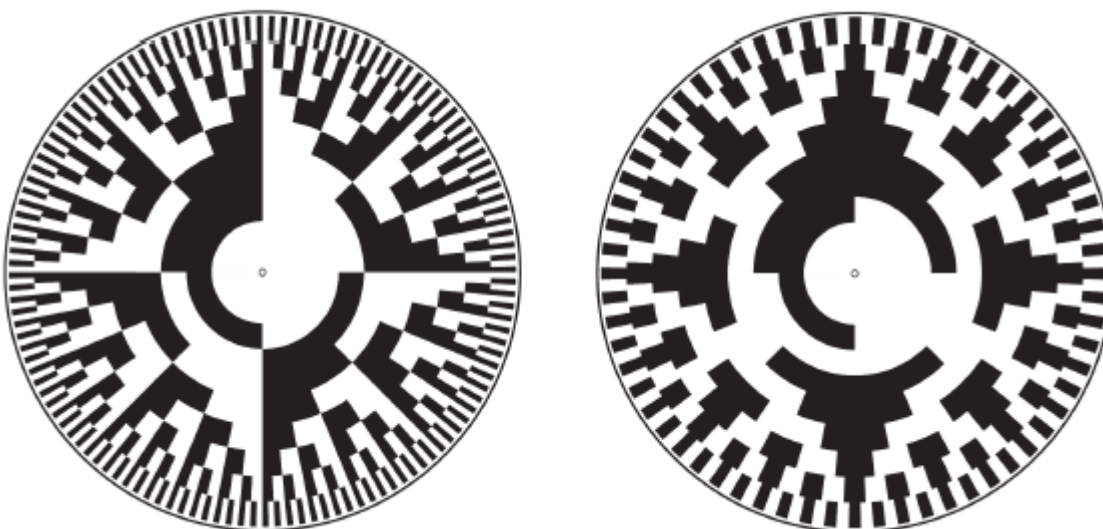
Inkrementální (kvadrurní) snímače pracují na principu čítače, kdy se hodnota v jenom směru zvyšuje a v opačném zase snižuje. Po dosažení celé otáčky se čítač nevynuluje, ale inkrementuje dál. Výstupem inkrementálního enkodéru jsou dva fázově posunuté signály A, B viz obrázek 2.10. Díky tomu je možno kromě počtu „tiků“ tj. pootočení určit i směr pohybu (Locker, 2009).



Obrázek 2.10 – Popis funkce inkrementálního snímače

2.4.3 Absolutní snímání

Funkce absolutního čítače pracuje na principu, kdy každá pozice pootočení má svoji hodnotu. Nejčastěji se jedná o děrované kolečko, skrze které svítí optický vysílač podle vzorce propuštěného světla je určena hodnota polohy. Rozlišení se udává ve dvojkové soustavě nebo Grayovým kódem pro jednodušší implementaci, zobrazeno na obrázku 2.11 (Skalka, 2011).



Obrázek 2.11 – Disky osmibitových absolutních enkodérů: vlevo binární kód, vpravo Grayův kód.
Černé plochy odpovídají hodnotě 0, bílé hodnotě 1

2.4.4 Způsoby zpracování signálu

Asynchronní

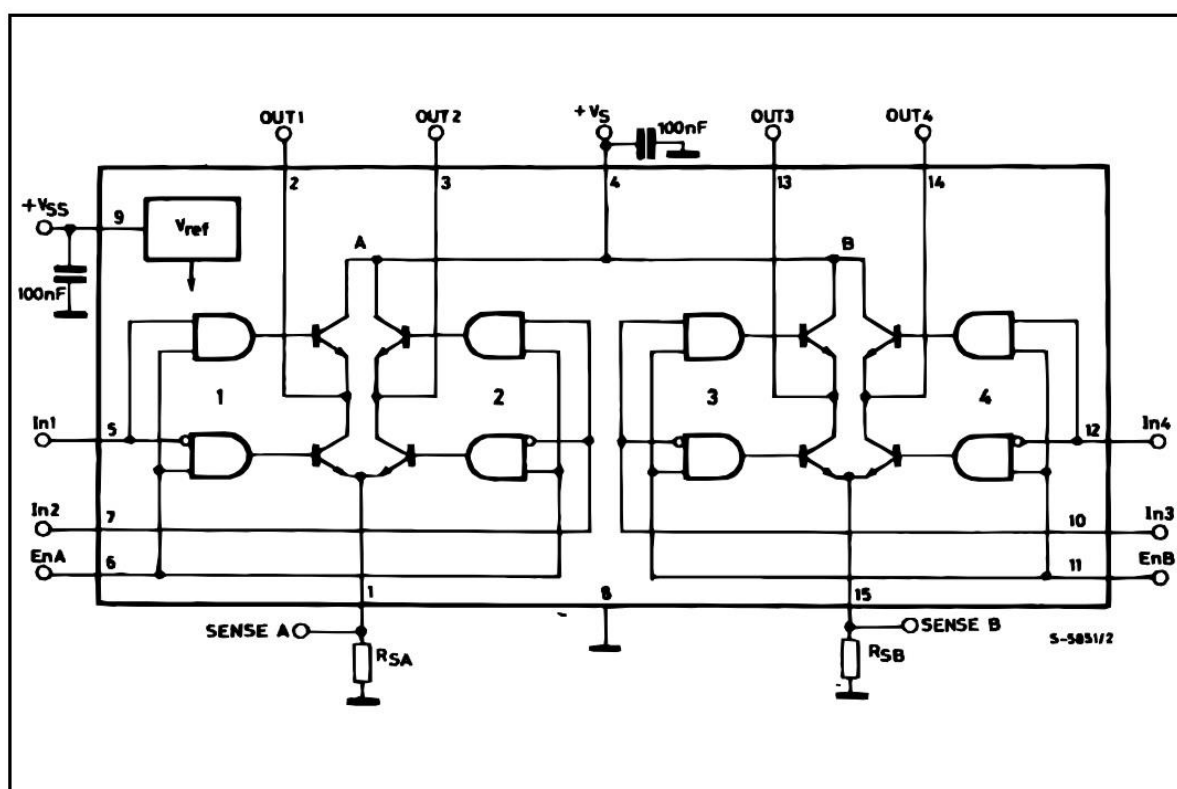
Při asynchronním zpracování se používá jeden nebo oba signály skrze připojení na vstup mikrokontroleru, který poskytuje funkci generování přerušení. Hrana pro spuštění přerušení je volitelná, nejčastěji se volí změna hrany. Rozlišení je určeno počtem kanálů využívající přerušení. Při použití jednoho kanálu je rozlišení dvojnásobné, při použití obou kanálů pro přerušení je rozlišení čtyřnásobné. Náročnost zpracování je přímo závislá na rychlosti otáčení, kdy při zvyšujících otáčkách roste počet impulzů, a tedy i počet přerušení. Pro ošetření zákmitů nelze využít filtry, a dokonce může nastat stav, kdy se enkodér zastaví na rozhraní stavů, kdy je generováno velké množství falešných impulzů (Locker, 2009).

Synchronní

Skrze periodické vyvolávání přerušení od časovače je vyhodnocení provedeno v daných časových okamžicích. Frekvence musí být minimálně vysoká jako frekvence generování pulzů změn stavů enkodéru, aneb čtyřnásobná při volbě přerušení pro oba kanály a dvojnásobná pro volbu přerušení pro jeden kanál. Pro zpracování je obstaráno v pravidelných intervalech což zatěžuje procesor i v klidovém stavu. Naopak filtrují zákmity při zastavení na hraně (Locker, 2009).

2.5 ŘÍZENÍ MOTORU

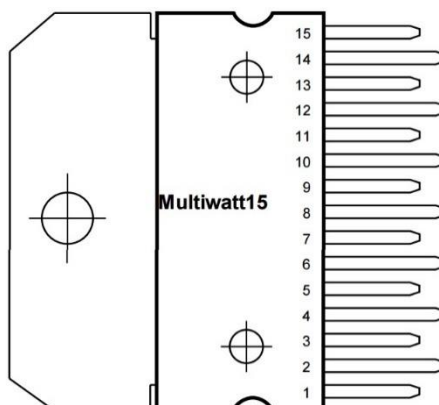
Hlavní součástí je řízení zdvihu břemene pomocí motoru, avšak pro jeho správnou aplikaci je třeba zakomponovat dvojitý plný H-můstek umožňující zpracování řídicích signálů z Arduina pro pohonné signály motoru. Jelikož piny poskytují maximální proud 40 mA, pro motor při odběru až 170 mA je možnost motor napájet přímo z Arduina vysoce nevhodná, musíme zvolit externí zdroj a řídicí logiku, která bude řízena ovládacími signály. Pro tyto účely jsme zvolili modul L298N, jehož blokové schéma je na obrázku 2.12. L298 (N označuje vertikální polohu integrovaného obvodu) je integrovaný monolitický obvod v 15vodičových sběrnicích Multiwatt, viz pouzdro 2.13. Jedná se o vysokonapěťový a proudový ovladač s dvojitým plným můstkem, který je navržen tak, aby přijímal standardní logické úrovně TTL a indukoval indukivní zátěže, jako jsou relé, solenoidy, DC a krokové motory. Pro zapnutí nebo



Obrázek 2.12 – Blokové schéma modulu L298N

vypnutí zařízení nezávisle na vstupních signálech jsou k dispozici dva povolené vstupy. Vysílače dolních tranzistorů každého můstku jsou vzájemně propojeny a příslušná vnější svorka může být použita pro připojení externího snímacího odporu. Přídavný zdrojový vstup je poskytován tak, aby logika fungovala při nižším napětí. Modul poskytuje nezávislé ovládání 2 DC motorů, my ho však využijeme pouze pro řízení jednoho motoru. Pin 9 (V_{SS}) má stabilizované napětí na 5 V, které využijeme jako napájení jak proudového senzoru, tak

joysticku. Pro snadnou regulaci otáček lze využít PWM. Úplný popis pinů v tabulce 2.4 (STMicroelectronics, 2000).



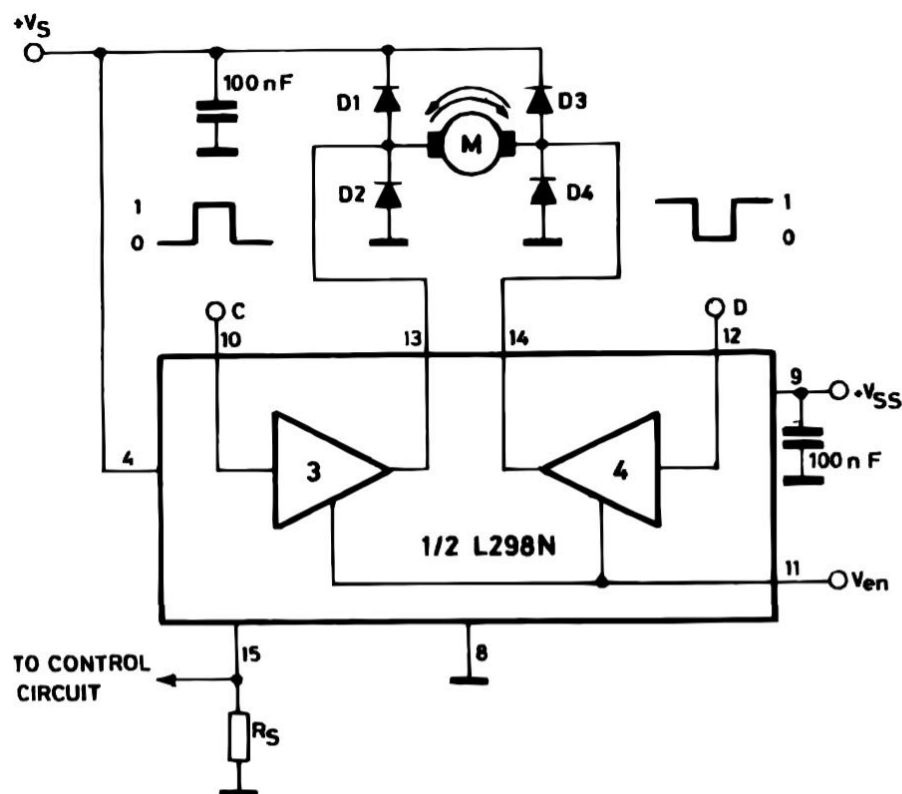
Obrázek 2.13 – Schéma vstupních/výstupních pinů L298

Tabulka 2.4 – Popis pinů L298

Jméno	Číslo	Popis
Proudové snímání A, B	1, 15	Mezi tímto pinem a zemí je připojen proudový senzor pro řízení proudu zátěže.
Výstup 1, 2	2, 3	Výstupy mostu A, proud mezi těmito piny je monitorován na pinu 1.
Povolení A, B	6, 11	Kompatibilní TTL vstup, nízká úroveň deaktivuje A(6) / B(11) most. Možno využít pro vstup PWM.
Napájecí napětí V_S	4	Napájecí napětí pro výkonové stupně. Musí být připojen 100nF kondenzátor se zemí.
Vstup 1, 2	5, 7	TTL kompatibilní vstupy mostu A.
Výstup 3, 4	13, 14	Výstupy mostu B, proud mezi těmito piny je monitorován na pinu 15.
GND	8	Uzemnění (musí být stejné s Arduinem).
Logické napájecí napětí V_{SS}	9	Napájecí napětí pro logické bloky. Musí být připojen 100nF kondenzátor se zemí.
Vstup 3, 4	10, 12	TTL kompatibilní vstupy mostu B.

