

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Regulátor objektivu

Autor: Andrej Čižmár

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

Praha, 2014



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Andrej Čižmár**

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

Název tématu česky: **Regulátor objektivu**

Název tématu anglicky: **Lens Controller**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte modul číslicového regulátoru s procesorem řady STM32, který bude možno využít pro dálkové ovládání clony, ostření a nastavení ohniskové vzdálenosti elektricky řízených objektivů, jako jsou např. objektivy firmy Computar. Navrhněte a implementujte potřebné metody řízení objektivu. Modul má spolupracovat s nadřazeným systémem prostřednictvím rozhraní RS-232, RS-485, případně dalších rozhraní. Ověřte možnost použití regulátoru pro řízení polohovacího mechanismu kamery se stejnosměrným, případně krokovým motorkem a odporovým nebo inkrementálním snímačem polohy.

Seznam odborné literatury:

- [1] RM0091 Reference Manual, STMicroelectronics, 2012; www.st.com
- [2] Novotný, P.: Diplomová práce, ČVUT - FEL, Praha 2013
- [3] Yiu J.: The definitive Guide to the ARM Cortex- M3. Elsevier 2007, ISBN: 978-0-7506-8534-4

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

Datum zadání bakalářské práce: 25. listopadu 2013

Platnost zadání do¹: 30. ledna 2015


Prof. Ing. Vladimír Haasz, CSc.
vedoucí katedry




Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 25. 10. 2013

¹ Platnost zadání je omezena na dobu dvou následujících semestrů.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modulu číslicového regulátoru pro elektronicky řízený objektiv, jako je např. objektiv od firmy Computar. Byl použit mikroprocesor z řady STM32. Modul reguluje pozici ohniskové vzdálenosti, ostření a pohybuje clonou. Také má navrženou obousměrnou komunikaci s nadřazenou jednotkou. Byla ověřena možnost použití číslicového regulátoru pro polohovací zařízení se stejnosměrným motorem a inkrementálním snímačem.

Annotation

This thesis deals with design and realization of discrete controller module for motorized zoom lens, such as lens from company Computar. In this module was implemented microcontroller STM32. Module controls zoom, focus, and is able to change iris parameters. Control unit implemented bidirectional communication with central unit. Discrete controller was tested in a positioning unit, which has DC motor and incremental position sensor.

Čestné prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis autora práce

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Janu Fischerovi, Csc. za vstřícnost a neúnavnost při mém vedení. Dále také za velkou ochotu kdykoliv a s čímkoliv pomoci. Děkuji své přítelkyni a rodině za trpělivou pomoc při mém dosavadním studiu.

Obsah

1. Úvod	1
2. Rozbor zadání	2
2.1 Koncepce řídicí jednotky a jejího použití	2
2.2 Vlastnosti elektronicky ovládaných objektivů	3
2.2.1 Pohony elektronicky ovládaných objektivů	3
2.2.2 Senzory použité u elektronicky ovládaných objektivů	4
2.3 Mikroprocesor	6
2.3.1 Výběh mikroprocesoru	6
2.3.2 Integrované periferie v mikroprocesoru STM32F050F6P6	6
3. Mikroprocesorový modul	8
3.1 Popis mikroprocesorového modulu	8
3.2 Návrh elektroniky mikroprocesorového modulu	9
3.3 Návrh DPS mikroprocesorového modulu	9
4. Řešení řídicí jednotky pro objektiv	11
4.1 Předpoklady	11
4.2 Ovládání motorů	12
4.2.1 Budič motorů	12
4.2.2 Ovládání PWM signálem	16
4.3 Zpracování signálů z objektivu H6Z0812MSP	17
4.4 Indikace dojezdu mechanismů v objektivu	18
4.4.1 Snímání proudu	18
4.4.2 Volba operačního zesilovače	21
4.5 Rušení měřených signálů	24
4.5.1 Identifikace rušení	24
4.5.2 Opatření potlačující rušení	25
4.6 Regulátor implementovaný v řídicí jednotce	27
4.6.1 Charakteristika systému	27
4.6.2 Návrh regulátoru	29
4.7 Návrh komunikace řídicí jednotky	30
4.7.1 Implementace komunikačního rozhraní	30
4.7.2 Popis komunikace	31
4.7.3 Výpočet reference pro regulátor ze vstupních dat	32
4.8 Napájení řídicí jednotky	33
5. Řízení polohovacího mechanismu	34

5.1 Předpoklady pro návrh řízení polohovacího mechanismu	34
5.2 Zpracování signálů z inkrementálního snímače	35
6. Závěr	37
Seznam ilustrací.....	38
Seznam tabulek.....	39
Seznam literatury.....	40
Přílohy	41

1. Úvod

Digitální kamery a fotoaparáty jsou dnes v běžném životě velmi využívány. Nezastupitelnou úlohu mají i v průmyslu. Nejspíše každý se setkal s kamerami a fotoaparáty, které jsou použity v bezpečnostní technice. Použity jsou také v automobilech, helikoptérách či letadlech bezpečnostních složek, které je využívají pro různá prohledávání prostředí. V dnešní době jsou také hojně zapojeny v řídicí technice.

Pokud se jedná o použití, kde je důležitá kvalita obrazu (např. bezpečnostní systémy), je možné použít ke kameře či fotoaparátu objektiv. Můžeme si představit bezpečnostní systém, který je určen pro pozorování situace v ulicích měst policií. Aby bylo možné rozeznat obličej pachatele, poznávací značku automobilu či jiné detaily, je nutné obraz přiblížit, zaostřit a případně zastínit clonou.

Pro jednoúčelové použití je možné využít manuálně nastavitelného objektivu, např. v řídicí technice. U systémů, kde je nutné stále měnit obraz a ovládání musí být dálkové, bezdrátové či velice precizní, se nejčastěji používají elektricky ovládané objektivy. Tyto objektivy lze přesně a plynule ovládat pomocí řídicí jednotky. Toto řešení má mnoho výhod, zejména v možnostech ovládání. Řídicí jednotka může být samostatné zařízení v podobě příručního ovladače bez možnosti vzdáleného přístupu, nebo se může jednat o součást rozsáhlého distribuovaného systému.

Nabídka řídicích jednotek pro elektronicky řízené objektivy je na rozdíl od řídicích jednotek pro samostatné stejnosměrné nebo krokové motory velice malá a existuje jen velmi málo zdrojů, které pomáhají s jejich návrhem. Např. firma Computar, která vyrábí objektiv používaný v této bakalářské práci, nabízí pouze ruční ovladač v ceně 300€, jenž lze použít jenom k jednoduchému ovládání. Nenabízí však rozšířenější zařízení, které by bylo možno zabudovat do jiných systémů. Problém je také s technickým popisem elektronických objektivů. I s přihlédnutím k ceně objektivu, která se pohybuje okolo 25000 Kč, je technická dokumentace velice stručná a nabízí pouze základní informace. Pokud kdokoliv potřebuje detailní informace, které jsou nezbytné k návrhu řídicí jednotky, musí si je sám změřit. Tím se komplikuje vývoj a zvyšuje šance na poškození objektivu.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a sestavit řídicí jednotku elektronicky ovládaného objektivu (*motorized zoom lens*). Jednotka bude mít implementovaný číslicový regulátor, který bude schopný nastavit ohniskovou vzdálenost – *ZOOM* a měnit ostření – *FOCUS*. Řídicí jednotka také musí být schopna ovládat clonu – *IRIS*. Dále je nutné navrhnout způsob komunikace s nadřazenou jednotkou pomocí rozhraní RS-232 nebo jiných rozhraní.

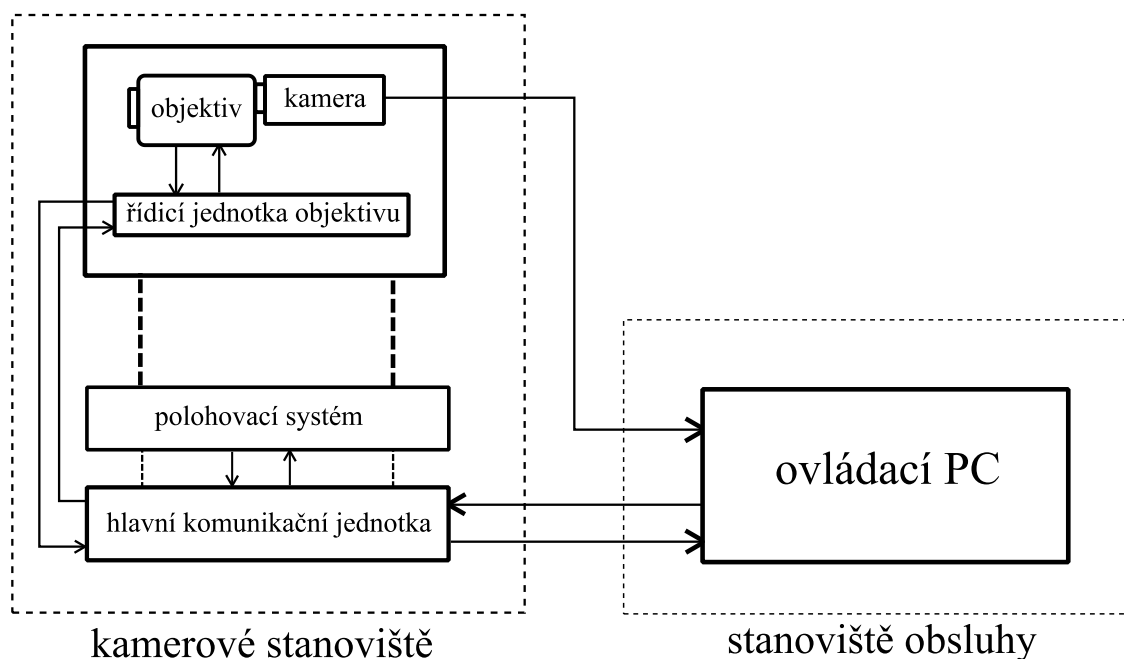
Dalším úkolem je ověřit možnost využití navrženého regulátoru pro řízení polohovacího mechanismu kamery. Ten může obsahovat stejnosměrný, případně krokový motor a potenciometrický nebo inkrementální snímač polohy.

2. Rozbor zadání

2.1 Koncepce řídicí jednotky a jejího použití

Jak již bylo zmíněno v úvodu, cílem této práce je navrhnout řídicí jednotku zoom objektivu, která nastavuje tři jeho parametry a komunikuje s nadřazenou jednotkou. Hlavní využití řídicí jednotky je u kamerového systému, jehož součástí je pohledová kamera. Tato kamera je určena pro pozorování blízkých i vzdálených předmětů, a proto je nutné měnit ohniskovou vzdálenost. S tím je také spojena nutnost ostření obrazu. Dále je důležité, aby mohl být obraz z pohledové kamery přisvícený či přiclouňený, protože je kamerový systém určen pro sledování venkovního prostředí.

Pro splnění těchto požadavků je na pohledovou kameru namontován zoom objektiv. Pokud by bylo stanoviště kamerového systému v blízké vzdálenosti od jeho obsluhy, bylo by možné nastavovat parametry objektivu ručně. V konceptu kamerového systému je však stanoviště obsluhy vzdáleno od stanoviště kamerového systému přibližně 100 m, a proto je nutné objektiv ovládat dálkově. Pro tyto aplikace se používá tzv. motorized zoom lens, tedy elektronicky ovládaný objektiv. Koncepce kamerového systému je zobrazena na obr. 1.



Obr. 1 – Koncept kamerového systému

Co všechno je tedy nutné udělat? Základem je navrhnout metodu řízení, díky které bude moci řídicí jednotka co nejlépe nastavovat vlastnosti objektivu. Tomu je však potřeba nejprve porozumět. Nutné je také navrhnout způsob komunikace řídicí jednotky s nadřazenou jednotkou. Pro umožnění komunikace je nutné použít mikroprocesor řady STM32F0xx, jak stojí v zadání. Práce s těmito mikroprocesory není ve výukových osnovách běžná, a proto je důležité pochopit jejich funkce a principy vývoje kódu.

Metody řízení, které jsou navrženy pro řídicí jednotku, lze využít pro jiné aplikace. Jedná se např. o polohovací mechanismus, kde může být rozdíl v použitém snímáči polohy.

2.2 Vlastnosti elektronicky ovládaných objektivů

2.2.1 Pohony elektronicky ovládaných objektivů

Jednou z hlavních částí elektronicky ovládaných objektivů jsou jejich motory. Ty mají za úlohu pohybovat s mechanismy, které obsahují optiku, a tím mění veškeré vlastnosti obrazu. Na volbě a implementaci motorů závisí výsledná kvalita a funkčnost objektivu. Pohybovat mechanikou v objektivu nevyžaduje vysoce výkonné motory, které potřebují střídavé napájení, a proto se využívají motory napájené stejnosměrným napětím, především stejnosměrné motory. Využití stejnosměrných motorů má výhodu v jejich implementaci, jelikož nevyžadují složitou elektroniku. Další výhodou tohoto typu motorů je jejich cena, jelikož náklady na výrobu stejnosměrných motorů jsou velice nízké. Důležitým aspektem při výběru motoru do objektivu je jeho velikost. Požadavky na výrobce objektivů jsou v dnešní době rozmanité a je nutné, aby měl zákazník možnost vybírat z různých velikostí, přičemž jde i o velice malé výrobky.



Obr. 2 – Objektiv Computar H6Z0812MSP [<http://www.computarganz.com>]

Řídicí jednotka je navrhována pro objektiv Computar H6Z0812MSP. Jeho hlavní vlastností je možnost nastavit ohniskovou vzdálenost od 8 – 48 mm, tedy šestinásobný zoom. Objektiv obsahuje tři stejnosměrné motory, které pohybuji mechanismy *zoom*, *focus* a *iris*, dále již jen *ZOOM*, *FOCUS* a *IRIS*. Vlastnosti těchto motorů jsou obsaženy v tab. 1.

Motory ovládající mechanismy	Zoom	Focus	Iris
Napájecí napětí	8 V		
Maximální proud	40 mA	40 mA	20 mA
Doba přejezdu mechanismu (pro 8 V)	4,5 s	5 s	2,5 s
Rozsah provozních teplot	-10 °C až +50 °C		

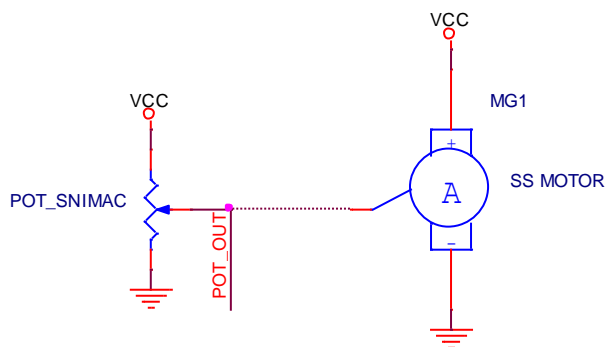
Tab. 1 – Vlastnosti stejnosměrných motorů v objektivu Computar H6Z0812MSP

Z hodnot v tabulce tab. 1 je patrné, že motor použitý pro *IRIS* je odlišný od motorů pro *ZOOM* a *FOCUS*. To je způsobeno rozdílnou zátěží na jednotlivé mechanismy. *ZOOM* a *FOCUS* pohybují konkrétní optikou a překonávají odpor ozubených kol a šroubovic v objektivu. Z tohoto důvodu je nutné použít silnější motory, kterými protéká vyšší proud. *IRIS* je velice malý mechanismus a pohybuje pouze lehkými lamelami, které nekladou výrazný odpor, tudíž není potřeba motor s vyšším výkonem. Tento motor musí být také velice malý, protože se pohybuje spolu s mechanismem *ZOOM*. Důležitou vlastností mechanismů je také rychlost přejezdu. Ta udává charakter dynamiky systému, tedy jak rychle je možné nastavovat polohu. Doba přejezdu je závislá na napájecím napětí motorů.

2.2.2 Senzory použité u elektronicky ovládaných objektivů

Aby bylo možné u elektronicky ovládaných objektivů řídit polohu, tedy přesně nastavovat jeho vlastnosti, musí jednotlivé mechanismy obsahovat snímače polohy. Typů snímačů polohy je celá řada, ale ne všechny lze využít v objektivu. Nejběžnější jsou potenciometrické snímače. Jejich výhodou je jednoduchost, rychlost, cena, ale také přesnost.

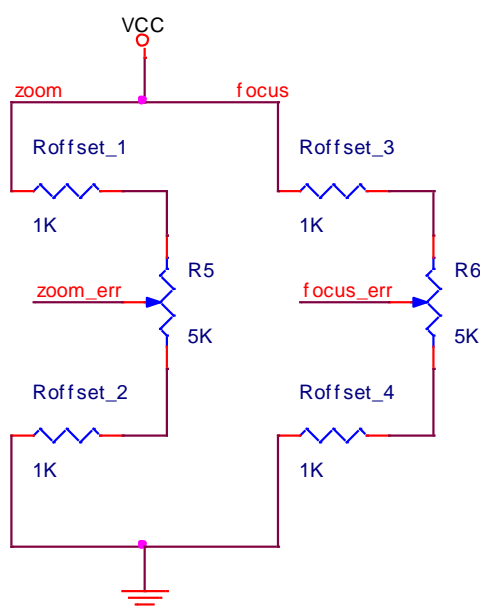
Princip je stejný jako u potenciometru, kde funkce odpovídá děliči napětí. Na vstup snímače je přivedeno napětí, které určuje maximální hodnotu polohy na senzoru. S pohybem jezdc se mění dělicí poměr děliče, a tím dochází ke změně napětí na výstupu. U ideálního potenciometru je tedy minimální hodnota výstupního napětí 0 V. Nejvyužívanější je lineární potenciometrický snímač, ale je možnost použít také logaritmický. Schéma realizace snímače je na obr. 3.



Obr. 3 – Schéma realizace potenciometrického snímače

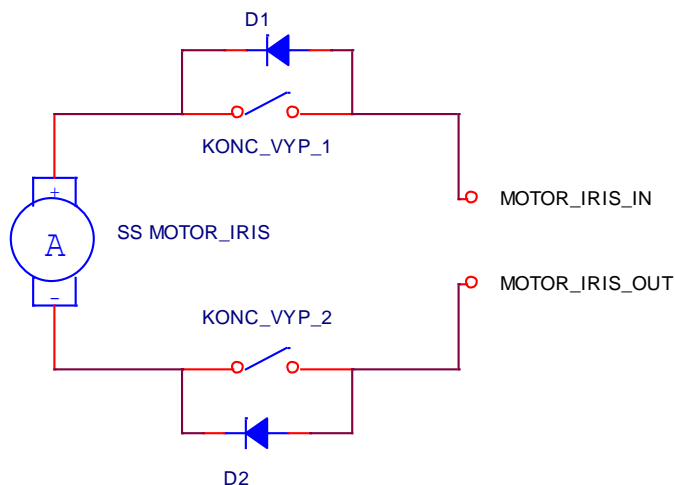
V reálném zařízení nelze používat samotný snímač bez jakéhokoliv opatření. Pokud je jezdec v horní krajní poloze, do které se snímač běžně dostává a došlo by k jeho uzemnění, může dojít k jeho zničení. Jezdec propojí napájecí napětí se zemí a následně poteče potenciometrem vysoký zkratový proud. Jako opatření se využívá zapojení odporů do série s potenciometrickým snímačem. Konkrétní zapojení potenciometrických snímačů pro *ZOOM* a *FOCUS* v objektivu H6Z0812MSP je na obr. 4.

Elektronické objektivy dále obsahují prvky, které zajišťují ochranu proti dorazu do krajní polohy. Ten může způsobit poškození vnitřního mechanismu. Těmito prvky jsou koncové vypínače. Ochrana mechanismu je zajištěna tím, že při dojezdu do krajní polohy dojde k vypnutí spínače, čímž se odpojí napájecí napětí od motoru a dojde k jeho zastavení, tedy vinutím motoru neprotéká proud. Paralelně zapojenými diodami k vypínačům je možné motory přepólováním vstupů znovu uvést do pohybu. Pomocí změny protékajícího proudu lze koncové vypínače použít také jako jednoduché senzory polohy.



Obr. 4 – Zapojení potenciometrických snímačů v objektivu Computar H6Z0812MSP

U objektivu Computar H6Z0812MSP jsou koncové vypínače součástí pouze u *IRIS*, viz obr. 5. Ten však neobsahuje snímač polohy. Naproti tomu *ZOOM* a *FOCUS* neobsahují koncové vypínače. Tento problém je řešen v kap. 4.4.



Obr. 5 – Zapojení koncových vypínačů u objektivu Computar H6Z0812MSP

Koncové vypínače jsou zapojeny dle obr. 4. Pokud se mechanismus pohybuje, spínače jsou sepnuty a motorem může protékat proud, zatímco jeho funkce není nijak omezena. Při dojezdu do jakékoli krajní polohy dojde k rozepnutí spínače a uplatní se pouze paralelně zapojená dioda, která je však v závěrném směru a nepropustí proud. Tím je zajištěno, že se motor zastaví.

