

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

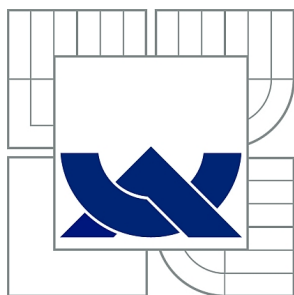
OVLADAČ PRO PARALAKTICKOU MONTÁŽ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

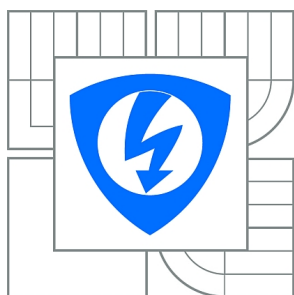
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KOLÁŘ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

OVLADAČ PRO PARALAKTICKOU MONTÁŽ

DRIVER FOR EQUATORIAL MOUNT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

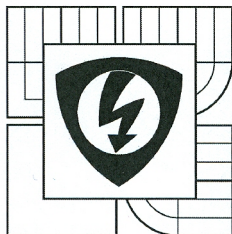
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KOLÁŘ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Michal Kolář

Ročník: 3

ID: 146038

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Ovladač pro paralaktickou montáž

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte literární rešerše z oblasti astronomických montáží, zaměřte se zejména na mechanické konstrukce a jejich řízení pomocí krokových motorů.
2. Deklarujte / stanovte požadované parametry řídicí jednotky pro ovládání montáže teleskopu vybraného typu.
3. Navrhněte blokovou strukturu a elektrické schéma řídicí jednotky montáže teleskopu, vyberte vhodný typ mikrokontroléru pro danou aplikaci.
4. Realizujte řídicí jednotku pro montáž teleskopu, ověřte její funkce a deklarované parametry.
5. Výsledky prezentujte a diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Novák, Petr.: Mobilní roboty : pohony, senzory, řízení. 1. vyd. Praha, Ben -Technické literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1
- [2] Rydlo, P.: Krokové motory a jejich řízení, Studijní texty TU Liberec, Liberec 2000
- Kenjo, T., Sugawara, A.: Stepping Motors and Their Microprocessor Controls, Oxford University Press, 1994, ISBN 0198593856
- [3] Dle literární rešerše a pokynů vedoucí práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.



ABSTRAKT

V rámci bakalářské práce byl řešen návrh ovladače pro paralaktickou montáž k montáži Celestron AstroMaster CG-3, kterým bude možné pomocí krokových motorů a řídicí jednotky ovládat pohyb teleskopu podle požadavků uživatele.

KLÍČOVÁ SLOVA

Paralaktická montáž, montáž Celestron AstroMaster CG-3, hybridní krokový motor LDO-57STH76-2804A, ovladač TB6560AHQ, mikrokontrolér MC9S08JM32CLH

ABSTRACT

Within the bachelor's thesis a design of the controller for equatorial mount Celestron AstroMaster CG-3 was worked out. It will enable to control the movements of the telescope by means of stepping motors and the control unit, according to the requirements of the user.

KEYWORDS

Equatorial mount, mount Celestron AstroMaster CG-3, hybrid stepping motor LDO-57STH76-2804A, driver TB6560AHQ, microcontroller MC9S08JM32CLH

KOLÁŘ, Michal *Ovladač pro paralaktickou montáž*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2014. 64 s. Vedoucí práce byl Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Ovladač pro paralaktickou montáž“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce paní Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Rovníkový souřadnicový systém	12
2 Montáž teleskopu	13
2.1 Typy montáží	13
2.1.1 Azimutální montáž	13
2.1.2 Paralaktická montáž	14
2.2 Paralaktická montáž Celestron AstroMaster CG-3	15
3 Řízení pomocí krokových motorů	18
3.1 Krokový motor	18
3.2 Konstrukce krokového motoru	18
3.2.1 Krokový motor s variabilní reluktancí	18
3.2.2 Krokový motor s permanentními magnety	19
3.2.3 Hybridní krokový motor	19
3.2.4 Princip hybridního krokového motoru	21
3.3 Krokový motor LDO-57STH76-2804A	21
3.4 Časové sledování R.A. osy paralaktické montáže	22
4 Řídicí jednotka paralaktické montáže	24
4.1 Parametry řídicí jednotky	24
4.2 Ovladač TB6560AHQ	25
4.2.1 Základní vlastnosti ovladače TB6560AHQ	25
4.3 LCD modul DEM 16217 SYH-LY	28
4.3.1 Základní vlastnosti modulu DEM 16217 SYH-LY	29
4.3.2 Funkce LCD modul DEM 16217 SYH-LY	30
4.4 Klávesnice F-KV16KEY BLACK	31
4.5 Mikrokontrolér Freescale MC9S08JM32CLH	33
4.5.1 Modul reálného času RTC S08RTCV1	33
4.5.2 Modul přerušení klávesnice KBI S08KBIV2	35
5 Softwarové vybavení	40
5.1 Koncepce řídicího algoritmu	40
5.2 Řídicí algoritmus	41
5.2.1 Knihovna hw.h	41
5.2.2 Knihovna clock.h	41
5.2.3 Knihovna keyboard.h	42

5.2.4	Knihovna driver.h	42
5.2.5	Knihovna lcd.h	42
5.2.6	Knihovna mount.h	43
5.3	Vývojový diagram	45
6	Realizace	46
6.1	Deska plošných spojů	46
6.2	Konstrukční krabička	46
6.3	Programování mikrokontroléru	46
6.4	Ověření funkce a deklarovaných parametrů	46
6.5	Možné budoucí vylepšení	47
7	Závěr	48
	Literatura	50
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	52
	Seznam příloh	54
A	Návrh elektrického schématu	55
B	Návrh desky plošných spojů	59
C	Fotodokumentace ovladače	62
D	Programátor USBDM_JS16	63
E	Místní hvězdný čas	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Sférický souřadnicový systém [1]	12
2.1	Vidlicová montáž	14
2.2	Dobsonova montáž	15
2.3	Paralaktická montáž	16
2.4	Paralaktická montáž AstroMaster CG-3 [1]	17
3.1	Konstrukce krokového motoru s variabilní reluktancí	19
3.2	Konstrukce krokového motoru s permanentními magnety	19
3.3	Stator hybridního krokového motoru	20
3.4	Rotor hybridního krokového motoru [2]	20
3.5	Průběh otáčení hybridního krokového motoru	21
3.6	Krokový motor LDO-57STH76-2804A [4]	22
4.1	Blokové schéma řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž	24
4.2	Blokový diagram TB6560AHQ [5]	26
4.3	Zapojení vývodů TB6560AHQ [5]	28
4.4	Blokový diagram modulu DEM 16217 SYH-LY [6]	29
4.5	LCD modul DEM 16217 SYH-LY [6]	29
4.6	Instrukční tabulka DEM 16217 SYH-LY [6]	31
4.7	Klávesnice F-KV16KEY BLACK [8]	32
4.8	Zapojení vývodů mikrokontroléru MC9S08JM32CLH [9]	33
4.9	Blokový diagram modulu S08RTCV1 [9]	34
4.10	Status and Control Register RTCSC [9]	34
4.11	Count Register RTCCNT [9]	34
4.12	Modulo Register RTCMOD [9]	35
4.13	Blokový diagram modulu S08KBIV2 [9]	35
4.14	Status and Control Register KBISC [9]	35
4.15	Pin Enable Register KBIPE [9]	36
4.16	Edge Select Register KBISC [9]	36
4.17	Znaková sada modul DEM 16217 SYH-LY [6]	38
4.18	Blokový diagram mikrokontroléru MC9S08JM32CLH [9]	39
5.1	Vývojový diagram hlavní smyčky	45
A.1	Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 1.	56
A.2	Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 2.	57
A.3	Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 3.	58
B.1	Vrstva BOTTOM M1:2	59
B.2	Vrstva TOP M1:2	60
B.3	Osazovací plán vrstvy BOTTOM M1:2	60
B.4	Osazovací plán vrstvy TOP M1:2	61

C.1	Ovladač pro paralaktickou montáž z pravého boku	62
C.2	Ovladač pro paralaktickou montáž ze předu	62
D.1	Schéma zapojení programátoru USBDM_JS16	63
D.2	Osazovací plán programátoru USBDM_JS16	63

SEZNAM TABULEK

2.1	Tabulka komponent paralaktické montáže AstroMaster CG-3	16
3.1	Parametry krokového motoru LDO-57STH76-2804A	22
4.1	Parametry ovladače TB6560AHQ [5]	27
4.2	Budící režim ovladače TB6560AHQ [5]	27
4.3	Vybíjecí režim ovladače TB6560AHQ [5]	27
4.4	Režim točivého momentu ovladače TB6560AHQ [5]	28
4.5	Funkce ovladače TB6560AHQ [5]	28
4.6	Tabulka pinů modulu DEM 16217 SYH-LY [6]	30
4.7	Tabulka zapojení pinů klávesnice F-KV16KEY BLACK [7]	32
4.8	Popis registru RTCSC [9]	36
4.9	Prescaler RTCPS [9]	36
4.10	Popis registru RTCCNT [9]	37
4.11	Popis registru RTCMOD [9]	37
4.12	Popis registru KBISC [9]	37
4.13	Popis registru KBIPE [9]	37
4.14	Popis registru KBIES [9]	37

ÚVOD

Paralaktické montáže astronomických teleskopů díky klesajícím cenám nacházejí stále větší uplatnění mezi amatérskými astronomy. Pokud je potřeba dosáhnout kvalitních výsledků ať už pro pouhé sledování dráhy nebeských těles nebo dokonce jejich záznam fotoaparátem, je paralaktická montáž nezbytností.

Velkou předností paralaktické montáže je schopnost dlouhodobého sledování dráhy nebeských těles za pomoci jednoduchého hodinového stroje, narozdíl od jednodušších montáží, u kterých se stejných výsledků dosahuje složitým a nákladným řídicím systémem. Takto vybavená montáž je velice užitečný nástroj pro fotografický záznam nebeských těles.

Pro potřeby astronomů lze dosáhnout užitečných vlastností montáže doplněním rotačních os elektrickým pohonem s ovladačem a pomocí algoritmů řídit jednotlivé osy dle požadavků. S takovou aparaturou lze nejenom sledovat dráhu nebeských těles, ale i velice rychle a přesně měnit souřadnice nebo vyhledávat a orientovat teleskop na konkrétní tělesa uložená v databázi, či automatizovat kalibraci montáže.

Ovladač pro paralaktickou montáž je elektrické zařízení sloužící k řízení elektrických pohonů, kterými se ovládají rotační osy montáže a tím orientují teleskop do požadovaného směru.