Velký vliv na funkci motoru má pin V_{en} , který určuje mód běhu. Při vysoké logické úrovni (1) je směr rotace řízen vstupními piny. Při nízké logické úrovni je běh motoru dle

tabulky 2.5. Příklad řízení motoru vpřed a zpět je zobrazen na obrázku 2.14 (STMicroelectronics, 2000).



Obrázek 2.14 – Obousměrné řízení motoru, můstek B

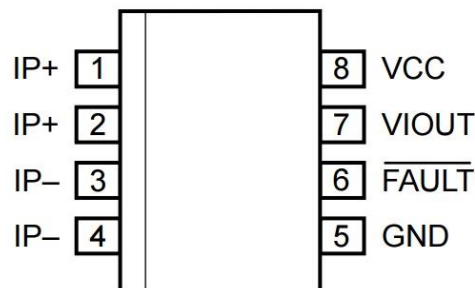
Tabulka 2.5 – Logické úrovně pro řízení motoru

Vstupy (H – vysoká úroveň, L – nízká úroveň, X – nezáleží)		Funkce
$V_{en} = H$	$C = H; D = L$	Vpřed
	$C = L; D = H$	Zpět
	$C = D$	Rychlé zastavení motoru
$V_{en} = L$	$C = X; D = X$	Volné zastavení motoru

2.6 SNÍMAČ PROUDU MOTOREM

Jelikož náš model obsahuje snímač hmotnosti břemene, tak je díky němu možné se znalostí určitých přenosových poměrů zjistit aktuální proud motorem. My jsme se však rozhodli tuto veličinu měřit dodatečným modulem přímo tomu určenému. Modul ACS711 s rozsahem měření $\pm 12,5$ A s napájením 5 VDC dosahuje citlivosti měření proudu 167 mV/A, při volbě VCC 3,3 V je citlivost měření 110 mV/A. Modul disponuje 2 svorkami IP+ a IP- pro zapojení vodiče, kterým chceme měřit proud a 4 piny pro zapojení k modulu Arduino – GND a VCC pro

napájení modulu, FAULT indikující přetečení proudu a VIOUT pro zjištění úrovně měřeného proudu. Pouzdro čipu s popisem pinů na obrázku 2.15 (Allegro MicroSystems, 2015).



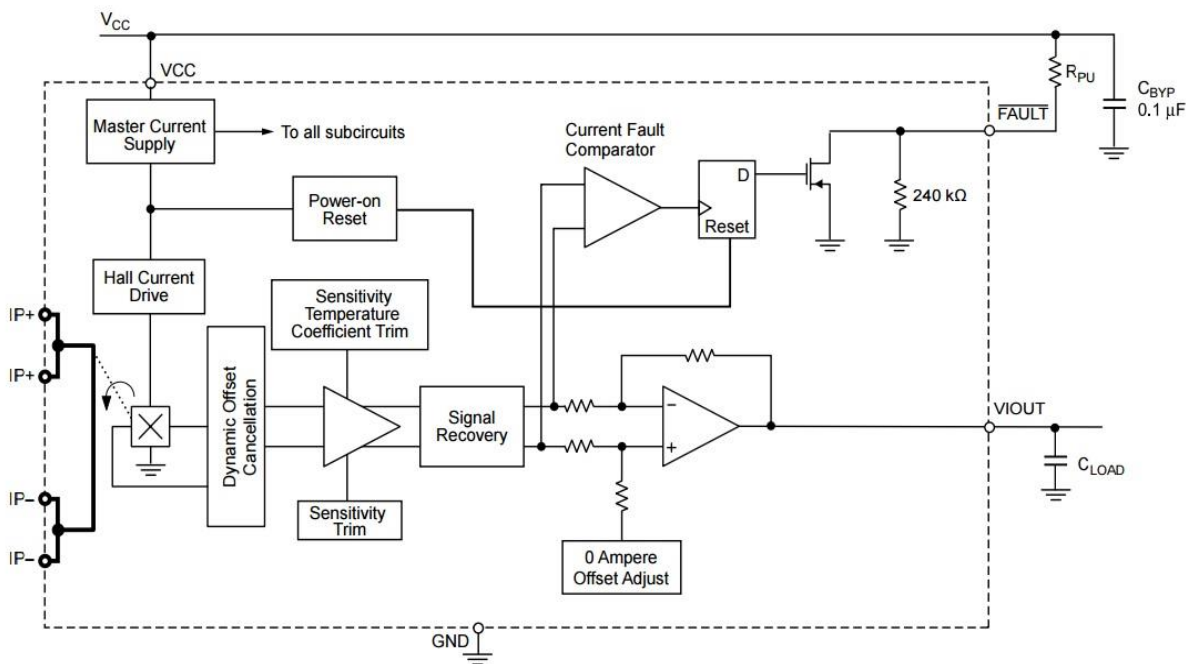
Obrázek 2.15 – Schéma vstupních/výstupních pinů ASC711 LC

Tabulka 2.6 – Popis pinů ASC711 LC

Jméno	Číslo	Popis
GND	5	Uzemnění zařízení
FAULT	6	Chyba přetečení rozsahu
IP-	3 a 4	Pin pro měření proudu, vnitřně spojeno
IP+	1 a 2	Pin pro měření proudu, vnitřně spojeno
VCC	8	Napájení zařízení
VIOUT	7	Výstupní napětí

Nulový proud na měřeném vodiči se vyznačuje polovičním napájecím napětím na pinu VIOUT, v mém případě 2,5 V. Maximální záporný proud (ve skutečnosti se jedná pouze o opačný směr proudu) se vyznačuje napětím 0 V a maximální kladný proud odpovídá napětí 5 V na pinu OUT. Přístroj sestává z lineárního obvodu Hallova sensoru s měděnou vodivou dráhou, která se nachází blízko povrchu matrice. Aplikovaný proud protékající touto měděnou vodivou dráhou generuje magnetické pole, které je detekováno integrovaným Hall IC a přeměněno na proporcionální napětí. Přesnost přístroje je optimalizována díky těsné blízkosti magnetického signálu k Hallově převodníku. Výstup přístroje má kladný sklon úměrný proudovému proudu z IP + na IP- (piny 1 a 2, piny 3 a 4). Vnitřní odpor této vodivé dráhy je 0,6 mΩ pro balík EX a 1,2 mΩ pro balík LC, což zajišťuje neinterzivní měření, které šetří energii v aplikacích vyžadujících energetickou účinnost. ACS711 je optimalizován pro nízkonapěťové aplikace pro snímání proudu, ačkoliv svorky vodivé dráhy jsou elektricky izolovány od vodičů snímačů IC a poskytují dostatečné vnitřní roztečové a odstupové rozměry pro nízké aplikace střídavého nebo stejnosměrného pracovního napětí. Tloušťka měděného

vodiče umožňuje přežít zařízení s až pětinasobnými nadproudovými podmínkami (Allegro Microsystems, 2015).



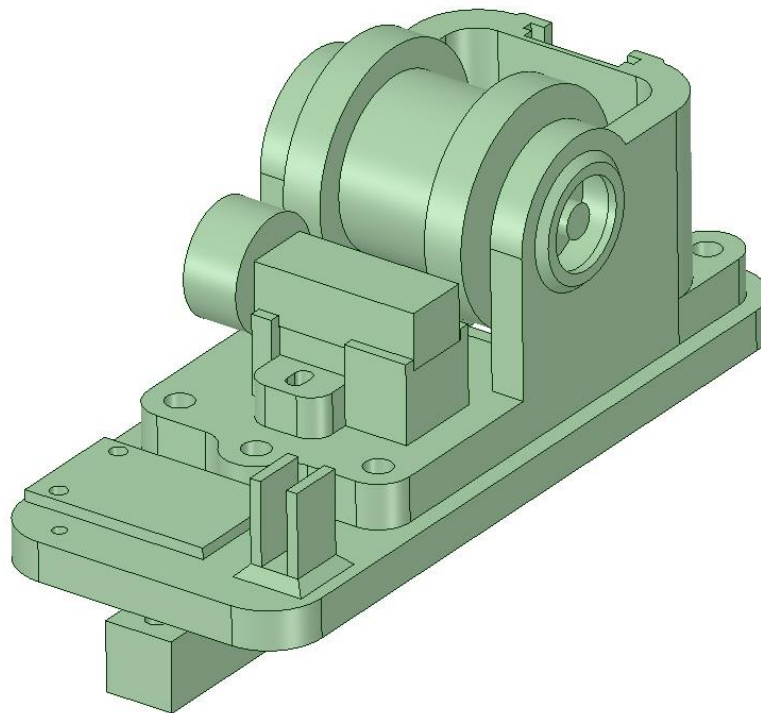
Obrázek 2.16 – Funkční blokové schéma ASC711

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 NÁVRH KONSTRUKCE MODELU

Konstrukce demonstrativního modelu oproti reálnému portálovému jeřábu je v měřítku 1:10. Pro ideální sestavení modelu jsem bylo využito vlastností 3D tiskárny, která poskytuje možnost produkce soustav. Jako modelovací program byl využit DesignSpark Mechanical, který nabízí přívětivé prostředí, ve kterém se kdokoliv snadno naučí, avšak zkušenosti s modelováním jsou jedinečnou výhodou. Software nabízí jednoduchý postup modelování pro jakoukoli mechanickou součást. Model se dělí na dvě části. Sensorovou část, ve které se vyskytují senzory elektrického proudu, výšky lana, hmotnosti břemene a jeho náklon v ose X a Y a celá navíjecí souprava. Druhá část je řídicí, kde se vyskytuje mikrokontroler Arduino Uno, dvojitý H-můstek pro řízení motoru a tlačítka pro řízení motoru vpřed či zpět. Přenos dat a signálů mezi těmito částmi je zajištěn sběrnici (Maixner, 2006).