2.3 Mikroprocesor

2.3.1 Výběr mikroprocesoru

Hlavní součástí řídicí jednotky pro objektiv a polohovací zařízení je mikroprocesor, který má za úkol generovat signály, jež ovládají motory. To se děje v závislosti na zpracovaných signálech z objektivu, nebo z kvadrantního inkrementálního snímače na polohovacím zařízení. Dále musí mikroprocesor komunikovat s centrální jednotkou a zpracovávat přijaté příkazy. Výběr mikroprocesoru je tedy u vestavěných systémů velice důležitý, protože je tak možné ztlážit vývoj, ale především se mohou výrazně prodražit celkové náklady na výrobu.

Jak stojí v zadání, pro řídicí jednotku je potřeba použít mikroprocesor z řady STM32F0xx. Tato řada je zvolena především kvůli demonstraci jeho možností v rámci nízké pořizovací ceny, která se pohybuje kolem jednoho eura. Mikroprocesory této řady jsou 32bitové a mají jádro ARM Cortex-M0. To má možnost vypínat veškeré periferie. Díky této vlastnosti se hojně využívají u vestavěných systémů, protože se tím dá rapidně snížit spotřeba elektrické energie, což je jeden z nejdůležitějších faktorů u přenosných zařízení. Úspora elektrické energie je také podpořena sníženým napájecím napětím, které je 3,3 V.

Pro tuto práci byl zvolen mikroprocesor typu STM32F050F6P6. Je uložený do pouzdra TSSOP20, tedy je pouze dvacetipinový. Jeho výhodou je však celková velikost, neboť je velice malý a lze jej použít pouze u velice malých zařízení. Nevýhodou je absence více pinů, které jsou spojeny s periferiemi, což může ztlážit návrh celého zařízení. Jak je patrné na schématu řídicí jednotky (**příloha 1**), na mikroprocesoru jsou využity všechny piny. Kdyby bylo potřeba rozšířit jednotku pro více motorů, musel by se návrh zařízení předělat pro jiný typ mikroprocesoru.

Tento mikroprocesor je schopný pracovat až na kmitočtu $f_{clk} = 48$ MHz. Tento kmitočet je generován pomocí vnitřních PLL obvodů, pro které lze jako zdroj použít vnitřní 8MHz oscilátor, nebo externí krystal, který může mít hodnotu od 4 do 32 MHz. Vnitřní paměť je typu Flash a SRAM. Flash je o velikosti 16 kByte a SRAM 4 kByte. Rozsah pracovních teplot mikroprocesoru je -40 °C až $+105$ °C, tedy ho lze v našich klimatických podmínkách využít i ve venkovních aplikacích.

2.3.2 Integrované periferie v mikroprocesoru STM32F050F6P6

Mikroprocesor STM32F050F6P6 má implementované periferie, které velice zásadně zjednodušují návrh řídicí jednotky. Typy mikroprocesorů se liší především počtem periférií, které jsou integrovány na jednom čipu. Na tomto parametru je také závislá jejich cena. Pokud se odebírají mikroprocesory od jedné firmy, jako jsou např. mikroprocesory firmy STMicroelectronics, je možnost vyměnit mikroprocesor za jiný, který má více periférií a je ze stejné řady. Ve většině případů výrobci u jedné řady mikroprocesorů nemění pinout. Příkladem může být mikroprocesor STM32F042, který má v sobě již implementovaný řadič USB a CAN, a je ho tak možné použít do modernějších zařízení, které používají tyto rozhraní. Konkrétní řešení je takové, že je možnost přemapovat piny pro USART na CAN, či USB.

Základní periférií mikroprocesoru jsou vstupně/výstupní brány GPIO. Jimi se ovládají směry otáčení motorů v objektivu. Každý pin v jakékoliv bráně lze nastavit jako vstup nebo výstup. Je zde proto možnost nastavení připojení Pull Up, nebo Pull Down rezistoru k pinu. Piny je také možno nastavit jako měřicí vstupy, anebo jim přiřadit alternativní funkci. Důležitou

vlastností jednotlivých pinů je jejich maximální možné vstupní napětí. Brána GPIOA má všechny piny 3,3 V tolerantní, ostatní piny, tedy PF0, PF1 a PB1, jsou 5 V tolerantní.

Další používanou periférií je vnitřní A/D převodník. Ten je v řídicí jednotce velice důležitý. S jeho použitím jsou zpracovávány veškeré potřebné signály z objektivu. Mikroprocesor STM32F050F6P6 obsahuje pouze jeden aproximační A/D převodník, který je možno připojit k pinům k celé bráně GPIOA a také k pinu PB1. Je tedy možno měřit analogové signály až na devíti pinech. Rozlišení převodníku je volitelné, od 6bitového po 12bitové. Maximální hodnota měřeného napětí je 3,3 V, tedy napájecí napětí. Mikroprocesor má také možnost napájet analogovou část zvlášť pro potlačení rušení na měřicí části.

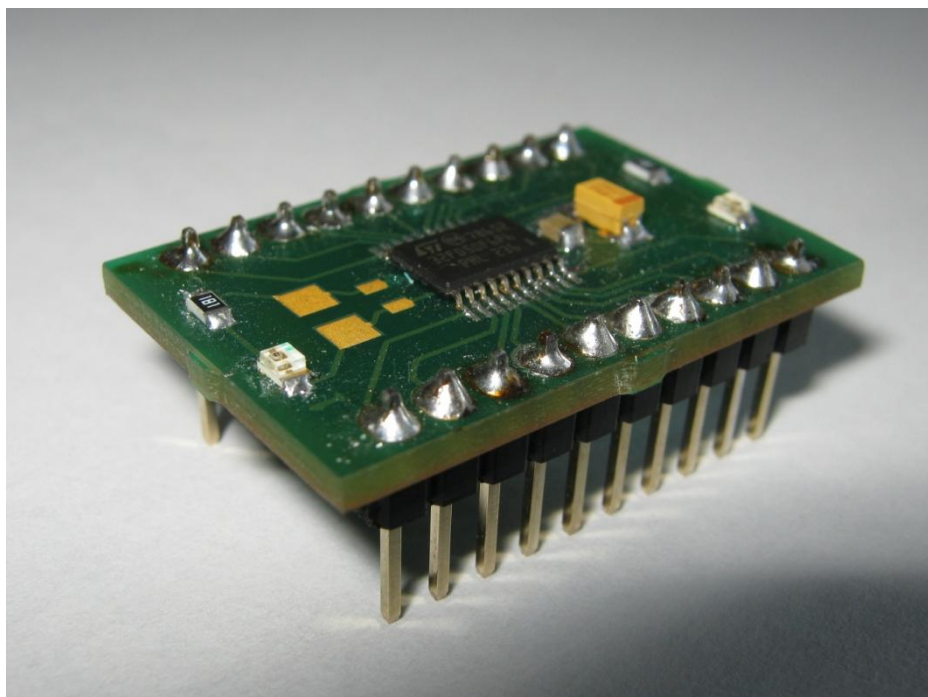
Aby bylo umožněno rychlé měření napětí z více vstupních kanálů A/D převodníku, je možnost využít periférii DMA (Direct memory access). Tato periférie ulehčuje práci jádra mikroprocesoru, jelikož umožňuje přenos dat přímo z periférie do paměti, nebo z paměti do paměti. V tomto případě z A/D převodníku do paměti Flash. DMA má 5 kanálů, přes které dokáže přenášet data do paměti. U řídicí jednotky je to důležitý parametr, který omezuje maximální počet měřených napětí, neboť se měří právě 5 analogových signálů.

Přesné generování PWM signálů a zpracování signálů z kvadrurního inkrementálního snímače zajišťují v mikroprocesoru časovače. Dostupných je 9 druhů časovačů. Rozlišení je různé. Sedm časovačů má rozlišení 16 bitů, jeden 24 bitů a jeden 32 bitů. Časovače mají mnoho pracovních režimů. Základními jsou output compare, který se používá pro periodické generování přerušování a input capture, který dokáže číst pulzy. Dalšími důležitými funkcemi je možnost generování PWM signálu a enkodér pro kvadrurní inkrementální snímač. Generovat PWM je možné pomocí jakéhokoliv časovače. Enkodér inkrementálního snímače je spojen s čítačem TIM2, který je 32bitový

3. Mikroprocesorový modul

3.1 Popis mikroprocesorového modulu

Pro možnost ověření funkčnosti elektronického zapojení řídicí jednotky na nepájivém poli, a také pro výukové účely, bylo potřeba navrhnout a realizovat mikroprocesorový modul. K němu bylo také nutné vypracovat dokumentaci s manuálem. Modul je navržen pro mikroprocesor STM32F050F6P6, který je integrován v pouzdře TSSOP20. Použitelný je i pro jiné typy mikroprocesorů řady STM32F0xx v tomto pouzdře, např. STM32F042F6P6. Aby mohl být modul použit na nepájivém poli, jsou jeho konektory navrženy v rastru 100mil.



Obr. 6 – Mikroprocesorový modul STM32F050F6P6

Ve výuce slouží modul pro možnost použití mikroprocesoru s jádrem typu ARM do zkušebních zařízení, aniž by musely být použity originální výukové moduly Discovery kit STM32 F0 od firmy STMicroelectronics. Tyto moduly mají výhodu v minimální nutnosti implementace vlastního návrhu hardwarové části, jelikož je vše řešeno přímo na základní desce u mikroprocesoru. Pro zařízení, kde je potřeba použít např. mikroprocesor STM32F050F6P6 a také je zapotřebí následně navrhnout DPS, poslouží modul jako samostatná mikroprocesorová jednotka, díky které je možnost navrhnout vlastní hardware, a tím si osvojit specifické vlastnosti návrhu zařízení s mikroprocesorem.

Pro vývoj řídicí jednotky bylo použití tohoto mikroprocesorového modulu velice podstatné. Ve studijním plánu mého oboru nejsou mikroprocesory s jádrem ARM a práce s nimi zahrnuty, a proto jsem se s nimi musel nejprve naučit pracovat. Základem bylo ověření možností nahrání programu do vnitřní paměti Flash, což je i pro jiné studenty, kteří začínají pracovat s tímto typem mikroprocesoru, velice podstatné. V dokumentaci je popsána možnost nahrávání jak přes SWD, tak pomocí Bootloaderu.

Díky těmto poznatkům bylo možné pracovat s mikroprocesorem a začít si osvojovat použití integrovaných periférií. Zde bylo využito vzorových programů na Discovery kit STM32F0,

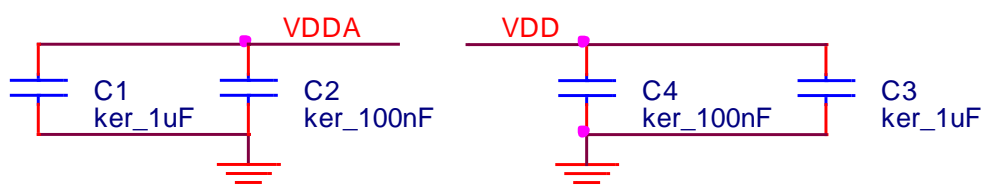
keré vytvořil Ing. Novotný ve své diplomové práci [2]. Mým úkolem bylo vyzkoušet tyto programy na modulu a případně v dokumentaci upozornit na nutná opatření, díky kterým jsou tyto vzorové programy použitelné v modulu.

Základním poznatkem bylo, že při použití kódu psaném pro Discovery kit STM32F0 je možnost narazit na problém v nastavení zdroje vnitřních hodin. Discovery kit nemá běžně zapájený krystal k hlavnímu procesoru, a proto se přivádí hodinový signál z procesoru, který řídí ST-Link. Tento mikroprocesor již má zapájený krystal 8 MHz. Při tomto využití externího hodinového signálu se nastavuje v registru RCC_CR bit 18., který zapíná Bypass mód mikroprocesoru. Při použití modulu je tedy potřeba nezapínat Bypass mód, nebo použít vnitřní 8MHz RC oscilátor. Díky osvojení práce s vnitřními periferiemi mikroprocesoru již bylo možné začít s návrhem řídicí jednotky.

3.2 Návrh elektroniky mikroprocesorového modulu

Modul s mikroprocesorem STM32F050F6P6 byl navrhován jako samostatný mikroprocesorový prvek použitelný do dalších zařízení. Na modulu je tedy pouze mikroprocesor, blokovací kondenzátory a dvě indikační LED diody. Z mikroprocesoru jsou vyvedeny všechny piny na konektory.

Velice důležitou součástí modulu je blokovací část napájení, která musí být mikroprocesoru co nejbližší, a proto ji nelze zapojit přes konektory na modul. Mikroprocesor má dva napájecí piny (VDD a VDDA), které slouží k napájení pro analogovou a digitální část. Na modulu jsou propojeny obě napájecí části, neboť se nepředpokládá použití modulu v zařízení, kde je potřeba precizní napájení analogové části. Tímto způsobem se také zjednoduší návrh na nepájivém poli. Každý napájecí pin je potřeba blokovat. Součástí blokovací části pro jeden napájecí pin jsou dva keramické kondenzátory. První o kapacitě $C = 100 \text{ nF}$ a druhý o kapacitě $C = 1 \mu\text{F}$. Alternativou ke keramickému kondenzátoru $C = 1 \mu\text{F}$ může být tantalový kondenzátor o kapacitě $C = 10 \mu\text{F}$. Zapojení je zobrazeno na obr. 7.



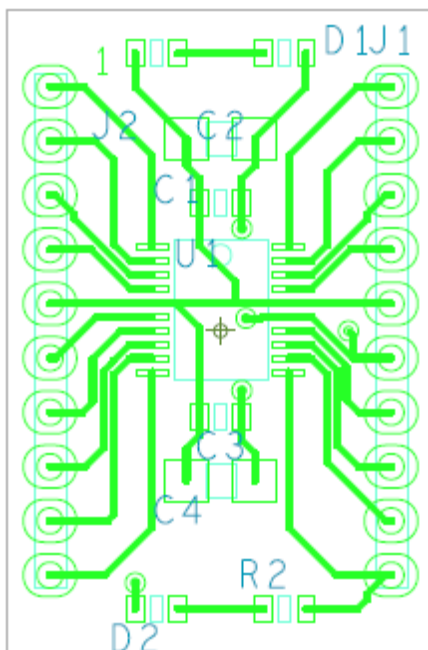
Obr. 7 – Zapojení blokovacích kondenzátorů na mikroprocesorovém modulu

Pro rychlou identifikaci funkčního napájení je na modulu indikační LED dioda. Tato část obsahuje LED diodu a rezistor o odporu $R = 470 \Omega$. Rychlé ověření úspěšného oživení základního zapojení s modulem umožní indikační červená LED dioda, která se po připojení napájení začne periodicky rozsvěcet a zhasínat.

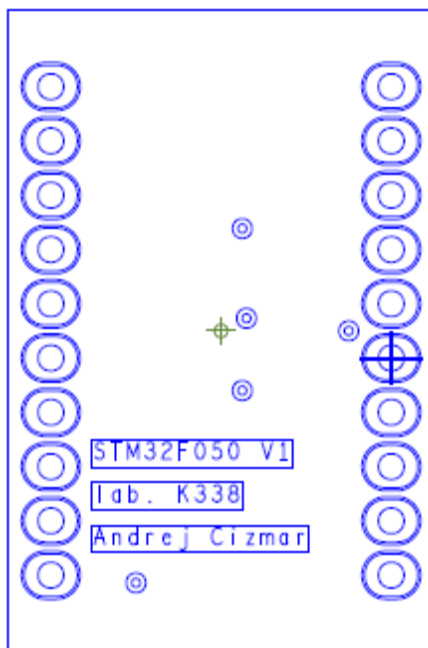
3.3 Návrh DPS mikroprocesorového modulu

Modul je realizován na dvouvrstvém plošném spoji a navržen v prostředí OrCAD PCB Designer. DPS má obdélníkový tvar s rozměry 30x20 mm. Vrchní strana DPS (TOP) je osazena součástkami a jsou zde vedeny plošné spoje. Na spodní straně (BOT) je rozlita měď, která je připojena na zem GND. Toto opatření zjednodušilo návrh a zlepšuje elektrické vlastnosti, především potlačuje rušení.

Po stranách plošného spoje jsou umístěny datové a napájecí konektory. Ve středu je umístěn mikroprocesor a k němu nejbližší jsou blokovací kondenzátory $C = 100 \text{ nF}$ a za nimi $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$. Na okrajích plošného spoje jsou indikační diody s rezistory. Horní strana DPS (TOP) je zobrazena na obr. 8 a spodní strana (BOT) na obr. 9. Na DPS je spojení napájecích částí řešeno pomocí plošného spoje, který je přímo pod mikroprocesorem. Je zde umístěn proto, aby byla v případě nutnosti napájena analogová část zvlášť, možnost tyto piny mikroprocesoru oddělit, tedy mechanicky přerušit plošný spoj.



Obr. 8 – Horní strana (TOP) plošného spoje



Obr. 9 – Spodní strana (BOT) plošného spoje

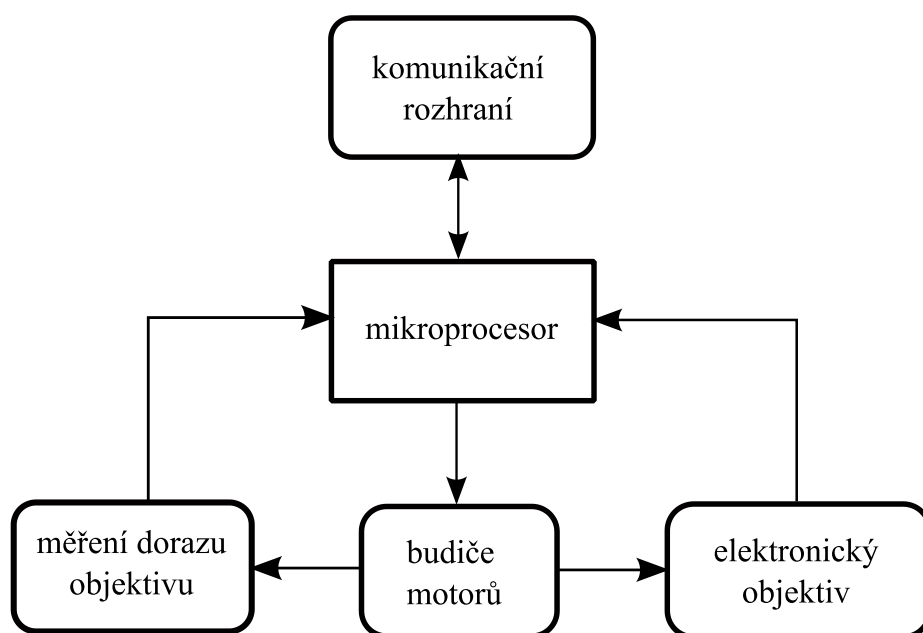
4. Řešení řídicí jednotky pro objektiv

4.1 Předpoklady

Návrh řídicí jednotky s implementovaným regulátorem pro řízení stejnosměrných motorů je velice rozšířená záležitost. Téměř každý výrobce motorů dodává i řídicí jednotky pro motory, aby s nimi byla jednodušší práce a byly ihned použitelné. Existují také spousty materiálů, které radí, jakým způsobem se mají řídicí jednotky navrhovat, nebo na jaké problémy je potřeba si dát pozor. Návrh řídicí jednotky pro elektronický objektiv je na jednu stranu podobný, ale je zde řada faktorů, které je potřeba zohlednit, aby bylo konečné zařízení použitelné.

Jedním z těchto důležitých faktorů je znalost možností regulace objektivu a jeho ochranných prvků. Aby bylo možné zpětnovazebně řídit mechanismus v objektivu, je nutné znát jeho aktuální polohu. U objektivu H6Z0812MSP je možnost takto řídit pouze *ZOOM* a *FOCUS*, které obsahují potenciometrický snímač polohy. *IRIS* senzor polohy neobsahuje, a proto ho nelze zpětnovazebně řídit přímo řídicí jednotou. Znalost zabudovaných ochranných prvků je velice podstatná. Odstraňuje potíže při řešení důležitých problémů, jakým je např. dovolený rozsah pohybu objektivu. Prvky, které tento faktor ovlivňují, jsou koncové vypínače, které dovolují narazit mechanismu do krajní polohy, aniž by došlo k nějakému poškození.

Dalším důležitým faktorem je samotné chování regulátoru při regulaci na žádanou polohu. Objektiv obsahuje jemnou a precizní mechaniku, která je však velice náchylná na poškození. Je ovšem velice důležitá, neboť přenáší pomocí různých součástí otáčivý pohyb motorů na pohyb optiky. Základní způsob, jakým by se mohla mechanika poškodit, jsou prudké změny pohybu, které nejvíce zatěžují součásti objektivu. Řídicí jednotka musí být navržena tak, aby co nejvíce minimalizovala pohyb. Regulátor tedy nesmí při regulaci na určitou polohu překmitávat a především nesmí kmitat v ustáleném regulačním pásmu, kde může objektiv zůstat velice dlouhou dobu. Blokové schéma řídicí jednotky je na obr. 10.



