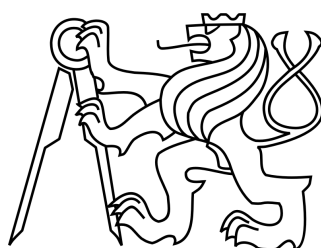


Rád bych poděkoval vedoucímu své práce, doc. Ing. Janu Fischerovi, Csc., za jeho čas, který věnoval mně a mým problémům při řešení této práce.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA MĚŘENÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Programovatelná indikační jednotka pro inkrementální
snímače

Autor: Šimon Fibír

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

Praha, 2016

Název práce: Programovatelná indikační jednotka pro inkrementální snímače

Autor: Šimon Fibír

Katedra: Katedra měření

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

e-mail vedoucího: fischer@fel.cvut.cz

Abstrakt Tato bakalářská práce vysvětluje princip funkce optoelektrických inkrementálních snímačů a demonstruje způsob univerzálního zpracování jejich kvadrurních signálů. K tomu účelu je používáno několika inkrementálních snímačů různých parametrů. Další částí je návrh jednoduchého nastavení polohy motorem na základě získaných dat z inkrementálního snímače. Cílem je realizace jednotky založené na mikroprocesoru STM32F042, která přijímá data ze senzoru, řídí připojený motor a komunikuje s připojeným PC v obou směrech.

Klíčová slova: inkrementální snímač, kvadrurní signál, STM32F042, mikroprocesor

Title: Programmable Position-Indicator for Incremental Sensors

Author: Šimon Fibír

Department: Department of Measurement

Supervisor: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

Supervisor's e-mail address: fischer@fel.cvut.cz

Abstract This bachelor thesis explains the basic function of photoelectric incremental encoders and shows means of unified processing of their quadrature signals. For that purpose several encoders of different parameters are used. Next stage is to design simple position setting with DC motor based on the data from incremental sensor. The goal is to implement a processor unit with STM32F042, which receives data from encoder, controls the attached motor and communicates with PC in both directions.

Keywords: incremental encoder, quadrature signal, STM32F042, microprocessor



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Šimon Fibír**

Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Obor: **Senzory a přístrojová technika**

Název tématu česky: **Programovatelná indikační jednotka pro inkrementální snímače**

Název tématu anglicky: **Programmable Position-Indicator for Incremental Sensors**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte programovatelnou indikační jednotku s rozhraními USB a RS 232 pro zpracování signálu z inkrementálních snímačů. Pro zobrazení informace se využije lokální LCD a nadřazené PC, kterým navíc bude možno jednotku ovládat a konfigurovat. Indikační jednotku bude také možné naprogramovat pro účely jednoduchého nastavování polohy mechanismů ovládaných stejnosměrnými a krokovými motorky.

Seznam odborné literatury:

- [1] Yiu, J.: The Definitive Guide to the ARM Cortex-M0, Elsevier 2011
- [2] STMicroelectronics: RM0091 Rev 8 Reference manual
- [3] STMicroelectronics: DS10147 - STM32F042 Data

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fischer, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 14. prosince 2015

Platnost zadání do¹: 30. září 2017



Doc. Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 14. 12. 2015

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27. května 2016

Šimon Fibír

OBSAH

Abstrakt	iii
Zadání práce	vi
1 Úvod	1
2 Rozbor zadání	3
3 Návrh indikační jednotky	5
3.0.1 Struktura jednotky	5
3.1 Použitý mikroprocesor	5
3.1.1 Periferie procesoru	6
3.1.2 Zapojení do nepájivého kontaktního pole	7
3.2 Inkrementální snímače	8
3.2.1 Princip funkce	9
3.2.2 Chyby inkrementálních snímačů	9
3.2.3 Kvadrurní signál	10
3.2.4 Použité snímače	11
3.2.5 Data ze senzoru	14
3.3 Komunikace a zobrazování dat	16
3.3.1 Asynchronní sériové rozhraní UART	16
3.3.2 Periferie USB	17
3.3.3 Modul s LCD	17
4 Nastavení polohy mechanismu	19
4.1 Ovládání stejnosměrného motoru	19
4.1.1 Budič motoru	19
4.1.2 Integrovaný obvod s H-můstkem	20
4.1.3 Pulzně šířková modulace	22
4.2 Regulace	23
4.2.1 Proporcionálně sumační regulátor	23
4.2.2 Alternativní nastavení polohy	24
5 Vývoj programu	25
5.1 Použité vývojové prostředí	25
5.2 Knihovny	25
5.3 Struktura programu	25
5.4 Ovládání programu	26
6 Závěr	29
Literatura	32

ÚVOD

Inkrementální snímače mají své využití v široké škále různých oborů. Můžeme se s nimi setkat v každodenním životě například v ovládacích prvcích rozličných elektronických zařízení nebo v jemné mechanice domácí tiskárny. Inkrementální snímače se ovšem hojně využívají i v průmyslových aplikacích. Naleznou uplatnění všude, kde je potřeba s vysokým rozlišením měřit změnu vzdálenosti, velikosti, či třeba natočení.

Samotný senzor ovšem nestačí, musíme nějakým způsobem zpracovávat a interpretovat data, která poskytuje. Existuje několik zavedených řešení. Můžeme si pořídit samostatnou indikační jednotku, která v sobě integruje vše potřebné pro bezproblémové a okamžité použití. Od zpracování signálů z jednoho či více inkrementálních snímačů, přes konverzi dat až po jejich zobrazení a uložení. Toto řešení je výhodné zejména při modernizaci stávajících zařízení, neboť stačí pouze instalovat senzory a připojit k nim indikační jednotku.

V případě, že budeme navrhovat nové zařízení, budeme pravděpodobně s použitím senzorů počítat již dopředu a využijeme některého ze způsobů integrace potřebných obvodů do vlastního zařízení. Zde se běžně využívá integrovaných obvodů s dekodérem signálů inkrementálního snímače a různým množstvím dalších nabízených funkcí.

Někdy ale můžeme chtít jít ještě dál a budeme chtít mít výsledné zařízení, které kromě inkrementálních snímačů zvládá současně i další věci a zároveň je co nejmenší a nejlevnější. V takovém případě sáhneme po mikroprocesoru, který bude mít dostatečný výkon a navíc integrované obvody pro připojení enkodérů.

Tato práce se zaměří na jeden takový procesor a pokusí se navrhnout zařízení, které v sobě spojí funkci indikace polohy enkodéru, řídicí jednotky motoru a komunikačního rozhraní.

ROZBOR ZADÁNÍ

Využití inkrementálních snímačů

Inkrementální snímače se využívají v různých druzích průmyslu. Používají se pro převod směru, rychlosti otáčení, či polohy motorů do digitální podoby, pro odměřování délek, například při navíjení materiálu na cívky, pro odměřování polohy jednoosých i dvouosých mechanismů (inkoustové tiskárny, CNC stroje) a pro širokou škálu dalších aplikací.

Zpracovávání signálů ze snímačů

Existují samostatné jednotky pro zpracování signálů z inkrementálních snímačů. Zpravidla nabízejí vlastní display a možnost zobrazit současně polohu z několika inkrementálních snímačů. Jako příklad je možné uvést produktové řady ND firmy HEIDENHAIN, která pro tyto jednotky používá pojmenování „indikace polohy“.

Dalším řešením je implementace samostatného integrovaného obvodu, který obsahuje dekodér kvadraturních signálů, vlastní up-down čítač a zpravidla výstupní datovou sběrnici. Příkladem takového obvodu je HCTL-2032 od firmy Avago. Ten v několika provedeních nabízí dekodér kvadraturních signálů, 32-bitový up-down čítač, připojení až dvou snímačů a 8-bitovou datovou sběrnici. Také má zvlášť vyvedeny výstupy dekodéru.

Ve formě integrovaného obvodu je také možné sehnat pouze vlastní dekodér signálů z inkrementálních snímačů. Tento mívá buď oddělené výstupní signály Up a Down pro indikaci kroků oběma směry, nebo signál Clock, generující pulz při každém kroku, a Up/Down pro rozlišení směru aktuálního kroku. Příkladem tohoto typu obvodu jsou LS7183 a LS7184 od LSI Computer Systems. Výstupy těchto obvodů je potřeba připojit buď k samostatnému obvodu s čítačem, nebo ke vstupním pinům čítače integrovaného v mikroprocesoru.

Možnost nahrazení samostatných obvodů mikroprocesorem

S rostoucím množstvím funkcí periférií mikroprocesorů se objevila možnost vynechání výše zmiňovaných obvodů při návrhu systému, který má zpracovávat signály z inkrementálních snímačů. Jako alternativa se nabízí využití integrovaných čítačů, které mají funkci pro přímé připojení enkodéru. Toto řešení se hodí pro aplikace, které požadují jednoduchost a šetření jak místem, tak cenou. Stejně cíle sdílí i tato práce.

Výběr mikroprocesoru

Rozhraní pro připojení enkodéru obsahují procesorové řady různých výrobců. Například řada procesorů Kinetis KV1x firmy NXP Semiconductors, nebo procesory z několika řad procesorů od firmy STMicroelectronics, všechny založené na architektuře jádra ARM Cortex. Od STM konkrétně například z řad STM32F10x, 30x, 4xx a dalších.