V sensorové části, na obrázku 3.1, byl zkonstruován buben pro navíjení lana, nástavec pro usazení bubnu včetně slotu pro snímač proudu a otvoru pro posazení joysticku skrze který



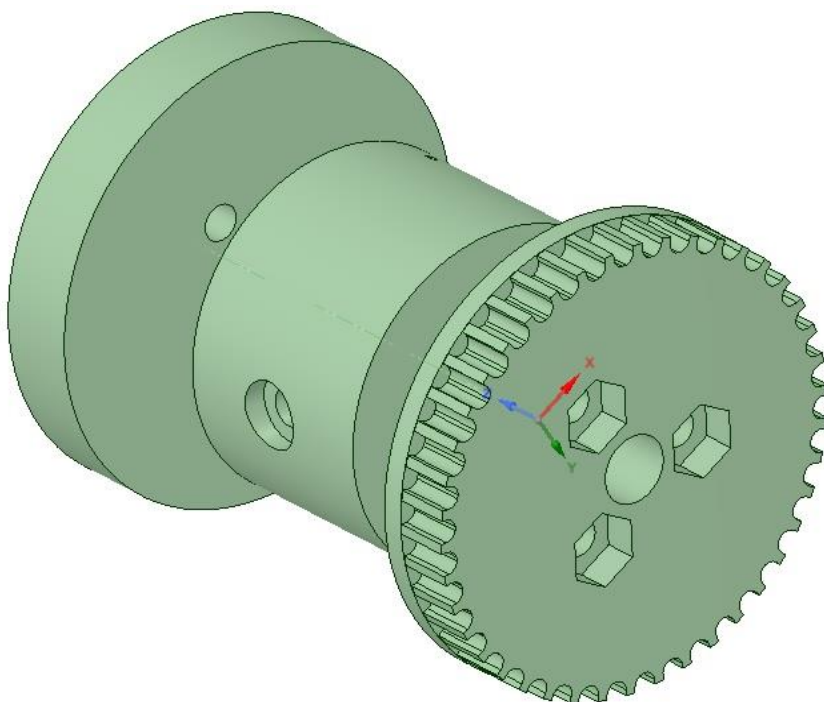
Obrázek 3.1 – Návrh celkového modelu sensorové části

bude vedeno tažné lano. Dále je tento nástavec na základně poskytující místo pro jeho upevnění a dále místo pro 24bitový A/D převodník, který je použit pro konverzi váhy z tenzometru, ke kterému je tato základna upevněna. Posledně pro zajištění přenosu síly z motoru na buben

navijáku je využito ozubených koleček v určitém poměru, který vyhovuje našim potřebám a je odvozen od rychlostí reálného portálového jeřábu.

3.1.1 Buben navijáku

Důležitým prvkem pro správnou aplikaci navijáku je buben, zobrazený na obrázku 3.2, na který bude tažený prvek, lano, navinuto v případě zdvihu břemene a odvinuto v případě jeho spouštění. Celý objekt je rozdělen do tří samostatných částí, a to z důvodu omezení pracovního postupu 3D tiskárny, který nedokáže vymodelovat plochu v prostoru bez pevné základny.



Obrázek 3.2 – Buben navijáku ve 3 dílech s ozubením obohacenou bočnicí

Objekt je složen ze dvou bočnic, jejichž hlavní funkce je omezení prostoru pro navíjené lano, a střední části, na kterou bude samotné lano navíjeno. Ta poskytuje otvor pro připevnění lana a otvor pro přístup k nosné hřídeli k fixaci v translačním pohybu a k eliminaci prokluzu v radiálním směru. Jedna bočnice upravena ozubením pro možný převod rotačního pohybu s motorem. Všechny tři části jsou spojeny šrouby a díky použití rozložitelných spojů je možné tento objekt kdykoliv rozebrat a zpětně složit. Průměr střední části je $d = 3$ cm, tudíž délka odvinutého/navinutého lana jedné celé otáčky bubnu je rovna jeho obvodu a činí:

$$o = \pi \cdot d = 9,42 \text{ cm} \quad (3.1)$$

kde o – obvod střední části bubnu, cm,

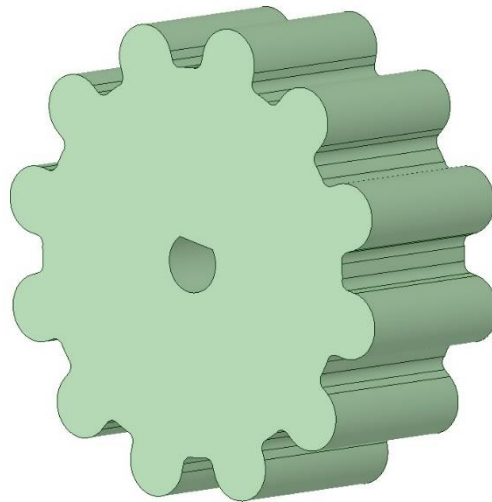
π – matematická konstanta,

d – poloměr střední části bubnu, cm.

Výška maximálního zdvihu je 60 cm, tedy 6,37 celých otáček bubnu. Pro dostatečnou rezervu byla délka lana vybrána 1 m. Nosný prvek celého bubnu je hřídel o průměru 6 mm, jejíž konce budou posazeny do ložisek o vnějším průměru 19 mm.

3.1.2 Spojení motoru s bubnem

Mechanické spojení pro přenos síly z motoru na buben navijáku je zajištěn skrze ozubená kola. Jedno ozubení, jak jsme již zmínili, je na bočnici bubnu, druhou částí je samotné ozubené kolo na hřídeli motoru, obrázek 3.3. Poměr počtu zubů v soukolí byl navržen tak, aby vyhovoval rychlosti zdvihu břemene.

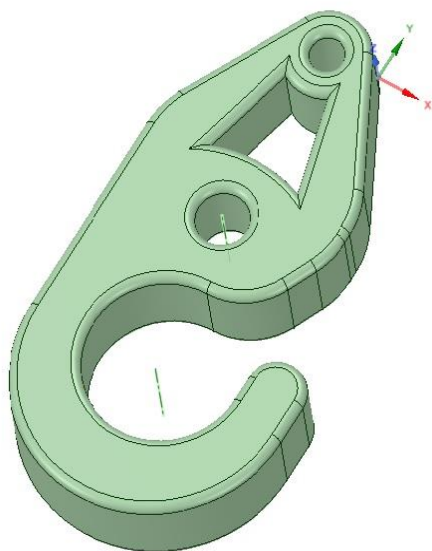


Obrázek 3.3 - Ozubené kolo na hřídeli motoru

3.1.3 Hák navijáku

Aby mohlo být břemeno vůbec připevněno k lanu navijáku, je potřeba mít hák, který vidíme na obrázku 3.4, poskytující bod pro snadné uchopení objektu. Pro náš účel není třeba,

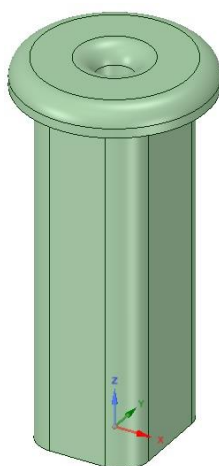
aby hák měl bezpečnostní pojítku proti vyháknutí, a tedy jediným vylepšením je otvor pro možnost přidání nějakého závaží, který by měl za úkol držet lano stále v napnutém stavu.



Obrázek 3.4 – Model háku navijáku

3.1.4 Přenos náklonu břemene

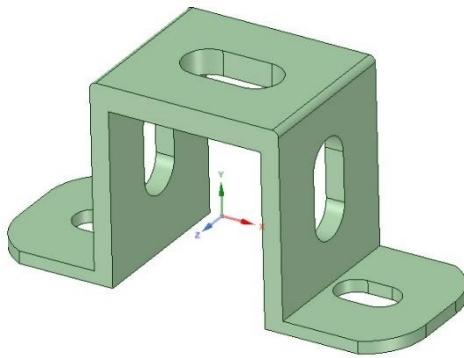
Osička joysticku, na kterou je obvykle nasazen „klobouček“ pro snadnou manipulaci, je pro přenos síly s dostatečnou citlivostí příliš krátká. Tudiž byl vytvořen vodící prvek na obrázku 3.5, který je připevněn na osičku a skrze něj je vedeno tažné lano. Citlivost se tím zvýšila.



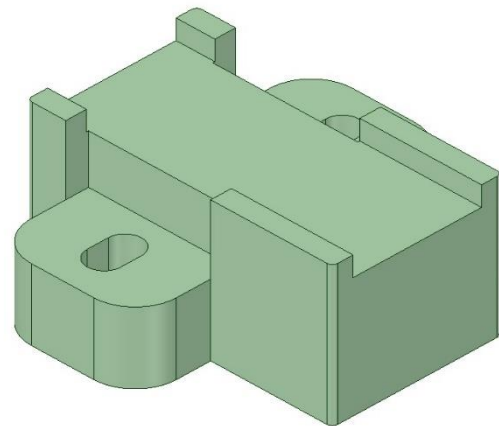
Obrázek 3.5 – Vodící prvek pro zvýšení citlivosti detekce náklonu

3.1.5 Upevnění motoru navijáku

Další částí navijáku je nevyhnutelně pohonná jednotka. Jelikož je potřeba aby buben navijáku byl v určité výšce a velikost převodového kola na motoru má větší průměr než průřez motoru, musel být pod něj vytvořen podstavec o určité výšce viditelný na obrázku 3.6. Samotná podstava se skládá ze základny pro motor s menším krajním vyvýšením pro částečnou fixaci polohy.



Obrázek 3.6 – Objímka s otvory pro šrouby k připevnění motoru

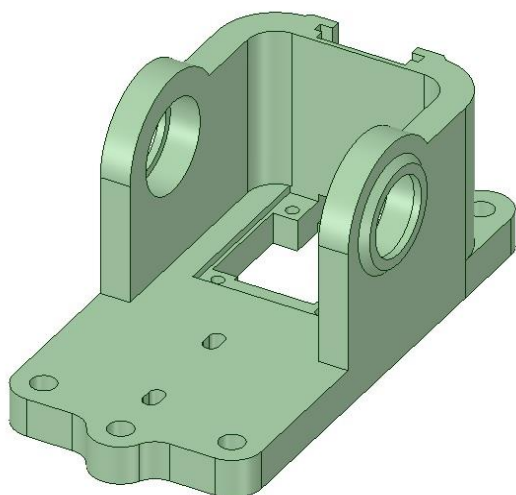


Obrázek 3.7 – Podstavec motoru pro jeho upevnění s možnou korekcí polohy

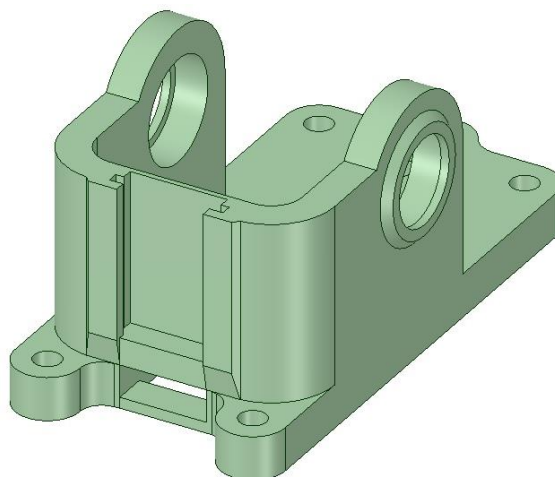
Hlavním upevňovacím prvkem pro úplnou fixaci ve směru kolmém vůči rotaci osy motoru, je jednoduchá objímka, zobrazena na obrázku 3.7, která se přišroubuje jak k podstavci motoru, tak i k samotné základně navijáku. Jelikož je velmi obtížné nalézt přesnou pozici pro správný převod ozubených kol, byl podstavec s držákem upraven 2mm protažením otvoru pro šrouby M3 ke korekci polohy ve směru kolmém vůči rotaci ozubených kol.

3.1.6 Nástavec pro naviják

Jelikož buben navijáku musí být na nosné ose která je vložena do ložisek a podstavec motoru musí být připevněn v určité vzdálenosti od bubnu, neobejdeme se bez nástavce, na obrázku 3.8, pro všechny tyto díly modelu. Nástavec dále poskytuje místo průchozí otvor pro



Obrázek 3.9 – Model nástavce (pohled zepředu) pro upevnění částí navijáku a průchozí otvor pro joystick snímající náklony břemene



Obrázek 3.8 – Model nástavce (pohled zezadu) pro usazení proudového snímače ACS711 s otvory pro pracovní piny joysticku

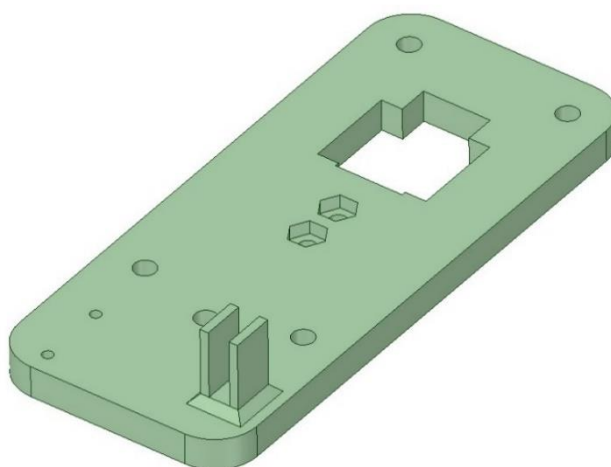
připevnění joysticku, jehož schéma zapojení je na obrázku 4.3, skrze který je vedeno tažné lano, a také místo pro usazení proudového snímače včetně prostoru pro vývod pracovních pinů joysticku zobrazených na obrázku 3.9.