Obr. 10 – Blokové schéma řídicí jednotky

Jakékoliv poškození mechaniky v elektronickém objektivu může způsobit jeho zničení, protože takovou závadu nelze jednoduše opravit a je nutné pořídit nový. Objektiv by měl obsahovat obraznou informaci, kolik změn směrů dokáže vydržet, a tím by bylo možné odhadnout jeho životnost. Kmitání optiky v objektivu je také velice nepříznivé pro výslednou kvalitu obrazu. Např. pokud by kmitala mechanika *FOCUS*, mohl by se zdát obraz rozmazaný. U *IRIS* by zase mohlo dojít k problikávání obrazu. Takový výsledek je nepřijatelný, neboť řídicí jednotka s objektivem bude použita v pozorovacím systému, který bude ovládat dispečer v závislosti na obrazu z kamer, který uvidí před sebou na monitoru.

Důležité vlastnosti jsou také rychlost a přesnost regulátoru. Přesnost by měla být ideálně co nejvyšší, ale nejedná se o nejkritičtější vlastnost. Určitá malá odchylka regulace se dá akceptovat, neboť při malém posunu jednoho z parametrů nedojde k výrazné změně kvality obrazu a člověk, který pozoruje obraz, nic nepozná. Velkou důležitost má rychlost regulace. Tato vlastnost se vztahuje znovu k uživatelskému pohledu na hotové zařízení. Pokud operátora zaujme nějaký předmět v prostoru, bude si ho chtít co nejrychleji maximálně přiblížit. Také bude chtít, aby netrvalo dlouho ostření obrazu nebo jeho vyrovnání jasu.

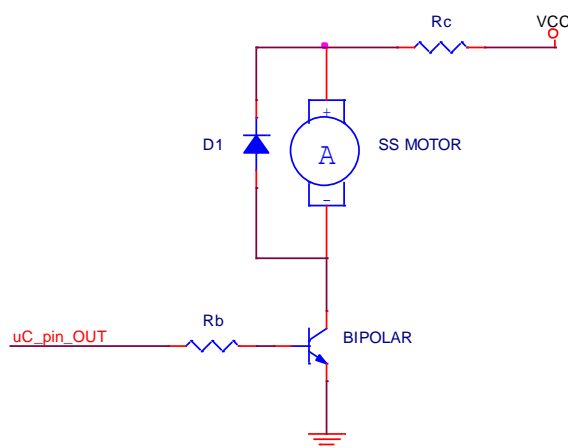
Pro tuto řídicí jednotku je rovněž důležitý způsob dodání elektrické energie. Jelikož bude instalována do systému, který je stacionární, bude mít nepřetržitou dodávku elektrické energie ze sítě. Díky tomu není nutné uvažovat různá opatření na snížení elektrické energie, jakými jsou sleep-mode či snížení vnitřní frekvence u mikroprocesoru.

4.2 Ovládání motorů

4.2.1 Budič motorů

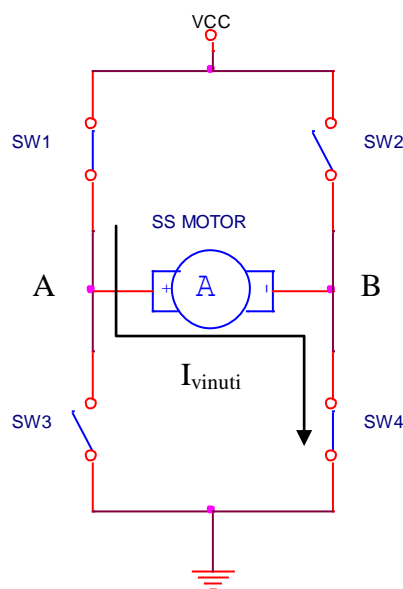
Pro řídicí jednotku je důležitý návrh výkonového stupně, který spouští koncové akční členy, tedy stejnosměrné motory. Důležitou vlastností této části je ochrana řídicího obvodu před poškozením vysokým proudem, který protéká vinutím stejnosměrného motoru.

Řešení výkonového stupně je vícero. Např. lze spouštět motor pomocí jednoho spínacího tranzistoru viz obr. 11. Tranzistor umožňuje průtok vysokého proudu v řádech jednotek až desítek A, ale není zde možné měnit směr průtoku proudu vinutím, a proto takové řešení není vhodné pro návrh regulátoru polohy, který je obsažen v řídicí jednotce.



Obr. 11 – Spouštění ss motoru pomocí bipolárního tranzistoru

Další možností řešení je zapojení čtyř tranzistorů do tzv. H-můstku. Výhodou tohoto zapojení je možnost měnit směr průtoku proudu vinutím motoru, jak je zjednodušeně obsaženo na obr. 12. Pokud jsou sepnuté vždy dva diagonální prvky, tedy SW1+SW4, nebo SW2+SW3, protéká proud diagonálou AB, tedy vinutím motoru, ale vždy odlišným směrem. Nejčastěji se navrhuje H-můstky s tranzistory typu MOSFET (v obr. 12 reprezentovány spínači), které jsou jednoduše řízené napětím.



Obr. 12 – Princip funkce H-můstku

U zařízení, kde je potřeba ovládat motory, kterými protékají proudy v řádech desítek A, je běžné použití navržených H-můstků s diskretními tranzistory. Ve většině aplikací, kde se proud protékající motorem pohybuje kolem 2 A, se používají integrované H-můstky. Tyto obvody mají výhodu v úspoře místa na DPS. Dalšími výhodami je široká škála ochranných a řídicích obvodů.

V objektivu H6Z0812MSP jsou použity tři stejnosměrné 8V motory, kterými může protékat proud až 100 mA. Díky tomuto malému proudu a snaze ušetřit místo na řídicí jednotce bylo rozhodnuto použít integrovaný H-můstek. Na trhu je mnoho výrobců se širokou produktovou nabídkou driverů pro motory, ale ne všechny bylo možné opatřit, protože bylo vybíráno z internetových obchodů, jako např. Farnell.com, či GME.cz. Ideálními předpoklady při výběru H-můstku byly:

- integrace tří H-můstků v jednom pouzdře
- rozsah napájecího napětí U_{cc} zahrnující hodnoty od 5 V do 8 V
- maximální výstupní proud $I_{omax} = 0,5$ A
- možnost měření proudu pomocí vyvedené země od výkonové části GND
- možnost ovládní obvodu TTL úrovněmi a PWM signálem
- integrace obvodu do pouzdra jednoduše použitelného pro nepájivé pole

V nabídce internetových obchodů nebyl žádný obvod, který by plně odpovídal výše uvedeným požadavkům, a proto bylo nutné přejít ke kompromisu.

První problém, který se při výběru vyskytl, byl s implementací tří výstupních kanálů pro motory. V nabídce byly pouze jednocanálové a dvoukanálové můstky. Pro přehlednost návrhu byly zvoleny obvody s jedním výstupním kanálem. Díky tomuto řešení je možné rozdělit návrh na tři jednotlivé oddíly pro tři motory v objektivu a ke každému oddílu je tak možné přistupovat stejným způsobem. Kombinací dvoukanálového a jednocanálového obvodu by došlo k odlišnostem při použití motorů, neboť mají obvody několik rozdílů. Jedním z nich je integrace do jiného typu pouzdra, což ovlivňuje odvod tepla a tím obecně použití motoru. Větší pouzdra také mohou obsahovat více typů ochranných obvodů. Mohou mít také vyvedeny potřebné signály, jako vyvedené země u výkonových částí.

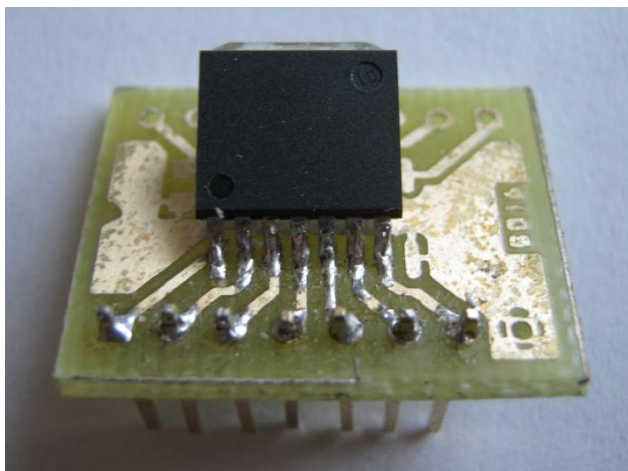
Druhý problém je s rozsahem napájecího napětí. Řídicí jednotku bylo potřeba navrhnout univerzálně, protože požadavkem byla možnost, s minimálním zásahem do jednotky, použít pro motory v objektivu napětí 8 V, ale také 5 V. Snížením napájecího napětí motorů se zvyšuje životnost objektivu, ale zhoršují se jeho dynamické vlastnosti.

Pro řídicí jednotku bylo zvoleno řešení pomocí integrovaných H-můstků typu BD6211HFP a BD6221HFP od firmy ROHM. Shrnutí základních vlastností těchto obvodů je obsaženo v tab. 2.

Typ obvodu	BD6211HFP	BD6221HFP
Optimální rozsah napájecího napětí U_{cc}	3 – 5,5 V	6 – 15 V
Maximální výstupní proud I_{omax}	1 A	1 A
Frekvenční rozsah vstupního PWM signálu	20 – 100 KHz	20 – 100 KHz
Minimální vstupní napětí pro vysokou úroveň U_{IHmin}	2 V	2 V
Maximální vstupní napětí pro nízkou úroveň U_{ILmin}	0,8 V	0,8 V
Rozsah pracovní teploty	- 40 až + 85 °C	- 40 až + 85 °C
Počet výstupních kanálů	1	1
Typ pouzdra	HRP7	HRP7

Tab. 2 – Základní vlastnosti H-můstků BD6211HFP a BD6221HFP

Tyto obvody byly zvoleny především díky použitému pouzdru HRP7. Toto pouzdro lze snadno připájet na zkušební modul, který lze použít do nepájivého pole, a tím se umožní realizace zkušební verze řídicí jednotky. Také je toto pouzdro jednodušší pro osazení na DPS.



Obr. 13 – Modul s H-můstkem BD6211HFP použitelný do nepájivého pole

Maximální výstupní proud $I_{o\max}$ je naprosto dostačující, neboť tuto hranici nepřesáhne proud tekoucí vinutím ani při zastavení motorů v krajní poloze mechanismu v objektivu. Vstupní napěťové úrovně odpovídají TTL úrovním a jsou tedy kompatibilní s výstupy na mikroprocesoru, který H-můstky ovládá. Díky širokému rozsahu pracovní teploty, který odpovídá meteorologickým podmínkám na našem území, je možné tento obvod použít ve venkovním prostředí. Je to velice důležitá vlastnost, neboť konečné zařízení je primárně určeno pro venkovní použití.

Omezení u tohoto obvodu nastává při ovládání můstku PWM signálem, neboť nelze použít frekvenci menší než $f_{PWM} = 20$ kHz. Pro ovládání motorů je někdy potřeba používat PWM signál o nižší frekvenci a v takovém případě je nutné použít jiný obvod. Hlavním omezením je rozsah napájecího napětí. Typ BD6211HFP má maximální napájecí napětí $U_{cc\max} = 5,5$ V a typ BD6221HFP má minimální napájecí napětí $U_{cc\min} = 6$ V. Tyto dvě hodnoty se bohužel nepřekrývají tak, aby bylo možné použít jeden typ obvodu pro napájecí napětí $U_{cc} = 5$ V a zároveň $U_{cc} = 8$ V. Řešení na řídicí jednotce tedy bylo provedeno tak, aby bylo možné použít oba dva typy H-můstků. Pouzdra a pinout jsou stejná. Napájecí napětí se dá změnit pomocí hodnot odporů v napájecím obvodu, viz kap. 4.8.

H-můstky firmy Rohm mají čtyři základní aktivní ochranné prvky. Jsou to:

- UVLO (Undervoltage lockout) – podpěťová ochrana
- OVP (Overvoltage protection) – přepěťová ochrana
- TSD (Thermal shutdown) – tepelná ochrana
- OCP (Overcurrent protection) – proudová ochrana

Minimální hranice napájecího napětí je hlídána pomocí UVLO. Díky ní nelze u H-můstku BD6221HFP snížit napájecí napětí na $U_{cc} = 5$ V. Ochrana pracuje na principu měření napájecího napětí. Pokud klesne U_{cc} na úroveň 5 V a nižší, obvod se zamkne a přepne výstupní kanál do stavu vysoké impedance. Při nárůstu U_{cc} nad 5,5 V se obvod odemkne a přejde do standardního pracovního režimu. Princip funkce OVP je podobný jako u UVLO. Snímá se napájecí napětí a při nárůstu U_{cc} nad 30 V se zamkne obvod a výstupní kanál se

nastaví do stavu vysoké impedance. Obvod se odemkne při poklesu U_{cc} pod 25 V. U obvodu BD6211HFP jsou ochranné funkce totožné, pouze se mění napájecí úrovně. Obvod se zamkne při poklesu U_{cc} pod 2,3 V a nad 7,3 V. Odemkne se při nárůstu napětí nad 2,5 V a při poklesu pod 6,8 V.

Optimální spodní hranice napájecího napětí u obvodu DB6221HFP je 6 V, ačkoliv UVLO zamyká obvod až pod 5 V. Je to z důvodu prevence proti poklesu napětí, který může vznikat pulzním proudovým odběrem H-můstku. U motorů dochází k větším pulzním odběrům proudu, a proto nelze tuto vlastnost zanedbat. Opatřením proti tomuto jevu je použití blokovacích kondenzátorů a lineárního regulátoru napětí (viz kap. 4.8).

Ochranný obvod TSD funguje na principu výše popsaných UVLO a OVP. Změna je pouze ve zpracovávané veličině, kterou je teplota obvodu τ_H . Pokud překročí hodnotu 175 °C, dojde k uzamčení obvodu a na výstupu se nastaví stav vysoké impedance. Obvod se odemkne při poklesu teploty pod 150 °C. TSD především chrání MOSFET tranzistory před zničením kvůli jevu tzv. thermal runaway.

Posledním aktivním ochranným prvkem H-můstku je OCP. Tento prvek má za úkol snímat výstupní proud a předejít tak poškození obvodu při zkratování výstupních svorek. Proud se snímá v 10 μ s intervalech. Pokud dojde k překročení maximální hodnoty výstupního proudu $I_{outmax} = 1$ A, výstupní kanál přejde do stavu vysoké impedance. V tomto stavu setrvá po dobu vypínací doby 290 μ s, a poté se znovu změní výstupní proud. Pokud již poklesl pod úroveň I_{outmax} , obvod se zprovozní, jinak se znovu opakuje procedura s vypínací dobou.

4.2.2 Ovládání PWM signálem

Pro řízení polohy mechanismů v objektivu je nutná možnost měnit otáčky implementovaných motorů, a tedy omezovat jejich maximální výkon. Jediný způsob, který umožňuje řízení mikroprocesorem STM32F050F6P6, je spouštění motorů PWM signálem (pulse wide modulation).

Principem této modulace je změna střídy signálu, se kterou se zároveň mění i jeho střední hodnota. Tímto signálem se ovládá H-můstek, který poté pulzně spíná motory, a tím mění jejich otáčky. Velice důležitým parametrem je zvolená frekvence signálu. S rostoucím kmitočtem se uplatňuje parazitní kapacita a také skin efekt, čímž dochází k růstu odporu vinutí. Zároveň tím vznikají ztráty na mědi. Při nízké frekvenci může docházet k cukání motoru a tím se může poškodit mechanismus v objektivu.

Použití kmitočtu PWM signálu je ovlivněno mikroprocesorem a také omezením H-můstku. Mikroprocesor STM32F050F6P6 může mít taktovací rychlost až 48 MHz a obsahuje generátory PWM signálu, které mohou používat frekvenci blízkou vnitřnímu kmitočtu, a proto zde nevzniká žádné omezení. H-můstek BD6221HFP je omezen spodní hranicí použitelné frekvence $f_{PWM} = 20$ kHz. Zvolena byla frekvence PWM signálu $f_{PWM} = 30$ kHz. Tato použitá frekvence v řídicí jednotce nejeví žádné běžné problémy, ale pokud by bylo nutné použít nižší frekvenci v řádech stovek Hz, musel by se použít jiný typ h-můstku.

PWM signál s nižší frekvencí má také výhodu při pomalých rozjezdech motorů, protože dokáže rozpohybovat motor již od nízkých hodnot střídy. U mechanismů ZOOM a FOCUS v řídicí jednotce je tak při použití frekvence $f_{PWM} = 30$ kHz minimální použitelná střída $DC_{min} = 20$ %. Tyto mechanismy nepřekonávají při rozjezdech výraznější silová působení a není zde zásadní problém. Mechanismus iris je však poskládaný z lamel, které jsou na sobě

přiloženy a při rozjezdu je potřeba překonat tření mezi lamelami. Minimální použitelná střída je zde tak $DC_{\min} = 50\%$. Toto omezení ovlivňuje možnosti regulace, protože není možné plynule rozjíždět mechanismus. Minimální použitelnou střídu ovlivňuje také napájecí napětí. Pro $U_{cc} = 5\text{ V}$ je minimální střída *ZOOM* a *FOCUS* $DC_{\min} = 30\%$ a pro iris až $DC_{\min} = 70\%$.

H-můstky od firmy ROHM z řady BD62xx umožňují další možnost řešení ovládání otáček motoru. Tyto můstky mají implementovaný obvod pro generování PWM signálu o kmitočtu $f_{\text{PWM}} = 25\text{ kHz}$. Nastavení střídy se počítá z napájecího napětí U_{cc} a z napětí přivedeného na pin V_{ref} podle vzorce (4.2.1/1):

$$\text{střída} = \frac{V_{\text{ref}}}{U_{cc}} [\%; V, V] \quad (4.2.1/1)$$

Napětí V_{ref} má u obvodu BD6221HFP napěťový rozsah od 3 do 15 V, a je tak možné plně nastavovat střídu na celém rozsahu napájecího napětí U_{cc} . Výhodou tohoto řešení je zjednodušení návrhu při generování PWM signálu. Především však snižuje rušení v celé řídicí jednotce, neboť není nutné vyvést z mikroprocesoru vodiče přenášející PWM signál, který ruší ostatní signály. Nevýhodou je zmenšená přesnost výsledné střídy, která vzniká zarušením vstupních napájecích signálů V_{ref} a U_{cc} . Hlavním problémem je však nutnost integrovaného D/A převodníků v mikroprocesoru pro generování napěťové úrovně V_{ref} .

4.3 Zpracování signálů z objektivu H6Z0812MSP

Elektronicky ovládané objektivy od firmy Computar obsahují pouze potenciometrické snímače polohy a je tomu tak i u objektivu H6Z0812MSP, pro který je řídicí jednotka navrhována. Výstupní napětí ze senzoru je přímo úměrné poloze mechanismu v objektivu.

Zpracování těchto snímačů je řešeno pomocí vnitřního aproximačního A/D převodníku ADC1 v mikrokontroléru. Převodník je nastavený na rozlišení 12 bitů. Je možnost nastavit i menší rozlišení a snížit tak dobu převodu, ale zvýšila by se tím nepřesnost měření. Rozsah měřených napětí na snímačích *ZOOM* a *FOCUS* je $U_{\text{meas}} = 0,59 - 2,21\text{ V}$. Vzorkovací perioda při odběru vzorků pro průměrování je $t_{\text{samp_prum}} = 5\text{ }\mu\text{s}$. Výsledné průměrné hodnoty jsou zpracovány s frekvencí $f_{\text{vzr}} = 1,3\text{ ms}$, tedy při každém spuštění regulační smyčky.

Vstupní piny pro kanály A/D převodníku jsou 3 V tolerantní a je tak důležité, aby měřené napětí U_{meas} tuto úroveň nepřesáhlo. Z důvodu ochrany před poškozením jsou potenciometrické snímače napájeny stejným zdrojem jako mikroprocesor. Toto opatření neumožňuje zvýšit rozlišení senzoru. Při vyšším napájecím napětí by změně polohy mechanismu odpovídala vyšší změna napětí, která by byla lépe rozpoznatelná.

V mikroprocesoru je pouze jeden A/D převodník. Aby bylo možné rychle měřit napětí až na pěti vstupních kanálech, muselo být implementováno použití vnitřní periferie DMA. Tato periferie využívá princip přímého přístupu do vnitřní paměti. Při zavolání obsluhy DMA v programu, tedy při každém spuštění regulační smyčky, dojde k postupnému přečtení jednotlivého kanálu převodníku a následně se uloží hodnota do vnitřní paměti. Změřené hodnoty je pak možno kdykoliv přečíst a zpracovat. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost při každém měření odečíst velikost napětí z každého definovaného měřicího kanálu. Dochází tak ke zpoždění programu. Řešením může být použití mikroprocesoru s vícero samostatnými A/D převodníky.