Po konzultaci s vedoucím práce byl vybrán procesor STM32F042 v pouzdře LQFP32 a to z několika důvodů. Hned dva jeho čítače podporují funkci připojení enkodéru, je malý a relativně levný¹, má množství dalších periférií a nakonec již se s ním pracovalo a byl okamžitě k dispozici v laboratoři videometrie, pro jejíž účely je vypracována tato práce.

Využití vybraného procesoru

Primárně byl mikroprocesor vybrán pro připojení inkrementálního snímače, ovšem nabízí dostatečný výkon pro implementaci zbylých částí systému, tedy komunikace s PC a řízení motoru. Základem je implementace sériové komunikace přes rozhraní UART, ovšem tento malý procesor obsahuje také periférii USB, které bude také využito. Pro buzení stejnosměrného motoru se připojí budič, který bude možno ovládat signály PWM. Pro generování těchto signálů obsahuje mikroprocesor čítače, které tuto funkci umožňují. Navíc má tento procesor bootloader, který podporuje rozhraní USB DFU, tudíž je možné připravit několik různých verzí firmware, které si uživatel bude moci nahrát do paměti flash bez použití speciálního programátoru.

Cíl práce

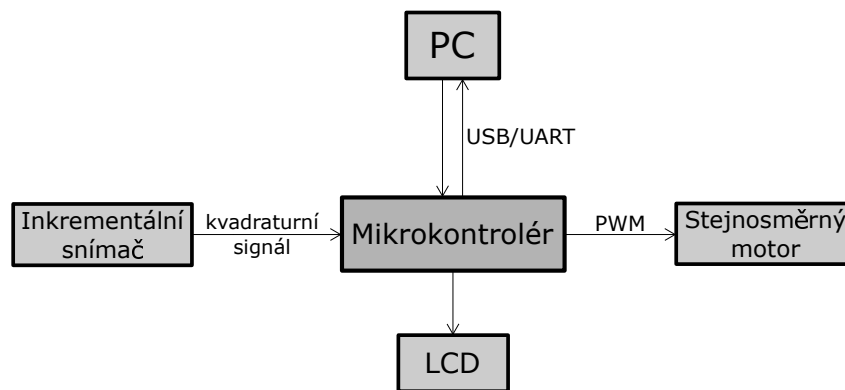
Cílem práce je tedy navrhnout a realizovat funkční indikaci pro inkrementální senzor, potom využít získávaná data pro jednoduché nastavení polohy pomocí motoru a to všechno soustředit kolem jednoho mikroprocesoru z důvodu relativně nízkých pořizovacích nákladů a malé velikosti výsledné jednotky.

¹Pro představu: 78 Kč z obchodu cz.farnell.com při objednání 1-9 kusů

NÁVRH INDIKAČNÍ JEDNOTKY PRO INKREMENTÁLNÍ SNÍMAČE

3.0.1 Struktura jednotky

Před začátkem vlastního sestavování a práce na modulu bylo vytvořeno stručné blokové schéma navrhovaného systému.¹ Takový krok je důležitý pro vytvoření představy o výsledné funkci a struktuře celého projektu. Tento jednoduchý koncept je vidět na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Blokové schéma indikační jednotky

3.1 Použitý mikroprocesor z rodiny STM32F0

Hlavní součástí celého modulu je mikroprocesor. Vedoucí práce pro použití v tomto modulu vybral procesor od firmy STMicroelectronics z řady STM32F0. Konkrétní označení mikroprocesoru je STM32F042K6. Mikroprocesory této řady obsahují 32-bitové jádro ARM Cortex - M0, které se velmi hodí pro vestavěné systémy a aplikace vyžadující od procesoru nízké energetické nároky. Tento procesor se vyrábí v pouzdrech několika velikostí s různým počtem pinů, od čehož se odvíjí škála dostupných periférií. Zde bylo pracováno s procesorem v pouzdře LQFP32, což je pouzdro se čtvercovým půdorysem o straně 5 mm a má celkem

¹Ve schématu je již zanesen stejnosměrný motor, přestože je potřebný až ve druhé části práce a nikoliv pro samotnou indikační jednotku.

32 pinů. Jak je vidět z rozměrů pouzdra, tento mikroprocesor se opravdu hodí na aplikaci, která šetří místem, což byl jeden z motivů vypracování této práce.

Procesor pracuje na napájecím napětí 3,3 voltu. Je zde možnost napájet zvlášť analogovou část, aby se omezilo rušení při měření analogových veličin. K dispozici jsou 32 kB velká paměť flash a 6 kB velká paměť SRAM. Frekvence procesoru může být až 48 MHz. Tohoto kmitočtu dosáhneme pomocí obvodů PLL, jejichž zdrojem může být vnitřní 8MHz RC oscilátor, či externí krystalový oscilátor (4 až 32 Mhz). [2, 3]

3.1.1 Periferie procesoru

Velkou výhodou jádra ARM Cortex-M0 je jeho schopnost selektivního vypnutí a zapnutí jednotlivých integrovaných periférií. Spolu se sníženým napájecím napětím, je tato vlastnost důvodem velmi nízké spotřeby celého mikroprocesoru. Procesor disponuje poměrně bohatou výbavou periférií, z nichž pouze část však byla využita v rámci této práce.

Vstupně-výstupní brány

Nejběžněji využívané jsou vstupně-výstupní brány (GPIO). Je možné je nastavit, tak čístejich logickou úroveň, použít je jako výstup například PWM signálů, jako vstup do A/D převodníku, nebo v kombinaci s dalšími perifériemi. S tím je spojena možnost připojení vnitřního pull-up, či pull-down rezistoru ke každému pinu vstupně-výstupní brány. Všechny piny každé brány je možné využít jako vstup externího přerušení. Je třeba dávat pozor, zda je pin 5 V tolerantní, nebo zda je jeho maximální vstupní napětí pouze 3,3 V.

Časovače

Nezbytné je také využití časovačů, kterých nabízí mikroprocesor STM32F042K6 hned několik s různými parametry. Je jich využíváno na generování časové základny či PWM signálů. Všechny časovače pro obecné použití mají funkci output compare pro periodické generování přerušení a funkci input capture pro čítání vstupních pulzů. Přímou pro využití v navrhovaném modulu byl zvolen procesor s funkcí enkodéru, kdy časovač zpracovává kvadraturní signál přímo z inkrementálního snímače. Jsou dostupné časovače s rozlišením od 16 až do 32 bitů.

Komunikace

Pro komunikaci je k dispozici několik standardních rozhraní jako I2C, SPI, HDMI CEC a USART. Dále mikroprocesor obsahuje periférie USB a CAN. Pro komunikaci s PC bylo využito integrované rozhraní USART i USB.

Serial Wire Debug

Serial Wire Debug, neboli SWD je ladicí nástroj a jeden ze způsobů programování paměti flash. Základem této funkce jsou pouze dva signály, SWDIO a SWCLK. Společně s resetem

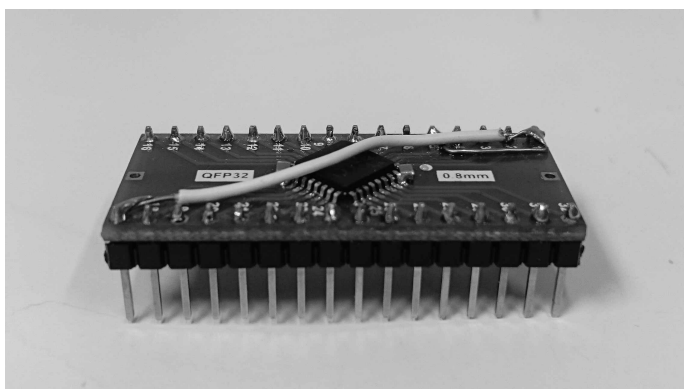
a vodičem propojujícím země se připojí na SWD konektor zařízení, se kterým má být programován či laděn daný procesor. V tomto případě byly použity vývojové kity Nucleo nebo Discovery od firmy STMicroelectronics, konkrétně jejich ST-Link mikroprocesor.

3.1.2 Zapojení do nepájivého kontaktního pole

Pro realizaci navrhovaného prototypu bylo výhodné využít jednoduchosti a variability nepájivého kontaktního pole.

Modul s mikroprocesorem

Procesor byl osazen na adaptér QFP32 na DIP32 společně s tzv. header piny, které jsou v rastru 100 mil. Dále se na modulu propojily napájecí piny procesoru pro jednotný přívod napájecího napětí. Na obrázku 3.2 je vidět, že přímo na vývodech procesoru jsou připojené takzvané blokovací kondenzátory, sloužící u každého napájecího pinu jako lokální zásobárny energie, pokrývající špičky v proudovém odběru mikroprocesoru. Tyto kondenzátory je potřeba umístit co nejbližší k pinům procesoru, aby se minimalizoval vliv parazitních impedancí vodičů, proto nejsou zapojené až vedle modulu do kontaktního pole, jako ostatní součástky.