Tyto ovladače jsou v dnešní době dostupné i pro amatérské účely, ale jsou velmi nákladné a často nesplňují všechny požadavky uživatelů. Nevýhodou levnějších komerčních ovladačů je nemožnost je přeprogramovat a tím přispůsobit vlastnosti. Lze využít pouze od výrobce dodaných algoritmů.

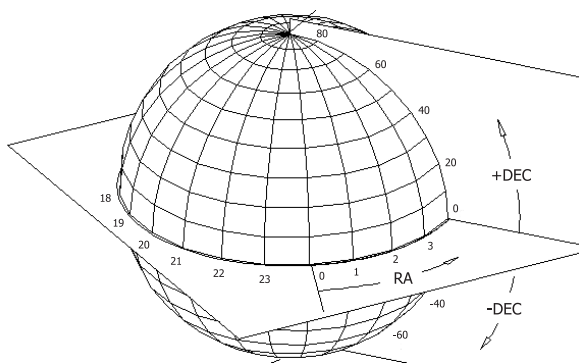
Vlastním návrhem ovladače odpadá nevýhoda nepřispůbitelnosti. Požadované vlastnosti bude možné kdykoli doprogramovat a pomocí příslušného rozhraní, aktualizovat řídicí algoritmus v ovladači.

„Astronomie je asi ta věda, kde se toho nejméně objevilo náhodou, kde lidský rozum vystupuje v celé své velikosti a kde se člověk může nejlépe naučit, jak je malý.“

Georg Christoph Lichtenberg z Deníku C181

1 ROVNÍKOVÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM

K zaměřování nebeských těles se v astronomii používá rovníkový (sférický) souřadnicový systém, který je podobný geografickému souřadnicovému systému Země. Sférický souřadnicový systém je znázorněn na obr. 1.1. Jeho součástí jsou póly, rovník, rovnoběžky a poledníky.



Obr. 1.1: Sférický souřadnicový systém [1]

Sférický rovník rozděljuje severní hemisféru od jižní. Kružnice rovnoběžné se sférickým rovníkem se nazývají deklinace (DEC.). Deklinační souřadnice nese hodnotu podle úhlové vzdálenosti od sférického rovníku. Na sférickém rovníku je deklinace nulová, směrem k severnímu pólu nese kladné znaménko a záporné směrem k jižnímu pólu. Deklinační souřadnice se udává ve stupních, minutách a vteřinách obloukové míry.

Sférické poledníky, které jsou spojnicemi severního pólu s jižním se nazývají rektascenze (R.A.) a jsou rovnoměrně rozmístěny od sebe po 15° . V souhvězdí ryb je stanoven počátek souřadice. Rektascenze roste směrem na východ a nabývá pouze nezáporných hodnot. Rektascenze se udává v jednotkách času. Čas 1 hodina odpovídá úhlové vzdálenosti 15° , čímž na jedno otočení Země vychází čas 24 hodin.

2 MONTÁŽ TELESKOPU

Na celé sestavě astronomického teleskopu je z principu nejdůležitějším prvkem optický systém, kterým nebeská tělesa pozorujeme. Avšak s tímto optickým systémem (teleskopem) by se pracovalo velmi špatně, pokud by nebyl silně upevněn. U nestabilizovaného teleskopu nastane velký problém s udžením objektu v zorném poli teleskopu a také s eliminací otřesů, které znepříjemňují pozorování a téměř vylučují záznam pozorovaného obrazu. Pokud bychom pozorovali objekt vzdálený 100 m a po otočili bychom teleskopem o pouhý 1° , pak se pozorovaný objekt posune o 1,7 m. Při pozorovací vzdálenosti 384403 km což odpovídá střední vzdálenosti měsíce od Země, by posunutí přesáhlo 6710 km. Ke stabilizaci teleskopu slouží stativ, který je ustaven na zemi a astronomická montáž, která je spojovacím článkem mezi stativem a teleskopem. Tato montáž umožňuje polohování teleskopu vůči nepohyblivému stativu. Díky montáži můžeme teleskop pohodlně nasměrovat na pozorovaný objekt. Každá astronomická montáž umožňuje otáčení teleskopu ve dvou navzájem kolmých osách. Orientace těchto os určuje typ montáže.

2.1 Typy montáží

V astronomii se používá velké množství typů montáží, ale nejzákladnější a nejpoužívanější jsou dvě: montáž azimutální a montáž paralaktická, jinak též ekvatoriální nebo rovníková.

2.1.1 Azimutální montáž

Azimutální montáž má dvě na sebe kolmé osy otáčení. První osa otáčení je osa vertikální, kolmá na vodorovinu, pomocí které se nastavuje azimut, neboli směr. Druhá osa otáčení je osa horizontální, pomocí které se nastavuje elevace, neboli výška nad obzorem.

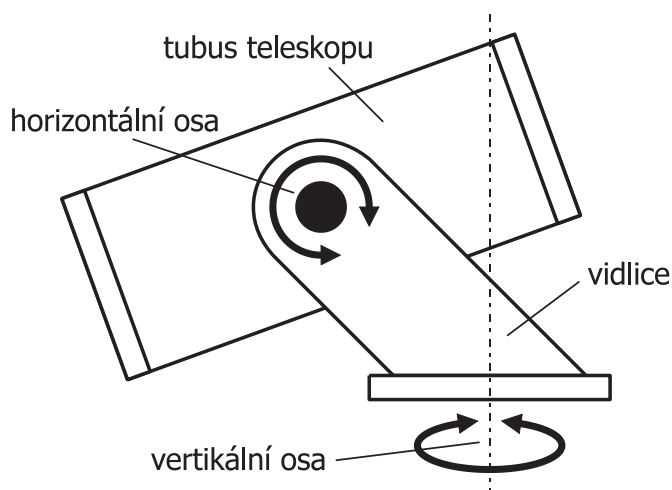
Výhodou azimutální montáže je přirozený pohyb ve vodorovné a svislé ose, což ji předurčuje zejména k pozemním pozorovacím aplikacím, ale i k základním astronomickým. Výhody azimutální montáže jsou jednoduchá konstrukce, menší rozměry, nízká hmotnost a cena.

Naproti tomu nevýhodou pro astronomické pozorování je v nemožnosti instalace hodinového stroje k ose otáčení, která by umožnila automatické sledování pozorovaného objektu. Při sledování nebezpečných těles je nutný pohyb v obou osách otáčení současně. Každá osa se musí otáčet jinou rychlostí, která je závislá na poloze sledovaného objektu, z toho důvodu je pro automatické sledování objektů zapotřebí

složitějšího řídicího systému, který vyhodnocuje dráhu objektu a dopočítává rychlosti obou os otáčení.

Azimutální montáž má mnoho typů a modifikací, ze kterých jsou dva typy základní: vidlicová montáž a Dobsonova montáž.

Vidlicová montáž má tubus teleskopu vratně upevněn ve vidlici, často vykloněné od vertikální osy otáčení z důvodu pozorovatelnosti objektů poblíž zenitu (bod na obloze ležící přímo nad pozorovatelem) viz obr. 2.1. Tato montáž je vhodná pro malé přenosné teleskopy a pro menší amatérské aplikace.

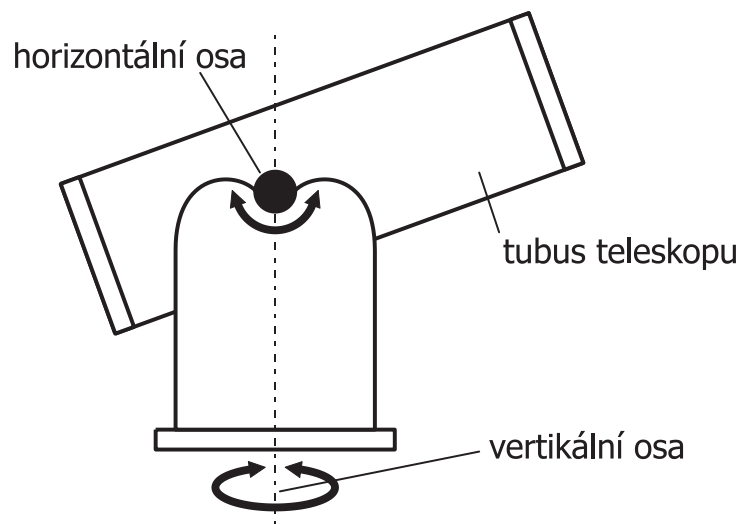


Obr. 2.1: Vidlicová montáž

Dobsonova montáž je podobná jako vidlicová montáž, ale díky své konstrukci dosahuje dobrých parametrů při zachování jednoduchosti. Tubus teleskopu je umístěn ve vidlici přesně v těžišti, díky čemuž montáž nepotřebuje aretační členy. Montáž nepotřebuje ani stativ, díky umístění tubusu v těžišti na montáž nepůsobí vratné síly, proto může být ustavená přímo na zemi a zároveň umožňuje použití poměrně velkých rozměrů tubusů jak do délky, tak průměru viz obr. 2.2. Díky těmto vlastnostem má tato montáž nejlepší poměr cena/výkon, umožňuje používat teleskopy s velkým zvětšením a světelností, výroba montáže je velice jednoduchá i v domácích podmínkách a v neposlední řadě lze montáž doplnit o tzv. Poncetovu plošinu a tím modifikovat azimutální montáž na paralaktickou. Tyto parametry staví tuto montáž na první místo u velké skupiny amatérských astronomů.

2.1.2 Paralaktická montáž

Paralaktická montáž má stejně jako azimutální dvě na sebe kolmé osy otáčení. První osa otáčení je osa polární, rovnoběžná s osou otáčení Země, pomocí které se nastavuje rektascenze, neboli časový úhel. Druhá osa otáčení je osa deklinační, udávající



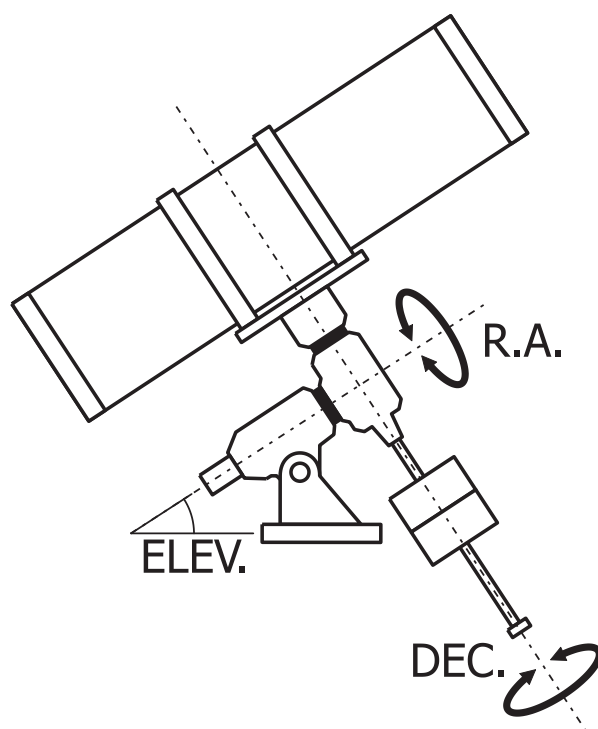
Obr. 2.2: Dobsonova montáž

úhlovou vzdálenost od sférického rovníku viz obr. 2.3.