4.4 Indikace dojezdu mechanismů v objektivu

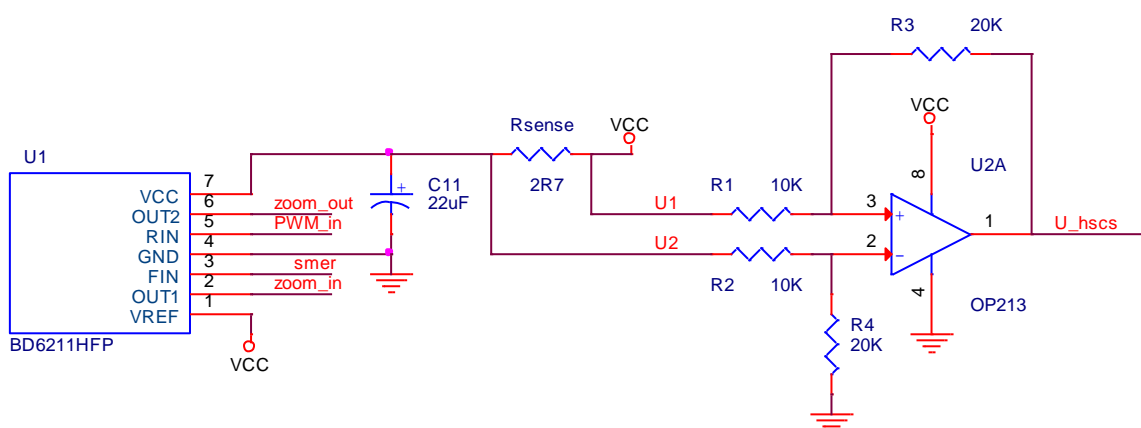
4.4.1 Snímání proudu

Při návrhu řídicí jednotky pro objektiv je potřeba zjistit jeho základní vlastnosti. Jednou z těchto vlastností je možnost ošetření dojezdu optiky do konečných poloh. Nejčastěji se používají koncové vypínače, viz kap. 2.1.2. Tímto způsobem se předejde poškození jemné mechaniky, např. převodů v objektivu.

U objektivu H6Z0812MSP, který je použit v této bakalářské práci, jsou tři pojezdové mechanismy. Ošetření dojezdu do konečné polohy je pouze u mechanismu pro nastavení clony, který nelze přímo zpětnovazebně řídit, protože není možné měřit polohu clony. U zbývajících dvou mechanismů, tedy zoom a ostření, není dojezd do konečné polohy ošetřen. Pro mechanismus zoom nebo ostření je nutné zajistit, aby bylo možné nastavit počáteční nebo koncovou polohu, protože tím bude možné využívat vlastnosti objektivu v plném rozsahu. Pokud by regulátor pracoval bez překmitů, stačilo by nastavit počáteční nebo konečnou hodnotu, a tím by bylo zajištěno využití objektivu v plném rozsahu. Překmitům se však u regulátoru polohy předejít nedá, a díky tomu by mohlo dojít k poškození mechanismu.

Možným řešením, které je použito v řídicí jednotce, je měření proudu, který protéká motorem. Při dojezdu mechanismu do konečné polohy se stejnosměrný motor, který pohání mechanismus, zastaví. Díky tomu se přestane indukovat napětí do vinutí, které má opačný směr než napájecí napětí, a tím roste proud tekoucí vinutím.

Pokud je možno měřit nárůst proudu, je možné detekovat dojezd mechanismu do konečné polohy. Pro měření proudu je použit princip High-side-current-sensing. Jedná se o měření napětí na snímacím odporu pomocí operačního zesilovače. Celé zapojení měření proudu je na schématu viz obr. 14.



Obr. 14 – Obvod pro měření proudu na principu HSCS

Principem je rozdílový zesilovač s operačním zesilovačem. Pokud platí, že $R_1 = R_2$ a $R_3 = R_4$, pak je výstupní napětí U_{hscs} dané rovnicí (4.4.1/1):

$$U_{hscs} = \frac{R_3}{R_1} \cdot (U_1 - U_2) \quad [V] \quad (4.4.1/1)$$

Zesílení je pak dáno poměrem odporů R_3 a R_1 . Z toho vyplývá, že pokud je na vstupech U_1 a U_2 stejné napětí, na výstupu zesilovače je ideálně nulové napětí.

Výstupní napětí je ovlivněno několika faktory. Základní problém je přesnost odporů v zapojení rozdílového zesilovače. Pokud nejsou odpory R_1 a R_2 , nebo R_3 a R_4 stejné, na výstupu nebude nulové napětí. Druhý faktor, který ovlivňuje výstupní napětí zesilovače, je potlačení zesílení souhlasného napětí, viz kap. 4.4.2, a také možnost zesílení vstupního signálu.

Pokud by bylo zapotřebí velkého zesílení, musí být rezistor R_2 mnohem větší, než R_1 . Protože jsou tyto odpory zapojeny jako dělič napětí a jeho výstup je přiveden na vstup operačního zesilovače, bylo by napětí na vstupu při takovém poměru odporů jen nepatrně menší než napětí na vstupu děliče.

Pokud by snímané napětí bylo blízké horní hranici vstupního napětí operačního zesilovače, nebo by ho převyšovalo, nešlo by zvyšovat zesílení. To znamená zvyšovat hodnotu odporu R_2 , protože by došlo k překročení hranice maximálního vstupního napětí. Operační zesilovač by tak přestal zvyšovat výstupní napětí, které se dostane do saturace.

Velikost výstupního napětí je důležitým faktorem i v řídicí jednotce pro objektiv. Stejnoseměrný motor v objektivu může pracovat ve třech základních stavech, které se od sebe liší velikostí protékajícího proudu vinutím motoru. Jsou to stavy při zastavení, jízdě a při dojezdu do krajní polohy. Důležité jsou především proudy při pojezdu a dorazu. Např. u vinutí stejnosměrného motoru s odporem $R_V = 153 \Omega$, který ovládá mechanismus ostření, je proud, při použití snímacího odporu $2,7 \Omega$ a napájecího napětí 5 V , pro volný pojezd roven $I_V = 20 \text{ mA}$. Při dorazu zase $I_V = 40 \text{ mA}$. Na snímacím odporu je tedy při dojezdu do konečné polohy 2x větší napětí, než při volném pojezdu (4.4.1/2):

$$U_{sense} = R_{sense} \cdot I_V = 2,7 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = \underline{108 \cdot 10^{-3} \text{ V}} = \underline{108 \text{ mV}} \quad (4.4.1/2)$$

Pokud jsou v rozdílovém zesilovači použity ideálně stejné odpory, tedy $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, pak není rozdíl vstupních napětí nijak vynásoben. Toto napětí je i po zesílení stále velmi malé a snadno zarušitelné.

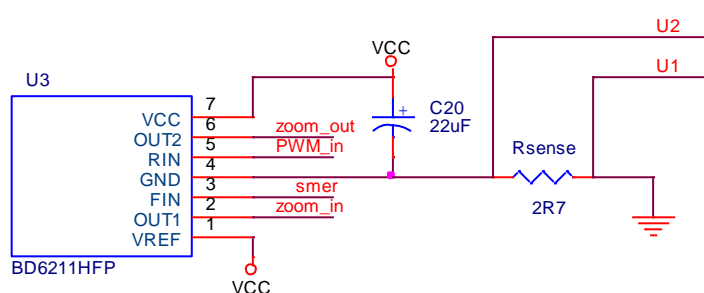
Problém není s A/D převodníkem v mikroprocesoru, protože ten je schopen takové napětí změřit, viz kap. 4.7.3/(rov. 4.7.3/3). Problém je s rušením a přeslech, které se uplatňují na vodiči s měřeným napětím. V původních podmínkách, tzn. zapojení na nepáživém poli (příloha 1), byla velikost šumu $U_{pp} = 200 \text{ mV}$, což je napětí větší, než rozdíl napětí při pojezdu a dorazu. Toto rušení způsobuje chybu v měření dorazu, kdy dojde k předčasnému zastavení motoru, protože mikroprocesor tuto situaci vyhodnotí jako zvýšení napětí následkem zastavení stejnosměrného motoru v konečné poloze mechanismu.

V řídicí jednotce je tento problém řešen za prvé pomocí průměrování, tedy zavedení primitivního filtru, který zpřesní měření, a za druhé využití většího rozsahu napětí. Zvýšení rozsahu výstupního napětí rozdílového zesilovače dokáže efektivně řešit problém s rušením. Pokud je rozdíl napětí při pojezdu a dorazu mnohem větší, než je velikost rušení, tedy napětí si nezasahují do svých rozsahů, je možné jednoznačně odlišit dvě napěťové úrovně, a tím

odlišit, jestli je motor v pohybu, nebo je zastavený v konečné poloze mechanismu. V ideálním případě by stačilo pomocí odporů v rozdílovém zesilovači nastavit dostatečně velké zesílení a problém by byl vyřešen.

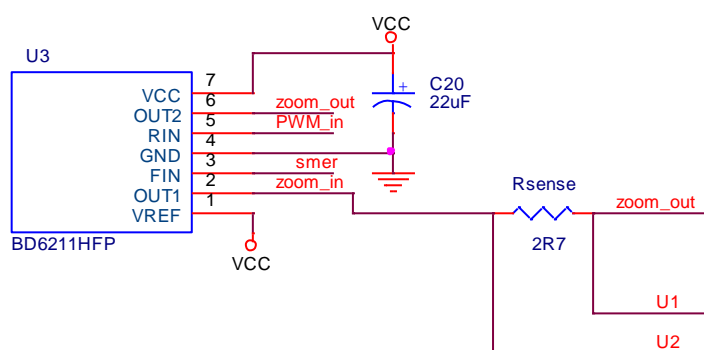
Možné by to bylo v případě, kdy by byl snímací odpor zapojený v sérii se zemnicím pinem GND u H-můstku dle obr. 15. Pak by jedno z měřených napětí U_1 bylo rovno 0 V a U_2 by při napájení motoru 5 V bylo rovno $U_2 \approx 108$ mV. Jelikož je minimální vstupní napětí na operačním zesilovači $U_{\min} = 0$ V, je možné zesílit rozdíl těchto dvou napětí.

V řídicí jednotce toto zapojení nelze použít. Dojde tím k posunutí nuly v celém H-můstku, tedy jak pro výkonovou část, tak i pro implementovanou logiku. Tento efekt může způsobit nepřesnosti u vnitřních řídicích obvodů H-můstku a tím nefunkčnost celého obvodu.



Obr. 15 – Alternativní zapojení snímacího odporu na pin GND

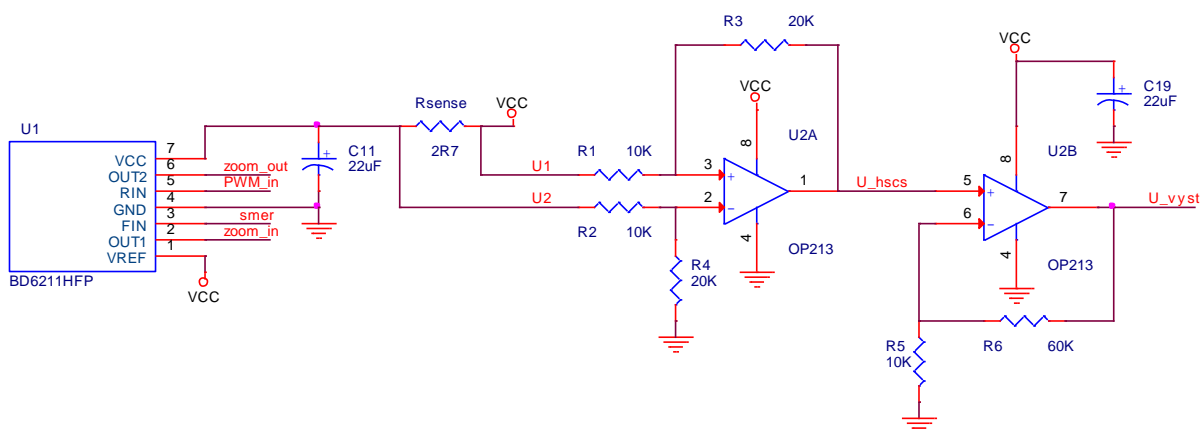
Nelze použít ani variantu, kde je na výstupním kanálu snímací odpor zapojený do série s motorem, viz obr. 16. Pomocí H-můstku se mění směr otáčení motorů, a tím se mění směr proudu tekoucího vinutím motoru. To způsobí, že se změní polarita napětí na snímacím odporu a rozdíl snímaných napětí rozdílovým zesilovačem by byl záporný. Nebylo by tedy možné rozdíl zesílit a výstupní napětí rozdílového zesilovače by bylo trvale rovno 0 V.



Obr. 16 – Alternativní zapojení snímacího odporu do série s motorem

Snímací odpor je tedy nutné zapojit sériově k napájení H-můstku viz obr. 14, kde se směr toku proudu nemění. Je zde však problém, že měřené napětí $U_1 = V_{cc}$ a napětí U_2 je od napětí V_{cc} jen nepatrně menší, pro $V_{cc} = 5$ V je $U_2 \approx 4,892$ mV. Takto velké napětí není možné operačním zesilovačem zpracovat, a proto musí být odpory R_2 , R_1 a také R_3 , R_4 v takovém poměru, aby výstupní napětí z napěťového děliče nebylo větší než maximální vstupní napětí operačního zesilovače $U_{\max} = 4$ V.

Toto omezení však nedovoluje nastavit dostatečně velké zesílení rozdílového zesilovače, které je potřeba pro eliminaci rušení na měřeném vodiči. Řešením tohoto problému je přidání neinvertujícího zesilovače do série s rozdílovým zesilovačem, kterým dodatečně zesílíme napětí a výrazněji tím rozlišíme výstupní napětíové úrovně při pojezdu mechanismu v objektivu, viz obr. 17.



Obr. 17 – Kompletní zapojení obvodu pro měření proudu

Celkové řešení zajištění dojezdu mechanismu *ZOOM* a *FOCUS* do krajní polohy je následující:

Při zpracování příkazu pro dojezd do konečné polohy se nastaví reference regulátoru 20 dílů polohy od konce, tedy ≈ 127 mV od krajní hodnoty napětí potenciometru. Motor se zastaví a po časovém úseku T se rozjede minimální možnou rychlostí proti cílové krajní poloze. V této části procesu se nezpracovává napětí určující polohu U_{pot} , ani napětí reprezentující proud vinutím U_{vyst} . Toto opatření je ošetřením před proudovým impulsem, který vzniká vždy při změně pohybu motoru. Kdybychom měřili napětí U_{vyst} od chvíle, kdy se začne hýbat motor, mikroprocesor by zaznamenal proudovou špičku a zastavil by motor. Ve chvíli, kdy skončí čítání času T , začne měření napětí U_{vyst} . Při překročení referenční hranice mikroprocesor zastaví motor. Tím je zajištěn dojezd motoru do krajní polohy s minimálním rizikem poškození mechanismu v objektivu.

4.4.2 Volba operačního zesilovače

Pro správnou funkci obvodu na měření proudu bylo nutné vybrat operační zesilovač, dále jen OZ, který splňoval požadavky v několika důležitých parametrech.

Prvním důležitým parametrem OZ je možnost nesymetrického (single) napájení, tedy napájení pomocí kladné hodnoty napětí v rozmezí obsahující rozsah $U_{cc} = 5 - 8$ V a nulového potenciálu - zemi. Opakem je symetrické (dual) napájení, tedy napájení dvěma symetrickými napětíovými větvemi, kde jedna je kladná a jedna záporná. Tento parametr je důležitý, neboť je zapotřebí pouze kladné výstupní napětí z OZ, které dokáže změřit A/D převodník v mikrokontroléru. Zjednodušuje to také návrh napájecí části řídicí jednotky, neboť by bylo nutné vytvořit zápornou napájecí větev.

Druhým parametrem je rozsah vstupního napětí, v katalogu označený jako Input Voltage Range. Tento parametr bylo důležité zohlednit především při výpočtu zesílení rozdílového zesilovače, a díky němu bylo nutné do zapojení obvodu pro měření proudu implementovat neinvertující zesilovač, viz kap. 4.4.1. Významným parametrem je také rozsah výstupního

napětí, s katalogovým označením Output Voltage Swing. Tento parametr není pro řídicí jednotku velmi důležitý, neboť pro správné zpracování měření proudu stačí generovat na výstupu dvě dominantní rozlišitelné napěťové úrovně. Tyto úrovně nesmí překročit hodnotu 3,3 V, což je maximální možná velikost napětí pro měření vnitřním A/D převodníkem v mikroprocesoru.

Třetím základním důležitým parametrem je počet OZ v jednom pouzdře. Pro samostatný měřicí blok, který snímá proud tekoucí vinutím jednoho motoru v objektivu, jsou potřeba dva OZ. Ideální je tak použít pouzdro se dvěma integrovanými OZ. Při použití varianty, kde je v jednom pouzdře jeden OZ, dojde ke zbytečnému zvětšení DPS řídicí jednotky. Výhodou použití dvou OZ v jednom pouzdře je také stejné ovlivnění okolní teplotou a přehlednější návrh.

Při zohlednění těchto parametrů bylo vybíráno ze dvou typů OZ, jejichž parametry jsou obsaženy v tab. 3.

Typ obvodu	OP213E	RC3403ADB
Rozsah napájecího napětí U_{cc} v režimu single napájení	4 – 36 V	2,5 – 36 V
Vstupní napěťový rozsah pro $U_{cc} = 8$ V	0 – 7 V	0 – 6 V
Výstupní napěťový rozsah pro $U_{cc} = 8$ V	0,008 – 7 V	0 – 6,5 V
Potlačení souhlasného rušení (CMR)	106 dB	90 dB
Pracovní teplotní rozsah	-40 až +80 °C	0 až +70 °C
Počet OZ v jednom pouzdře	2	4
Typ pouzdra	DIP-8	DIP-14

Tab. 3 – Základní vlastnosti operačních zesilovačů OP213E a RC3403ADB

Z tab. 3 je zřejmé, že kvalitnějším a lépe použitelným operačním zesilovačem je typ OP213E. Je to především díky optimálnímu počtu OZ v pouzdře DIP-8 a rozsahu pracovní teploty, který pokrývá celoroční rozsah teplot na území České republiky. Typ RC3403ADB má omezení na minimální teplotu 0 °C, což není použitelné. Oba typy OZ byly pro ověření funkčnosti vyzkoušeny v zapojení pro měření proudu viz obr. 14. Při tomto měření byl zjištěn zásadní nedostatek obvodu RC3403ADB, kterým je nízké potlačení souhlasného napětí.

Souhlasné napětí U_s je definováno jako střední hodnota obou vstupních napětí OZ:

$$U_s = \frac{U_+ + U_-}{2} [V; V, V] \quad (4.4.2/1)$$

Naskýtá se proto problém. Pokud je toto napětí slabě potlačováno, výstupní napětí zesilovače neodpovídá předpokládané hodnotě, neboť je k ní souhlasné napětí přičteno. Zesílení souhlasného napětí je definováno jako poměr změny souhlasného napětí U_s a změny výstupního napětí OZ $U_{výst}$, která je jím vyvolána:

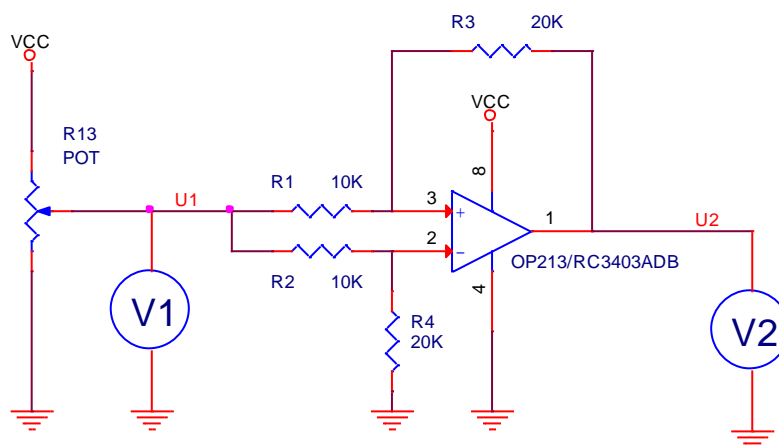
$$A_s = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_{výst}} [-; V, V] \quad (4.4.2/2)$$

Potlačení souhlasného napětí, které se v katalogu označuje jako CMR, je definováno jako poměr zesílení zesilovače A_z a zesílení souhlasného napětí A_s :

$$CMR = \frac{A_z}{A_s} [dB; -, -] \quad (4.4.2/3)$$

Při měření s obvodem RC3403ADB se nízká hodnota CMR projevila na výstupním napětí zesilovače. Při nastaveném zesílení $A_z = 2$ u rozdílového zesilovače, byla hodnota výstupního napětí $U_{výst} = 0,8$ V, ačkoliv rozdíl vstupních napětí byl roven $\Delta U_{vst} = 0,02$ V a předpokládaná hodnota výstupního napětí měla být $U_{výst} = 0,4$ V. Zesilovač díky tomu začal pracovat nekorektně, neboť se stávalo, že nebyla převedena změna rozdílu vstupních napětí na výstup. Nebylo tak možné detekovat změnu proudu protékajícího snímacím odporem.