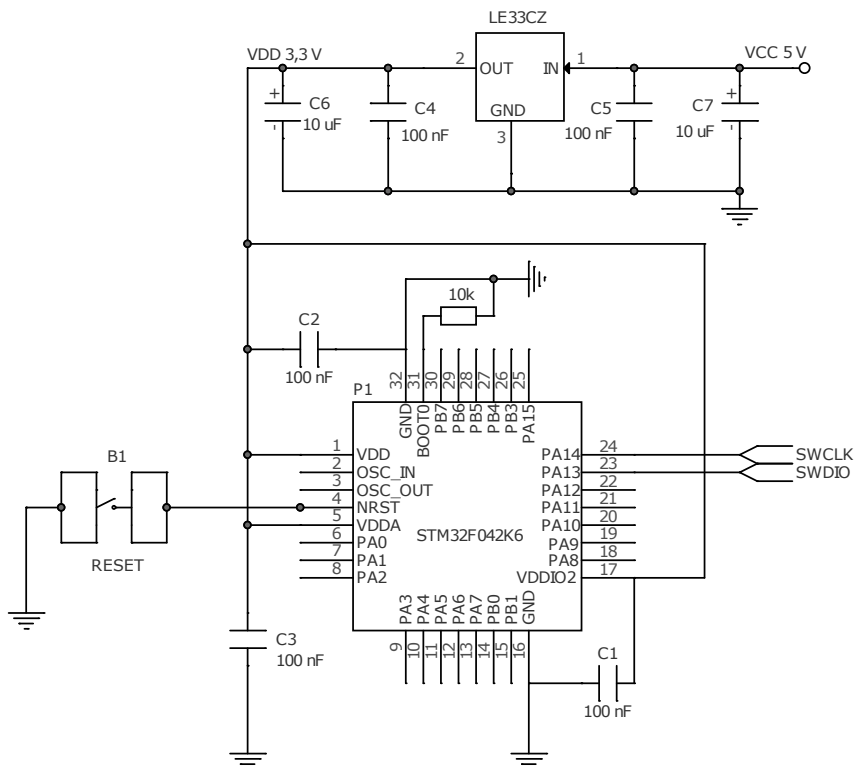


Obrázek 3.2: Adaptér s mikroprocesorem a blokovacími kondenzátory

Osazení pole

Obrázek 3.3 je schéma základního zapojení mikroprocesoru a napěťového regulátoru. Na kontaktním poli je nezbytné připojit k modulu napájení 3,3 V, které je přivedeno z regulátoru napětí LE33CZ. Jeho vstup je napojen na pětivoltový výstup z mini-USB konektoru. LE33CZ je low-dropout regulátor firmy STMicroelectronics. Low-dropout znamená, že dokáže správně fungovat i když vstupní napětí klesne blízko regulované hodnotě. Dropout je tedy hodnota rozdílu vstupního a výstupního napětí. U tohoto regulátoru může být minimálně 0,2 V. [11]

Dále k pinu číslo 4 (NRST) je připojeno resetovací tlačítko a pin 31 (BOOT0) je přes $10k\Omega$ odpor uzemněn. Tím je zvoleno bootování programu z hlavní paměti flash, která se programuje pomocí SWD rozhraní, viz 3.1.1. Signály používané tímto rozhráním, SWDIO a SWCLK, jsou vyvedeny na pinech 23 a 24. Zvolení jiného bootovacího módu aktivuje načítání aplikace ze systémové paměti, kde je od výrobce nahrán program boot loaderu. Ten umožňuje pomocí rozhraní USART přeprogramovat paměť flash. [2, 3]



Obrázek 3.3: Schéma zapojení mikroprocesoru

3.2 Inkrementální snímače

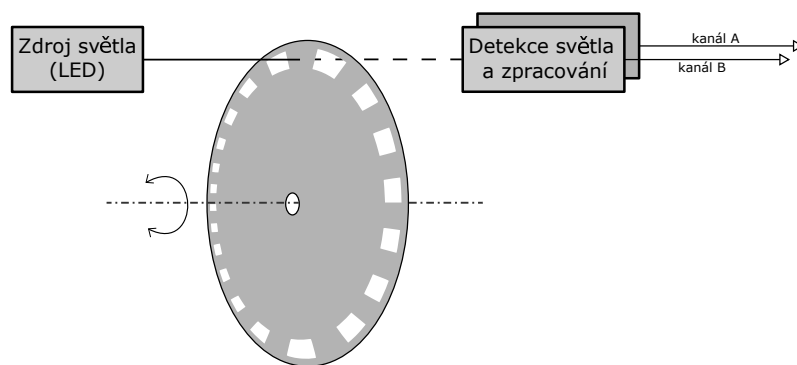
Inkrementální snímač je senzor polohy. Podle mechanického zpracování rozlišujeme posuvné a rotační snímače. Nejběžnější fyzikální provedení je optoelektronické, existují však i senzory založené na magnetickém, či kapacitním principu. Při řešení zadaného úkolu byly používány optoelektronické inkrementální snímače rotační i posuvné.

3.2.1 Princip funkce

Rotační optoelektronický inkrementální snímač se skládá ze dvou mechanických částí, statoru a rotoru, zdroje světla, kterým je typicky LED, a detektoru světla, fotodiody či fototranzistoru. Stator a rotor mohou být lamely z neprůsvitného materiálu s prořezanými průzory, nebo průsvitné (skleněné) kotouče s nanesenou neprůsvitnou barvou.

Světlo z diody prochází průzorem ve statoru a dále rotorem, který má průzory rovnoměrně rozmístěné po celém obvodu, až na detektor právě tehdy, když se otvory obou částí překrývají. Obrázek 3.4 ukazuje, že při pohybu rotoru je detektor opakovaně osvětlen a zastíněn a na jeho výstupu vznikají tomu odpovídající pulzy. Rychlost otáčení při rovnoměrném pohybu odpovídá počtu pulzů za jednotku času a poloha odpovídá konkrétnímu počtu pulzů. Takto ovšem není možné rozpoznat směr otáčení senzoru ani určit jeho absolutní polohu.

Pro určení směru otáčení a také zvýšení rozlišení se umístí druhý detektor světla tak, že generuje signál fázově posunutý o 90° vůči signálu z prvního detektoru. Rozlišení je oproti případu z předchozího odstavce dvojnásobné, neboť jsou snímány čtyři hrany namísto dvou. Dále je často ze senzoru vyveden třetí signál, takzvaný index, generující pulz jednou za celou otáčku. Toho je docíleno jediným otvorem ve snímané oblasti rotoru. Index pak určuje nulovou polohu senzoru a od ní je možno dopočítat absolutní polohu mechanismu.



Obrázek 3.4: Zjednodušený princip funkce inkrementálního snímače

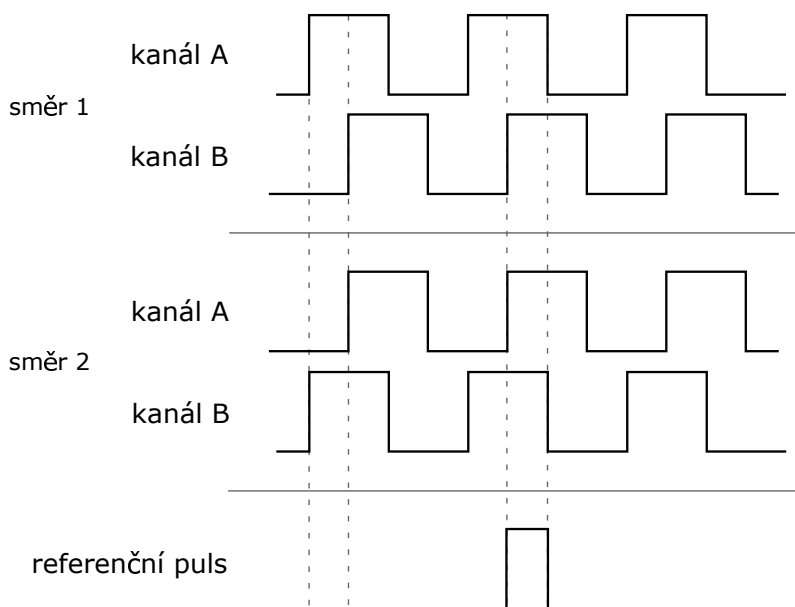
3.2.2 Chyby inkrementálních snímačů

Na chyby snímačů může mít vliv konstrukce senzoru a použitá elektronika. Například se může projevit proměnlivá svítivost LED a citlivost fotodiody. Dále nepřesnosti v poloze průhledných prvků senzoru, nebo excentrické uložení rotoru v případě detekce úhlu natočení. Dalším možným zdrojem chyb je vliv okolního prostředí, jako jsou vibrace či zkreslení signálu vedením. V neposlední řadě se může stát, že je senzor nesprávně použit a je překročena maximální povolená frekvence kvadrurního signálu. [4]

3.2.3 Kvadraturní signál

Na obrázku 3.4 je zmíněno zpracování signálů z fototranzistorů. Snímače se vyrábí s integrovanou elektronikou, která tyto signály zesiluje a tvaruje, zpravidla na úrovni TTL či diferenciální linky. Takto upravené signály se již přivádí na výstup senzoru a běžně se značí jako kanály A a B.

Bylo řečeno, že díky dvěma fázově posunutým kanálům je možné určit směr otáčení (posunu) senzoru a také zvýšit jeho rozlišení. To naznačuje obrázek 3.5, ze kterého je jasně vidět pořadí detekce jednotlivých hran při opačných směrech pohybu senzoru. Základní režim čítání je na vzestupnou hranu kanálu A, tudíž jednou za periodu² tohoto signálu. Oproti tomu je možné zvýšit rozlišení až čtyřikrát, pokud se bude čítat na sestupné i vzestupné hrany obou signálů. Díky harmonickému průběhu netvarovaného signálu z fototranzistorů se u některých inkrementálních snímačů využívá interpolace pro ještě několikanásobně vyšší rozlišení.