Výhodou paralaktické montáže je její souřadnicový systém, u kterého díky rovnoběžnosti polární osy s osou otáčení Země, lze snadno kompenzovat rotaci Země pohybem pouze touto jednou osou. Ke kompenzaci lze s výhodou použít jednoduchý hodinový stroj, který zajistí plynulé otáčení teleskopu proti rotaci Země. Tyto vlastnosti předurčují paralaktickou montáž k dlouhodobému sledování nebeských těles, například při fotografickém záznamu, nebo při pozorování ve skupině, kdy je zajištěno, že pozorovaný objekt je stále v zorném poli.

2.2 Paralaktická montáž Celestron AstroMaster CG-3

Polohování ekvatoriální montáže Celestron AstroMaster CG-3 na obr. 2.4 je řešeno německým ekvatoriálním zařízením, připevněným k hlavě stativu. Ke správnému vyvážení teleskopu na stativu je k dispozici protizávažní tyč se dvěma závažími. Montáž je dále vybavena dvěma bovdeny, které umožňují jemné polohování v osách R.A. (rektascenze) a DEC. (deklinace). Popis komponent na obr. 2.4 je v tab. 2.1. [1]



Obr. 2.3: Paralaktická montáž

1.	Bovden jemného nastavení deklinace
2.	Bovden jemného nastavení rektascenze
3.	Nastavení zeměpisné šířky
4.	Závaží
5.	Stupnice deklinace
6.	Stupnice rektascenze

Tab. 2.1: Tabulka komponent paralaktické montáže AstroMaster CG-3



Obr. 2.4: Paralaktická montáž AstroMaster CG-3 [1]

3 ŘÍZENÍ POMOCÍ KROKOVÝCH MOTORŮ

Aby bylo možné elektronicky řídit paralaktickou montáž, musí být obě rotační osy montáže vybaveny elektrickým pohonem s ovladačem. Jako elektrický pohon se nejvíce hodí krokové motory, pro jejich vysoký točivý moment, nízkou cenu a jednoduché ovládání. [2] [11] [12]

3.1 Krokový motor

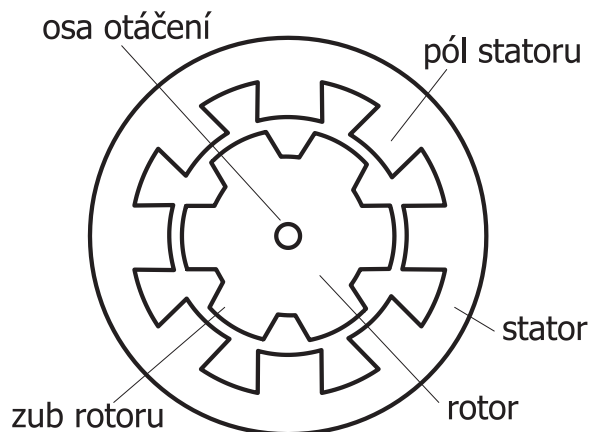
Krokový motor je bezkartáčový stejnosměrný elektromotor, který má celý rotační cyklus rozdělený na několik stejných kroků. Natočení rotoru je ovládáno pomocí přepínání pólů statoru. Velkou výhodou krokových motorů je, že nepotřebují řízení. I bez snímače je relativní poloha rotoru v každém okamžiku známá, na základě čítání ovládacích pulsů. Toto platí za předpokladu, že není krokový motor přetížen, čímž by mohlo dojít k přeskočení rotoru a ztrátě informace o poloze. Nevýhoda krokového motoru je, že bez snímače není známá absolutní poloha rotoru, což v řadě případů není problém a stačí relativní poloha. U většiny procesů je ale problém výpadek napájení ovladače, který tak ztratí relativní polohu. Tento problém lze řešit zálohováním zdroje napájení. Záloha zdroje napájení ovladače však nezabrání ztrátě kroku následkem pootočení rotoru při výpadku buzení motoru, což není problém u tuhých procesů, které se samovolně nerozpohybují.

3.2 Konstrukce krokového motoru

Stator krokového motoru je obvykle tvořen z ocelových plechů s drážkami, kterými prochází vinutí statoru. Podle provedení rotoru se krokové motory dělí na tři základní typy: Krokový motor s variabilní reluktancí, krokový motor s permanentními magnety a hybridní krokový motor.

3.2.1 Krokový motor s variabilní reluktancí

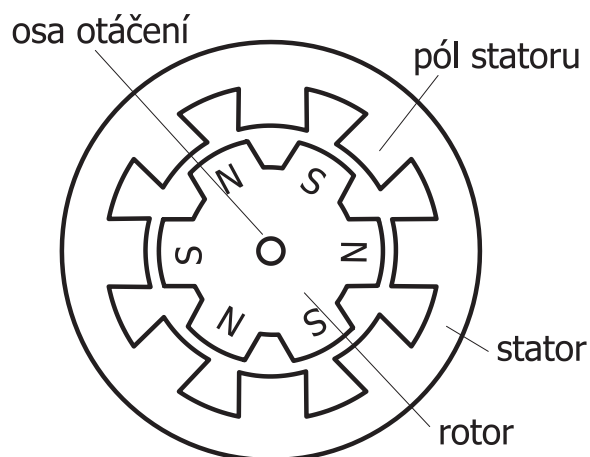
Typy motorů pracující na principu změny magnetické reluktance (magnetický odpor) obvodu motoru. Dosahují vysoké rychlosti, ale nízkého točivého momentu. Rotor je vyroben z magneticky měkkého materiálu se zuby po obvodu rotoru. Při průchodu proudu vynutím pólů statoru se vytvoří magnetické pole. Rotor se natočí do pozice, při které bude zaujímat minimální magnetický odpor, neboli se k aktivnímu pólu přitáhne nejbližší zub rotoru. Konstrukce krokového motoru s variabilní reluktancí je znázorněn na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Konstrukce krokového motoru s variabilní reluktancí

3.2.2 Krokový motor s permanentními magnety

Typy motorů pracující na principu vzájemného přitahování opačných magnetických polů. Rotor je vyroben z permanentních magnetů tak, že se po obvodu střídají magnetické póly. Dosahuje se velkého točivého momentu, ale nízké rychlosti. Při průchodu proudu vynutím polů statoru se vytvoří magnetické pole a na pólech se vytvoří určitý magnetický pól. Rotor se natočí do pozice, při které se přitáhnou nejbližší opačné magnetické póly rotoru. Konstrukce krokového motoru s permanentními magnety je znázorněna na obr. 3.2

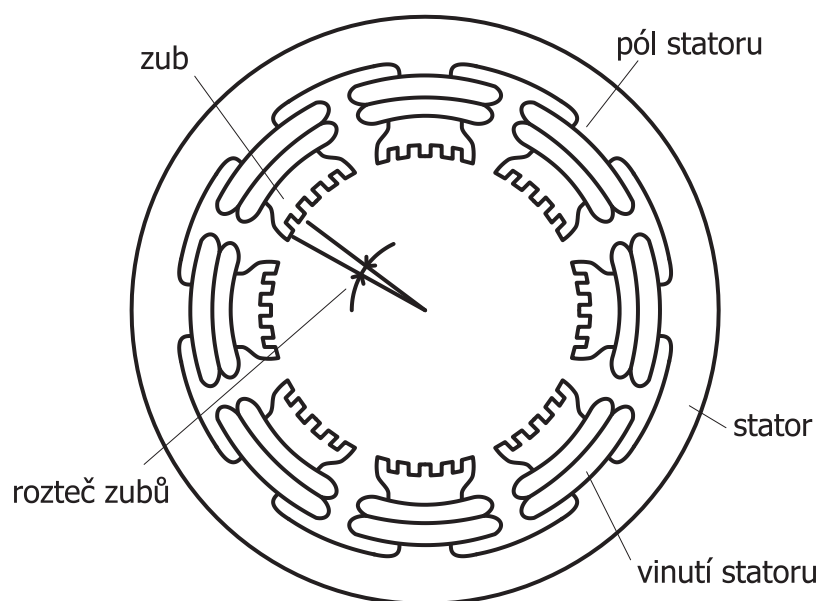


Obr. 3.2: Konstrukce krokového motoru s permanentními magnety

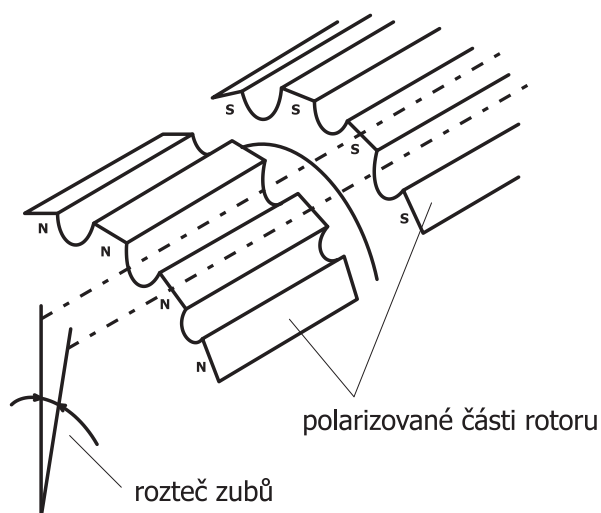
3.2.3 Hybridní krokový motor

Hybridní motor slučuje vlastnosti pasivního reluktančního motoru a aktivního motoru s permanentními magnety. Dosahuje vysokých rychlostí jako krokový motor

s variabilní reluktancí a velkého točivého momentu jako krokový motor s permanentními magnety. Rotor se skládá ze dvou ozubených částí vzájemně pootočených tak, aby zuby jedné části odpovídaly vybrání části druhé. V rotoru je axiálně umístěn permanentní magnet. Tím se docílí vzájemně opačné magnetické polarity první části rotoru od části druhé. Póly statoru na obr. 3.3 mají stejnou rozteč zubů jako zuby rotoru na obr. 3.4.