Pro ověření vlivu CMR na výstupní napětí byly experimentálně změřeny oba typy obvodů dle zapojení obr. 18.



Obr. 18 – Měření vlivu nízkého CMR u operačních zesilovačů

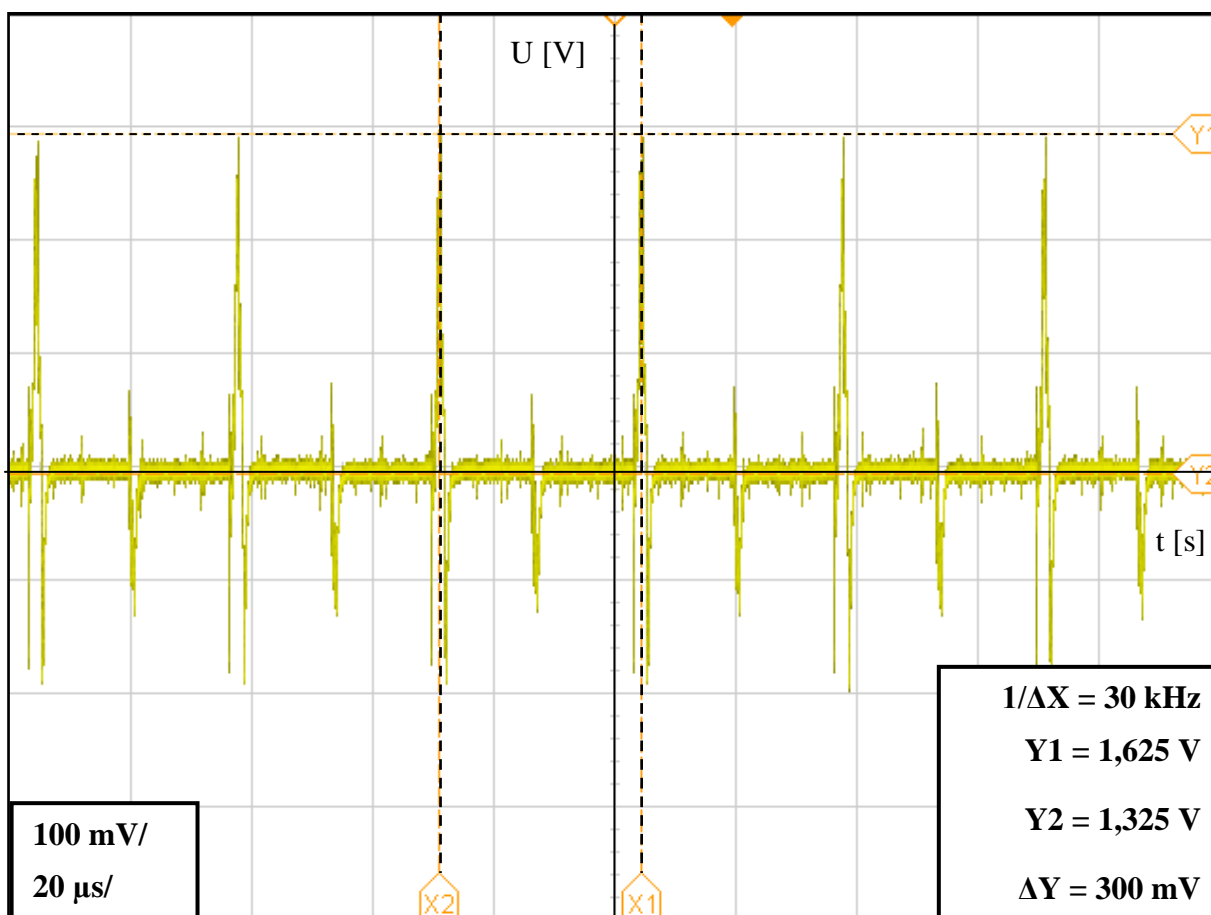
V tomto zapojení je i při zvyšování vstupních napětí na vstupu rozdílového zesilovače stále stejný rozdíl vstupních napětí U_+ a U_- . Dle předpokladu by měla být stále stejná hodnota výstupního napětí U_2 . Výsledkem měření bylo ověření předpokladu, že u obvodů s nižším CMR se při zvyšování vstupního napětí U_1 rychleji zvyšuje výstupní napětí U_2 .

V řídicí jednotce je použit typ OP213E. Tento obvod měl nejlepší elektronické vlastnosti a výhodnější byl i pro návrh, protože obsahuje v jednom pouzdře dva OZ. Jedinou nevýhodou je omezení při použití pouzdra SO-8, které by bylo výhodnější pro použití na DPS, ale nebylo k dostání.

4.5 Rušení měřených signálů

4.5.1 Identifikace rušení

Při testování zkušební verze řídicí jednotky byl zjištěn problém u požadavku změnit polohu mechanismu v objektivu o malou část, která byla na potenciometrickém snímači reprezentována jako rozdíl 0,3 V od aktuální hodnoty napětí na snímači. Řídicí jednotka v tomto případě nezačala regulovat a signalizovala doregulování na referenční hodnotu. Při důkladnějším zjišťování problému bylo odhaleno, že se nejedná o chybu v kódu, neboť při zadání reference nad 0,3 V od aktuální hodnoty začala řídicí jednotka regulovat. Zobrazení průběhu na měřeném signálu odhalilo možnou příčinu nekorektního chování řídicí jednotky, viz obr. 19.



Obr. 19 – Časový průběh rušeného napětí z potenciometrického snímače

Na obr. 19 jsou zřejmé impulzy na měřicích signálech, které se periodicky opakují. Tyto pulzy mají stejnou frekvenci opakování, jako je použitá frekvence u PWM signálů, tedy $f = 30 \text{ kHz}$. Výsledkem tedy bylo zjištění, že kvůli použitým nestíněným vodičům a aplikaci na nepájivém poli docházelo k indukčním vazbám, a tím k přeslechům na vedení mezi měřicími signály a PWM signály.

Díky těmto impulzům bylo tedy způsobeno výrazné nekorektní chování řídicí jednotky. Principem byla funkce mikrokontroléru, který měří vstupní napětí na A/D převodníku se vzorkovací frekvencí $f_{vzr} = 1,3 \text{ ms}$. Při této vzorkovací frekvenci došlo k zachycení impulsu. Střední hodnota velikostí těchto impulsů je v rozmezí $U_p = 0,2 \div 0,4 \text{ V}$. Jelikož neměla řídicí jednotka implementovány opatření proti rušení, mikroprocesor tento impuls zpracoval jako posun za referenční hodnotu napětí na potenciometrickém snímači. Regulátor nemá povoleny překmity a došlo tak k zastavení motoru. Tento problém měl také za nedostatek regulační odchylku při spuštěné regulaci v hodnotách velikostí rušivých pulzů, tedy v rozmezí $U_p = 0,2 \div 0,4 \text{ V}$ při maximálním napěťovém rozsahu potenciometru $\Delta U_{pot} = 1,62 \text{ V}$. Je tedy patrné, že při zachycení pulzu a předčasném zastavení dojde k zásadní chybě regulátoru.

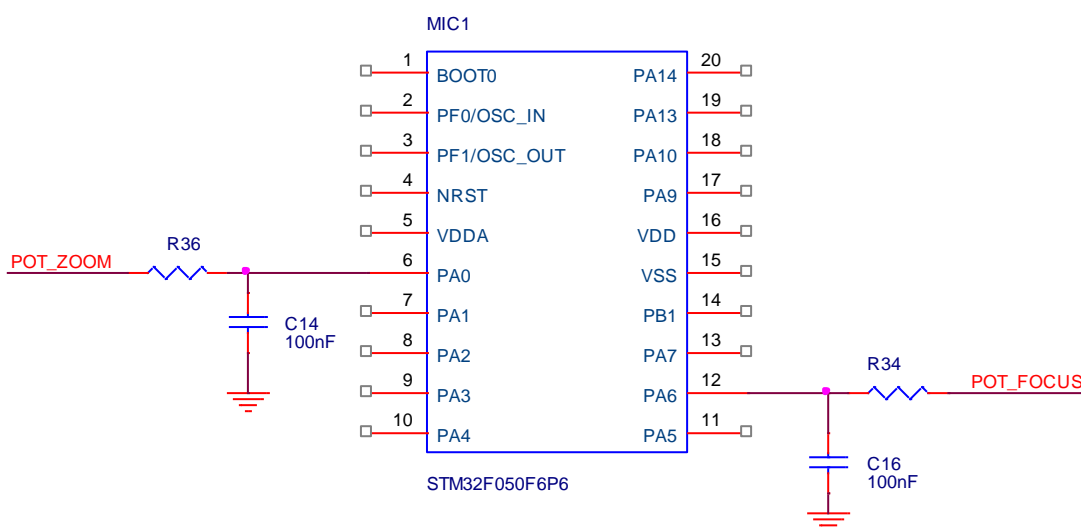
Na obr. 19 je také zaznamenáno konstantní rušení, které má maximální hodnotu napětí (špička - špička) $U_{pp} = 100 \text{ mV}$, ale jeden krok regulátoru $U_{step} = 6,353 \text{ mV}$. Při měření napětí tedy nastává stejný problém, jako bylo popsáno výše. Při regulaci dojde k předčasnému změření referenční hodnoty napětí na snímači a dojde k zastavení motoru. Průměrná regulační odchylka je tedy rovna 50 mV , což odpovídá přibližně 8 krokům regulátoru.

Tento šum je způsoben vlivem okolního rušení a především rušením od komunikačních signálů. Bylo tak zjištěno při měření průběhů na měřicích signálech, kde při vypnutí komunikace došlo k poklesu šumu na $U_{pp} = 20 \text{ mV}$. Příčinou takto významného rozdílu bylo použití nestíněných vodičů.

4.5.2 Opatření potlačující rušení

Opatření proti rušení je v řídicí jednotce řešeno úpravou elektrického zapojení a také úpravou v kódu. Tato řešení jsou nutná, protože rušení nepříznivě ovlivňuje použití řídicí jednotky.

Opatřením, které řeší problém s impulzy vzniklými přeslechou od PWM signálů, je použití RC filtrů zapojených do série s měřenými signály, dle obr. 20.



Obr. 20 – Připojení RC článků mezi výstupy snímačů polohy a mikroprocesorem

RC filtr se chová jako dolní propust, a tedy tlumí signály s vyšší frekvencí. Hranice propustnosti, tedy mezní kmitočet ω_m , je dána časovou konstantou τ , která se vypočítá vztahem:

$$\tau = R \cdot C \text{ [s; } \Omega, F] \quad (4.5.2/1)$$

RC filtry, které jsou použity v řídicí jednotce, mají kapacitu kondenzátorů $C = 100 \text{ nF}$ a celkový odpor $R = 1 \div 6 \text{ k}\Omega$. Rozmezí je způsobeno závislostí na poloze mechanismu v objektivu. Výsledná časová konstanta pro minimální odpor filtru je tedy rovna:

$$\tau = R \cdot C = 1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ s} = \underline{0,1 \text{ ms}} \quad (4.5.2/2)$$

Mezní frekvence ω_m je tedy rovna:

$$\omega_m = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-4}} = 10 \cdot 10^3 \text{ Hz} = \underline{10 \text{ kHz}} \quad (4.5.2/3)$$

Při použité frekvenci PWM signálu $f_{\text{pwm}} = 30 \text{ kHz}$ tak dochází k odfiltrování rušivých impulzů na měřicích signálech. Pro případ nutnosti použít vyšší frekvenci PWM signálu, je na DPS přidán do série s potenciometrickým snímačem odpor, kterým se dá zvýšit časová konstanta RC filtru.

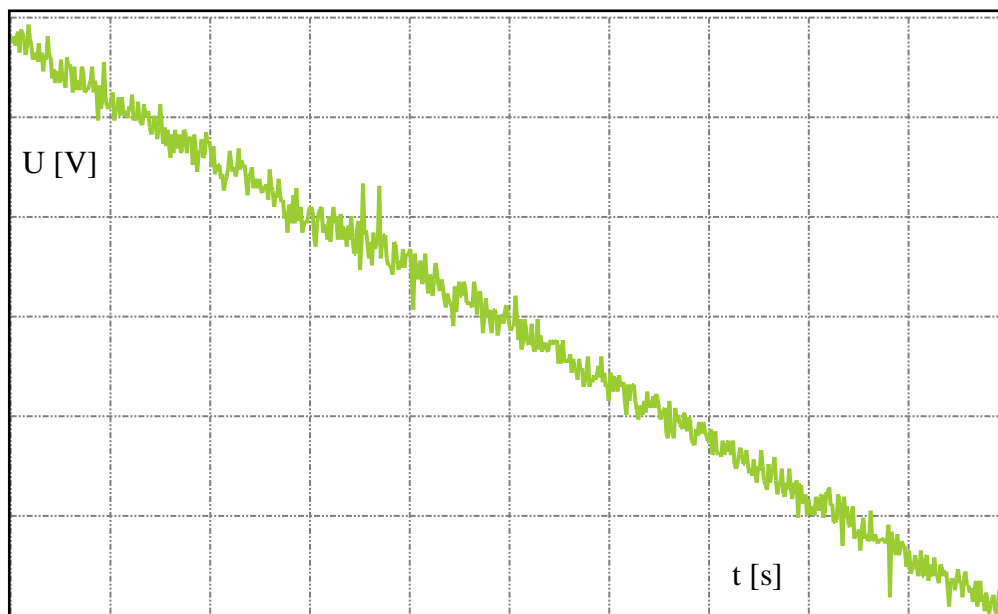
Jediným možným problémem při použití filtru je ovlivnění dynamiky systému, neboť se zpomaluje doba přechodu mezi napěťovými úrovněmi z potenciometrických snímačů. Toto omezení však není díky požadavkům na regulátor pro řídicí jednotku kritické.

Aby byla řídicí jednotka schopná nastavovat minimální změnu polohy mechanismů zoom a iris, je nutné potlačit nízkonapěťové rušení $U_{\text{pp}} = 100 \text{ mV}$, viz kap. 4.5.1. Řešení je provedeno pomocí průměrování měřených signálů, které je realizováno mikroprocesorem. Jedná se o standardní výpočet aritmetického průměru ze 100 vzorků:

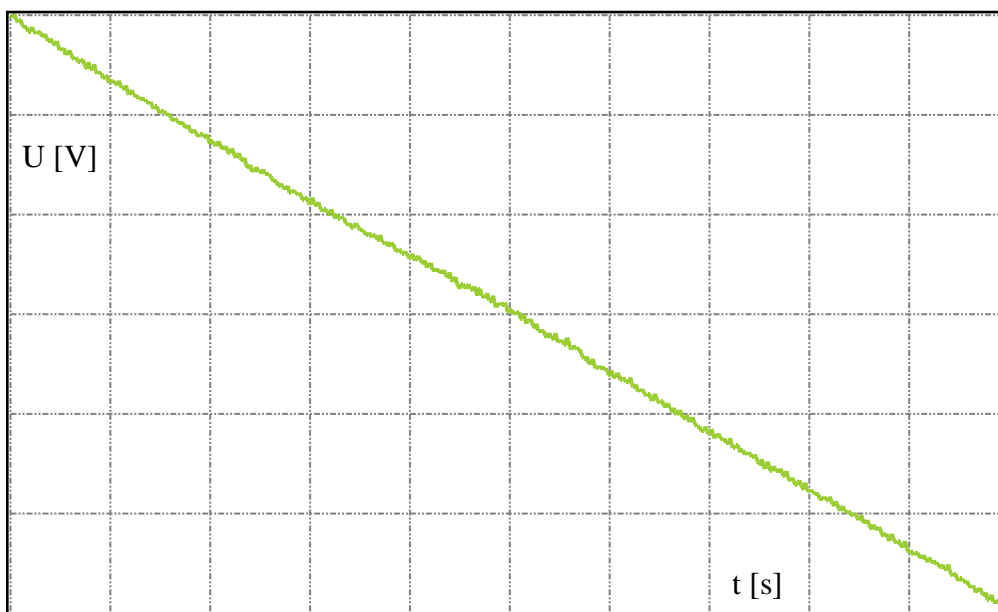
$$\bar{U}_{\text{meas}} = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{100} U_{\text{meas}_i} \text{ [V; V]} \quad (4.5.2/1)$$

Toto řešení umožňuje mikroprocesoru zpracovávat střední hodnotu zarušeného signálu s minimální chybou. Tím se zpřesní měření napětí z potenciometrického snímače a řídicí jednotka je tak schopná nastavit minimální změnu polohy mechanismů v objektivu. Průběhy měřeného napětí A/D převodníkem v mikroprocesoru s průměrováním a bez průměrování jsou zobrazeny na obr. 20 a obr. 21.

Průběhy nejsou měřeny při konstantním napětí, protože by nedošlo ke spuštění PWM signálů, od kterých se na vodičích uplatňuje rušení. Tyto charakteristiky byly pořízeny pomocí softwaru pro sběr dat ze sériové linky pomocí UART, a proto je tento úsek měřen od binární hodnoty 0xAC7 po 0x9C8, tedy od 2,21 V po 2,01 V.



Obr. 21 – Průběh měřeného napětí bez průměrování z pot. snímače ZOOM



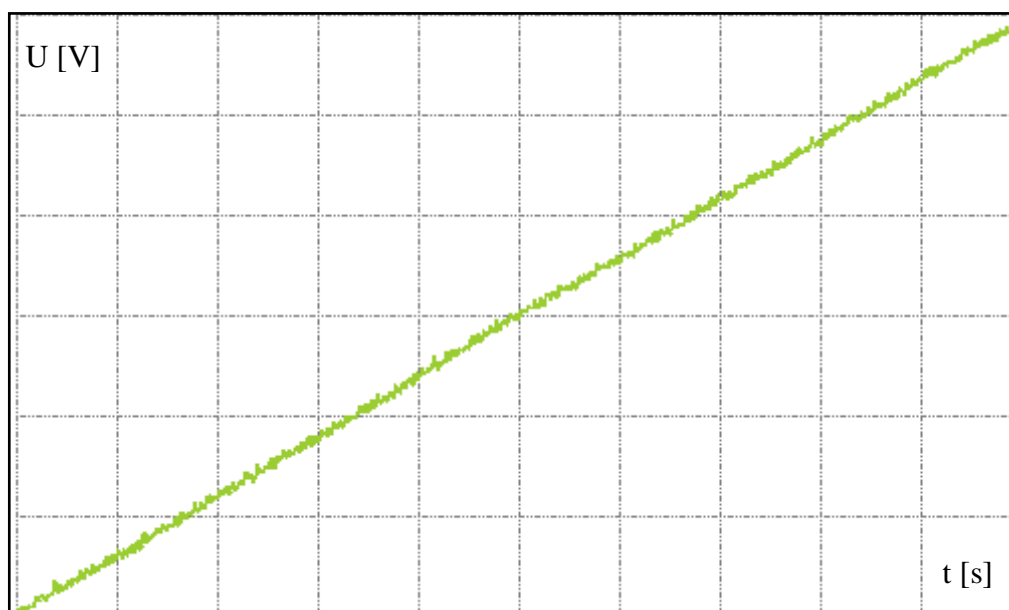
Obr. 22 – Průběh měřeného napětí s průměrováním(100) z pot. snímače ZOOM

4.6 Regulátor implementovaný v řídicí jednotce

4.6.1 Charakteristika systému

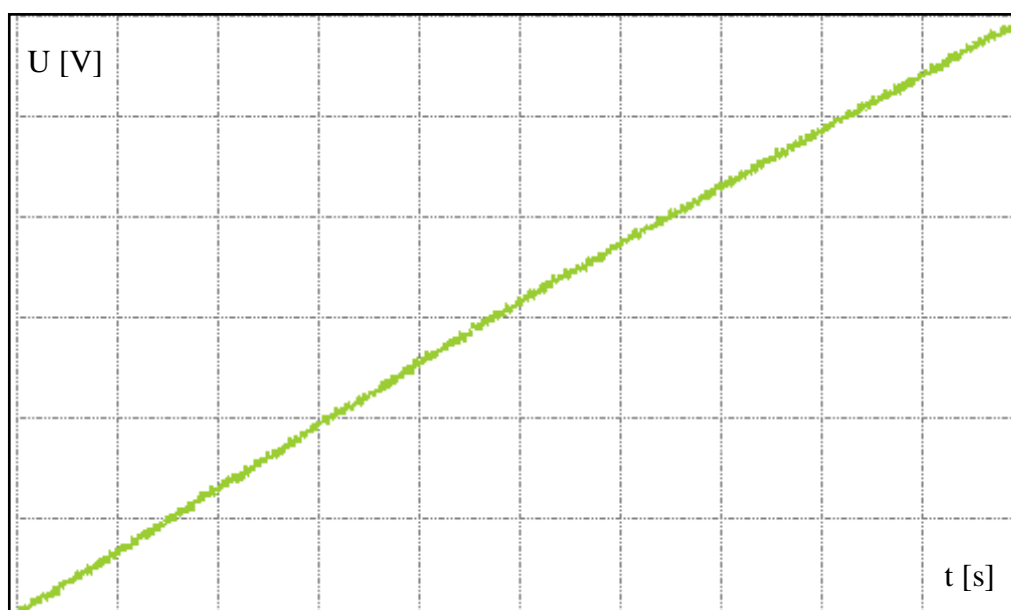
Funkcí regulátoru v řídicí jednotce je nastavovat polohu mechanismů v objektivu. Díky vestavěnému potenciometrickému snímači s lineárním výstupem lze již předem odhadovat, že se jedná o astatický systém, neboť průběh polohy při konstantním napájení motorů je lineární a k ustálení dojde pouze při dojezdu do konečné polohy. Aby byla jasná představa, jaké má systém chování, byly změřeny přechodové charakteristiky mechanismů v objektivu.