Obrázek 3.5: Detekce směru pohybu inkrementálního snímače – kvadraturní signál

²Na obrázku je perioda konstantní s konstantní šířkou pulzu, takto vypadá signál samozřejmě pouze v případě rovnoměrného pohybu.

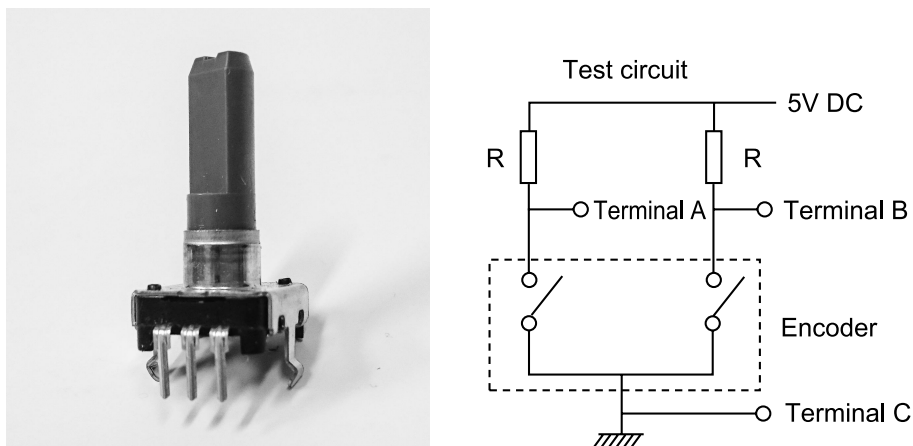
3.2.4 Použité snímače

V průběhu řešení práce se přešlo od jednoduchého malého enkodéru se třemi piny a několika kroky na jedno otočení až po vestavěný posuvný snímač s diferenciálními výstupy, nulovou referencí a maximálním rozlišením jeden mikrometr.

Připojení snímače k procesoru

K mikroprocesoru bylo postupně připojeno několik různých inkrementálních senzorů. Princip připojení byl však vždy stejný, na dva vstupy časovače TIM2 byl přiveden kvadrurní signál A a B a, pokud to senzor umožňoval, „nulovací“ signál na volnou vstupní bránu. U senzoru pracujícího na vyšším napájecím napětí než napětí procesoru, zpravidla 5 V, bylo třeba pro každý signál implementovat jednoduchý napěťový dělič a dodržet tak vstupní napěťový rozsah pinů procesoru.

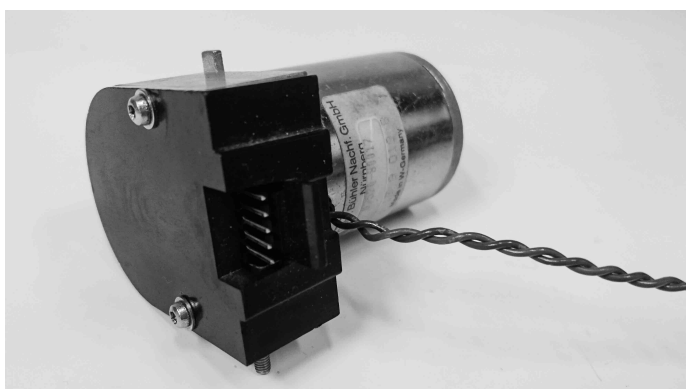
Enkodér EC12E



Obrázek 3.6: Enkodér EC12E a schéma zapojení [7]

Na obrázku 3.6 je první použitý enkodér, EC12E. Má 24 kroků na jedno otočení a jeho napájecí napětí je 5 V. Má dva výstupy, kvadrurní signály A a B. Jak je vidět na schématu vpravo, tento enkodér je realizován dvěma spínači a k výstupním pinům se musí připojit pull-up rezistory. Prostřední pin je uzemnění.

Snímač HP QEDS-9500



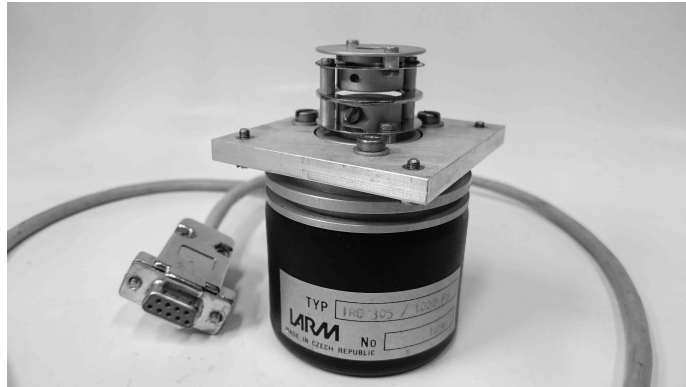
Obrázek 3.7: Stejnoseměrný motor s připevněným enkodérem v pouzdře

Dalším senzorem je snímač QEDS-9500 firmy HP, který snímá pohyb kotouče připevněného přímo na hřídeli 24V stejnosměrného motoru. Napájecí napětí má $V_{cc} = 5\text{ V}$ a rozlišení 1000 kroků na jednu otáčku. Zároveň s tímto senzorem byl používán i přimontovaný elektrický motor, nejprve pouze připojením konstantního napětí, později také za pomoci budiče motoru ovládaného mikroprocesorem, viz 4.1.1 na straně 19. Z důvodu absence jakéhokoliv označení pinů je jejich popis v tabulce 3.1. Piny jsou číslovány zleva doprava při pohledu ze strany se senzorem a kontakty směřujícími vzhůru.

číslo	funkce
1	GND
2	nepřipojeno
3	kanál A
4	V_{cc}
5	kanál B

Tabulka 3.1: Rozložení pinů snímače QEDS-9500

Snímač LARM IRC305



Obrázek 3.8: Inkrementální snímač IRC305 firmy LARM

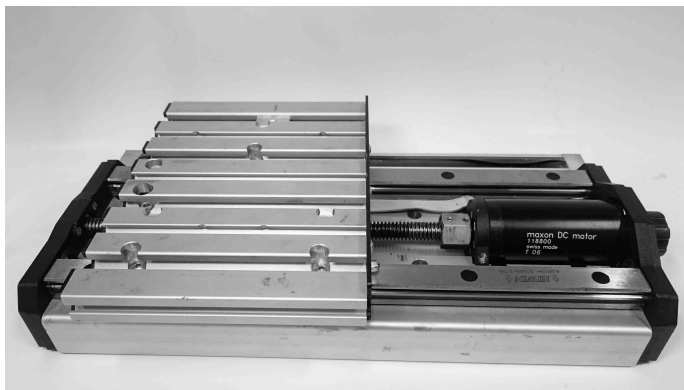
Na obrázku 3.8 je již velmi kvalitní inkrementální snímač od firmy LARM s označením IRC305. Jeho stator i rotor s jemným rastrem jsou vyrobeny ze skla. Na hřídeli má navíc namontovanou homokinetickou spojku, která slouží pro částečně pružné připojení motoru, případně jiného snímaného mechanismu. Tento senzor generuje 1000 pulzů za otáčku. Napájen je také napětím 5 V a všechny piny má vyvedeny na konektor CANON 9. Rozdílem oproti předchozím senzorům je diferenciální výstup všech tří signálů, tedy kanálů A a B a nulové reference.

Pro tento typ konektoru chybí dokumentace, proto se demontovalo pouzdro konektoru a funkce jednotlivých pinů se určily podle barev izolací vodičů. Informace o barvách vodičů již jsou obsaženy v datasheetu senzoru. [10] Zjištění obsahuje tabulka 3.2.