Celý nástavec je připevněn k desce pěti šrouby M5. Volba oddělení nástavce od desky byla provedena ze dvou důvodů. V případě modifikace desky je usnadněna práce, jelikož je zachována kompatibilita těchto součástí a zároveň máme volnou ruku pro budoucí rozšíření. Druhým důvodem je postup výroby, kdy je výhodnější modifikovat/nahradit pouze části modelu než celý model v jednom uceleném objektu.

3.1.7 Nosná deska

Na obrázku 3.10 je další část soustavy, nosná deska poskytující 5 průchozích otvorů pro šrouby M5, které připevňují součást navijáku, včetně místa pro usazení joysticku. V přední části se vyskytují 2 díry pro možnost připevnění A/D převodníku HX711, jež je využit pro konverzi hodnot z tenzometru, který je upevněn pod touto deskou a je využit jako senzor hmotnosti, a i jako nosný prvek celé části modelu. Poslední částí je přihrádka pro usazení konektorů DuPont, ke kterým bude připojena sběrnice z výpočetní části modelu, která je uložena v separovaném

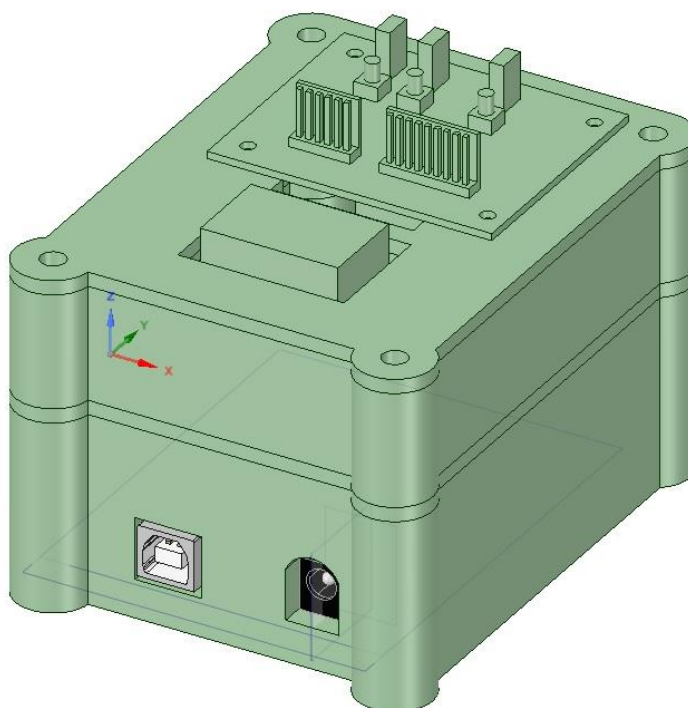
objektu. Všechny části, které jsou připevněny k této desce, mají zhloubení pro maticky daného rozměru a také všechny použité spoje jsou rozebratelné.



Obrázek 3.10 – Nosná deska modelu

3.1.8 Výpočetní část

Výpočetní část modelu, zobrazena na obrázku 3.11, je postavena na modulovém principu, kdy se jednotlivé díly dají různě kombinovat a je zde možnost jednoduchého rozšíření pomocí kompatibility dílů. Ve spodní části je uloženo Arduino Uno s přístupem pro napojení



Obrázek 3.11– Celková soustava dílů výpočetní součásti

USB a napájecího kabelu. Na obrázku 4.5 je vidno zapojení pinů k Arduino. Dalším dílem je podkladová deska pro upevnění L298N s větracími otvory a přístupem pro napojení sběrnice, ze které jsou napojeny všechny napájecí, signální a datové piny. Na něj je posazená střecha, která poskytuje otvor pro chladič z modulu L298N, místo pro snadné uchycení a plošný spoj, na kterém je zapojení tří tlačítek, viz schéma zapojení na obrázku 4.5. Dvě tlačítka jsou určena pro řízení motoru, třetí pro zadání požadavku na výpis hmotnosti zavěšeného břemene. Jeden konektor na desce poskytuje zapojení napájení a GND na sběrnici včetně napojení kondenzátoru o velikosti 20 nF pro datový signál z ACS711, který tento kondenzátor vyžaduje. Druhý poskytuje napájení a GND na desku a také snímání stavu tlačítek na desce. Celá soustava dílů je zpevněna šrouby M5 se zapuštěnými matickami ve spodní části.

4 SW ČÁST

4.1 OBSAZENÍ PINŮ ARDUINO UNO

Mikroprocesor zpracovává signály a data ze 13 různých pinů mikrokontroleru. Analogové vstupy A0, A1 a A2 porovnávají vstupní napětí s napětím referenčním vůči zemi, které je 5 V. Referenční napětí se dá změnit na pinu AREF. Vstupy A3 a A4 jsou jak řídicími piny pro výběr kanálu a zesílení na A/D převodníku HX711, přičemž datový pin přijímá 24bitovou sekvenci dat. Celkové obsazení je následující:

- Analogové vstupy/výstupy:
 - A0 – výstupní napětí snímače proudu,
 - A1 – výstupní napětí joysticku osy X,
 - A2 – výstupní napětí joysticku osy Y,
 - A3 – hodinový signál pro A/D převodník HX711,
 - A4 – datový signál pro A/D převodník HX711.
- Digitální vstupy/výstupy:
 - 2 – vstup úrovně koncového snímače na joysticku s povolením přerušování,
 - 3 – vstup enkodéru kanálu A s povolením přerušování,
 - 4 – vstup enkodéru kanálu B,
 - 5 – indikace stavu tlačítka UP,
 - 6 – indikace stavu tlačítka DOWN,
 - 7 – řízení pohonu motoru UP,
 - 8 – řízení pohonu motoru DOWN,
 - 9 – snímání požadavku na zobrazení váhy.

Celkové zapojení pinů Arduina je na obrázku 4.1. Digitální piny 2 a 3 využívají funkce přerušování, kdy za určitých podmínek nastavených v softwaru se současný řádek programu přeruší a vykoná se tak právě tento řádek s přerušováním. Pin 2 je vstup koncového spínače kdy nechceme, aby nedošlo k přetržení lana nebo poškození navijáku. Po dosažení je běh motoru zastaven a poté spustí břemeno cca o 6 cm. Stejně tak přerušování je využito pro enkodér kanál A, kdy nechceme, aby byl jakýkoliv pulz značící pootočení, byl vynechán. Podle příslušného postupu a kombinací signálu z kanálů A a B lze zjistit, jakým směrem se motor otáčí a tím tedy vypočítat délku navinutého/odvinutého lana. Indikace stavu tlačítka je provedena zapojením s pull-up rezistorem, tedy v klidovém stavu je na pinu vysoká logická úroveň (HIGH), při jeho stisku se úroveň sníží (LOW). Tato informace je dále zpracována a po dobu držení tlačítka je

posílán signál pro pohon motoru příslušným směrem. Analogové vstupy zpracovávají signál porovnáním napětí na pinu vůči zemi s maximálním rozsahem 5 V. Analogové napětí na pinu je převedeno do digitální hodnoty s 10bitovým rozlišením, tj. 1024 různých hodnot. Analogový vstup A0 je využit pro snímání napětí na výstupním pinu snímače proudu. Skrze převodové poměry (167 mV/A) lze napětí převést na hodnotu proudu. Měření je provedeno desetkrát za sebou pro dosažení průměrné hodnoty, která dokáže vyfiltrovat různé výkyvy. Vstupy A1 a A2 využívají podobného principu, jen s rozdílem použití jiného dělicího poměru pro zjištění úhlu náklonu.

V programu je též obsažena knihovna HX711, která poskytuje snadnou komunikaci se stejnojmenným 24bitovým A/D převodníkem. Ten je využit pro zpracování signálu z tenzometru, který je využit pro snímání hmotnosti břemene. Po zpracování signálu v modulu jsou data přes pin DT (A4) poslána v sériové komunikaci. Hodinový signál je poskytnut přes pin PD_SCK (A3) a počet datových pulzů je v rozsahu 25 ÷ 27 závislý na volbě kanálu a velikosti zesílení. (Voda, 2015)

Hardwarovým upravením je přidání filtrační složky typu dolní propust' pro ošetření zámků tlačítek realizované 10kΩ rezistorem a 100nF kondenzátorem. Ve schématu to jsou rezistory R1 až R3 a kondenzátory C1 až C3. Zapojení kondenzátoru C4 datového signálu z proudového snímače se zemí o velikosti 10 nF se též využívá pro odstranění šumu.

V programu se používají následující příkazy:

- pinMode() – nastavení pinu pro vstup nebo výstup,
- analogRead() – čtení hodnoty z analogového pinu,
- digitalRead() – čtení logické úrovně na digitálním pinu,
- digitalWrite() – nastavení logické úrovně na digitální pin,
- Serial.begin() – zahájení komunikace přes sériovou linku,
- Serial.print() – výpis proměnné či znaku do sériového monitoru,
- delay() – nastavení zpoždění v jednotkách ms,
- attachInterrupt() – nastavení přerušení pro určitý pin (Arduino Uno poskytnuto pouze u digitálních pinů 2 a 3), jméno příslušného podprogramu pro vykonání, nastavení indikace,
- detachInterrupt() – vypnutí přerušení pro určitý pin.

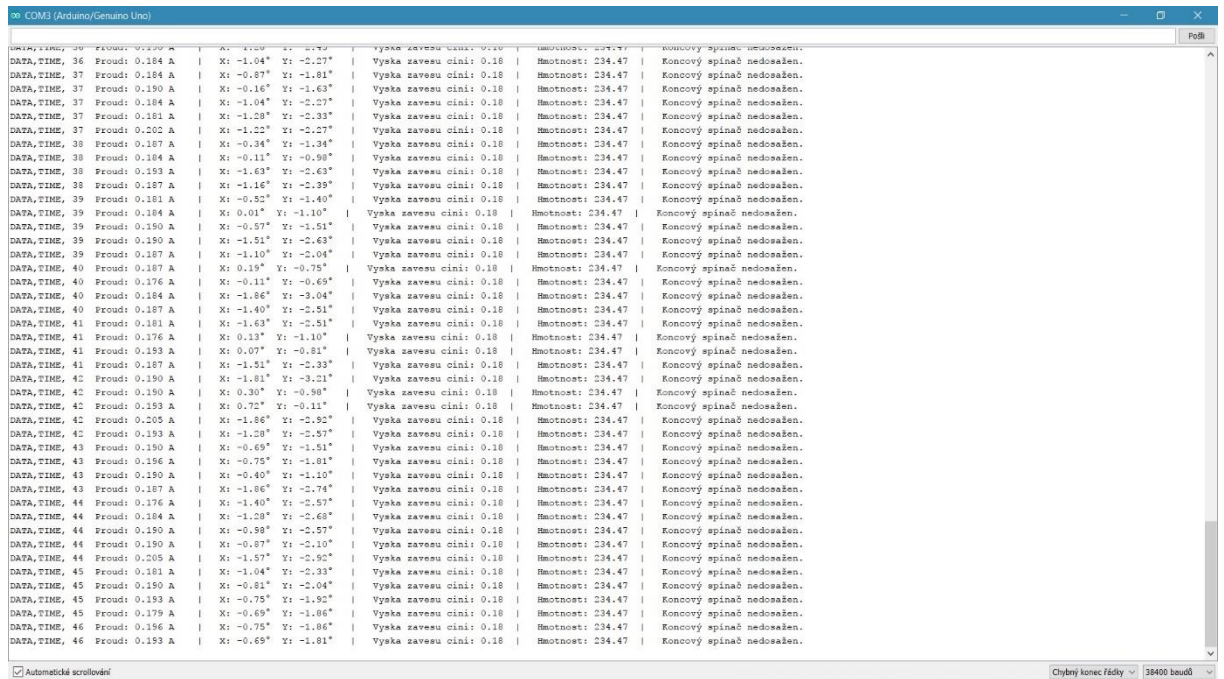
Příkazy používané výhradně pro knihovnu HX711:

- scale.set_gain() – výběr kanálu s příslušným zesílením (128, 64, 32),
- scale.read_average() – čtení a zprůměrování volitelného počtu měření.