Na obr. 23 je zobrazen přechodový diagram mechanismu zoom, při jednotkovém skoku $1 = 5 \text{ V}$, který je přiveden na motor v objektivu.



Obr. 23 – Přechodová charakteristika ($1 = 5 \text{ V}$) mechanismu *ZOOM*

Pro mechanismus focus je přechodový diagram při $1 = 5 \text{ V}$ zobrazen na obr. 24.



Obr. 24 – Přechodová charakteristika ($1 = 5 \text{ V}$) mechanismu *FOCUS*

Pro mechanismus iris není v řídicí jednotce implementovaný regulátor, neboť tento mechanismus nemá snímač polohy. Tento systém proto ani nebyl identifikován. Kdyby byl požadavek na jeho řízení, mohl by nastat problém. Při používání objektivu bylo odpozorováno, že se *IRIS* zavírá nelineárně a jde tedy o silně nelineární systém.

4.6.2 Návrh regulátoru

Jak je popsáno v kap. 4.1, regulátor pro objektiv má svá specifika. Aby nedošlo k poškození objektivu, musí regulátor co nejméně pohybovat s mechanismem. Dále je potřeba, aby regulátor zamezil prudkým změnám pohybu, především tedy prudkým rozjezdům. Pro korektní funkci řídicí jednotky je nutné, aby byl regulátor schopen nastavit polohu motoru s nulovou odchylkou ustálené hodnoty na referenci.

Při uplatnění výše zmíněných podmínek byl zvolen typ regulátoru PI, resp. PS. Základní vlastností tohoto regulátoru je nulová odchylka v ustáleném stavu při vstupním skoku. Jelikož regulátor zpracovává naměřené vzorky a ne spojitý signál, jedná se o číslicový regulátor. Složky v něm obsažené jsou dvě: P (proporcionální) a S (sumační). Suma je použita u číslicových regulátorů jako ekvivalent integrálu. Výsledný tvar regulátoru PS je tedy:

$$u(t)_{PS} = k_p e(t) + k_i T_{vzr} \sum e(t) \quad (4.6.2/1)$$

Kde $u(t)_{PS}$ je akční veličina, k_p je proporcionální konstanta, $e(t)$ je regulační odchylka, k_i je integrační (sumační) konstanta a T_{vzr} je vzorkovací perioda. Regulační odchylka je vypočtena jako rozdíl dvou průměrných hodnot ze 100 změřených vzorků. První průměrná hodnota je v čase $(t - 100)$ a druhá v čase t .

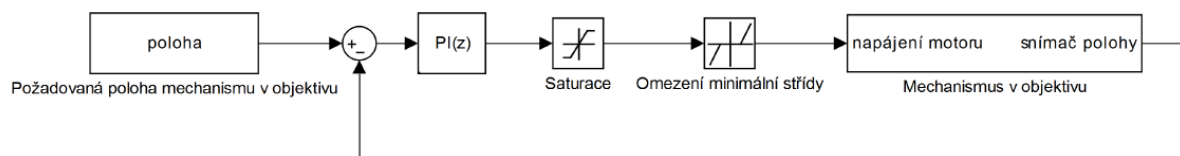
Regulátor má několik základních opatření, která zamezují nekorektnímu chování řídicí jednotky. Prvním je opatření proti překročení maximální povolené hodnoty sumy, při které je ještě regulátor okamžitě schopen změnit akční veličinu. Jedná se o tzv. wind-up efekt. Opatření spočívá v omezení maximální hodnoty sumy, jejíž výpočet je níže:

$$S_{MAX} = \frac{DC_{MAX} - (k_p \cdot e_{max})}{k_i} \quad (4.6.2/1)$$

DC_{max} je maximální střída, tedy maximální hodnota akčního zásahu a e_{max} je maximální možný rozsah měřených napětí A/D převodníkem v mikrokontroléru, tedy maximální regulační odchylka.

Implementována jsou také omezení střídy PWM signálů. Maximální střídu je možné překročit při chybě měření napětí mikroprocesorem a také lze pomocí tohoto omezení nastavit rychlost regulace. Minimální střídu je potřeba dodržet kvůli minimální možné rychlosti motoru. Pro prodloužení životnosti objektivu jsou v řídicí jednotce vypnuty překmity regulátoru, díky kterým by mohlo dojít k mechanickému opotřebení a následnému zničení. Při tomto opatření dochází k nepřesnostem, které jsou kompenzovány pásmem ustálení. Jeho hodnota je $\pm 2,55\%$.

Regulační smyčka je zobrazena na obr. 25:



Obr. 25 – Regulační smyčka v řídicí jednotce objektivu

Řídicí jednotka obsahuje dvě regulační smyčky pro mechanismus *ZOOM* a *FOCUS*, které obsahují dva samostatné regulátory. Aby byla regulace a zpracování komunikace co nejrychlejší, jsou regulační smyčky spouštěny kontinuálně. Vzorkovací perioda T_{vzr} , která je totožná pro obě smyčky, je tak rovna $T_{vzr} = 1,3$ ms.

Vstupní data regulátoru, která reprezentují referenci, jsou typu binární 16bitové číslo, které je vypočteno ze vstupních přijatých dat, viz kap. 4.7.4 a reprezentuje žádané napětí na potenciometrickém snímači.

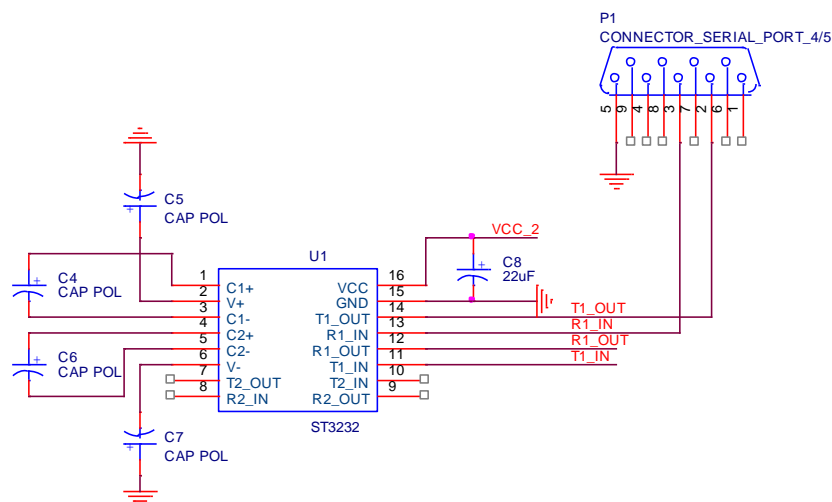
4.7 Návrh komunikace řídicí jednotky

4.7.1 Implementace komunikačního rozhraní

Komunikační rozhraní je velice podstatná část řídicí jednotky zoom objektivu. S její pomocí jsou řídicí jednotce zadávány příkazy pro nastavení objektivu a také vysílá příznakové zprávy do nadřazené komunikační jednotky. Tato jednotka řídí veškerou komunikaci v celém systému, a proto jí bylo nutné přizpůsobit celkový návrh komunikace.

Kamerový systém, kterého součástí je řídicí jednotka objektivu, obsahuje dvě části: ovládací PC a kamerové stanoviště. Hlavní komunikační jednotka je součástí kamerového stanoviště, které může být od ovládacího PC vzdáleno několik stovek metrů. Pro splnění těchto parametrů je mezi dvěma stanovišti zvolena sběrnice RS-422. Tato sběrnice měla být původně použita i pro komunikaci komunikační jednotky s řídicí jednotkou objektivu. Při návrhu již nezůstala volná komunikační brána se sběrnicí RS-422, a proto byla po dohodě s vedoucím práce zvolena sběrnice RS-232.

Základními vlastnostmi tohoto rozhraní je možnost synchronního/asynchronního přenosu, maximální délka kabelu 15 m a maximální modulační rychlost 115200 Bd. Jelikož je řídicí a komunikační jednotka umístěna na jednom stanovišti, konkrétně do 1 m, parametry RS-232 plně vyhovují požadavkům pro použití. Rozhraní má nesymetrické vedení, tedy log. 1 reprezentuje napěťová úroveň $-3 \div -25$ V a log. 0 reprezentuje $+3 \div +25$ V. Mikroprocesor tyto napěťové úrovně není schopen generovat, proto je nutné použít budič ST3232, který funguje na principu nábojové pumpy. Jako konektor na řídicí jednotce je použit standardní typ Canon9. Elektronické zapojení budiče je na obr. 26:



Obr. 26 – Zapojení budiče ST3232 pro rozhraní RS-232

Díky zapojení komunikačních signálů na vnitřní dekodér USART je pomocí komunikačního konektoru Canon9 možno nahrávat program do vnitřní paměti Flash pomocí integrovaného Bootloaderu.

4.7.2 Popis komunikace

Řídicí jednotka má primárně za úkol zpracovávat příchozí příkazy od hlavní jednotky, kterou je ovládací PC. Dále také odesílá potvrzovací zprávy do nadřazené jednotky. Předpokladem bylo, že nároky na tuto komunikaci nejsou kritické, jako např. komunikační rychlost a odolnost. Aby se plně využily možnosti mikrokontroléru a zjednodušil se celkový návrh, je pro komunikaci využit integrovaný řadič USART1, kterým se vysílají a přijímají jednotlivé byty. Nastavenými vlastnostmi komunikace USART je modulační rychlost 9600 Bd, 1 Start bit a 1 Stop bit.

V původním návrhu byla nastavena modulační rychlost 115200 Bd, aby byla urychlena komunikace. Při testování však byly zjištěny chyby přenosu dat, díky kterým docházelo ke ztrátám bytů, a proto byla zvolena modulační rychlost 9600 Bd.

Komunikace ovládacího PC a řídicí jednotky má dvě základní části: ovládací příkazy a potvrzovací zprávy. Implementovaných je šest příkazů:

1. Nastavení žádané polohy a maximální rychlosti pro regulátor *ZOOM*
2. Nastavení žádané polohy pro regulátor *FOCUS*
3. Nastavení doby a směru posunu *IRIS*
4. Nastavení rychlosti a směru posunu *IRIS*
5. Nastavení polohy *ZOOM*, *FOCUS* a *IRIS* do krajní polohy
6. Nastavení krajní polohy pro jeden z mechanismů

Dále jsou implementovány dva vysílané potvrzovací zprávy:

1. Potvrzení úspěšného zpracování příkazu
2. Příznak dojezdu mechanismu do krajní polohy

Ovládací příkazy jsou složeny z pěti bytů. První označuje hlavičku bytu, tedy rozlišení, o který příkaz se jedná. Zbylé čtyři byty jsou parametry, které se pro jednotlivé příkazy liší. Všechny parametrové byty nejsou využity, neboť vždy minimálně dva slouží jako rezerva, kdyby bylo nutné používat 16bitový parametr. Příklad zpracovávaného příkazu pro nastavení *ZOOM* do středu nejvyšší rychlosti je zobrazen na obr. 27:

0x01	0x7F	0x01	0x00	0x00
hlavička	poloha	rychlost	parametr3	parametr4

Obr. 27 – Příklad odeslání paketu pro *ZOOM*

Potvrzovací zprávy obsahují dva byty. Prvním je hlavička, která označuje, o jaký typ zprávy se jedná. Druhý byt je parametr zprávy. První a třetí zpráva je vysílána synchronně, tedy pouze při zpracování příkazu. Druhá zpráva slouží jako příznak dojezdu mechanismu do krajní polohy a je vysílán asynchronně.

Detailní přehled příkazů a potvrzovacích zpráv je obsažen v (příloha2).

4.7.3 Výpočet reference pro regulátor ze vstupních dat

Velice důležitou funkcí implementované komunikace je možnost nastavovat referenci pro regulátory ovládající mechanismy *ZOOM* a *FOCUS*. Regulátor má jako vstupní veličinu, která reprezentuje požadovanou referenci, 16bitové číslo. Tato velikost je dána rozlišením A/D převodníku v mikrokontroléru, které je 12 bitů. Jelikož řídicí jednotka přijímá 8bitovou informaci *Poloha* o požadované referenci, je nutné tuto hodnotu přepočítat na 16 bitů.

Rozsah napětí, které je možné měřit na potenciometrických snímačích s napájením $U_{cc} = 3,3 \text{ V}$, je stejné pro oba mechanismy. Minimální změřitelné napětí je rovno $U_{pot_min} = 0,59 \text{ V}$ a maximální napětí $U_{pot_max} = 2,21 \text{ V}$. Rozsah změřitelného napětí ΔU_{pot} se vypočte dle vztahu (4.7.3/1):

$$\Delta U_{pot} = U_{pot_max} - U_{pot_min} \text{ [V]} \quad (4.7.3/1)$$

Pro konkrétní hodnoty je tedy výpočet dle vztahu (4.7.3/2):

$$\Delta U_{pot} = U_{pot_max} - U_{pot_min} = 2,21 - 0,59 = \underline{1,62 \text{ V}} \quad (4.7.3/2)$$

Díky přijaté 8bitové informaci o referenci *poloha* je tento rozsah ΔU_{pot} rozdělen na 255 hodnot. Jeden díl polohy mechanismu U_{step} je tedy roven (4.7.3/3):

$$U_{step} = \frac{\Delta U_{pot}}{255} = \frac{1,62}{255} = \underline{6,353 \text{ mV}} \quad (4.7.3/3)$$

Při 12bitovém rozlišení A/D převodníku je maximální změřitelné napětí $U_{meas_max} = 3,3 \text{ V}$ reprezentováno v mikroprocesoru jako 16bitové číslo o hodnotě 0xFFF. Přepočet rozsahu změřitelného napětí ΔU_{pot} do hexadecimální hodnoty je proveden dle vztahu (4.7.4):

$$\Delta U_{pot_hex} = \frac{\Delta U_{pot} \cdot 10^2 \cdot U_{meas_max_hex}}{U_{meas_max} \cdot 10^2} = \frac{1,62 \cdot 10^2 \cdot 0xFFF}{3,3 \cdot 10^2} = \underline{0x7DA \text{ V}} \quad (4.7.3/4)$$

Jeden díl polohy regulátoru ΔU_{step} je v mikroprocesoru reprezentován dle vztahu (4.7.3/5):

$$U_{step_hex} \cong \frac{U_{step} \cdot 10^6 \cdot U_{meas_max_hex}}{U_{meas_max} \cdot 10^6} \cong \frac{6,353 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \cdot 0xFFF}{3,3 \cdot 10^6} \cong \underline{0x7 \text{ V}} \quad (4.7.3/5)$$

Přepočet minimálního změřitelného napětí U_{pot_min} je obsažen ve výpočtu (4.7.3/6):

$$U_{pot_min_hex} \cong \frac{U_{pot_min} \cdot 10^2 \cdot U_{meas_max_hex}}{U_{meas_max} \cdot 10^2} \cong \frac{0,59 \cdot 10^2 \cdot 0xFFF}{3,3 \cdot 10^2} \cong \underline{0x2DC \text{ V}} \quad (4.7.3/6)$$

Výsledný vztah pro přepočítání přijaté hodnoty *poloha* na referenci U_{ref_hex} , která je v mikroprocesoru reprezentována 16bitovým číslem, je dán vztahem (4.7.3/7):

$$U_{ref_hex} \cong U_{pot_min_hex} + \left((U_{step_hex}) \cdot poloha \right) [V] \quad (4.7.3/7)$$

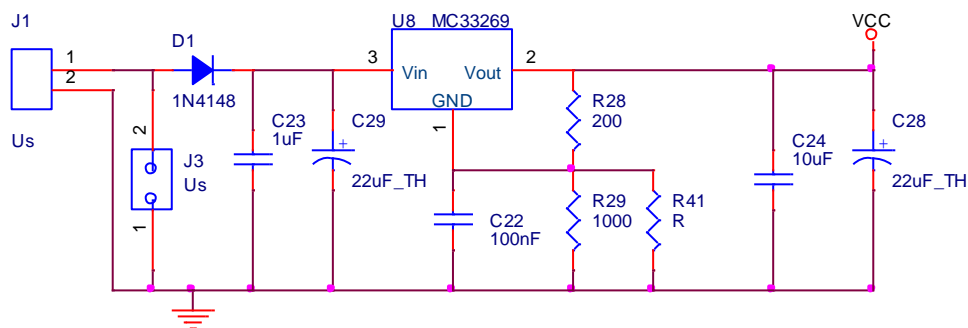
, kde $poloha \in (0, 255)$.

4.8 Napájení řídicí jednotky

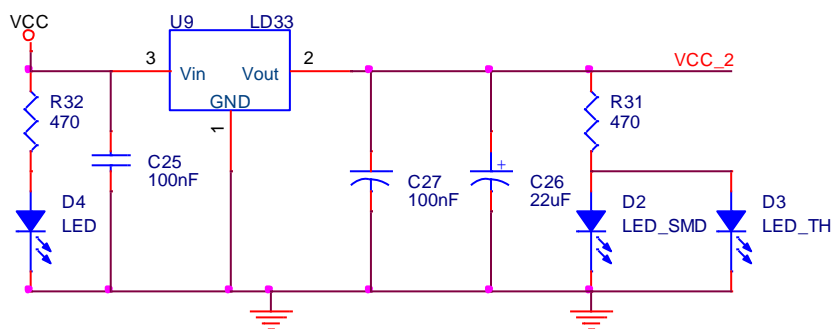
Napájecí část řídicí jednotky má dva základní úkoly: ze vstupního napětí $U_{in} = 10 \div 12 \text{ V}$ vytvořit dvě stabilizovaná napětí $U_{cc} = 8 (5) \text{ V}$ a $U_{cc_2} = 3,3 \text{ V}$.

Napětí U_{cc_2} slouží k napájení mikroprocesoru a ostatních obvodů, které komunikují s mikroprocesorem. Je to například budič sériové linky ST3232, který tak vysílá 3,3V TTL úroveň a také potenciometrické snímače v objektivu, kde je nutné, aby maximální zpracovávané napětí U_{pot_max} bylo menší nebo rovno U_{cc_2} . Pro generování napětí $U_{cc_2} = 3,3 \text{ V}$ byl použit obvod LD33 v SMD pouzdře SOT-223. Jedná se o standardní lineární low-drop stabilizátor, který je schopen do obvodu dodávat výstupní proud $I_{o_stab_2} = 1 \text{ A}$.

Napětí U_{cc} slouží jako zdroj napětí pro stabilizátor LE33 a také pro napájení výkonové části, tedy budičů motorů (h-můstky BD6221HFP) a operační zesilovače OP213. Aby bylo možné nastavit výstupní napětí U_{cc_2} na 8 V, případně 5 V, byl použit lineární low-drop stabilizátor MC33269 v pouzdře TO-220. Pomocí vhodně zvolených odporů R28, R29 a R41 v zapojení viz obr. 28 a obr. 29 je možno měnit výstupní napětí stabilizátoru. Pouzdro TO-220 bylo zvoleno kvůli možnosti připevnit chladič.