Obr. 3.3: Stator hybridního krokového motoru



Obr. 3.4: Rotor hybridního krokového motoru [2]

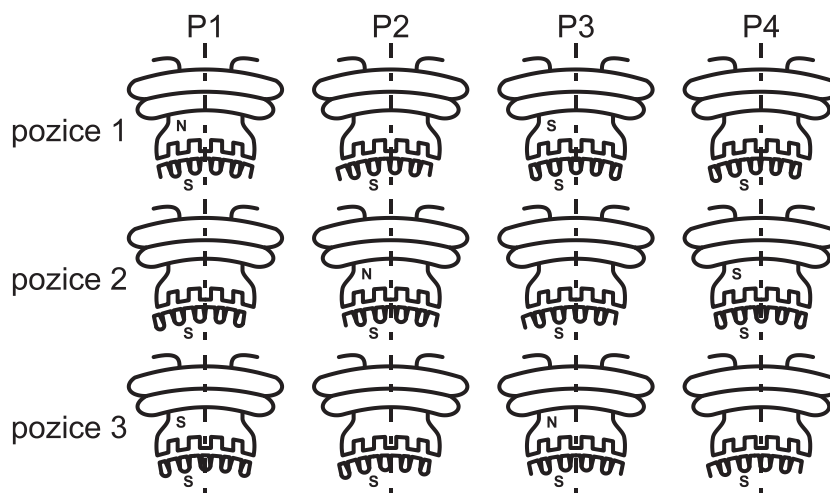
3.2.4 Princip hybridního krokového motoru

Princip otáčení hybridního krokového motoru je znázorněn na obr. 3.5. V pozici 1 jsou statorové póly P1 a P2 pomocí proudu vinutím polarizovány tak, že statorový pól P1 na rotor působí severním pólem a statorový pól P3 na rotor působí jižním pólem. Rotor se pootočí tak, aby sesouhlasil zuby jižně polarizované části se zuby statorového pólu P1 a zuby severně polarizované části se zuby statorového pólu P3.

V pozici 2 dojde k přepnutí pólů statoru. Přestane protékat proud vinutím statorových pólů P1, P3 a začne protékat vinutím statorových pólů P2, P4 tak, že statorový pól P2 na rotor působí severním pólem a statorový pól P4 na rotor působí jižním pólem. Rotor se pootočí o jeden krok tak, aby opět sesouhlasil zuby obou částí rotoru se zuby statorových pólů P2, P4.

V pozici 3 dojde opět k přepnutí pólů statoru z P2, P4 na póly statoru P1, P3. Ale nyní jsou póly opačně polarizované oproti pozici 1. Statorový pól P1 je polarizován tak, že na rotor působí jižním pólem a statorový pól P3 tak, že na rotor působí severním pólem. Rotor se pootočí o další krok.

Takto se v přepínání vinutí pólů pokračuje a rotor se po jednotlivých krocích otáčí. V případě opačného sledu přepínání vinutí rotoru dojde k reverzaci a rotor se začne otáčet na druhou stranu.



Obr. 3.5: Průběh otáčení hybridního krokového motoru

3.3 Krokový motor LDO-57STH76-2804A

Krokový motor LDO-57STH76-2804A je hybridní krokový motor s krokem 1.8° (200 kroků na otáčku), maximálním točivým momentem 1.89 Nm. Parametry krokového motoru LDO-57STH76-2804A na obr. 3.6 jsou v tab. 3.1. [3]



Obr. 3.6: Krokový motor LDO-57STH76-2804A [4]

Úhel kroku	1.8 °
Jmenovité napětí	3.2 V
Proud fáze	2.8 A
Odpor fáze	1.13 Ω
Indukčnost fáze	3.6 mH
Točivý moment	1.89 Nm
Počet vodičů	4
Setrvačnost rotoru	480 gcm ²

Tab. 3.1: Parametry krokového motoru LDO-57STH76-2804A

3.4 Časové sledování R.A. osy paralaktické montáže

Pro sledování pohybu nebeských těles teleskopem s paralaktickou montáží stačí budit pouze R.A. osu otáčení montáže. Při sledování se R.A. osa otáčí konstantní rychlostí 1 ot/hvězdný den. Pro otáčky motoru platí:

$$\omega_m = \frac{\alpha f_z}{2\pi} \text{ [rad/s]} \quad (3.1)$$

kde je α [rad] úhel kroku motoru, f_z [Hz] kmitočet řídicího signálu. Jeden hvězdný den trvá 23 hodin, 56 minut a 4,09 sekund. Z toho pro rychlost otáčení R.A. osy platí:

$$\omega_{R.A.} = \frac{2\pi}{23 \text{ h } 56 \text{ m } 4.09 \text{ s}} = \frac{200\pi}{8616409} \text{ rad/s} \doteq 7.292 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s} \quad (3.2)$$

Pro případ řízení pohonu R.A. osy bez mikrokrokování a převodovky s motorem LDO-57STH76-2804A platí:

$$\alpha = 1.8^\circ = \frac{\pi}{100} \text{ rad} \doteq 3.142 \cdot 10^{-2} \text{ rad} \quad (3.3)$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 1 \quad (3.4)$$

$$\omega_{R.A.} = \frac{\omega_m}{i} = \frac{\alpha f_z}{2\pi i} \quad (3.5)$$

kde i převodový poměr. Z toho pro kmitočet řídicího signálu f_z platí:

$$f_z = \frac{2\pi\omega_{R.A.}i}{\alpha} = \frac{2\pi \cdot \frac{200\pi}{8616409} \text{ rad/s} \cdot 1}{\frac{\pi}{100} \text{ rad}} = \frac{40000\pi}{8616409} \text{ Hz} \doteq 1.458 \cdot 10^{-2} \text{ Hz} \quad (3.6)$$

Pro periodu řídicího signálu platí:

$$T_z = \frac{1}{f_z} = \frac{8616409}{40000\pi} \text{ s} \doteq 6.857 \cdot 10^1 \text{ s} \quad (3.7)$$

Z takto dlouhé periody je zřejmé, že pro plynulý chod R.A. osy je potřeba použít převodovku nebo mikrokrokování, popřípadě obojí.

Převodovka má výhodu z hlediska přenosu točivého momentu z rotační osy paralaktické montáže na motor. Pro převod momentu ze zákona zachování výkonu platí:

$$M_1\omega_1 = M_2\omega_2 \quad (3.8)$$

$$M_1 = \frac{M_2\omega_2}{\omega_1} = \frac{M_2}{i} \quad (3.9)$$

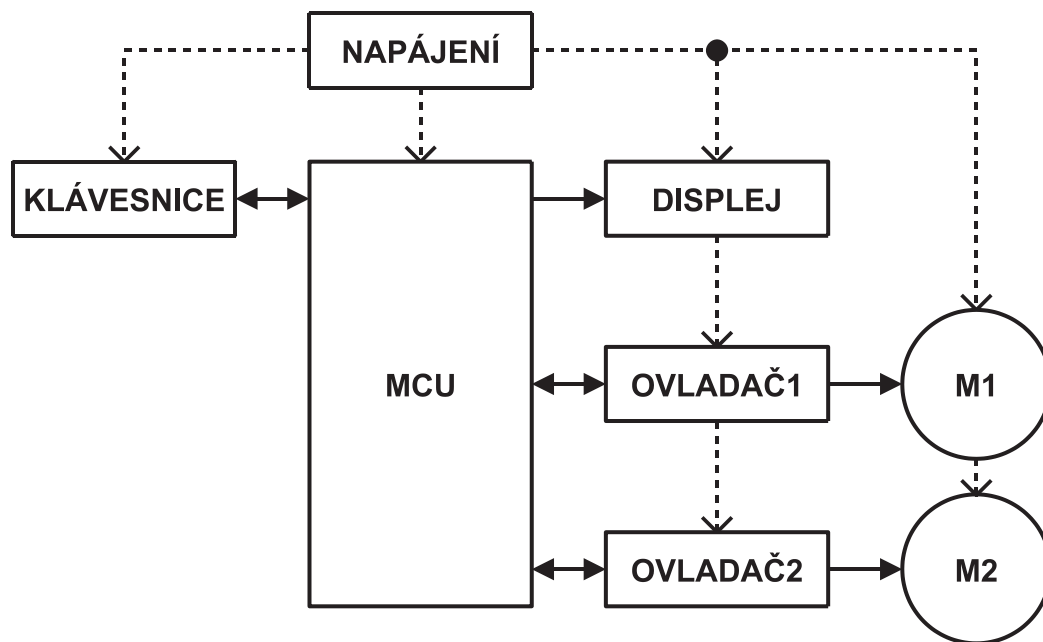
$$M_m = \frac{M_{R.A.}}{i} \quad (3.10)$$

kde M_1 a M_2 jsou točivé momenty před a za převodovkou, kterým odpovídají točivé momenty osy montáže $M_{R.A.}$ a točivý moment na hřídeli motoru M_m . Z (3.10) plyne, že točivý moment přenesený na hřídel motoru je i -krát menší jak točivý moment na ose montáže.

Mikrokrokování má výhodu v jednoduchosti aplikace. Pro mikrokrokování nejsou nutné žádné další mechanické komponenty, ale pouze obvodové a programové vybavení. Nejlepších výsledků se dosáhne při použití převodovky i mikrokrokování, kdy se pomocí mikrokrokování odstraní nežádoucí trhavý pohyb krokového motoru a pomocí převodovky se dosáhne vysokého počtu kroků na otáčku a tím se docílí plynulého chodu rotačních os paralaktické montáže.

4 ŘÍDICÍ JEDNOTKA PARALAKTICKÉ MONTÁŽE

Krokové motory zajišťující pohyb paralaktické montáže potřebují řídicí jednotku, která podle vnitřního algoritmu ovládá jednotlivé krokové motory příslušící osám montáže. Blokové schéma řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž je na obr. 4.1 a elektrické schéma zapojení v příloze A.



Obr. 4.1: Blokové schéma řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž

Řídicí jednotka ovladače pro paralaktickou montáž obsahuje vstupní klávesnici, pomocí které se zadávají požadované příkazy k vykonání ovladačem. Dále obsahuje řídicí mikrokontrolér (MCU), který je srdcem celého ovladače. Mikrokontrolér má v paměti uložený řídicí algoritmus, na jehož základě přijímá požadavky od uživatele, či informace o stavu zařízení od ostatních obvodů a vysílá řídicí signály pro pohyb jednotlivých krokových motorů. Signál pro krokový motor se zpracovává v ovladači krokového motoru, který již ovládá jednotlivá vinutí krokového motoru.

4.1 Parametry řídicí jednotky

Řídicí jednotka je schopná zaměřit teleskop na uživatelem zadané souřadnice, kontinuálně sledovat časovou osu a tím udržet nebeský objekt v zorném poli teleskopu, kontrolovat limitní stavy souřadnic montáže a tím eliminovat kolizi tubusu teleskopu se stativem. Dále je možné pomocí příslušného programátoru přeprogramovat vnitřní

paměť mikrokontroléru MC9S08JM32CLH a tím přizpůsobit vlastnosti řídicí jednotky pro paralaktickou montáž.