4.2 EXPORT DAT

Všechny snímané proměnné lze vypsat a zobrazit v sériovém monitoru, avšak další zpracování těchto dat není možné bez použití externího softwaru. Data zobrazena na sériovém monitoru nemají žádný souborový systém, a tedy není možné je uložit do libovolného souboru pro další zpracování.

Data je tedy možné zobrazit dvěma způsoby. Skrze sériový monitor dostupný ve vývojovém softwaru Arduino, viz obrázek 4.1, kde je možné si navolit svůj způsob zobrazení.

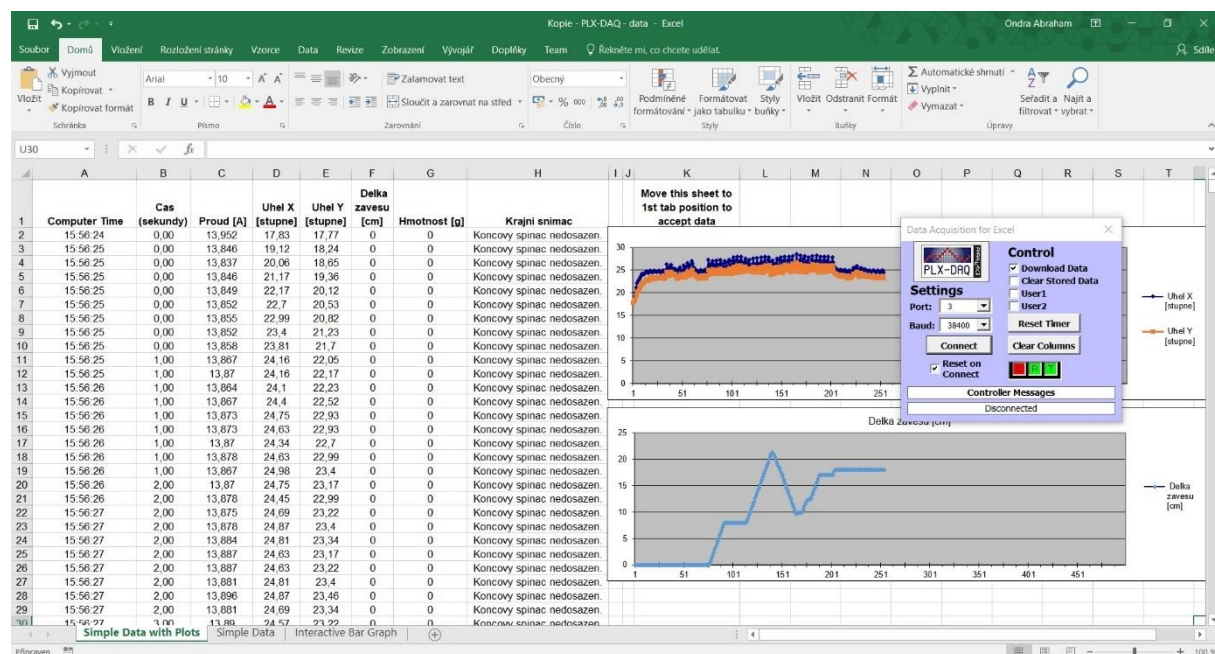


```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
DATA_TIME, 36 Proud: 0.184 A | X: -1.04° Y: -2.27° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 37 Proud: 0.184 A | X: -0.87° Y: -1.81° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 37 Proud: 0.190 A | X: -0.16° Y: -1.63° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 37 Proud: 0.184 A | X: -1.04° Y: -2.27° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 37 Proud: 0.181 A | X: -1.28° Y: -2.33° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 37 Proud: 0.202 A | X: -1.22° Y: -2.27° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 38 Proud: 0.187 A | X: -0.34° Y: -1.34° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 38 Proud: 0.184 A | X: -0.11° Y: -0.98° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 38 Proud: 0.193 A | X: -1.63° Y: -2.63° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 38 Proud: 0.187 A | X: -1.16° Y: -2.39° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 39 Proud: 0.184 A | X: -0.52° Y: -1.40° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 39 Proud: 0.184 A | X: 0.01° Y: -1.10° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 39 Proud: 0.190 A | X: -0.57° Y: -1.51° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 39 Proud: 0.190 A | X: -1.51° Y: -2.63° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 39 Proud: 0.187 A | X: -1.10° Y: -2.04° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 40 Proud: 0.187 A | X: 0.15° Y: -0.75° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 40 Proud: 0.176 A | X: -0.11° Y: -0.69° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 40 Proud: 0.184 A | X: -1.86° Y: -3.04° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 40 Proud: 0.187 A | X: -1.40° Y: -2.51° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 41 Proud: 0.181 A | X: -1.63° Y: -2.51° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 41 Proud: 0.176 A | X: 0.13° Y: -1.10° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 41 Proud: 0.193 A | X: 0.07° Y: -0.81° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 41 Proud: 0.187 A | X: -1.51° Y: -2.33° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 42 Proud: 0.190 A | X: -1.81° Y: -3.21° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 42 Proud: 0.190 A | X: 0.30° Y: -0.90° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 42 Proud: 0.193 A | X: 0.72° Y: -0.11° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 42 Proud: 0.205 A | X: -1.86° Y: -2.92° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 42 Proud: 0.193 A | X: -1.28° Y: -2.57° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 43 Proud: 0.190 A | X: -0.69° Y: -1.51° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 43 Proud: 0.196 A | X: -0.75° Y: -1.81° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 43 Proud: 0.190 A | X: -0.40° Y: -1.10° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 43 Proud: 0.187 A | X: -1.86° Y: -2.94° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 44 Proud: 0.176 A | X: -1.40° Y: -2.57° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 44 Proud: 0.184 A | X: -1.28° Y: -2.68° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 44 Proud: 0.190 A | X: -0.98° Y: -2.57° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 44 Proud: 0.190 A | X: -0.87° Y: -2.10° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 44 Proud: 0.205 A | X: -1.87° Y: -2.92° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 45 Proud: 0.181 A | X: -1.04° Y: -2.33° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 45 Proud: 0.190 A | X: -0.84° Y: -2.04° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 45 Proud: 0.193 A | X: -0.75° Y: -1.92° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 45 Proud: 0.179 A | X: -0.69° Y: -1.86° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 46 Proud: 0.196 A | X: -0.75° Y: -1.86° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
DATA_TIME, 46 Proud: 0.193 A | X: -0.69° Y: -1.81° | Vyska zavesu cini: 0.18 | Hmotnost: 234.47 | Koncovy spinaš nedosažen.
```

Obrázek 4.1 – Příklad zobrazení dat ze senzorů pomocí sériového monitoru

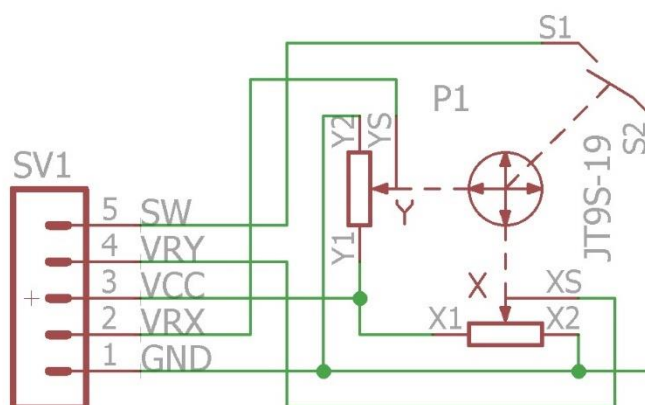
Další zpracování dat v jiném prostředí je možné pouze po exportu dat do formy se známým systémovým souborem. K tomu slouží další software, PLX-DAQ, který poskytuje přenos dat v reálném čase, která je možné efektivně a jednoduše zpracovat, zobrazeno na obrázku 4.2. Data jsou posílána a zpracována 10krát za sekundu pro dostatečně přesné zobrazení údajů, jejichž rychlost je pro mé potřeby dostačující.

Software PLX-DAQ (Parallax Data Acquisition) poskytuje nástroj pro zobrazení a uložení dat do softwaru Microsoft Excel z libovolného mikrokontroleru. Maximální počet kanálů je 26 a data jsou přenesena do sloupců. Tímto je možné získat tabulkovou analýzu, laboratorní analýzu senzorů, nebo sledování dat v reálném čase (Parallax Inc, 2017).