číslo	barva vodiče	funkce
1	žlutá	kanál A
2	zelená	kanál B
3	fialová	nulový index non
4	červená + růžová	Vcc 5 V
5	černá	GND
6	bílá	kanál A non
7	šedá	kanál B non
8	modrá	nulový index
9	hnědá	senzor 0 V (GND)

Tabulka 3.2: Popis pinů snímače IRC305 s konektorem CANON 9

Použitý pojezd s motorem a snímačem



Obrázek 3.9: Pojezd s motorem Maxon 118800 a snímačem ESSA SL-121LB

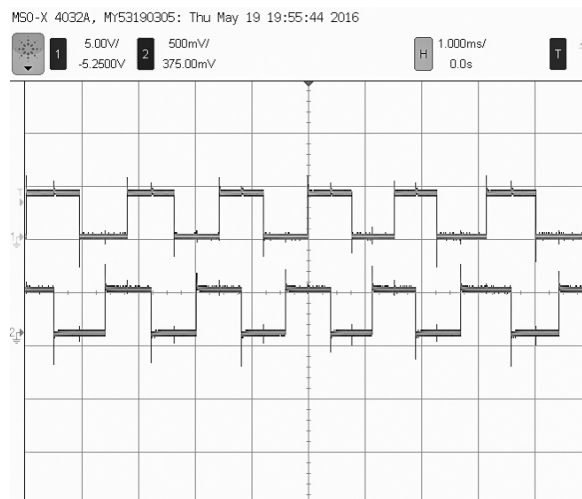
Fotografie 3.9 zobrazuje pojezd, který byl používán jako hlavní zařízení řízené navrhovanou jednotkou. Obsahuje kvalitní stejnosměrný motor od firmy Maxon s označením 118800 a napájecím napětím až 42 V. Dále obsahuje lineární optoelektronický inkrementální snímač SL-121LB pražské firmy ESSA. Tento snímač má skleněné pravítko s čárami po 20 μm a provádí pětinasobnou interpolaci. Výstupy jsou v úrovních TTL a navíc v komplementárních dvojicích kompatibilních se standardem RS-422. V pojezdu jsou dále zabudované ochranné koncové spínače, které odpojí motor, kdykoliv mechanismus dojde na konec kolejnic. [12, 14]

3.2.5 Data ze senzoru

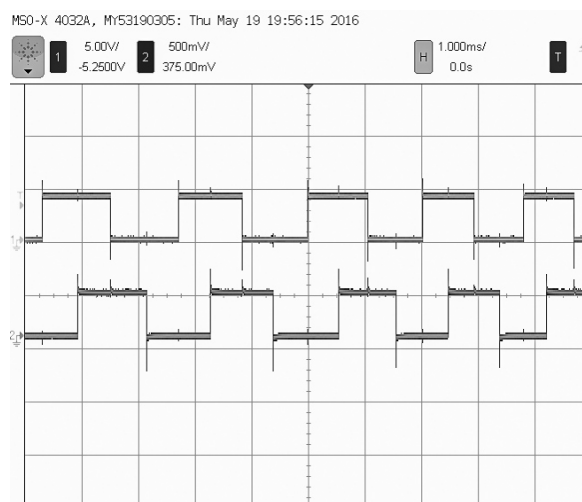
Inkrementální snímače reprezentují změnu polohy generováním tzv. kvadraturních signálů. Pro jejich zpracování byla použita funkce enkodéru, kterou je možné aktivovat u časovačů TIM2 a TIM3. Při čtyřnásobném rozlišení a po interpolaci, viz 3.2.3 na straně 10, odpovídá u ovládaného pojezdu jeden krok senzoru 1 μm posunu mechanismu. Pojezd se pohybuje v rozmezí cca 14 cm, tudíž bylo potřeba zvolit čítač tak velký, aby zvládl bez přetečení zpracovat alespoň 140 000 kroků. TIM3 je 16-bitový, zvládne tedy maximálně 65 535 kroků. Proto byl zvolen 32-bitový TIM2.

Vstupně/výstupní brány bylo nutné nastavit na alternativní funkci enkodéru. V inicializaci TIM2 byla zvolena maximální perioda a nulový prescaler, čímž se využije maximální počet hodnot čítače. Pro eliminaci rizika přetečení a podtečení čítače je jeho hodnota zprvu a při každém nulování nastavena do poloviny jeho rozsahu. Tato hodnota je pak chápána jako počátek, tedy nulová hodnota. Vzhledem k použití 32-bitového čítače to znamená přes dvě miliardy možných kroků oběma směry. To je bezpečná prevence proti přetečení, neboť rozsah použitého posuvného snímače se ani řádově neblíží této hodnotě.

Jak už bylo zmíněno, některé inkrementální senzory nabízejí třetí signál, takzvaný nulový index, na kterém je generován jediný pulz za otáčku (rotační snímače) či v celém rozsahu (posuvné snímače). Toho je v této práci využito jako referenční nulové hodnoty celého systému. Od této hodnoty se odvozuje aktuální absolutní poloha mechanismu. Zpracování tohoto signálu je implementované jako externí přerušení přivedené na vstupní bránu. Zavedení takového přerušení se provádí pomocí NVIC periferie jádra (Nested vectored interrupt controller). NVIC zvládne nastavení až 32 přerušení s programovatelnou prioritou. [2, 5]



Obrázek 3.10: Signály A, B ze snímače SL-121LB – směr 1



Obrázek 3.11: Signály A, B ze snímače SL-121LB – směr 2

Na obrázcích 3.10 a 3.11 pořízených osciloskopem jsou vidět průběhy signálů A a B ze snímače SL-121LB a jejich vzájemné fázové posunutí. Snímky jsou zachyceny při opačných směrech pohybu a korespondují s teoretickým předpokladem v části 3.2.3 na straně 10. Snímač SL-121LB má každý výstup v podobě diferenčních signálů úrovněmi odpovídajících normě RS-485. Z toho důvodu by korektní příjem na straně mikroprocesoru měl probíhat přes diferenční linkový přijímač. Ovšem v rámci zjednodušení je přijímán vždy pouze jeden signál ze dvojice a jeho úroveň je vztažena k potenciálové zemi. Na průbězích signálů jsou zřetelně vidět překmity a také malé přeslechy mezi oběma signály. Důsledkem těchto jevů ale nedochází k chybné interpretaci dat čítačem.

3.3 Komunikace a zobrazování dat

3.3.1 Asynchronní sériové rozhraní UART

UART, neboli Universal Asynchronous Receiver and Transmitter je zařízení pro sériovou komunikaci využívající dvou vodičů, Rx a Tx. Signál Rx je pro příjem dat a signál Tx pro vysílání. Komunikace přes UART bývá často realizována se standardy RS-232, RS-422, či RS-485. Formát přijímaných a vysílaných dat lze nastavit, stejně tak přenosovou rychlost.

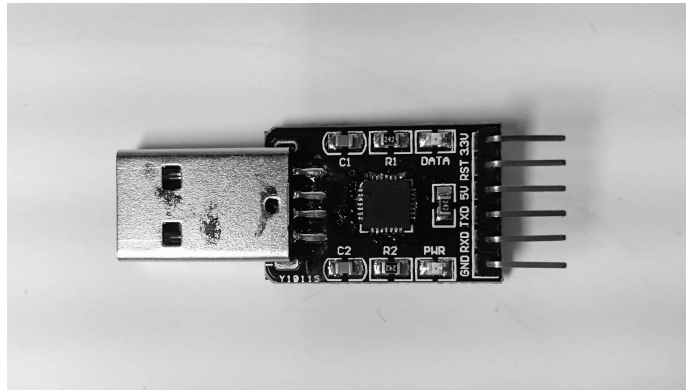
Datový formát

V klidovém stavu je linka v log. jedničce. Posílají se datové rámce obsahující 5-9 bitů dat, podle inicializace komunikace. Přenos každého rámce začíná start-bitem (log. 0), následují data v pořadí od nejméně významného bitu po nejvyšší bit a přenos je zakončen jedním stop-bitem. Volitelně se může nastavit odeslání paritního bitu po datech (pokud se zrovna nepoužívá 9 bitů dat) a také odeslání až dvou stop-bitů. Po odeslání posledního stop-bitu může celý přenos začít nanovo. [15]

Sériová komunikace mikroprocesorem

Použitý mikroprocesor STM32F042 má k dispozici dvě rozhraní USART (S znamená podporu i synchronní komunikace), z nichž byl využit USART1. Pro obousměrnou komunikaci byly využity signály USART1_TX a USART1_RX na pinech 19 a 20. Potože práce probíhala výhradně na přenosném notebooku, bylo potřeba signály nejprve převést na kompatibilní rozhraní. K tomu se využil převodník UART-USB s názvem CP2101 firmy Silicon Laboratories (obrázek 3.12).

Poznámka: Při prvotním řešení komunikace přes UART byl využit program Bc. Andreje Čižmára, který vypisoval hodnoty na terminál. [6]



Obrázek 3.12: CP2101, převodník UART-USB

3.3.2 Periferie USB

Univerzální sériovou sběrnici snad není potřeba představovat. Mikroprocesor obsahuje full-speed USB periférii ve specifikaci 2.0, která může využít vnitřní 48MHz oscilátor a pracovat tak i bez připojeného externího krystalu. V této práci se ovšem využívá funkce USB VCP (virtual COM port), díky které se zařízení v PC nastaví jako sériový COM port a je s ním i stejně zacházeno a komunikováno.

Využívány jsou signály USB_DM a USB_DP nacházející se na pinech 21 a 22. Ty jsou vyvedeny na mini-USB konektor zapojený do nepájivého pole. Odsud se zařízení připojuje k PC klasickým USB kabelem. Ze zmíněného konektoru je také napájen napěťový regulátor LE33CZ, který dále napájí vlastní mikroprocesor.

3.3.3 Modul s LCD

Pro lokální zobrazení dat ze senzoru byl připojen modul HXMG12232-2B rev.A, který obsahuje čtyřřádkový display ovládaný dvěma obvody HD44780 firmy Hitachi. Tento obvod je velmi rozšířený a používá se pro ovládání většiny malých řádkových LCD. V případě modulu na obrázku 3.13 řídí každý z obvodů dva řádky displaye. Všechny výstupní a vstupní piny mají propojené až na E1 a E2, kterými se určuje, se kterým obvodem se právě komunikuje.