Pro ovladač krokového motoru byl zvolen integrovaný obvod TOSHIBA TB6560-AHQ, bipolární ovladač pro krokový motor s pulsně šířkovou modulací PWM, který splňuje požadavky hybridního krokového motoru LDO-57STH76-2804A, především dvoufázové řízení krokového motoru s maximálním proudem fáze 3.0 A (3.5 A nárazový) vyšším jak nominální proud fáze krokového motoru LDO-57STH76-2804A 2.8 A.

Mikrokontrolér ovladače byl zvolen Freescale Semiconductor MC9S08JM32CLH, 8-bitový mikrokontrolér s rozšířeným jádrem HCS08. Mikrokontrolér splňuje požadavky na podporované napájecí napětí 5 V, dostatečný počet vstupně-výstupních pinů, obsahuje modul reálného času RTC, potřebný pro časové přerušení buzení časové R.A. osy a podporuje periferii univerzálního sériového portu USB, která slouží pro případného rozšíření řízení ovladače z osobního počítače.

Řídicí jednotka paralaktické montáž dále obsahuje zobrazovací jednotku DEM 16217 SYH-LY. Jedná se o dvouřádkový alfanumerický LCD displej s LED podsvícením, displej byl vybrán s ohledem na dostatečný počet zobrazovacích regmentů a podsvícení z důvodu snadné obsluhy i za snížené viditelnosti při pozorování noční oblohy.

K řídicímu mikrokontroléru je připojena ovládací klávesnice F-KV16KEY BLACK, maticová klávesnice se 4x4 tlačítky pro obsluhu řídicí jednotky.

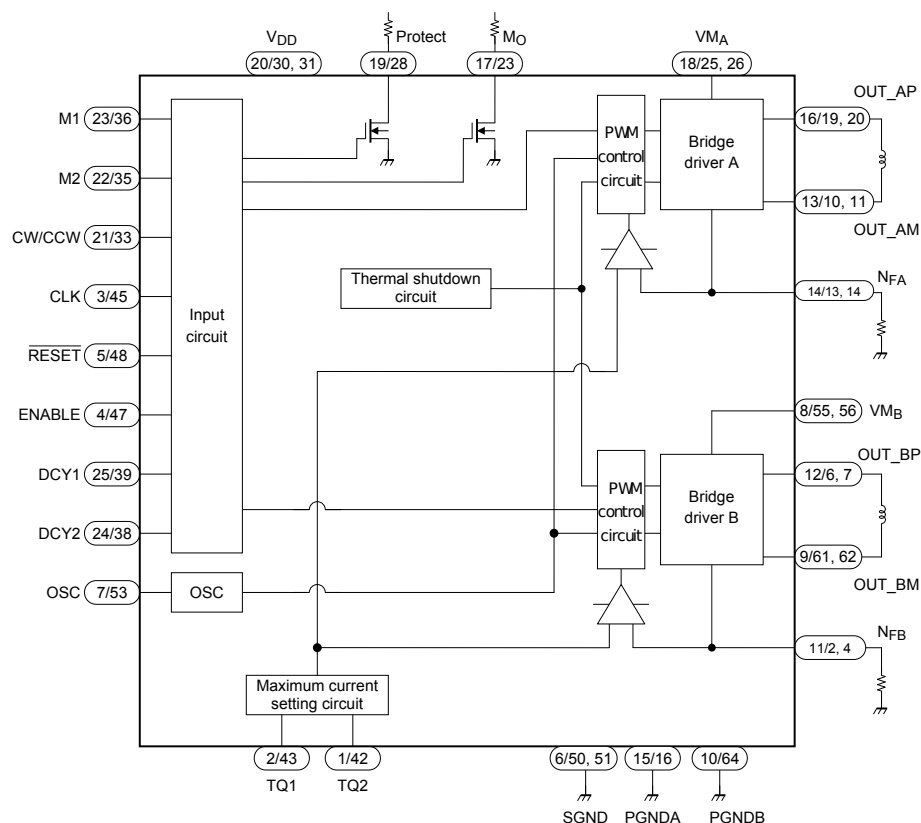
4.2 Ovladač TB6560AHQ

Ovladač TB6560AHQ je integrovaný obvod pro ovládání krokového motoru. Ovladač umožňuje bipolární řízení pomocí pulsně šířkové modulace PWM se sinusovým mikrokrokováním. Parametry ovladače TB6560AHQ jehož blok diagram je znázorněn na obr. 4.2 jsou v tab. 4.1. Zapojení vývodů integrovaného obvodu TB6560AHQ je na obr. 4.3. [5]

4.2.1 Základní vlastnosti ovladače TB6560AHQ

Integrovaný obvod TB6560AHQ má tyto základní vlastnosti:

- Sinusové mikrokrokování
- Dopředná i zpětná rotace
- Volitelný režim buzení fází
- Vysoké výstupní napětí
- Vysoký výstupní proud
- interní *pull-down* rezistory



Obr. 4.2: Blokový diagram TB6560AHQ [5]

- Tepelné vyřazení

Pro nastavení parametrů buzení krokového motoru je ovladač TB6560AHQ vybaven těmito základními vstupy:

Dvojicí vstupů M1 a M2 pro nastavení režimu mikrokrokového buzení tab. 4.2. Toto nastavení ovlivní počet kroků na otáčku motoru. Pro motor LDO-57STH76-2804A, který má 200 kroků na otáčku v režimu klasického dvoufázového buzení (režim 1) bude mít při púlfázovém buzení (režim 1/2) dvojnásobný počet kroků na otáčku tedy 400 a tak dále.

Dvojicí vstupů DCY1 a DCY2 pro nastavení režimu vybíjecího proudu vinutí motoru tab. 4.3. Nastavení ovlivňuje rychlost vybíjení vinutí krokových motorů. Režim 0% odpovídá normálnímu režimu a čím je nastavena vyšší hodnota, tím rychlejší bude vybíjení.

Dvojicí vstupů TQ1 a TQ2 pro nastavení režimu točivého momentu motoru tab. 4.4. Určuje jak vysokým proudem bude jednotlivá vinutí budit a tím přímo určuje točivý moment krokového motoru. Režim 100% odpovídá maximálnímu proudu a ostatní hodnoty jsou od tohoto odvozeny.

Vstupem CW/CCW pro nastavení směru otáčení motoru, vstupem RESET pro uvedení ovladače TB6560AHQ do výchozího stavu, vstupem ENABLE pro povolení

Parametr	Min.	Typ.	Max.
Napájecí napětí	4.5 V	5.0 V	5.5 V
Hodinová frekvence	–	–	15 kHz
Frekvence OSC	60 kHz	130 kHz	200 kHz
Výstupní proud	–	–	3 A
Vstupní napětí H	2.0 V	–	V _{DD}
Vstupní napětí L	-0.2 V	–	0.8 V
Vstupní napěťová hystereze	–	400 mV	–
Vstupní proud H	30 μ A	55 μ A	80 μ A
Vstupní proud L	–	–	1 μ A

Tab. 4.1: Parametry ovladače TB6560AHQ [5]

M2	M1	režim buzení
L	L	1 (2-phase)
L	H	1/2 (1-2-phase)
H	L	1/16 (4W1-2-phase)
H	H	1/8 (2W1-2-phase)

Tab. 4.2: Budící režim ovladače TB6560AHQ [5]

buzení motoru a vstupem CLK pro samotné ovládání krokování motoru tab. 4.5. Vzájemné úrovně napětí na těchto vstupech ovlivňují výslednou funkci ovladače TB6560AHQ.

Maximální proud fázemi I_{MAX} se nastavuje pomocí externích rezistorů připojených na vstupy NFA pro první vinutí motoru a NFB pro druhé vinutí motoru. Nabíjení vynutí se zastaví při dosažení úrovně napětí $U = 0.5$ V na vstupech NFA a NFB pro točivý moment 100%. Velikost externích rezistorů se tedy určí jako podíl napětí $U = 0.5$ V a požadovaného maximálního proudu I_{MAX} [5]:

$$R_{NF} = \frac{0.5 \text{ V}}{I_{MAX}} [\Omega] \quad (4.1)$$

DCY2	DCY1	režim vybíjení
L	L	0%
L	H	25%
H	L	50%
H	H	100%

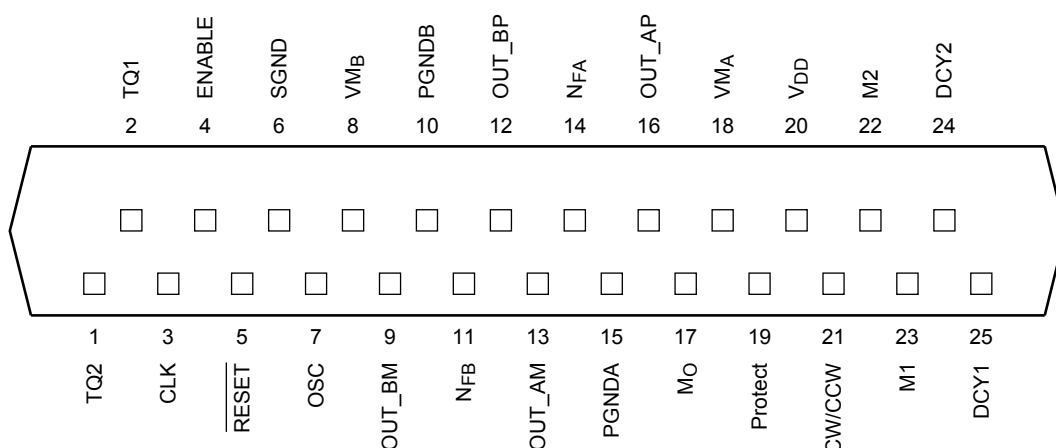
Tab. 4.3: Vybíjecí režim ovladače TB6560AHQ [5]

TQ2	TQ1	režim točivého momentu
L	L	100%
L	H	75%
H	L	50%
H	H	20%

Tab. 4.4: Režim točivého momentu ovladače TB6560AHQ [5]

CLK	CW/CCW	/RESET	ENABLE	funkce ovladače
R	L	H	H	CW
R	H	H	H	CCW
X	X	L	H	výchozí stav
X	X	X	L	Z