Obr. 28 – Schéma zapojení zdrojové části pro 8 VDC



Obr. 29 – Schéma zapojení zdrojové části pro 3,3 VDC

5. Řízení polohovacího mechanismu

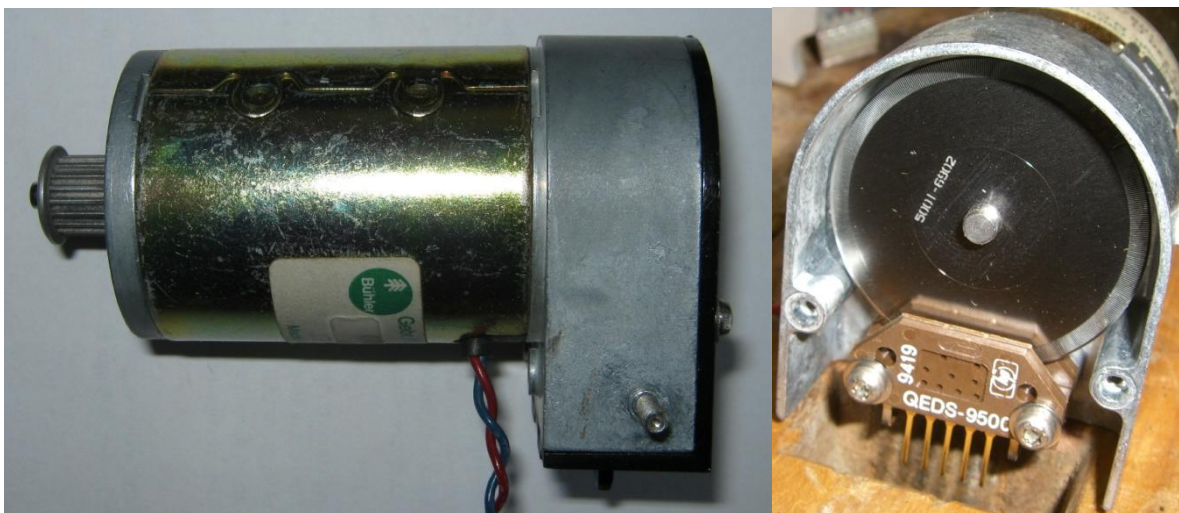
5.1 Předpoklady pro návrh řízení polohovacího mechanismu

Jak již bylo naznačeno v druhé kapitole, součástí zadání je návrh řízení polohovacího systému kamery. Polohovací mechanismus obsahuje stejnosměrný, případně krokový motor a má použitý potenciometrický, případně inkrementální snímač polohy.

Aby bylo možné efektivně využívat polohovací mechanismus, je nutné navrhnout zařízení, které bude schopné díky vestavěnému regulátoru nastavovat jeho polohu. Jedná se tedy o stejný postup požadavků, jako u řídicí jednotky pro objektiv.

Navržená metoda řízení pro polohovací mechanismus může být totožná s řídicí jednotkou pro objektiv. Stejně jako u elektronicky ovládaných objektivů můžou mechanismus chránit koncové vypínače, nebo je možnost měřit nárůst proudu motoru při dorazu do konečné polohy. Nutné však je, aby byl použit potenciometrický snímač polohy a stejnosměrný motor. Varianta mechanismu s použitým krokovým motorem nebyla testována, ale byla zvolena varianta s inkrementálním snímačem polohy. Zde již nelze použít návrh řízení pro objektiv, protože se změní charakter výstupní veličiny ze senzoru, což je pro návrh zásadní rozdíl. Nastavení regulátoru může zůstat totožné, ale je potřeba změnit způsob výpočtu aktuální polohy.

Pro účely testování navržených metod zpracování signálů z inkrementálního byl používán 24V stejnosměrný motor s namontovaným inkrementálním snímačem QEDS-9500 od firmy Hewlett-Packard.



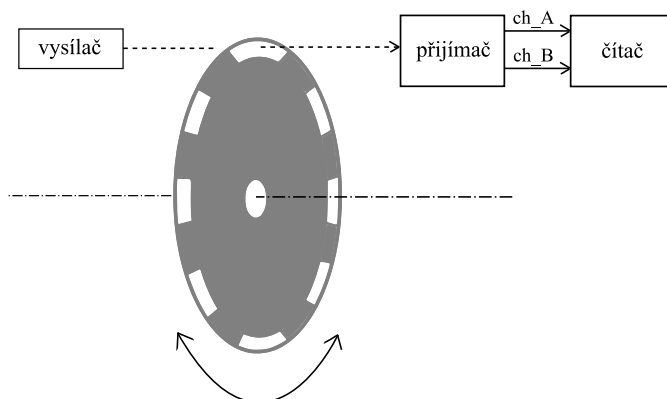
Obr. 30 – SS motor s připojeným inkrementálním snímačem QEDS-9500

Rozdíl mezi polohovacím mechanismem a elektronickým objektivem je také v nárocích na výkon použitých motorů. Polohovací zařízení nepohybují pouze lehkou zátěží, jakou je např. mechanika v objektivu, ale také těžšími předměty, jako např. větší množství kamer. Z tohoto důvodu je zde běžné použití mnohem výkonnějších motorů. Používají se především stejnosměrné a krokové motory. Krokové mají výhodu v možnosti velice přesného přímovazebního řízení, a proto se někdy nepoužívá senzor polohy. Jsou však dražší.

5.2 Zpracování signálů z inkrementálního snímače

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, polohovací zařízení mají s elektronickými objektivy mnoho společných vlastností. Jsou to jak použité motory, tak také použité senzory polohy, kde jedním z nejrozšířenějších typů je inkrementální snímač.

Zásadní rozdíl mezi potenciometrickým a inkrementálním snímačem je charakter výstupní veličiny. Zatímco výstup z potenciometrického snímače reprezentuje aktuální (absolutní) polohu, výstup z inkrementálního snímače určuje pouze její (relativní) změnu. Tento rozdíl plyne ze základního principu inkrementálních snímačů, který je naznačen v obr. 31.



Obr. 31 – Princip funkce inkrementálního snímače

LED dioda (vysílač) prosvětluje kotouč s rovnoměrně rozmístěnými otvory, které se střídají s lamelami. Za kotoučem je fototranzistor (přijímač). Pokud je před diodou otvor, osvítila dioda bázi tranzistoru, který se otevře a v tomto stavu zůstane až do chvíle, kdy se před diodou objeví lamela. Tato lamela bázi zastíní a dojde tím k uzavření tranzistoru. Při rovnoměrném otáčivém pohybu senzoru se na jeho výstupu generují rovnoměrné pulzy. Z toho vyplývá, že rychlost otáčení je rovna počtu pulzů za časový úsek a poloha je rovna konkrétnímu počtu pulzů. Toto je nejjednodušší princip inkrementálního snímače.

Pro dosažení vyšší citlivosti se používá kvadratura, tedy dva snímače, které jsou od sebe vzdáleny tak, aby byly jejich výstupní pulzy fázově posunuty o 90°. Tím se zdvojnásobí citlivost snímače, protože nejsou sledovány pouze dvě posloupnosti hran signálů, ale čtyři. Pro snímání polohy se do inkrementálních snímačů často implementuje pomocný štítek, tzv. index. Ten má pouze jeden otvor, který je umístěn v nulové poloze rotoru senzoru. Řídící jednotka tak dokáže detekovat impuls při průchodu světla tímto otvorem, čímž umožní detekci nulové pozice senzoru, tedy celého mechanismu.

Inkrementální snímač QEDS-9500 je také kvadrturní a používá štítek, který má 250 otvorů. Za jednu otáčku tak vygeneruje 1000 pulzů.

Pro zpracování těchto pulzů existuje velké množství speciálních integrovaných obvodů. Dle zadání je však nutné využít mikroprocesor STM32F050F6P6, který umožňuje velice efektivní zpracování kvadrturních signálů. Má v sobě integrovaný enkodér kvadrturních pulzů, který je propojen s vnitřním 32bitovým čítačem TIM2. Tento obvod sleduje posloupnost hran ze vstupních signálů a podle nich inkrementuje nebo dekrementuje hodnotu čítače TIM2. Rozlišením směru změny čítače je tedy možné určit směr otáčení motoru.

Aby nedošlo k chybám při podtékání čítače, nastavuje se jeho počáteční stav na polovinu maximální velikosti. Pokud je snímač kvalitní, tedy pokud se při zastavení motoru neobjeví zákmity, je možné přepočítat pulzy na jednotlivé díly polohy. Díky tomu je možné navrhnout přesný regulátor polohy.

Pro snímač QEDS-9500 nebo jakýkoliv jiný snímač používaný v polohovacích mechanismech, je možnost použít stejný regulátor jako u řídicí jednotky objektivu. Je zde však nutné změřené informace o poloze zpracovat následujícím způsobem. Při spuštění musí regulátor posunout mechanismus do definované referenční polohy. Ta může být detekována pomocí indexového vodiče, nebo pomocí koncových vypínačů. V této poloze se nastaví stav čítače na polovinu jeho maximální hodnoty a od něj bude vždy vztažena poloha mechanismu, neboť enkodér čítá pulzy kontinuálně.

6. Závěr

V rámci této bakalářské práce byla navržena a zrealizována řídicí jednotka pro elektricky řízený objektiv Computar H6Z0812MSP. Byl navržen a implementován číslicový regulátor pro ovládání ostření a nastavení ohniskové vzdálenosti. Do řídicí jednotky byly také implementovány metody nastavení clony. Pro umožnění využití plného rozsahu ostření, ohniskové vzdálenosti, a pro ochranu vnitřních mechanismů, byla navržena a realizována metoda indikace dorazu objektivu. Pro spolupráci s nadřazenou jednotkou a vzdálené nastavování parametrů objektivu, byla navržena a implementována komunikace na rozhraní RS-232. Formát komunikace obsahuje 7 příchozích řídicích příkazů a 3 potvrzovací zprávy. Navržená a realizovaná metoda řízení byla vyzkoušena i pro polohovací mechanismus kamery s použitým stejnosměrným motorem a inkrementálním snímačem polohy. Pro možnost ověření funkčnosti všech navržených metod na nepájivém poli byl navržen a zrealizován mikroprocesorový modul. Pro řídicí jednotku a mikroprocesorový modul byl vytvořen návrh desky plošných spojů.

Ačkoliv je toto téma bakalářské práce známé a na první pohled mnohokrát řešené, muselo být zjištěno množství informací, které nebylo možné z běžných zdrojů dohledat. Bylo proto nutné provést sérii měření, díky kterým byly získány důležité informace pro návrh řídicí jednotky. Jednalo se např. o určení dosažení koncové polohy dorazu objektivu změřením proudu protékajícího vinutím motoru mechanismu *ZOOM* a *FOCUS*.

S vývojem řídicí jednotky se vyskytly tři zásadní problémy, které nebylo možné zanedbat. Mechanismus *IRIS* nemá snímač polohy, mechanismy *ZOOM* a *FOCUS* nemají koncové vypínače a řídicí PWM signály ruší měřená napětí. Všechny tyto hlavní problémy byly popsány a vyřešeny v kapitolách 4.6, 4.4 a 4.5. Z této práce je možno čerpat rady a informace pro jakékoli aplikace, kde je potřeba navrhnout číslicový regulátor.

Ve výsledné realizaci zadání je stále prostor na vylepšení. Jedním z nich je možnost předělat návrh elektronické části pro mikroprocesor s více piny. Tím by se udělal prostor pro případná další nadstavbová vylepšení řídicí jednotky. S volnými piny na mikroprocesoru by se také zvýšila modularita řídicí jednotky. Řešení by bylo vylepšeno i zmenšením rozměrů návrhu desky plošných spojů.

Výsledek této práce je určen pro kamerový systém, který obsahuje pohledovou kameru pro sledování blízkých i vzdálených předmětů ve venkovním prostředí. Tato kamera musí mít možnost měnit ohniskovou vzdálenost a nastavovat ostření s možností přicloužení obrazu. Zároveň je nutné tyto parametry měnit dálkově, a proto bylo nutné zrealizovat práci s tímto zadáním. Řídicí jednotku je také možné využít v jiných aplikacích. Jedná se především o zařízení, kde je požadována regulace motorů.

Všechny cíle, které byly v úvodu vytyčeny, se podařilo splnit.

Seznam ilustrací

Obr. 1 – Koncept kamerového systému.....	2
Obr. 2 – Objektiv Computar H6Z0812MSP.....	3
Obr. 3 – Schéma realizace potenciometrického snímače	4
Obr. 4 – Zapojení potenciometrických snímačů v objektivu Computar H6Z0812MSP	5
Obr. 5 – Zapojení koncových vypínačů u objektivu Computar H6Z0812MSP	5
Obr. 6 – Mikroprocesorový modul STM32F050F6P6	8
Obr. 7 – Zapojení blokovacích kondenzátorů na mikroprocesorovém modulu	9
Obr. 8 – Horní strana (TOP) plošného spoje	10
Obr. 9 – Spodní strana (BOT) plošného spoje	10
Obr. 10 – Blokové schéma řídicí jednotky	11
Obr. 11 – Spouštění ss motoru pomocí bipolárního tranzistoru	12
Obr. 12 – Princip funkce H-můstku	13
Obr. 13 – Modul s H-můstkem BD6211HFP použitelný do nepájivého pole.....	15
Obr. 14 – Obvod pro měření proudu na principu HSCS	18
Obr. 15 – Alternativní zapojení snímacího odporu na pin GND.....	20
Obr. 16 – Alternativní zapojení snímacího odporu do série s motorem.....	20
Obr. 17 – Kompletní zapojení obvodu pro měření proudu.....	21
Obr. 18 – Měření vlivu nízkého CMR u operačních zesilovačů	23
Obr. 19 – Časový průběh rušeného napětí z potenciometrického snímače	24
Obr. 20 – Připojení RC článků mezi výstupy snímačů polohy a mikroprocesorem	25
Obr. 21 – Průběh měřeného napětí bez průměrování z pot. snímače <i>ZOOM</i>	27
Obr. 22 – Průběh měřeného napětí s průměrováním(100) z pot. snímače <i>ZOOM</i>	27
Obr. 23 – Přejchodová charakteristika ($I = 5 \text{ V}$) mechanismu <i>ZOOM</i>	28
Obr. 24 – Přejchodová charakteristika ($I = 5 \text{ V}$) mechanismu <i>FOCUS</i>	28
Obr. 25 – Regulační smyčka v řídicí jednotce objektivu	29
Obr. 26 – Zapojení budiče ST3232 pro rozhraní RS-232.....	30
Obr. 27 – Příklad odeslání paketu pro <i>ZOOM</i>	31
Obr. 28 – Schéma zapojení zdrojové části pro 8 VDC.....	33
Obr. 29 – Schéma zapojení zdrojové části pro 3,3 VDC.....	33
Obr. 30 – SS motor s připojeným inkrementálním snímačem QEDS-9500.....	34
Obr. 31 – Princip funkce inkrementálního snímače	35

Seznam tabulek

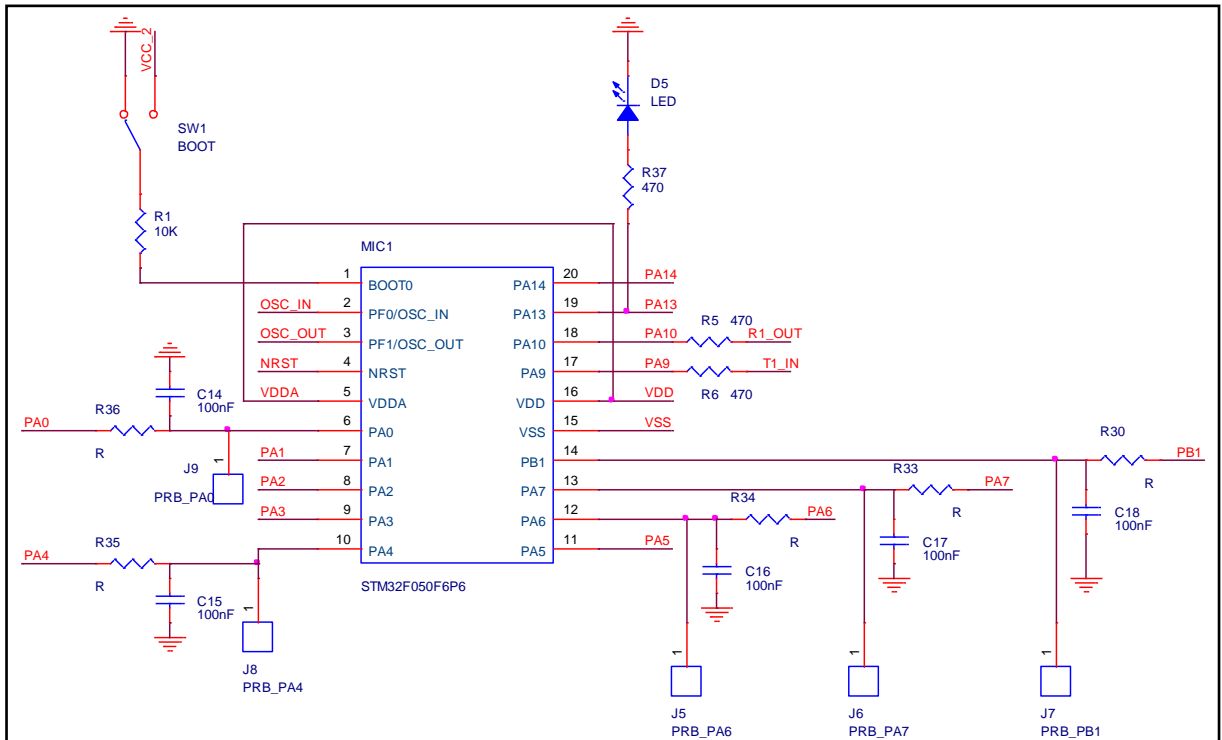
Tab. 1 – Vlastnosti stejnosměrných motorů v objektivu Computar H6Z0812MSP.....	3
Tab. 2 – Základní vlastnosti H-můstků BD6211HFP a BD6221HFP.....	14
Tab. 3 – Základní vlastnosti operačních zesilovačů OP213E a RC3403ADB.....	22

Seznam literatury

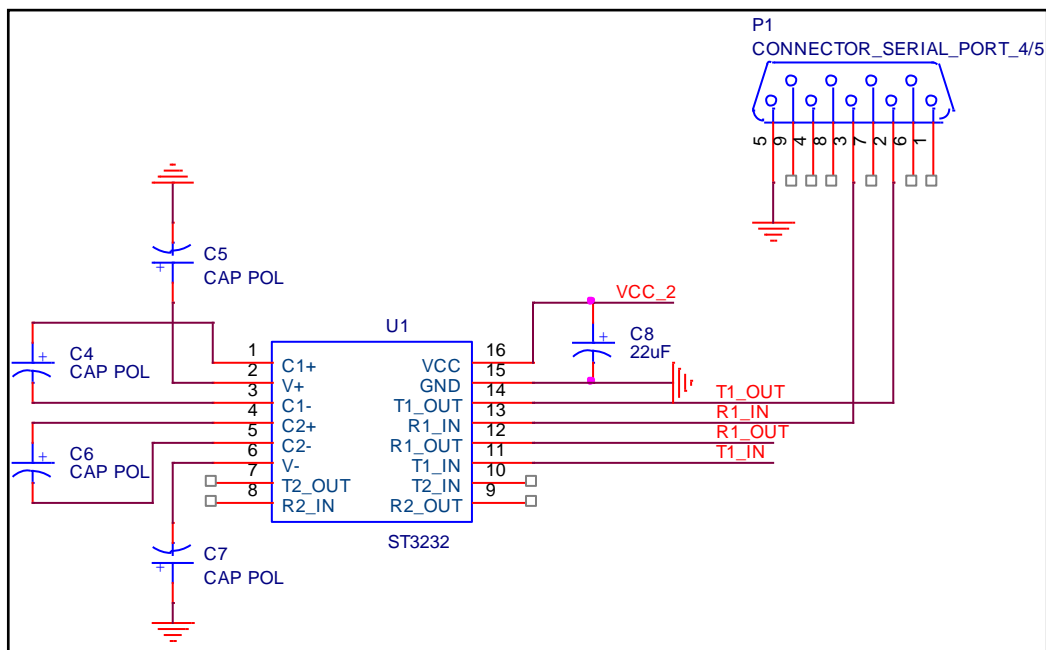
- [1] RM0091 Reference Manual, STMicroelectronics, 2012; www.st.com
- [2] Novotný, P.: Diplomová práce, ČVUT – FEL, Praha 2013
- [3] Yiu J.: The definitive Guide to the ARM Cortex – M3. Elsevier 2007, ISBN: 978-0-7506-8534-4
- [4] Specifications H6Z0812, Computar, 2004/5; www.computarganz.com
- [5] Datasheet TSZ22111-15-001, ROHM, 2012; www.rohm.com
- [6] Staněk, J.: Bakalářská práce, ČVUT – FEL, Praha 2012
- [7] UM1525 User manual STM32F0DISCOVERY, STMicroelectronics, 2012
- [8] AN4080 Application note, Getting started with STM32F0xxx hardware development, ST Microelectronics; 2012
- [9] Vedral, J; Fischer, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku. Vydavatelství ČVUT 2004, ISBN: 80-01-02966-2
- [10] Šebek, M.: BAS-ARI-11-Controllers, ČVUT, 2013