Pro komunikaci s obvodem lze zvolit 8, nebo 4 datové vodiče. Byla zvolena 4-bitová komunikace z důvodu nízkého počtu pinů procesoru. Kromě již zmíněného pinu Ex a datových pinů jsou potřeba již jen dva další signály, RS a R/W. Pomocí signálu RS se volí mezi zadáváním instrukcí a posíláním vlastních dat, respektive mezi zápisem do řídicího, či datového registru. Signál R/W slouží k volbě mezi zápisem a čtením dat displaye, ve velkém množství aplikací se dá ušetřit pin procesoru tím, že se signál R/W zapojí přímo na zem a trvale se tak aktivuje režim zápisování do displaye.

Před používáním LCD musí nejprve proběhnout inicializace obvodu a volba šířky datové sběrnice. Toho je docíleno pevně danou sérií speciálních instrukcí. Při zvolení 4-bitové komunikace se všechny další instrukce posílají do obvodu nadvrát, počínaje vyšší čtveřicí bitů. Vlastní zobrazení znaku pak probíhá tak, že se pošle instrukce s nastavením polohy kurzoru (adresou požadovaného pole) a potom se odešle ASCII kód zvoleného znaku. Obvod obsahuje tabulku s definicí znaků, dokonce je možné si nadefinovat znaky vlastní. [9]



Obrázek 3.13: Modul HXMG12232-2B rev.A s LCD

NASTAVENÍ POLOHY MECHANISMU

Nyní, když je k dispozici informace o poloze mechanismu vzhledem k jeho nulové pozici, přichází na řadu druhá část zadání. Je požadováno jednoduché nastavení polohy. Nejprve bude potřeba ovládat motor a řídit směr a rychlost jeho otáčení. Poté bude vyřešena vlastní regulace, nejlépe zpětnovazební smyčkou.

4.1 Ovládání stejnosměrného motoru

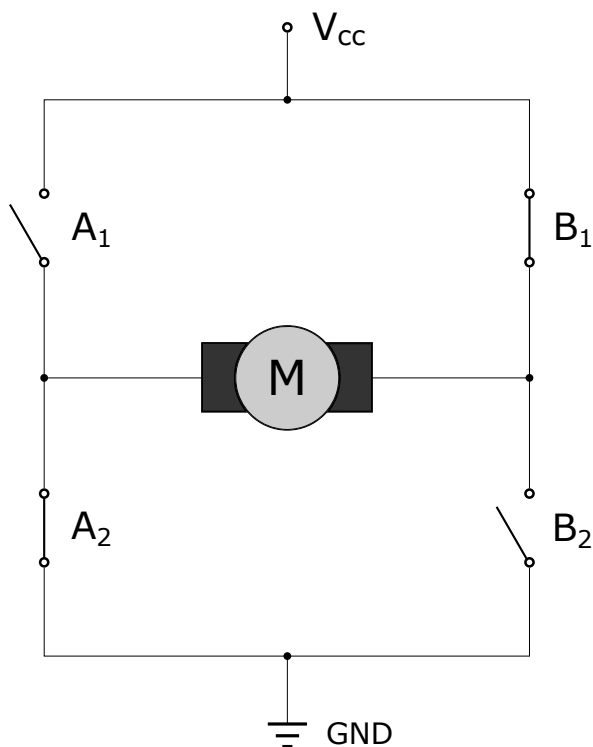
4.1.1 Budič motoru

Stejnosemřné motory lze ovládat různými způsoby. Ovšem není vhodné použití přímo pinů mikroprocesoru. Příliš nízké napájecí napětí a složitost či dokonce nemožnost změny směru otáčení, to jsou dva neškodné důvody. Hlavním důvodem je nebezpečí poškození řídicích obvodů průtokem vysokého proudu přes vinutí motoru. Proto je třeba tyto dvě části, výkonovou a řídicí, od sebe vhodně oddělit. Existuje několik způsobů jak toho docílit, například jednoduchým použitím jednoho spínacího bipolárního tranzistoru. Toto řešení dostatečně bezpečně oddělí řídicí část od výkonové a zároveň umožní přívod vyššího napětí na svorky motoru než je napětí na výstupní bráně mikroprocesoru. Avšak zůstává třetí překážka a tou je absence možnosti změnit směr průtoku proudu vinutím motoru. Vzhledem k tomu, že výslednou jednotkou má být možno nastavovat libovolnou polohu ovládaného zařízení, respektive v něm obsaženého motoru, není možné použít výše zmíněnou metodu. [6]

Místo toho využijeme struktury obvodu obsahující čtyři spínací tranzistory, dle tvaru jejího schématu nazvanou H-můstek nebo plný můstek.

Na obrázku 4.1 jsou pro zjednodušení tranzistory nahrazeny značkami spínačů. Princip spočívá v tom, že při sepnutí pouze spínačů na jedné diagonále (zde B1 a A2) protéká proud motorem v jednom směru, zatímco při sepnutých prvcích druhé diagonály ve směru opačném. To umožňuje elegantní a celkem jednoduché řízení motoru oběma směry.

Pokud motorem, který má být buzen pomocí H-můstku, nebude protékat proud větší než přibližně 2 A, je možné použít H-můstek v integrovaném obvodu. Takový obvod může být výhodné použít nejen pro úsporu místa, ale i pro další periferie integrované společně s vlastním můstkem. Tyto mohou být řídicí, například vlastní generace PWM signálu, ale převážně ochranné, jako třeba proudová nebo tepelná ochrana.



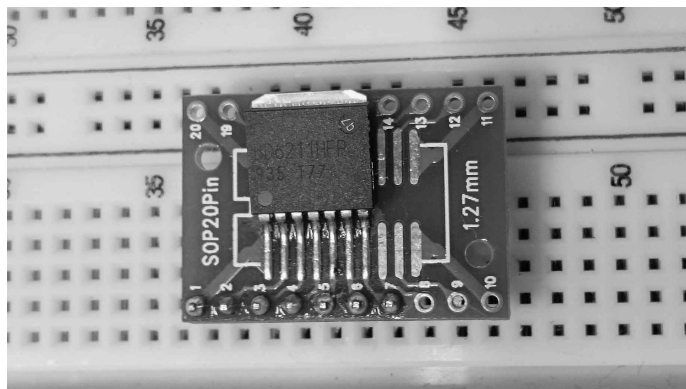
Obrázek 4.1: Zjednodušené schéma obvodu H-můstku

4.1.2 Integrovaný obvod s H-můstkem

Pro použitou výkonovou jednotku se stejnosměrným motorem bylo jako dostačující zvoleno napájení 5 V. Následně se jako budič tohoto motoru vybral integrovaný obvod s H-můstkem BD6211HFP od firmy Rohm, viz obrázek 4.2, který má řadu žádoucích vlastností.

Nápájecí napětí tohoto obvodu může být v rozmezí 3 až 5,5 voltu, maximální výstupní proud až 1 ampér. Tento integrovaný obvod obsahuje jeden H-můstek, je tedy jednocanálový. Dále je zde možnost ovládní TTL úrovněmi nebo řízení PWM signálem a to v rozmezí frekvencí 20 až 100 kHz. Jak bylo uvedeno, je v něm také implementováno několik ochranných obvodů. [8]

Ochranné obvody jsou čtyři, UVLO (Under voltage lock out), OVP (Over voltage protection), TSD (Thermal shut down) a OCP (Over current protection). Česky podpěťová ochrana, přepěťová ochrana, teplotní vypnutí a ochrana před velkým proudem.



Obrázek 4.2: Obvod BD6211HFP napájený na SOP20 adaptér do kontaktního pole

Under voltage lock out

Blok UVLO zamkne obvod při poklesu napájecího napětí na nebo pod 2,3 voltu a nastaví všechny výstupní piny do stavu vysoké impedance. Výstupy opět aktivuje při napětí 2,5 V nebo vyšším. Jako prevence proti spuštění UVLO byly použity blokovací kondenzátory na svorkách napájecího napětí. Tyto pomohou udržet požadovanou úroveň napětí, která by mohla klesnout v důsledku pulzního odběru proudu motorem.

Over voltage protection

Stejnou akci s výstupními piny provede OVP, pokud přivedeme napětí 7,3 V nebo vyšší. To se znovu deaktivuje při poklesu napětí na 6,8 V. Zde je nutno poznamenat, že v takovém případě napájecí napětí překročilo maximální povolenou hranici 7 V a výrobce tudíž nedoporučuje po spuštění této periferie obvod dále používat.

Thermal shut down

Podobné je to s tepelnou ochranou, ta vynutí všechny výstupní piny do stavu vysoké impedance při teplotě 175 °C, ovšem maximální povolená provozní teplota je 150 °C. Tím pádem by se obvod již neměl dále používat, pokud se tato ochrana aktivovala.