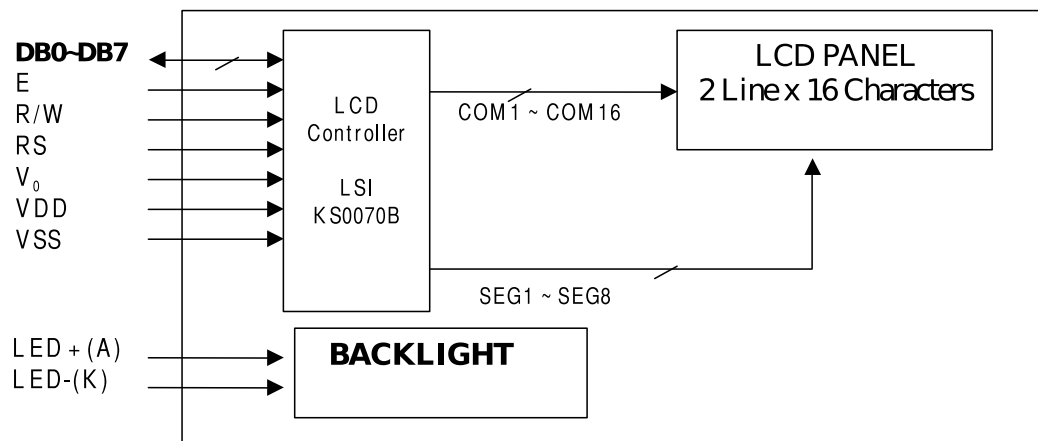
Tab. 4.5: Funkce ovladače TB6560AHQ [5]



Obr. 4.3: Zapojení vývodů TB6560AHQ [5]

4.3 LCD modul DEM 16217 SYH-LY

LCD modul DEM 16217 SYH-LY je alfanumerický display s řadičem KS0070B. Display umožňuje zobrazovat 2x16 znaků po 8-bitové nebo 4-bitové komunikaci. Dále umožňuje zápis do paměti řadiče i čtení z paměti, zobrazování uživatelem definovaných znak a LED podsvícení žlutozelené barvy. Blokový diagram LCD modulu DEM 16217 SYH-LY, který je na obr. 4.5, je znázorněn na obr. 4.4. [6]

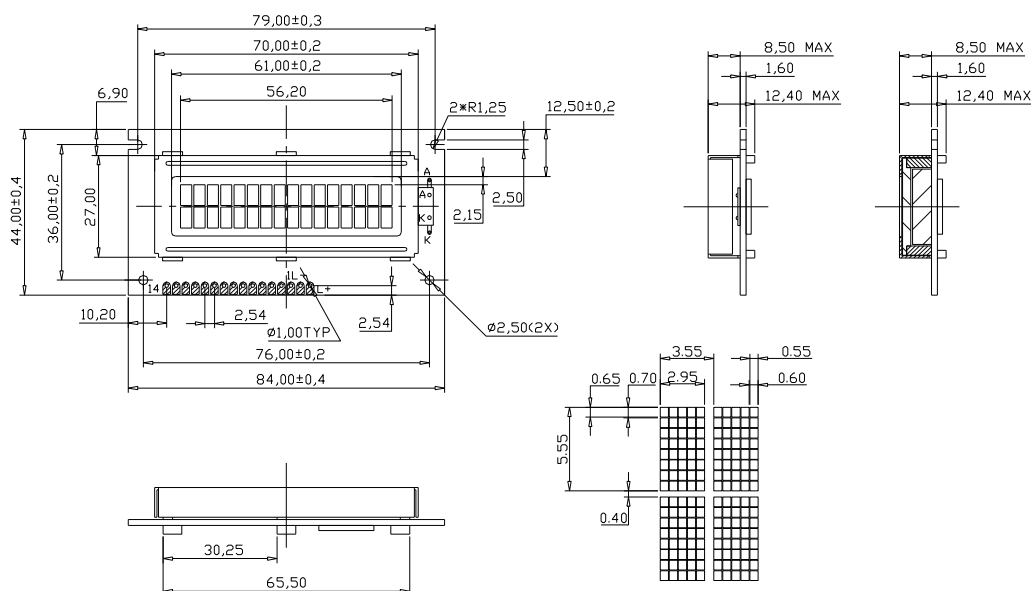


Obr. 4.4: Blokový diagram modulu DEM 16217 SYH-LY [6]

4.3.1 Základní vlastnosti modulu DEM 16217 SYH-LY

Modulu DEM 16217 SYH-LY má tyto základní vlastnosti:

- formát displeje 2x16 znaků, 5x8 bodů na znak
- rozhraní se 4-bitovou nebo 8-bitovou komunikací
- LED podsvícení žlutozelené barvy
- interní paměť pro 8 uživatelských znaků



Obr. 4.5: LCD modul DEM 16217 SYH-LY [6]

Znaková sada obsahuje v první polovině základní znaky v klasickém ASCII kódování a v druhé polovině speciální znaky včetně základních znaků řecké abecedy. Kompletní znaková sada LCD modulu DEM 16217 SYH-LY je v tabulce na obr. 4.17.

Pro komunikaci s řídicím mikrokontrolérem je LCD modul DEM 16217 SYH-LY vybaven 8-bitovou datovou sběrnicí DB, přepínačem mezi zápisem dat a instrukcí RS, přepínačem mezi čtením a zápisem, povolovací vstup ENABLE. Všechny piny LCD modulu DEM 16217 SYH-LY s popisem funkce jsou v tab. 4.6.

Pin	Funkce
LED+	anoda LED podsvícení
LED-	katoda LED podsvícení
VSS	napájecí zem modulu
VDD	kladné napájecí napětí 2.7 V až 5.5 V
V0	napětí 0 V až VDD pro nastavení kontrastu
R/W	přepínač čtení(H)/zápis(L)
E	povolovací vstup
DB0 až DB7	datová paralelní sběrnice

Tab. 4.6: Tabulka pinů modulu DEM 16217 SYH-LY [6]

LCD modul DEM 16217 SYH-LY je zapojen na výstupní port F mikrokontroléru MC9S08JM32CLH. Komunikace s modulem bude pobíhat po 4-bitové sběrnicí, pro kterou se využívá horní polovina datové sběrnice, z toho důvodu jsou zapojené pouze 4 datové vodiče k řídicímu mikrokontroléru. Spodní 4 bity DB0 až DB3 jsou připojené na společnou napájecí zem. Dále jsou zapojeny řídicí signály RS, R/W a E. Vstup V0 pro nastavení kontrastu displeje je připojen na dělič napájecího napětí realizovaný trimrem o hodnotě odporu $R = 10\text{ k}\Omega$ viz obr. A.1, 4.5. Napájecí napětí LCD modulu DEM 16217 SYH-LY je připojené přes jumper JP3. Tento jumper slouží pouze pro servisní reset modulu v případě vyresetování mikrokontroléru pomocí programátoru, při kterém nedojde k resetu modulu. Při startu mikrokontroléru musí proběhnout inicializace displeje z 8-bitové komunikace na 4-bitovou a pokud by nebyl displej restartován, pokoušel by se mikrokontrolér o inicializaci již nastaveného mikrokontroléru na 4-bitovou komunikaci, proces by nebyl správně nastartován a displej by zobrazoval nesmyslná data.

4.3.2 Funkce LCD modul DEM 16217 SYH-LY

LCD modul DEM 16217 SYH-LY má ve svém řadiči implementované tyto funkce:

- **Clear display** – smaže všechny segmenty na displeji
- **Return home** – nastaví kurzor na první segment displeje

- **Entry mode set** – nastavení pohybu kurzoru doleva nebo doprava (I/D), posun celého displeje doleva nebo doprava v závislosti na I/D(SH)
- **Display ON/OFF control** – zapínání displeje (D), zapínání kurzoru (C), blikání kurzoru (B)
- **Function set** – nastavení typu komunikace (DL), nastavení počtu řádků (N), nastavení velikosti znaků (F)
- **Set DDRAM address** – nastavení adresy segmentu displeje
- **Write data to RAM** – zápis znaku na zadanou adresu

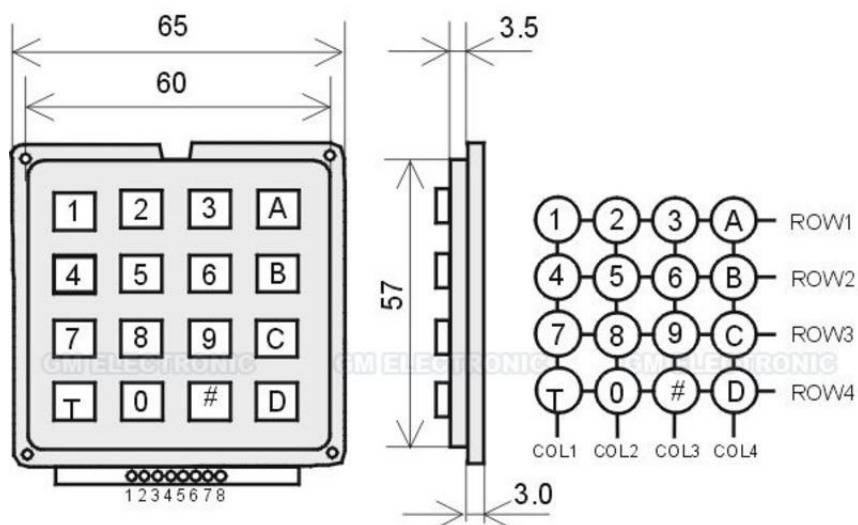
Tabulka instrukcí viz obr. 4.6

Instruction	Instruction Code										Description	Execution time (fosc = 270kHz)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC.	1.53 ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted.	1.53ms
Entry Mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction and enable the shift of entire display.	39us
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor(C), and blinking of cursor (B) on/off control bit.	39us
Cursor or Display shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction without changing of DDRAM data.	39us
Function set	0	0	0	0	1	DL	N	F	X	X	Set interface data length (DL:4-bit/8-bit), numbers of display line (N:1-line/2-line, display font type (F:0...))	39us
Set CGRAM address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39us
Set DDRAM address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39us
Read busy flag and address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0us
Write data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us
Read data to RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43us

Obr. 4.6: Instrukční tabulka DEM 16217 SYH-LY [6]

4.4 Klávesnice F-KV16KEY BLACK

F-KV16KEY BLACK je maticová klávesnice se 4x4 tlačítky. Klávesnice obsahuje číslice 0 až 9, písmena A, B, C, D a znaky '*' a '#' viz obr. 4.7. Maximální zatížení klávesnice napětím je $U = 24\text{ V}$ a proudem $I = 20\text{ mA}$, Maximální odpor signálové cesty při sepnutém stavu nesmí překročit $R = 200\ \Omega$. [7]



Obr. 4.7: Klávesnice F-KV16KEY BLACK [8]

Zapojení pinů klávesnice F-KV16KEY BLACK je v tab. 4.7.