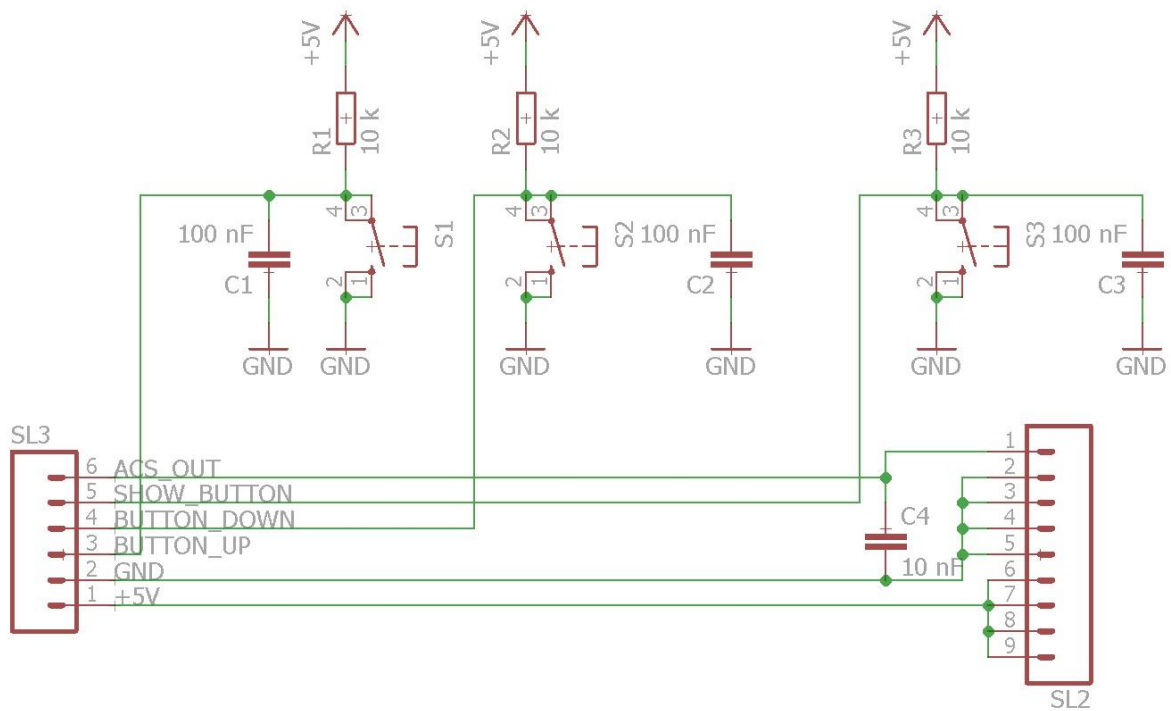


Obrázek 4.2 – Příklad exportu dat do Excelu pomocí PLX-DAQ

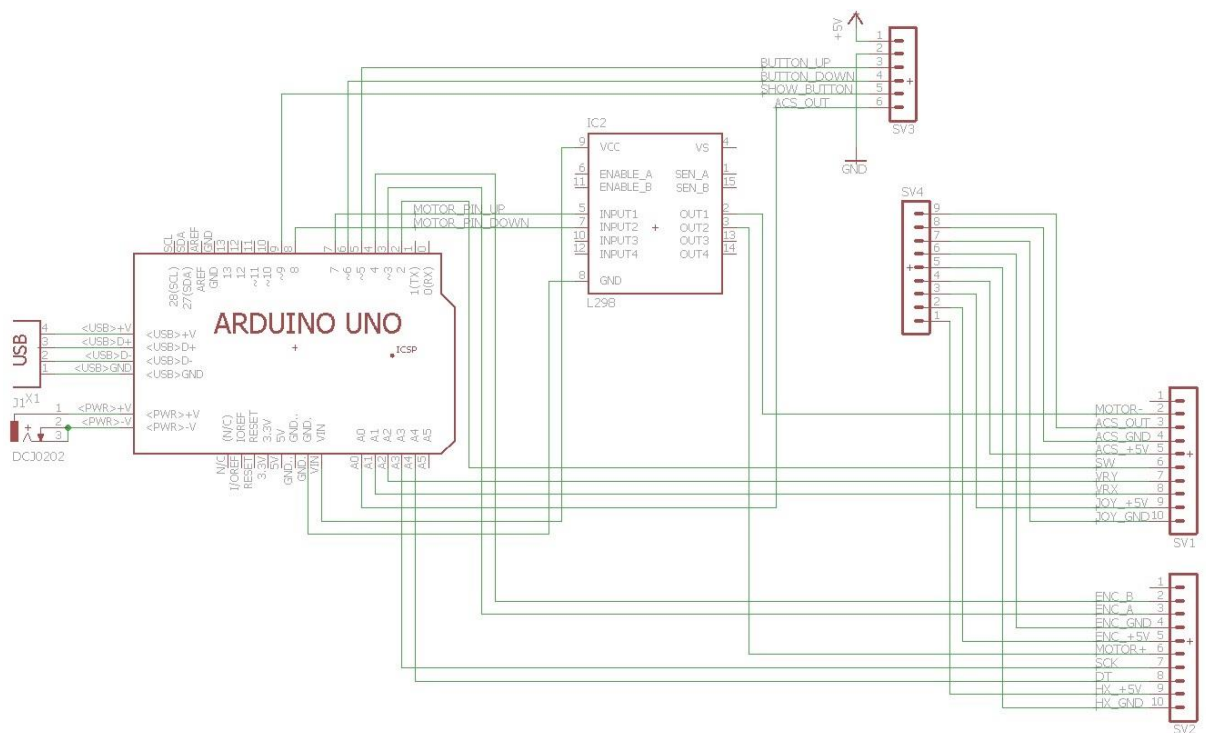
4.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obrázek 4.3 – Vlastní schéma zapojení joysticku

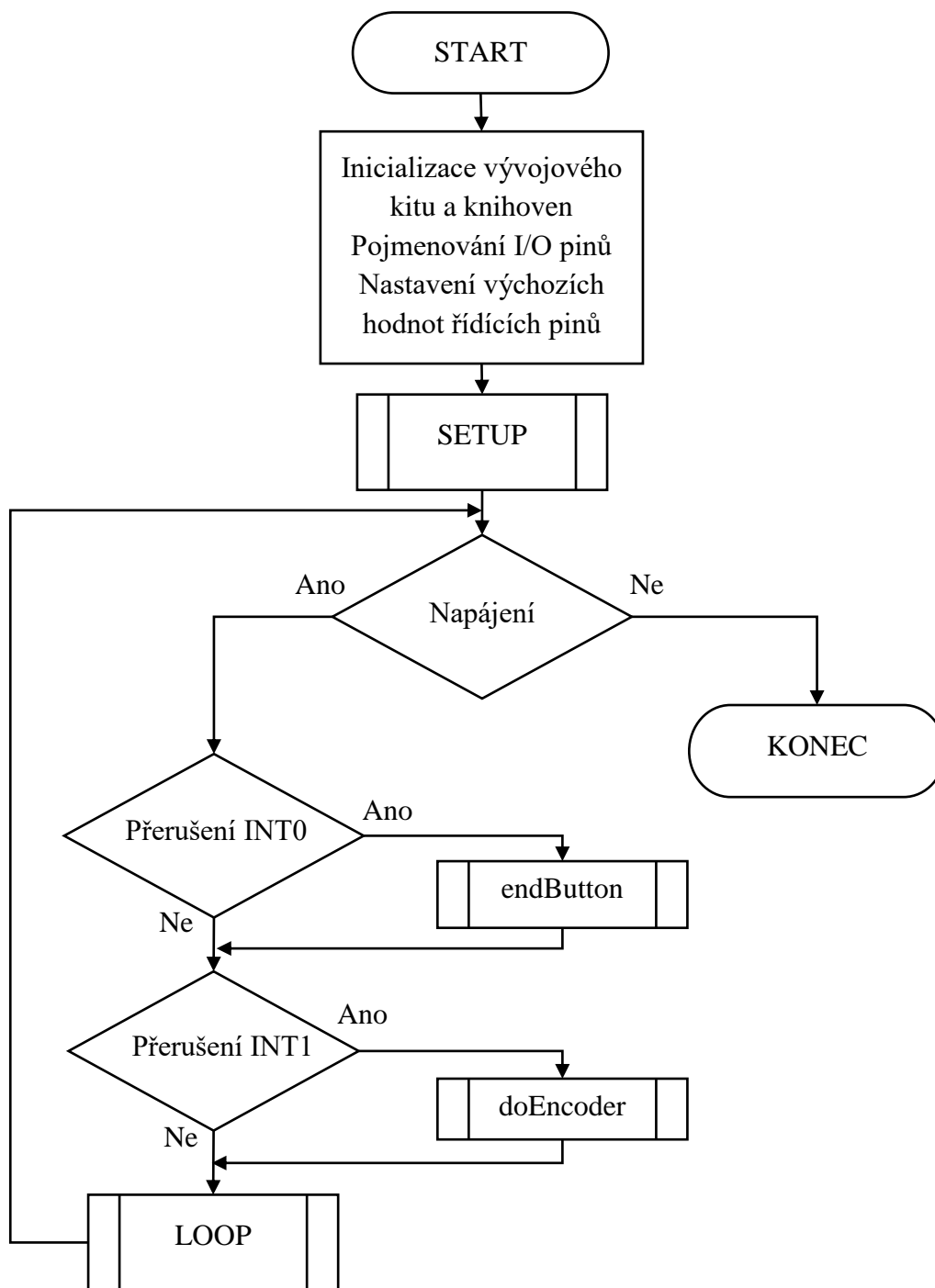


Obrázek 4.5 – Schéma zapojení desky s tlačítky

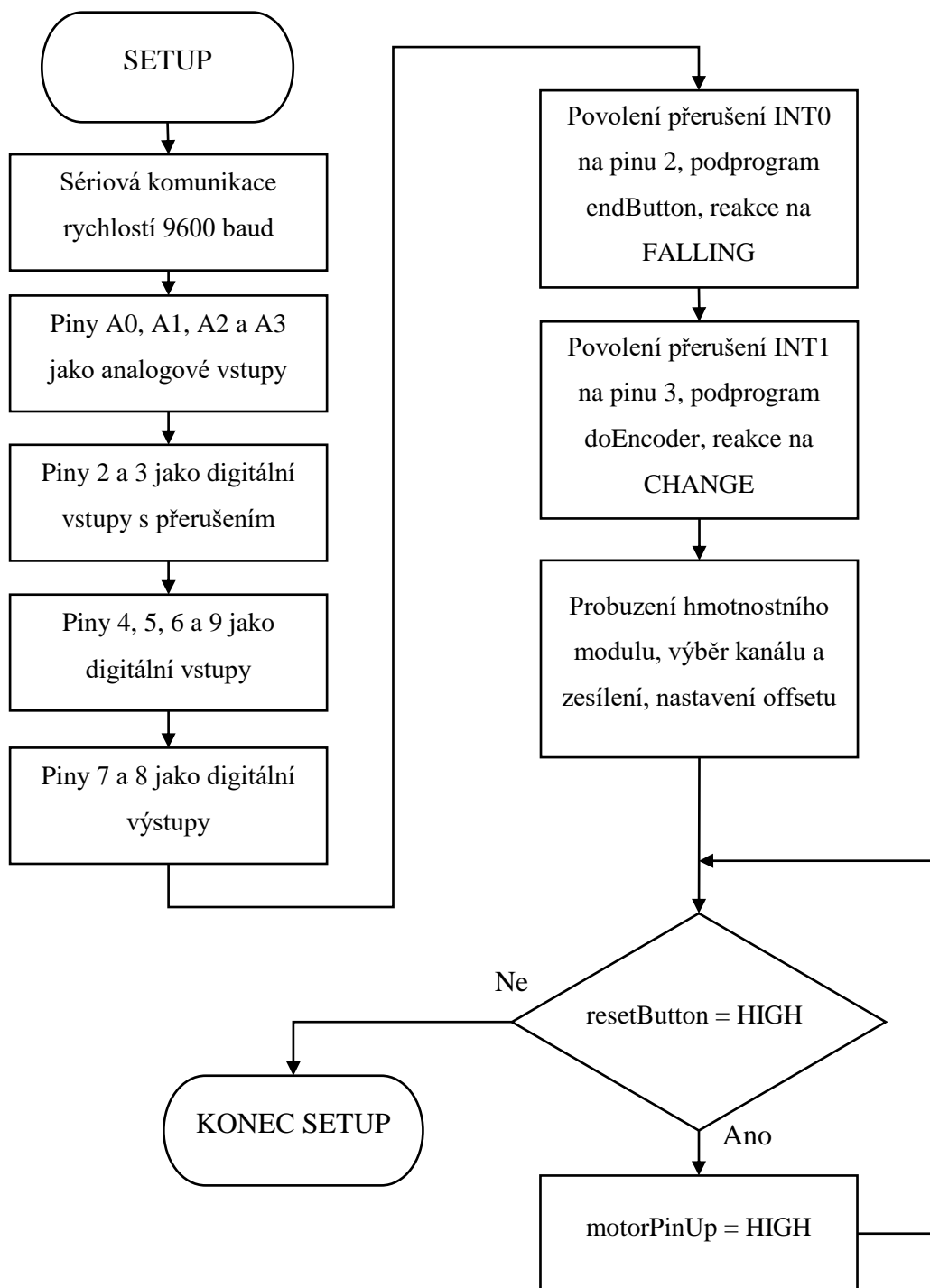


Obrázek 4.4 – Schéma zapojení sběrnice, datového a napájecího kabelu a řídicí jednotky motoru L298 do Arduino