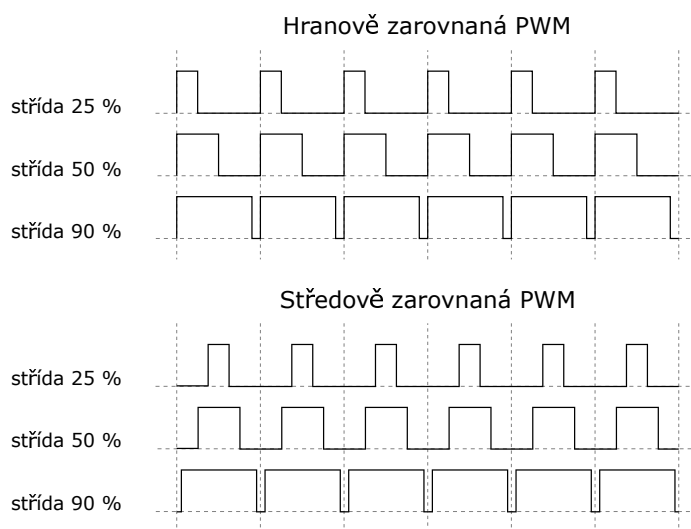
Over current protection

Nakonec je zde aktivní proudová ochrana, která chrání obvod před průtokem vyššího proudu než je stanovená mez. Obvod OCP měří výstupní proud každých 10 μ s a pokud ten přesáhne maximální úroveň 1 A, nastaví výstup na vysokou impedanci. Takto zůstane dalších 290 μ s, po kterých se proces měření opakuje. Poslouží například při neúmyslném zkratování výstupních svorek.

4.1.3 Pulzně šířková modulace

Pro ovládání stejnosměrného motoru pomocí budiče BD6211HFP, viz 4.1.2, se použily procesorem generované signály PWM (Pulse-Width Modulation – pulzně šířková modulace). PWM spočívá v generování napěťových obdélníkových pulzů konstantní periody i amplitudy, u kterých se mění pouze velikost střídy a s ní i střední hodnota napětí. Rychlost otáček stejnosměrného motoru je přímo závislá na velikosti přivedeného napětí, proto lze takto modulovaný signál použít pro jeho řízení.

Na obrázku 4.3 jsou zobrazeny časové průběhy několika signálů PWM s různě velkou střídou a ve dvou variantách spínání pulzů v rámci jedné periody. Symetrická PWM (středově zarovnaná) se od asymetrické (zarovnané k jedné hraně periody) liší tím, že generuje menší množství harmonických složek ve výstupních proudech a napětích, ovšem je o něco složitější ji implementovat. [13] Rozdíl použitého zarovnání se také projeví v aplikacích, ve kterých se používá několika synchronních signálů PWM, například pro řízení více motorů. V takovém případě při použití hranově zarovnané PWM dochází k přechodu do vysoké úrovně u všech signálů ve stejný okamžik, což způsobí velké rušení. V této práci se vždy řídí pouze jeden motor, tedy na zvoleném způsobu zarovnání PWM nezáleží.



Obrázek 4.3: Příklad asymetrické a symetrické PWM o několika hodnotách střídy

Procesor STM32F042K6 dokáže generovat signály PWM díky integrovaným časovačům. Všech pět časovačů pro obecné použití, TIM2, 3, 14, 16 a 17, má tuto funkci. Pro ovládání motoru v rámci této práce byly použity dva výstupní kanály časovače TIM3. Bylo třeba zvolit nosnou frekvenci pro generovaný signál, volba byla závislá na omezení použitého obvodu s H-Můstkem. Integrovaný obvod BD6211HFP má dané rozmezí vstupních frekvencí od 20 kHz do 100 kHz. [3, 8]

Čím vyšší by byla nastavená frekvence, tím více by se projevovat skin efekt a parazitní kapacita vinutí, s tím by se zvyšoval odpor vinutí a ztráty v mědi. Příliš nízká frekvence (kterou ale H-můstek nedovoluje), by mohla způsobit neplynulé otáčání motoru s cukáním, které může způsobit rychlejší opotřebení mechanismu, či jeho poškození. Po zvážení těchto faktorů byl zvolen nejnižší možný kmitočet, tedy 20 kHz. [16]

4.2 Regulace

4.2.1 Proporcionálně sumační regulátor

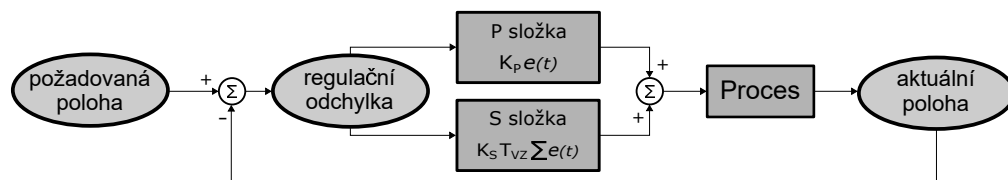
Již je vyřešeno řízení motoru pomocí PWM. Zároveň existuje zpětná vazba v podobě informace z inkrementálního senzoru. To jsou dvě věci potřebné pro návrh a realizaci zpětnovazebního regulátoru. Použije se často používaný PID (proporcionální, integrační, derivační) regulátor. Ve skutečnosti se bude jednat o PSD regulátor, kde S znamená sumační, neboť zpětná vazba je získávána v diskretních okamžicích jako jednotlivé nespojitě hodnoty, tudíž i navržený regulátor musí být diskretní. Nakonec derivační složku je možno v této aplikaci zanedbat a zvolit ji nulovou. Navrhovat se tedy bude PS, proporcionálně sumační, regulátor. [17]

Takový regulátor byl navržen ve tvaru 4.1.

$$u(t) = K_P e(t) + K_S T_{VZ} \sum e(t) \quad (4.1)$$

Kde je:

$u(t)$	akční veličina
$e(t)$	regulační odchylka
K_P	proporcionální konstanta
K_S	sumační konstanta
T_{VZ}	vzorkovací perioda



Obrázek 4.4: Schéma regulátoru

Na obrázku 4.4 je znázorněno blokové schéma navrženého regulátoru. Rozdílem požadované a aktuální polohy je regulační odchylka $e(t)$, která vstupuje do vlastního výpočtu akční veličiny. Proporcionální složka je dána vynásobením odchylky konstantou K_P . Do sumační složky vstupuje součet aktuální odchylky a odchylky z předchozí iterace. To, společně s vynásobením vzorkovací periodou, nahrazuje funkci integrátoru ve spojité verzi regulátoru.¹ Po vynásobení sumační konstantou K_S se takto vypočítaná sumační složka sečte s proporcionální složkou a výsledkem je akční veličina $u(t)$. Tato veličina se převede na akční zásah motoru jako směr otáčení a velikost střidy PWM signálu, tedy rychlost otáčení.

V programu se navíc hlídá, aby sumační složka nepřesáhla určitou mez v důsledku opakovaného přičítání/odčítání regulační odchylky. Omezena je také akční veličina. Shora stoprocentí střidou PWM a zdola padesátiprocentní. Dolní hranice je nejnižší střída PWM, při které se ještě motor otáčí, této hodnoty bylo dosaženo experimentálně. Zde se objevuje problém, který nakonec způsobil nepoužitelnost navrženého PS regulátoru. Použitý obvod pro buzení motoru má maximální napájecí napětí 5,5 V. To se nejprve zdálo jako dostatečné, neboť motor se při plném sepnutí pohyboval relativně rychle. Ovšem při řízení pomocí změny střidy signálu se nepodařilo nastavit parametry regulátoru tak, aby bylo dosaženo požadované polohy plynule a přesně. Respektive muselo být nastaveno větší pásmo necitlivosti, než bylo přijatelné pro požadovanou přesnost.

4.2.2 Alternativní nastavení polohy

Z důvodů uvedených na konci podsekcce 4.2.1 bylo potřeba navrhnout jinou regulaci než PS regulátor. Jako základ byl použit princip on-off regulátoru. Akční zásah takového regulátoru má pouze dva stavy. Zde byl navržen regulátor s celkem pěti stavy. Dvě rychlosti otáčení motoru oběma směry a zastavení otáčení motoru. V následujícím odstavci je popsán průběh nastavení požadované hodnoty.

Program po obdržení platné polohy nejprve porovná tuto polohu se svou aktuální polohou a určí prvotní směr pohybu. Na výstup se nastaví maximální úroveň napětí a periodicky se kontroluje aktuální poloha. Po dosažení žádané polohy program vypne motor a následně ho spustí opačným směrem při nejnižších možných otáčkách, opět pouze do té doby, než je detekován průjezd požadovanou hodnotou. Tímto je způsoben nejmenší možný překmit, který je navíc stálý s přesností na jednotky mikrometrů a úměrný zatížení pojezdu. To umožní systém kalibrovat a výrazně tak daný překmit eliminovat.

Experimentálně bylo ověřeno, že tímto řešením je poloha nastavována s maximální odchylkou 20 μm .

¹Poznámka: Čím kratší je použitá vzorkovací perioda, tím více se diskretní regulátor podobá spojitému regulátoru.

VÝVOJ PROGRAMU

5.1 Použité vývojové prostředí

Pro programování bylo použito vývojové prostředí Keil μ Vision5, které je zaměřeno na mikroprocesory s architekturou ARM. Obsahuje komponenty pro vývoj i ladění aplikace, ARM C/C++ kompilátor a umožňuje přidat softwareové balíčky pro jednotlivé rodiny procesorů.