Číslo pinu	Funkce
1	sloupec 1
2	sloupec 2
3	sloupec 3
4	sloupec 4
5	řádek 1
6	řádek 2
7	řádek 3
8	řádek 4

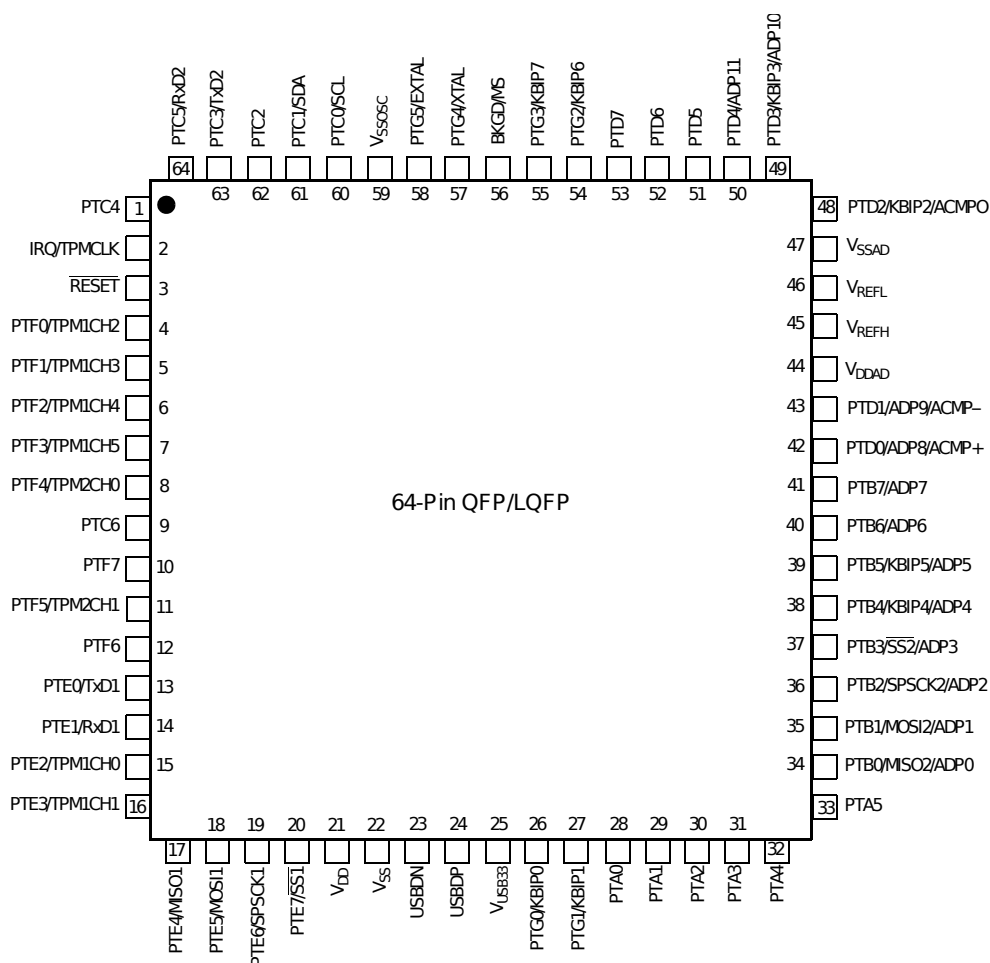
Tab. 4.7: Tabulka zapojení pinů klávesnice F-KV16KEY BLACK [7]

Klávesnice F-KV16KEY BLACK je zapojená na přerušovací modul mikrokontroléru MC9S08JM32CLH KBI, jedná se o 8-bitový přerušovací modul s integrovanými *pull-down* a *pull-up* rezistory. Klávesnice F-KV16KEY BLACK má klávesy zapojené do matice 4x4. Z toho plyne, že budou potřeba pouze 4 přerušovací vstupy. Použité přerušovací vstupy jsou: KBIP2, KBIP3, KBIP6, KBIP7 a jsou zapojené na sloupce klávesnice. Pro buzení klávesnice jsou užity výstupy portu D: PTD4, PTD5, PTD6, PTD7 a jsou zapojené na řádky klávesnice. Klávesnice je tedy buzena po řádcích a

čtená po sloupcích viz obr. A.1, 4.7.

4.5 Mikrokontrolér Freescale MC9S08JM32CLH

Mikrokontrolér Freescale MC9S08JM32CLH je levný, výkonný 8-bitový mikrokontrolér s velikostí paměti Flash 32 kB a paměti RAM 2 kB. Mikrokontrolér podporuje periférii USB, modul reálného času RTC a disponuje počtem 51 vstupně-výstupních pinů. Blokový diagram mikrokontroléru řady MC9S08JM60 je na obr. 4.18. Zapojení vývodů mikrokontroléru C9S08JM32CLH je na obr. 4.8. [9]

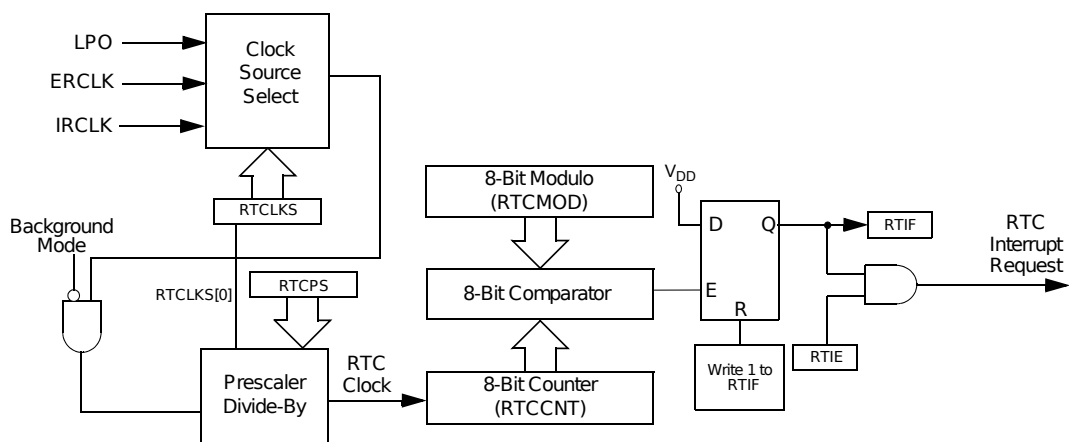


Obr. 4.8: Zapojení vývodů mikrokontroléru MC9S08JM32CLH [9]

4.5.1 Modul reálného času RTC S08RTCV1

Modul RTC S08RTCV1 se skládá z jednoho 8-bitového čítače, jednoho 8-bitového komparátoru, děličky kmitočtu, dvou zdrojů hodinového signálu a jednoho progra-

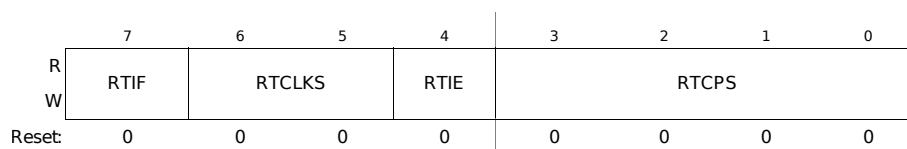
movatelného periodického přerušení. Blokový diagram modulu S08RTCV1 je na obr. 4.9.



Obr. 4.9: Blokový diagram modulu S08RTCV1 [9]

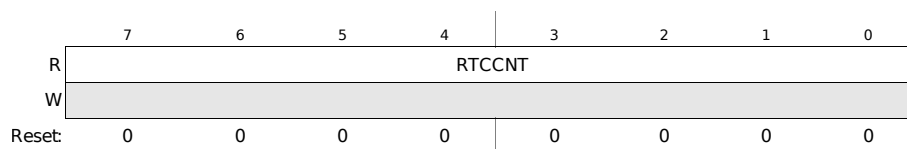
Modul S08RTCV1 obsahuje tři řídicí registry, pomocí kterých se nastavuje funkce modulu:

- **RTCSC** – stavový a řídicí registr, obsahuje příznak přerušení RTIF, výběr zdroje hodinového signálu RTCLKS, povolení přerušení RTC modulu RTIE a nastavení děličky kmitočtu RTCPS viz obr. 4.10, tab. 4.8



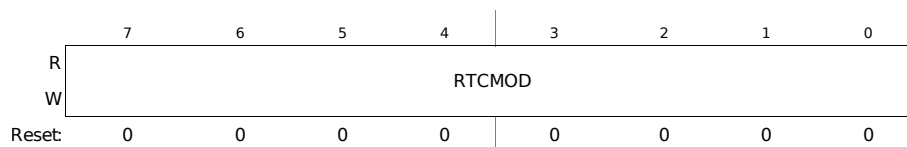
Obr. 4.10: Status and Control Register RTCSC [9]

- **RTCCNT** – 8-bitový registr pouze pro čtení obsahující aktuální hodnotu čítače viz obr. 4.11, tab. 4.10



Obr. 4.11: Counte Register RTCCNT [9]

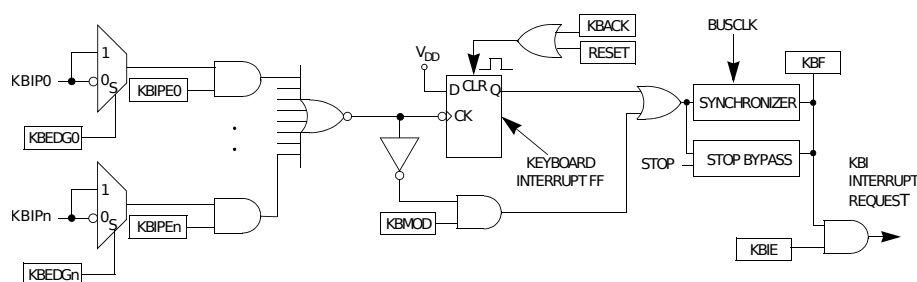
- **RTCMOD** – registr sloužící pro nastavení modulu, který resetuje čítač viz obr. 4.12, tab. 4.11



Obr. 4.12: Modulo Register RTCMOD [9]

4.5.2 Modul přerušení klávesnice KBI S08KBIV2

Modul KBI S08KBIV2 umožňuje použít až osm přerušovacích vstupů, každý vstup se dá individuálně povolit, nastavit *pull-up* nebo *pull-down* rezistor, nastavit reakci na sestupnou či nástupnou hranu. Blokový diagram modulu S08KBIV2 je na obr. 4.13.