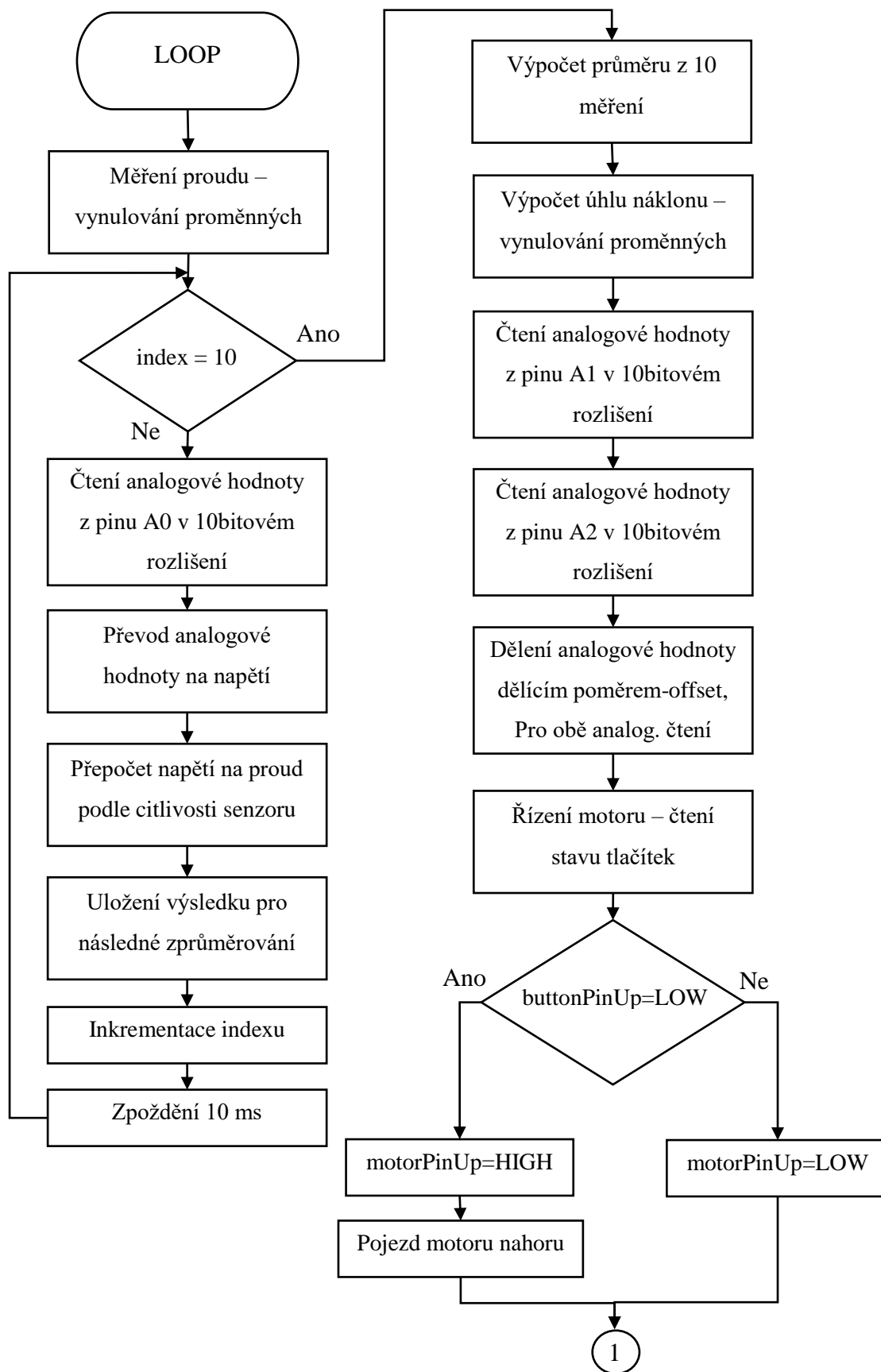
4.4 VÝVOJOVÝ DIAGRAM



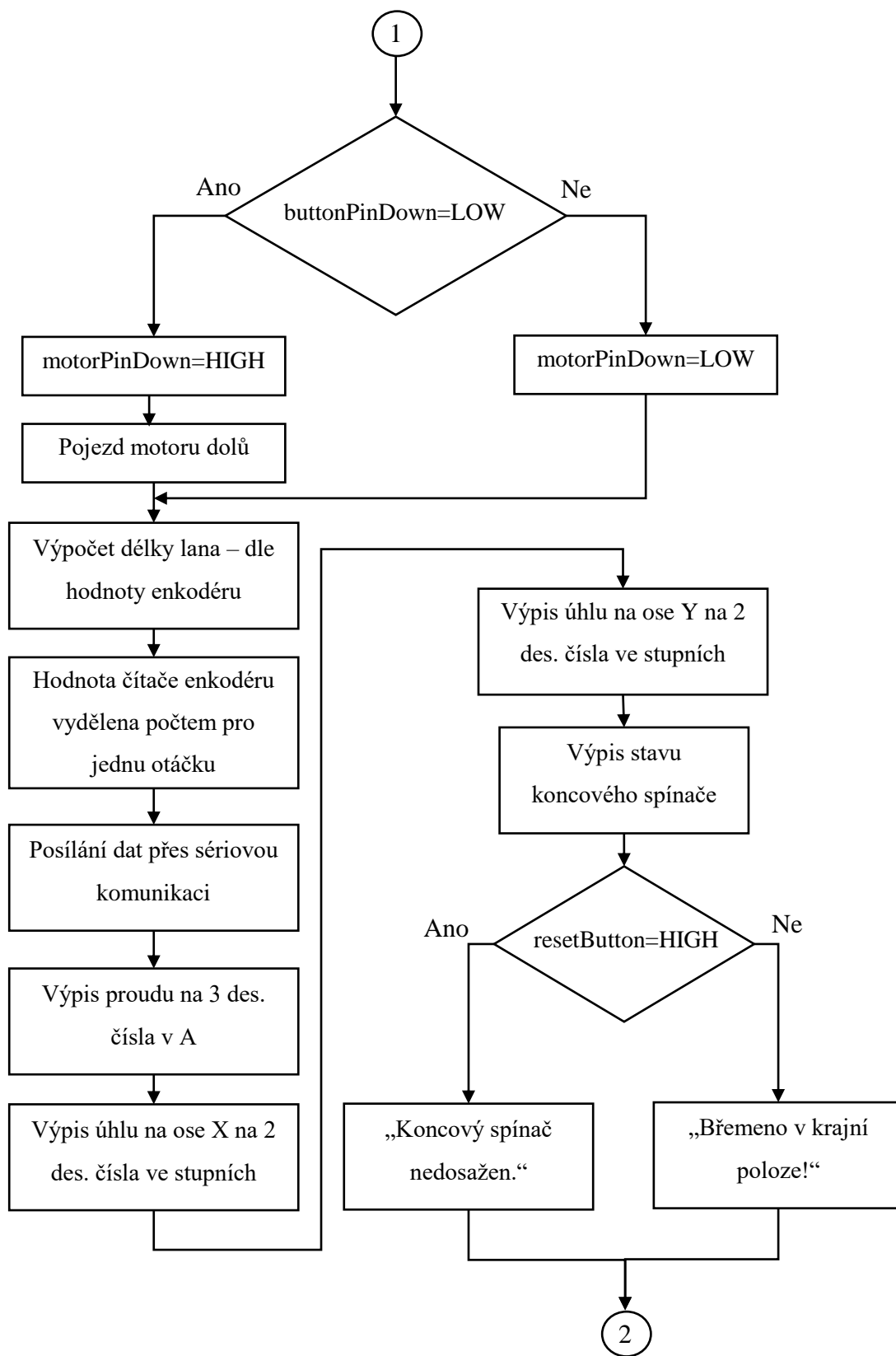
Obrázek 4.6 – Vývojový diagram kompletního procesu



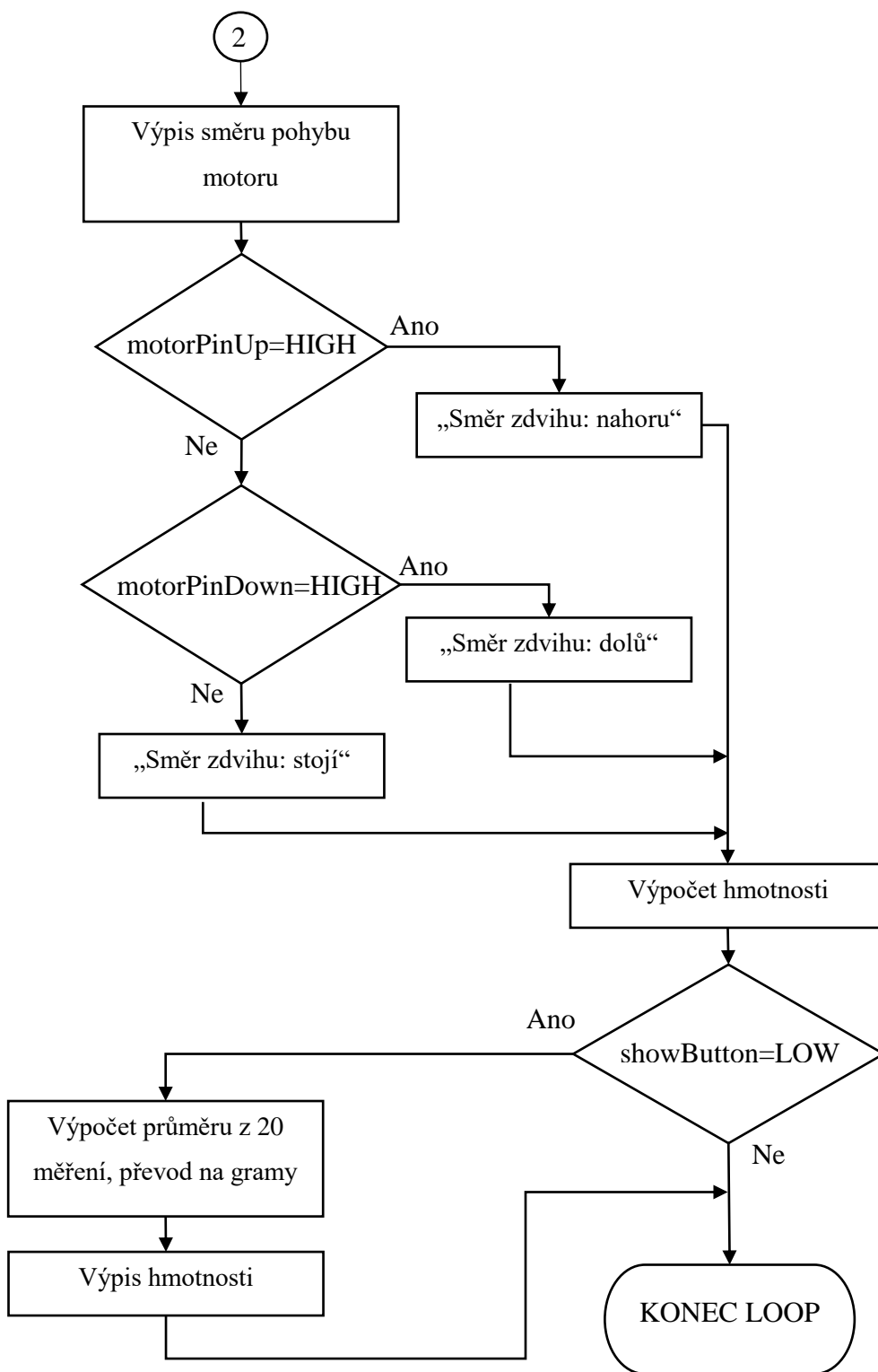
Obrázek 4.7 – Vývojový diagram smyčky SETUP