5.2 Knihovny

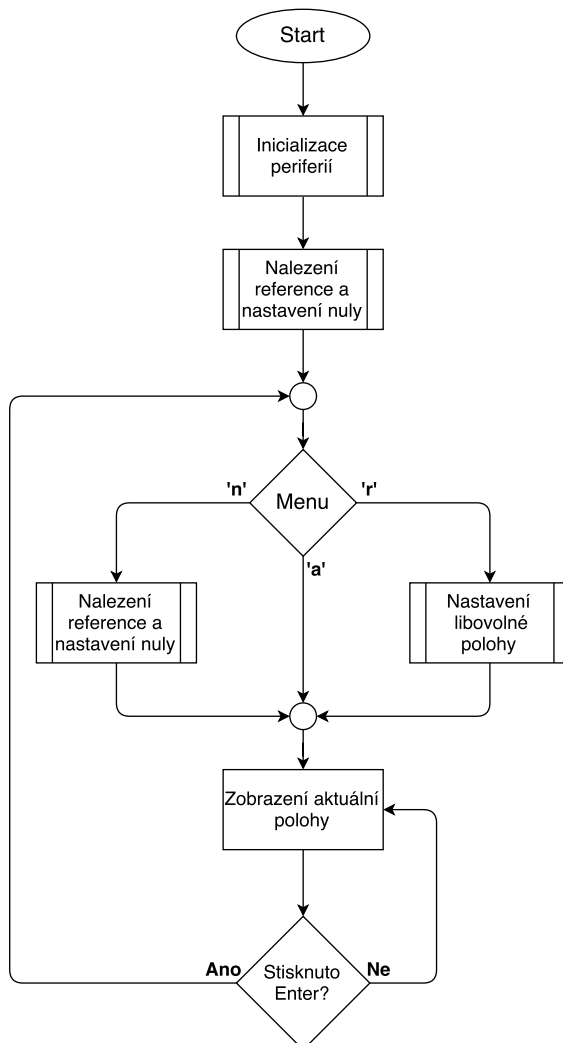
Pro zjednodušení vývoje aplikací pro mikroprocesory existují knihovny periférií, které obsahují funkce usnadňující práci programátora. Nahrazuje se tak přístup, při kterém se používá přímý zápis dat do registrů nebo zdlouhavé psaní vastních funkcí. Knihoven je výhodné použít hlavně pro inicializaci periférií procesoru, zlepšit se tak srozumitelnost výsledného kódu a je mnohem lehčí provádět dodatečné úpravy.

Jedna z možností, které pro své mikroprocesory nabízí firma STMicroelectronics je sada knihoven Standard Peripheral Library. Ta je také použita ve výsledném programu pro tento projekt. Vyzkoušen byl i novější přístup v podobě HAL Library (hardware abstraction layer), která se snaží umožnit snadnou přenositelnost projektů mezi různými procesory rodiny STM32. K dispozici je dokonce nástroj, STM32Cube, který pomocí grafického uživatelského rozhraní generuje inicializační kódy pro zvolené periferie. Vizuálně se v něm dá také nastavit třeba zdroj hodinového signálu a použití obvodů PLL, nebo aktivovat piny pro jednotlivé periferie a jednoduše se vyvarovat kolizím.

5.3 Struktura programu

Firmware procesoru je napsaný v jazyce C a inicializační funkce periférií využívají knihovnu Standard Peripheral Library. V hlavní funkci *main()* se nejprve postupně volají inicializační funkce všech použitých periférií (*RCC_Config()*, *GPIO_Config()*, *TIM1_Config()*...). Jako další se zavolá funkce *Find_Zero()*, která nalezne nulovou pozici pomocí referenčního pulzu, viz 3.2.5 na straně 14. Tam zastaví pojezd a nastaví hodnotu čítače TIM2 do poloviny jeho rozsahu. Tato poloha je nyní chápána jako počátek. Poté hlavní funkce programu přejde do nekonečné smyčky, ve které je volána pouze funkce *Menu()*.

Základní logika programu je znázorněna ve vývojovém diagramu 5.1.



Obrázek 5.1: Vývojový diagram programu

5.4 Ovládání programu

Uživatelská interakce probíhá přes terminálové okno na připojeném počítači. Po resetu mikroprocesoru uživatel nejprve vidí hlášku oznamující hledání nulové polohy a poté se zobrazí nabídka hlavního menu, viz diagram 5.1. V menu má uživatel možnost zvolit jednu ze tří voleb stisknutím jedné z kláves „n“, „a“, „r“. Jakákoli jiná klávesa způsobí výpis chybové hlášky a výzvy k opětovnému zadání příkazu.

Příkazem „n“ se zavolá funkce *Find_Zero()* jako při startu programu, mechanismus tedy najede na nulovou polohu a čítač TIM2 je opět nastaven na polovinu svého rozsahu (3.2.5 na straně 14). Potom se systém přepne do režimu zobrazování aktuální polohy, ve kterém zůstane do rozpoznání stisku klávesy Enter, která způsobí skok zpět do menu.

Stisknutí klávesy „a“ jednoduše nastaví zobrazování aktuální polohy bez jakéhokoli ovládní. Zpět do menu se uživatel dostane pomocí klávesy Enter.

A konečně volba příkazu „r“ znamená nastavení mechanismu na požadovanou polohu. Uživatel je vyzván k zadání hodnoty v daném rozsahu a potvrzení stiskem Enter. Jestliže je zadána hodnota mimo rozsah, či pokud obsahuje neplatný znak, vypíše se upozorňující hláška a zadávání je opakováno. Po přijetí platné hodnoty, pokud se ta neshoduje s aktuální polohou, je předána jako vstupní parametr funkci *Bang_Bang(int ref)*. Během nastavování polohy se zobrazuje aktuální poloha a nepřestává se zobrazovat ani po dosažení žádané polohy. Menu opět přivoláme klávesou Enter.

ZÁVĚR

V této práci byla navržena jednotka, která dekoduje, zpracovává a zobrazuje data z inkrementálních snímačů. Následně byl realizován prototyp na nepájivém kontaktním poli. Jeho funkce byla ověřena na několika různých snímačích a jedině, co se muselo v zapojení měnit, byly napěťové děliče zajišťující správné úrovně signálů. Data se posílají přes USB, nebo UART do připojeného terminálu. V druhé části práce byla jednotka rozšířena o budič stejnosměrného motoru a v programu se řešil způsob řízení. Předpokládalo se řízení takového motoru, jehož poloha je monitorována inkrementálním snímačem. Bylo tedy navrhováno zpětnovazební řízení. Pro prvotní nedostatečnou přesnost a spolehlivost byly navrženy dvě verze nastavování polohy. Také bylo implementováno jednoduché ovládání jednotky skrze terminálové okno.

LITERATURA

- [1] YIU, Joseph. *The definitive guide to the ARM Cortex-M0*. Amsterdam: Elsevier Newnes, 2011, xix, 529 s. ISBN 978-0-12-385477-3.
- [2] STMicroelectronics. *RM0091 Reference manual. Rev 8*. 2015. [online]. Dostupný z: http://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031936.pdf
- [3] STMicroelectronics. *DS10147 STM32F042x Data sheet*. 2014. [online]. Dostupný z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f042k6.pdf>
- [4] NOVÁK, Petr. *Rotační inkrementální senzory*. 2002. [online]. Dostupný z: <http://automa.cz/download/au100232.pdf>
- [5] STMicroelectronics. *PM0215 STM32F0xxx Cortex-M0 programming manual. Rev 1*. 2012. [online]. Dostupný z: http://www.st.com/resource/en/programming_manual/dm00051352.pdf
- [6] ČIŽMÁR, Andrej. *Bakalářská práce Regulátor objektivu*. 2014. [online]. Dostupný z: <http://hdl.handle.net/10467/24186>
- [7] ALPS Electric. *EC12E, webová stránka produktu*. 2016. [online]. [cit. 20. 5. 2016]. Dostupný z: <http://goo.gl/xF37gT>
- [8] ROHM Semiconductor. *H-bridge drivers Technical note. Rev C*. 2009. [online]. Dostupný z: <http://www.rohm.com/web/eu/products/-/product/BD6211HFP>
- [9] HITACHI. *HD44780U Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver*. [online]. Dostupný z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>
- [10] LARM. *Incremental rotary encoders IRC300 – 325*. [online]. Dostupný z: www.larm.cz/templates/larm/data/82_irc300-325gb.pdf
- [11] STMicroelectronics. *LExx, very low-dropout voltage regulator with inhibit function. Rev 14*. 2014. [online]. Dostupný z: www.st.com/resource/en/datasheet/lexx.pdf
- [12] MAXON. *RE 36 - 36 mm, Graphite Brushes, 70Watt*. 2009. [online]. Dostupný z: <http://www.treffer.com.br/produtos/maxon/motores/pdf/83.pdf>
- [13] YU, Zhenyu. *Symmetric PWM Outputs Generation with the TMS320C14 DSP*. 1997. [online]. Dostupný z: <http://www.ti.com/lit/an/spra278/spra278.pdf>

- [14] ESSA. *Specifikace označení lineárních snímačů*. 2011. [obrázek jpg]. Dostupný z: <http://www.essapraha.cz/specifikace-ozna%C4%8Deni/id-86>
- [15] FISCHER, Jan. *Přednáška UART, RS232, 422, 485*. 2013. [soubor pdf]. Dostupný z: <http://goo.gl/vOLQ0y>
- [16] STANĚK, Jan. *Bakalářská práce Řídící modul akčních členů*. 2012. [online]. Dostupný z: <http://hdl.handle.net/10467/10579>
- [17] ŠEBEK, Michael. *Přednáška 11 - Regulátory*. 2016. [soubor pdf]. Dostupný z: http://www.polyx.com/_ari/slajdy/Bas-ARI-11-Controllers.pdf