Přílohy

1A – schéma řídicí jednotky

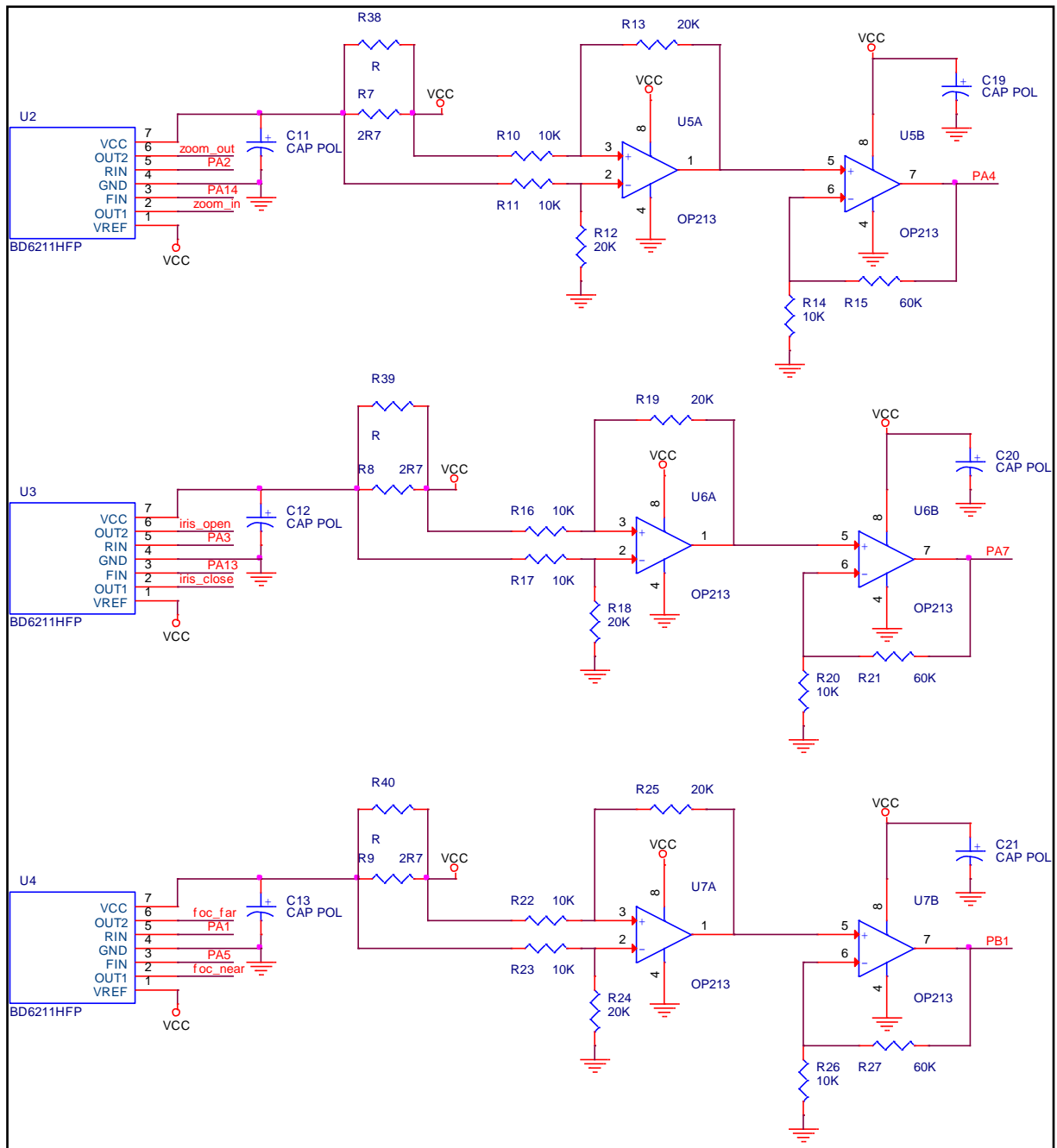


Mikroprocesorová část



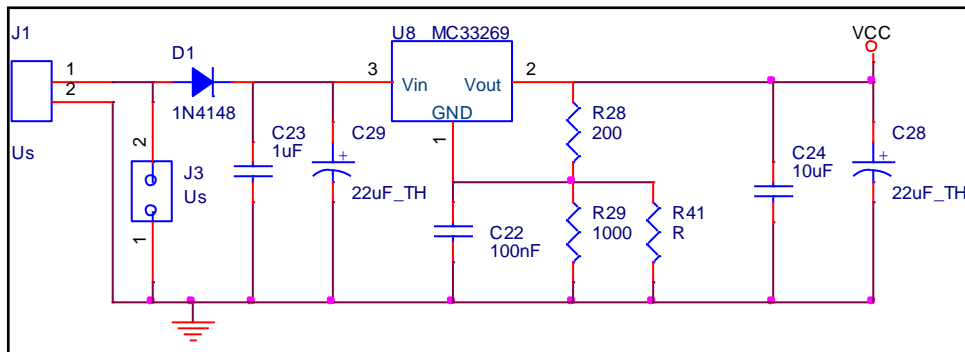
Zapojení budiče ST3232

1B – schéma řídicí jednotky

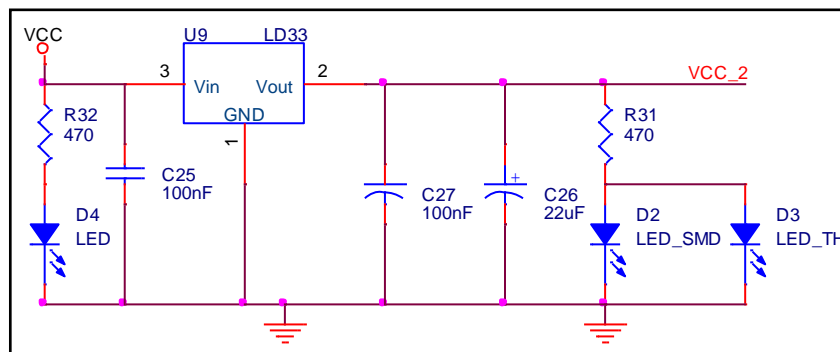


Blok měření proudu – HSCS

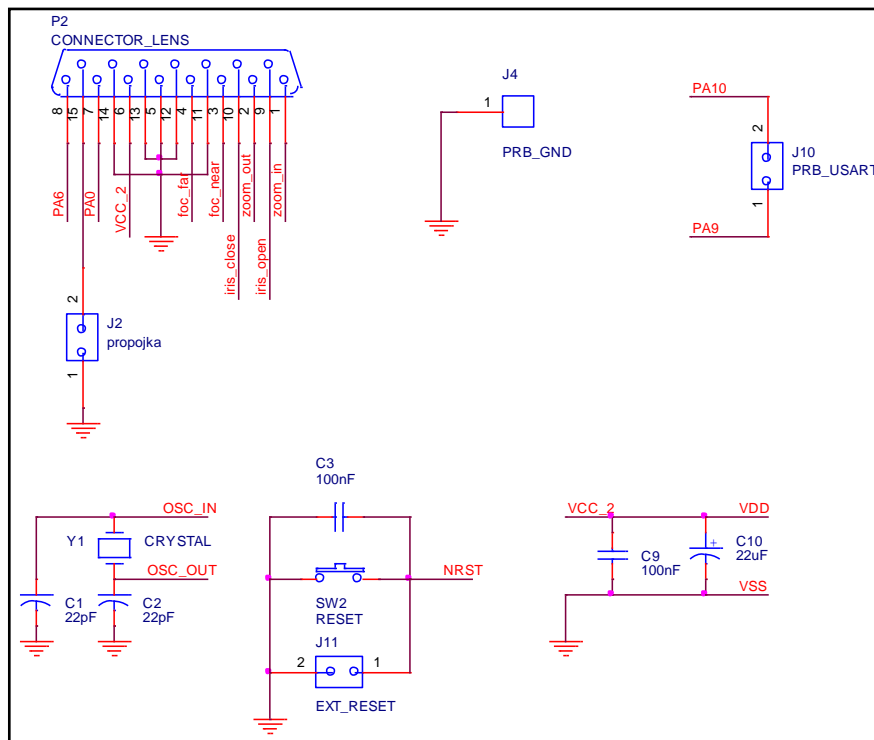
1C – schéma řídicí jednotky



Zapojení zdrojové části pro 8 VDC



Zapojení zdrojové části pro 3,3 VDC



Bloková část a konektor objektivu

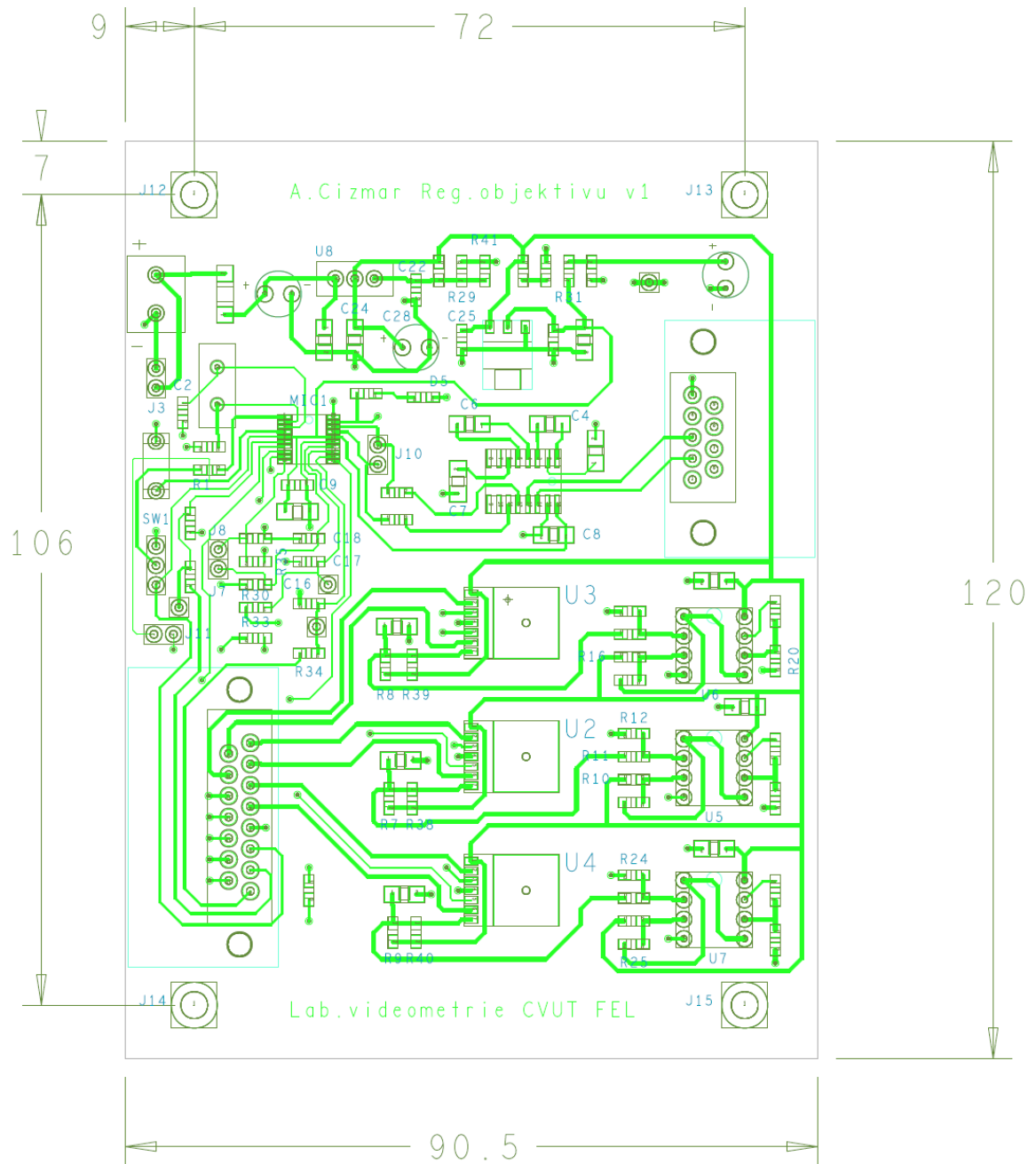
2A – tabulka příkazů pro komunikaci

Byte Hlavička	param1	param2	param3	param4	popis
0x01	<i>Poloha</i>	<i>Rychlost</i>	0x00	0x00	Poloha $\epsilon <0;255>$, Rychlost = (0x01, 0x02) = (rychle, pomalu)
0x02	<i>Poloha</i>	0x00	0x00	0x00	Poloha $\epsilon <0;255>$
0x03	<i>Doba</i>	<i>Směr</i>	0x00	0x00	Doba $\epsilon <0;255>$, Směr = (0xF0, 0x0F) = (po směru, proti)
0x04	<i>Rychlost</i>	<i>Směr</i>	0x00	0x00	Rychlost $\epsilon <0;255>$, Směr = (0xF0, 0x0F) = (po směru, proti)
0x05	0x00	0x00	0x00	0x00	Pro všechny mechanismy nastavit nulovou hodnotu polohy
0x06	<i>Parametr</i>	0x00	0x00	0x00	Pro určitý mechanismus nastavit nulovou hodnotu polohy

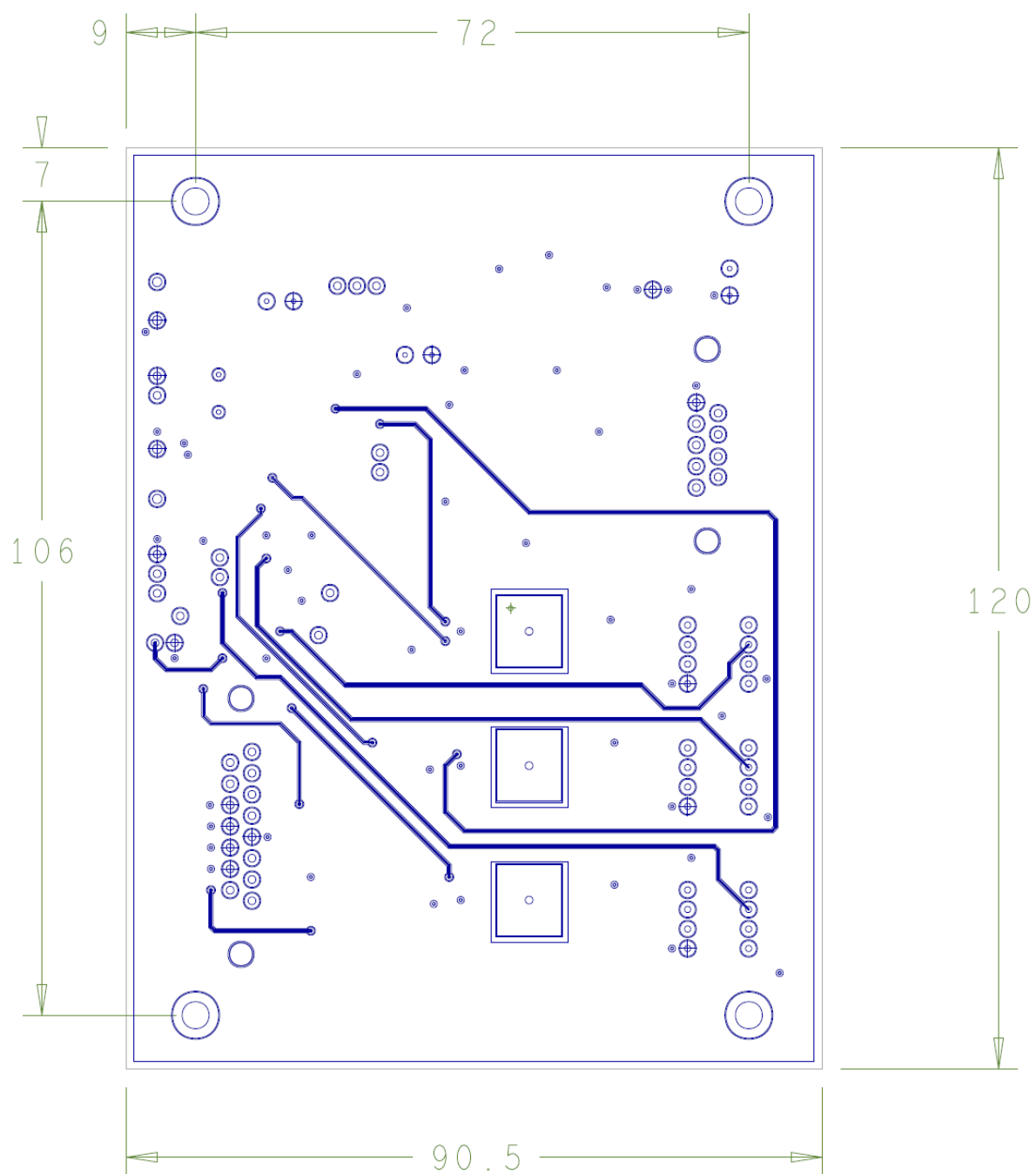
2B – tabulka příznakových zpráv

Byte Hlavička	param1	Popis
0x01	0x00	<i>Odpověď na každý zpracovaný příkaz</i>
0x02	<i>Parametr</i>	Asynchronní příznak dojezdu mechanismu

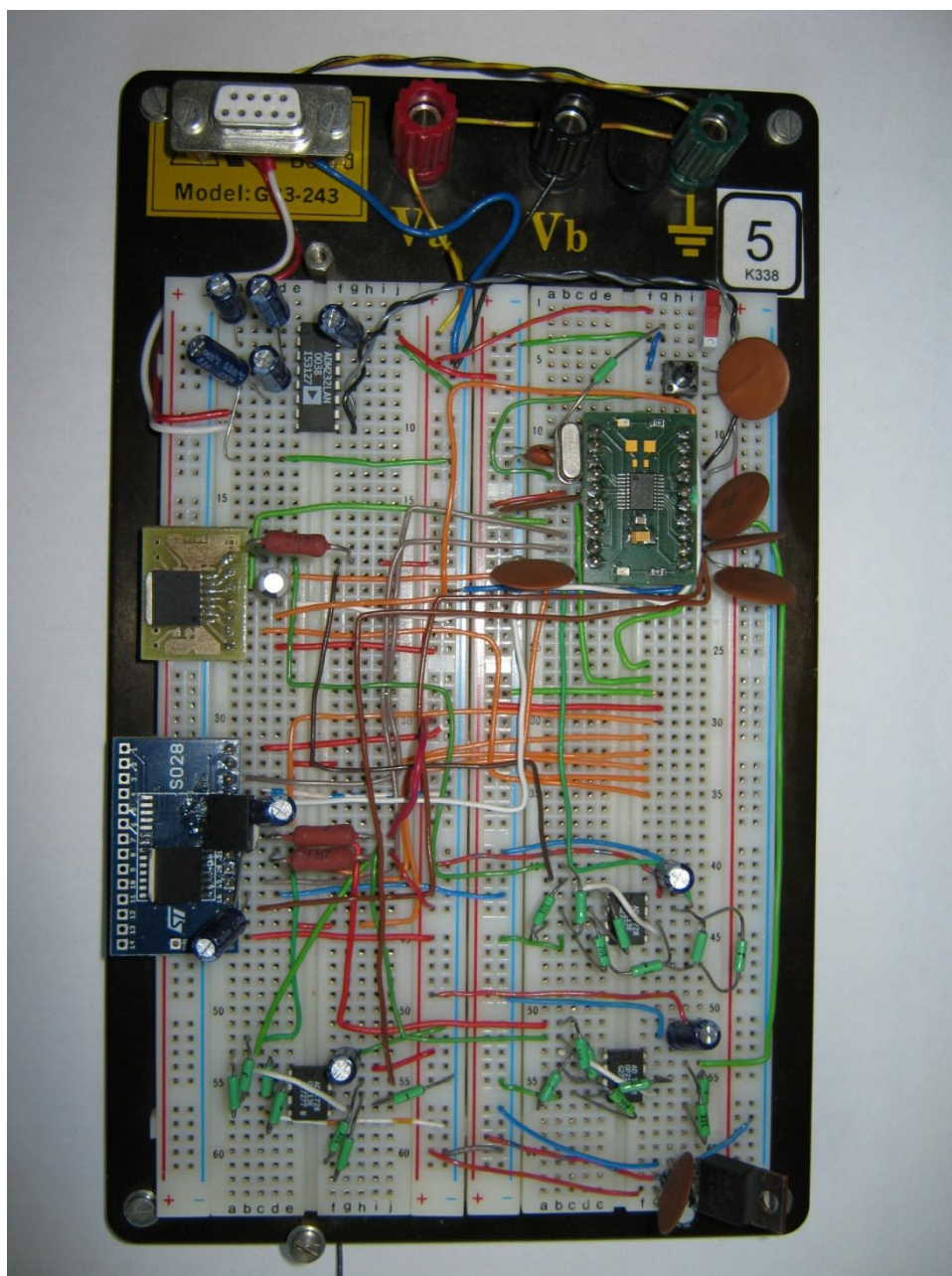
3A – DPS řídicí jednotky –TOP



3B – DPS řídicí jednotky –BOTTOM



4 – řešení řídicí jednotky na nepájivém poli



5 – Seznam souborů na přiloženém CD

- Bakalářská práce ve formátu .doc
- Bakalářská práce ve formátu .pdf
- Zdrojové kódy řídicí jednotky
- Datasheety obvodů použitých v řídicí jednotce
- Zdrojové kódy pro zpracování hodnot z inkrementálního snímače