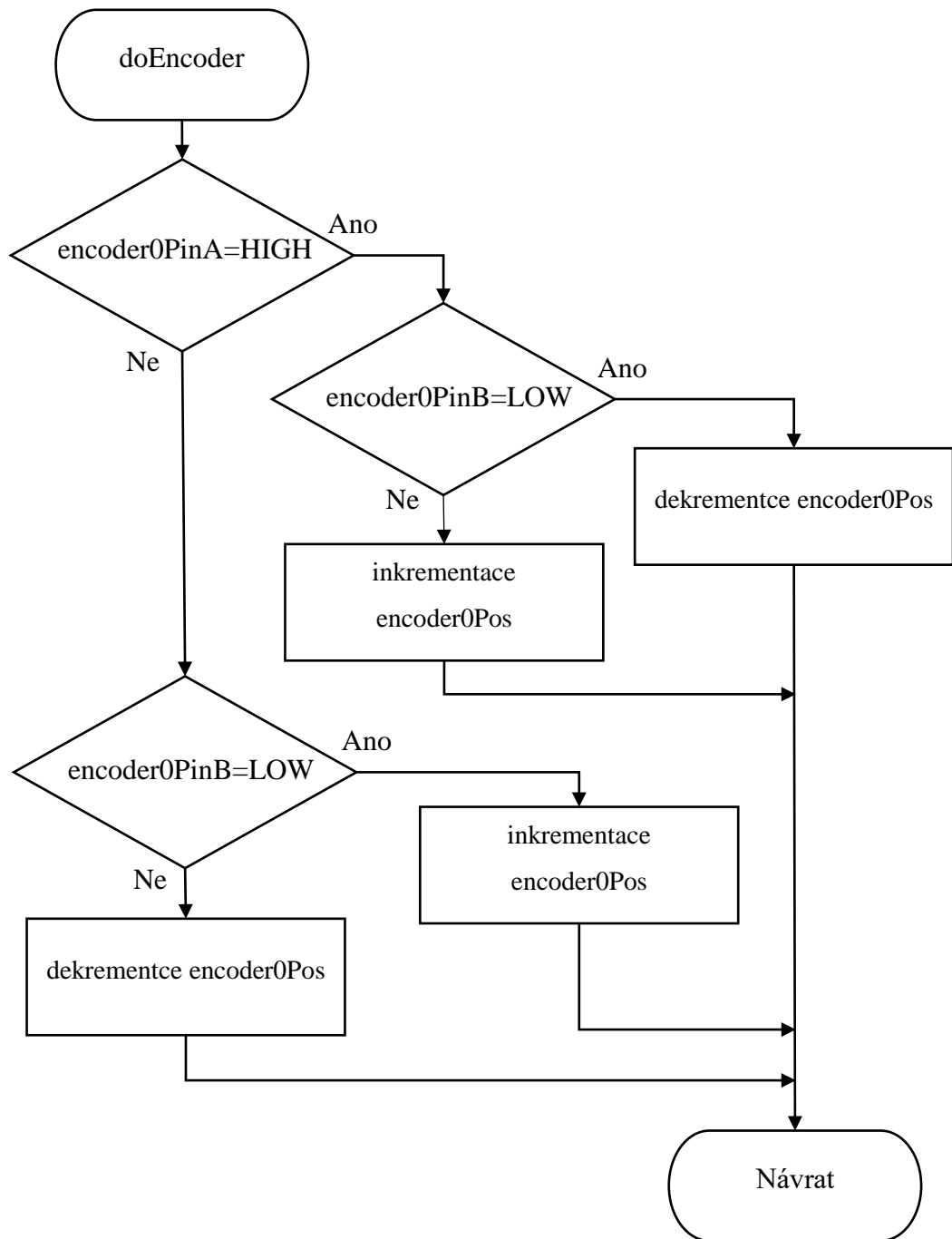
Obrázek 4.8 – Vývojový diagram smyčky LOOP – část první



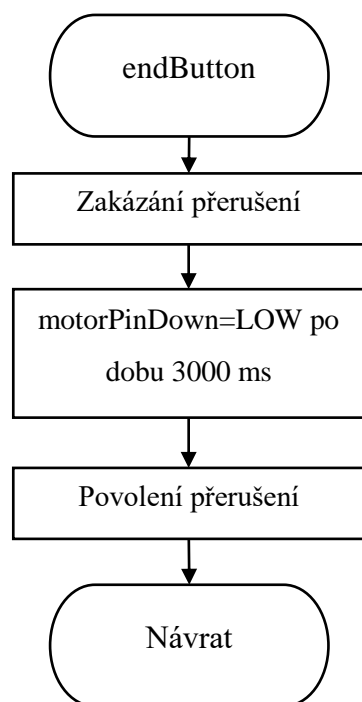
Obrázek 4.9 – Vývojový diagram smyčky LOOP – druhá část



Obrázek 4.10 – Vývojový diagram smyčky LOOP – část třetí



Obrázek 4.11 – Vývojový diagram podprogramu přerušení doEncoder



Obrázek 4.12 – Vývojový diagram podprogramu přerušeni endButton

Funkce nahaného programu do mikrokontroleru Arduino Uno je popsáno výše ve vývojovém diagramu v obrázcích 4.6 až 4.12. Samotný program je uložen v elektronické příloze A. Program je rozdělen do dvou hlavních smyček SETUP a LOOP. Smyčka SETUP se provede pouze jednou, tudíž se zde provádí hlavně příkazy pro nastavení funkce pinů, povolení přerušeni, nebo nastavení sériové komunikace. Ve smyčce LOOP jsou příkazy prováděny v nekonečné smyčce s rychlostí opakování 1000 Hz. Doba provedení celé smyčky však závisí na množství obsažených operací nebo zpoždovacích příkazů delay(). Mimo tyto hlavní smyčky program obsahuje podprogramy, které se aktivují při splnění určitých podmínek na pinech vyvolávající požadavek na zpracování přerušeni. Výhoda těchto podprogramů je, že nedochází k časové prodlevě informace a obsluha této částí má nejvyšší prioritu.

5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit funkční model pro identifikaci pozice zavěšeného břemene včetně jeho hmotnosti. Teoretická část obecně popisuje rozdělení portálových jeřábů, identifikaci a monitorování polohy břemene a využití dostupných informací pro eliminaci případného kývání břemene. Jsou zde také shrnuty funkce automaticky vyvažovacího systému s jejich matematickým popisem.

V kapitole Součásti modelu byl podrobně popsán použitý hardware do mého modelu. Popis je brán obecně, konkrétní zapojení je popsáno v praktické části. Mezi popsány hardware patří dvouosý joystick, tenzometr včetně příslušného modelu HX711, pohon navíjecího systému s využitím enkodéru, modul pro řízení motoru L298N, proudový senzor ACS711 a výpočetní techniku Arduino Uno. Čtenář je v této části seznámen s podrobnou dokumentací.

V další kapitole je seznámení se návrhem mechanických součástí. Konkrétněji se sensorovou částí poskytující osazení pro navíjecí soustavu a veškeré senzory s jejich moduly a výpočetní částí, která obsahuje hardware pro zpracování všech signálu a dat. Modelování součástí bylo provedeno v programu DesignSpark Mechanical a jejich následná výroba uskutečněna na 3D tiskárně. Parametry modelu poskytují měřitelný zdvih břemene do 60 cm, zatížení součásti do 2 kg a rozsah měření úhlů s maximálním výkyvem vůči stabilní poloze do 30°.

Poslední kapitola seznámí čtenáře s programovou částí, kde je pomocí vývojového diagramu podrobně popsán postup funkce programových smyček na Arduino Uno. Je zde dostupné schéma zapojení pinů Arduina Una včetně rozložení datové sběrnice, která je spojena se sensorovou částí modelu. Naměřené hodnoty jsou zpracovány a přepočítány do správné formy na vývojovém kitu, který poskytuje jejich zobrazení jak na sériovém monitoru ve vývojovém prostředí Arduino, tak skrze exportující software PLX-DAQ v uživatelsky známém prostředí EXCEL. Analogové signály byly převedeny do digitální formy v 10bitovém rozlišení poskytující přesný a snadný přepočet na hodnoty naší veličiny, např. napětí z potenciometrů na joysticku na úhly náklonu apod. Přenos dat z vývojového kitu do osobního počítače byl zajištěn přes USB kabel.

LITERATURA

- ALLEGRO MICROSYSTEMS, 2015. *Hall Effect Linear Current Sensor with Overcurrent Fault Output for <100 V Isolation Applications* [online]. allegromicro.com [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: <http://hades.mech.northwestern.edu/images/c/c4/ACS711.pdf>
- ARDUINO, 2017. *Arduino UNO*. [online]. arduino.org [cit. 2017-4-21]. Dostupné z: <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>
- AVIA SEMICONDUCTOR, 2012. *24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales* [online]. sparkfun.com [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf
- BOGDE, 2017. HX711. In: *github.com* [online]. [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: <https://github.com/bogde/HX711>
- DFROBOT, 2008-2017. *Micro Metal Geared motor w/Encoder – 6V 41RPM 380:1* [online]. dfrobot.com [cit. 2017-4-23]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-1437.html>
- DLOUHÝ, Martin; WINKLER, Zbyněk, 2010. Enkodéry, senzory pro detekci pohybu kol. In: *robotika.cz* [online]. 30. 10. [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: <https://robotika.cz/guide/encoders/cs>
- ECLIPSE, ©2016. *AD převodník 24-bit 2 kanály HX711* [online]. navody.arduino-shop.cz [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/docs/texty/0/65/1427807780.pdf>
- FARNELL, 2017. *Arduino Uno* [online]. cz.farnell.com [cit. 2017-4-21]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- KRANTECHNIK, 2017a. *Lehký portálový dílenský jeřáb BZ-P1* [online]. Krantechnik s.r.o. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.krantechnik.cz/lehky-portalovy-jerab-bz-p1>
- KRANTECHNIK, 2017b. *Kolejový portálový jeřáb BZ-PK* [online]. Krantechnik s.r.o. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.krantechnik.cz/kolejovy-portalovy-jerabb-bz-pk>
- KRANTECHNIK, 2017c. *Mobilní portálové jeřáby* [online]. Krantechnik s.r.o. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.krantechnik.cz/mobilni-portalove-jeraby-shilling>
- KRANTECHNIK, 2017d. *Sloupový otočný jeřáb BZ-SO360* [online]. Krantechnik s.r.o. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.krantechnik.cz/sloupovy-otocny-jerab-bz-so360>

- KRANTECHNIK, 2017e. *Stavebnicový systém KT 2000* [online]. Krantechnik s.r.o. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.krantechnik.cz/stavebnicove-systemy>
- LOCKER, Martin, 2009. Inkrementální enkodér. In: *robotika.vosrk.cz* [online]. 17. 7. [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://robotika.vosrk.cz/guide/sensors/decode/cs>
- LUBOŠ M, 2016. AD převodník 24-bit s 2 kanály. In: *navody.arduino-shop.cz* [online]. 29. 3. [cit. 2017-4-22]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/ad-prevodnik-24-bit-s-2-kanaly.html>
- MAIXNER, Ladislav a kol. 2006. *Mechatronika*. 1. vyd. Brno: Computer Press. 280 s. ISBN 80-251-1299-3.
- PARALAX Inc, 2017. *PLX-DAQ* [online]. parallax.com [cit. 2017-4-29]. Dostupné z: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>
- PIRIOU, Jacques, 2010. Optimising the productivity of lifting appliances Anti-Sway:controlling the swaying of the load. In: *schneider-electric.fr* [online]. [cit. 2017-4-20]. Dostupné z: <https://www.schneider-electric.fr/documents/original-equipment-manufacturers/pdf/Anti-Sway-controlling-the-swaying-of-the-load.pdf>
- ROUBÍČEK, Ota, 2004. *Elektrické motory a pohony – příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. 1. vyd. Praha: BEN. 179 s. ISBN 80-7300-092-X.
- SCS SERVIS, 2005. *Mostové jeřáby: aktivní stabilizace břemen proti kývání* [online]. scs-servis.cz [cit. 2017-4-20]. Dostupné z: <http://www.scs-servis.cz/aktivni-stabilizace-kyvani-bremene.php>
- SKALKA, Marek, 2011. Srovnání lokalizačních technik v robotice, Prostředky relativní lokalizace. In: *marek.sk.sweb.cz* [online]. [cit. 2017-4-23]. Dostupné z: <http://marek.sk.sweb.cz/lokalizace/kapitola3.html>
- STMICROELECTRONICS, ©2000. *DUAL FULL-BRIDGE DRIVER* [online]. sparkfun.com [cit. 2017-4-23]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
- VÍTEK, Aleš, 2009a. Systém stabilizace – iCM, Aktivní stabilizace břemene – potlačení kývání. In: *technikaatrh.cz* [online]. 2. 4. [cit. 2017-4-20]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/system-stabilizace-icm>

VÍTEK, Aleš, 2009b. Systém stabilizace – iCM, Ovládání jeřábu manipulací s břemenem.

In: *technikaatrh.cz* [online]. 2. 4. [cit. 2017-4-21]. Dostupné z:

<https://www.technikaatrh.cz/manipulacni-technika/system-stabilizace-icm>

VODA, Zbyšek, 2015. *Průvodce světem Arduina*. 1. vyd. Šenov: HW Kitchen. 240 s.

ISBN 978-80-87106-90-7.

Wheatstoneův můstek, 2013. In: *cs.wikipedia.org* [online]. Poslední změna 1. 9. 2013 18:11.

[cit. 2017-4-21] Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Wheatstone%C5%AFv_m%C5%AFstek

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci

Návrh a realizace snímače polohy zavěšeného břemene vozíku
portálového jeřábu.

Ondřej Abraham

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód aplikace