Obr. 4.13: Blokový diagram modulu S08KBIV2 [9]

Modul S08KBIV2 obsahuje tři řídicí registry, pomocí kterých se nastavuje funkce modulu:

- **KBISC** – stavový a řídicí registr, obsahuje příznak přerušení KBF, příznak obsluhy přerušení KBACK, povolení přerušení KBIE, nastavení detekce na hranu nebo hranu a úroveň viz obr. 4.14, tab. 4.12

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	0	0	0	0	KBF	0	KBIE	KBMOD
W						KBACK		
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 4.14: Status and Control Register KBISC [9]

- **KBIPE** – registr pro povolení jednotlivých vstupů z klávesnice KBIPEn viz obr. 4.15, tab. 4.13
- **KBIES** – registr slouží pro nastavení reakční hrany a úrovně jednotlivých vstupů KBEDGn viz obr. 4.16, tab. 4.14

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	KBIPE7	KBIPE6	KBIPE5	KBIPE4	KBIPE3	KBIPE2	KBIPE1	KBIPE0
W								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 4.15: Pin Enable Register KBIPE [9]

	7	6	5	4	3	2	1	0
R	KBEDG7	KBEDG6	KBEDG5	KBEDG4	KBEDG3	KBEDG2	KBEDG1	KBEDG0
W								
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 4.16: Edge Select Register KBISC [9]

Pole	Popis
7 RTIF	Příznak přerušení, signalizující, že čítač RTC dosáhl hodnoty v registru RTCMOD. Zápisem logické 1 nuluje bit a zruší žádost o přerušení. 0 – čítač nedosáhl hodnoty RTCMOD registru. 1 – čítač dosáhl hodnoty RTCMOD registru.
6-5 RTCLKS	Výběr zdroje hodinového signálu do děličky kmitočtu. 00 – zdroj hodinového signálu je 1 kHz oscilátor. 01 – externí zdroj hodinového signálu. 1X – zdrojem signálu jsou vnitřní hodiny IRCLK.
4 RTIE	Povolení přerušení. 0 – přerušení od RTC je zakázané. 1 – přerušení od RTC je povolené
3-0 RTCPS	Nastavení děličky kmitočtu viz tab. 4.9

Tab. 4.8: Popis registru RTCSC [9]

RTCLKS[0]	RTCPS							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	Off	2^3	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}
1	Off	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}	2^{14}	2^{15}	2^{16}
RTCLKS[0]	RTCPS							
	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	2	2^2	10	2^4	10^2	$5 \cdot 10^2$	10^3
1	10^3	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$

Tab. 4.9: Prescaler RTCPS [9]

Pole	Popis
7-0 RTCCNT	Registr obsahuje hodnotu RTC čítače a slouží pouze pro čtení

Tab. 4.10: Popis registru RTCCNT [9]

Pole	Popis
7-0 RTC-MOD	Registr obsahuje hodnotu RTC modulo, zápis do RTCMOD resetuje děličku a čítač.

Tab. 4.11: Popis registru RTCMOD [9]

Pole	Popis
7-4	Nepoužité bity registru.
3 KBF	Příznak při detekování přerušení. 0 – přerušení nedetekováno. 1 – přerušení detekováno
2 KBACK	Příznak obsluhy přerušení. Zápisem logické 1 je vymazán příznak přerušení.
1 KBIE	Povolení přerušení. 0 – přerušení zakázáno. 1 – přerušení povoleno.
0 KBMOD	Nastavení módu detekování. 0 – detekce pouze hrany. 1 – detekce hrany i úrovně

Tab. 4.12: Popis registru KBISC [9]

Pole	Popis
7-0 KBIPEn	Povolení přerušovacích vstupů. 0 – přerušení zakázáno. 1 – přerušení povoleno.

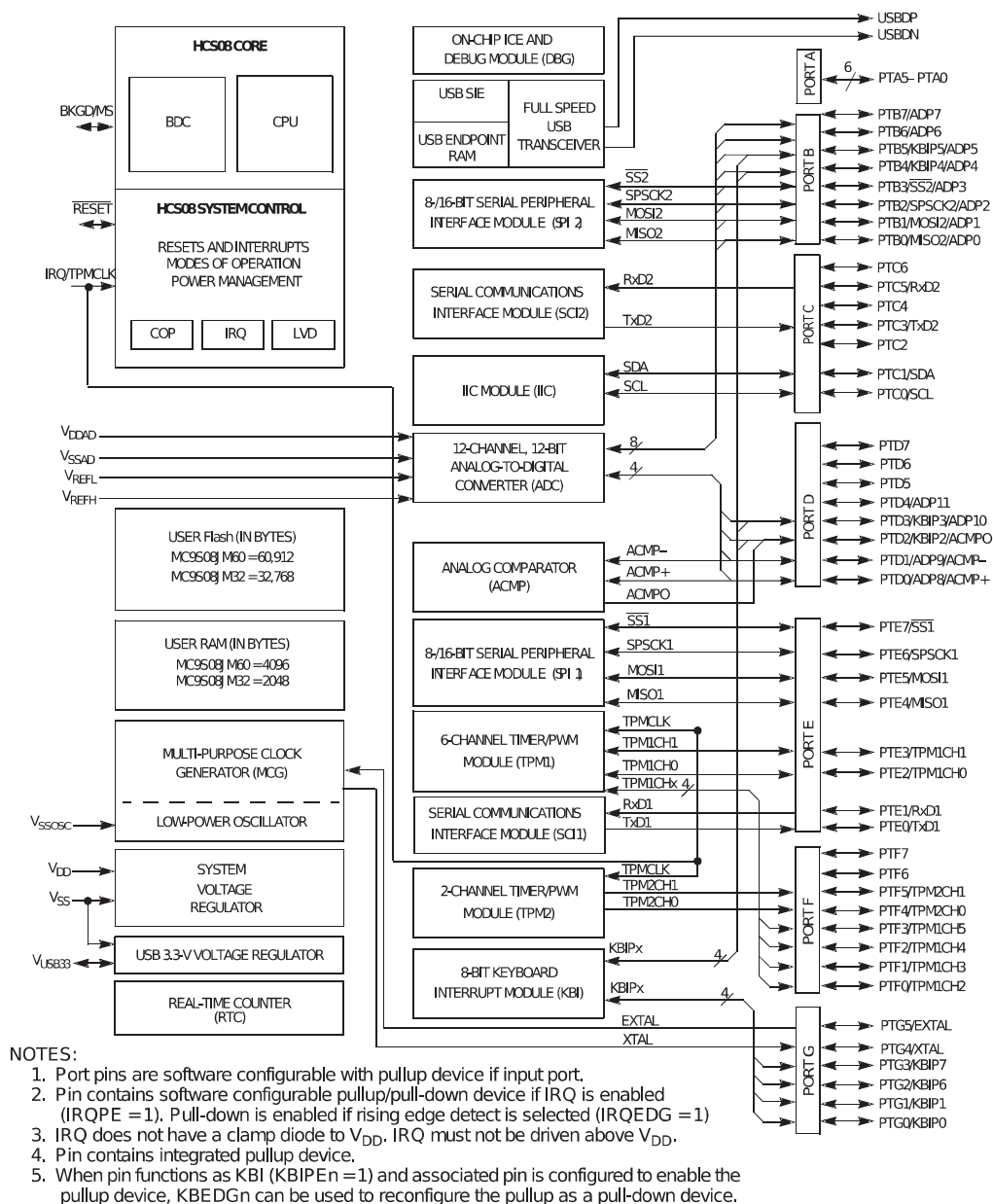
Tab. 4.13: Popis registru KBIPE [9]

Pole	Popis
7-0 KBEDGn	Výběr detekované hrany nebo úrovně. 0 – sestupná hrana nebo logická 0. 1 – nástupná hrana nebo logická 1.

Tab. 4.14: Popis registru KBIES [9]

Upper(4bit) Lower(4bit)	LLLL	LLHL	LLHH	LHLL	LHLH	LHHL	LHHH	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	CG RAM (1)														
LLLH	(2)														
LLHL	(3)														
LLHH	(4)														
LHLL	(5)														
LHLH	(6)														
LHHL	(7)														
LHHH	(8)														
HLLL	(1)														
HLLH	(2)														
HLHL	(3)														
HLHH	(4)														
HHLL	(5)														
HHLH	(6)														
HHHL	(7)														
HHHH	(8)														

Obr. 4.17: Znaková sada modul DEM 16217 SYH-LY [6]



Obr. 4.18: Blokový diagram mikrokontroléru MC9S08JM32CLH [9]

5 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

Ovladač pro paralaktickou montáž je řízen pomocí mikrokontroléru MC9S08JM32CLH, který vykonává řídicí algoritmus uložený v paměti mikrokontroléru. Vývojářům algoritmů pro mikroprocesory od firmy Freescale je k dispozici přímo od výrobce mikrokontrolérů vývojové prostředí CodeWarrior. Pro vývoj algoritmu ovladače pro paralaktickou montáž byla zvolena verze CodeWarrior IDE version 5.9.0 built 5292 a programovací jazyk ANSI C.

5.1 Koncepce řídicího algoritmu

Algoritmus je koncipován tak, že v klidovém stavu mikrokontrolér v nekonečné smyčce pouze kontroluje, jestli nenastalo přerušení. Při přerušení od klávesnice nebo od čítače reálného času se zavolají obslužné rutiny, ve kterých se vykonají požadované operace a po jejich vykonání se mikrokontrolér vrací do původní čekací smyčky.

Po přivedení napájecího napětí do mikrokontroléru je potřeba zařízení nejdříve inicializovat. Všechny vstupně-výstupní piny jsou ve výchozím stavu nastaveny jako vstupní. V inicializační proceduře se všechny požadované piny nastaví jako výstupní. Dále je provedena inicializace klávesnice, ve které jsou povoleny přerušovací vstupy, nastavena reakce na sestupnou hranu a povoleny *pull-up rezistory*.

Následuje inicializace integrovaných obvodů TB6560AHQ, pro které je nastaven požadovaný točivý moment viz tab. 4.4, požadovaný režim mikrokrokování viz tab. 4.2, deaktivovány vstupy RESET, které je ve výchozím stavu aktivovány.

Dále se provede inicializace čítače reálného času, ve které se pouze nastaví, jak má být dlouhý přerušovací cyklus, v případě ovladače pro paralaktickou montáž byl zvolen přerušovací cyklus 1 ms.

A jako poslední se provede inicializace LCD displeje. Záměrně je vykonávána jako poslední z důvodu nutné prodlevy komunikace s LCD displejem po přivedení napájecího napětí. Inicializační procedura nastaví dvouřádkový režim, zapne displej, vypne zobrazování a blikání kurzoru, smaže všechny segmenty displeje a nastaví posuv kurzoru doprava.

Po vykonání všech inicializačních procedur nutných pro uvedení zařízení do definovaného stavu jsou povolena přerušení a algoritmus se dostává do hlavní čekací smyčky.

Nyni se každou milisekundu generuje přerušení od čítače reálného času a volá se obsluha přerušení, ve které se aktualizuje informace o vnitřím čase mikrokontroléru a na základě příznaků a čítače přerušení se vyhodnotí, zda se pošlou signály pro krokové motory.

Kromě přerušení od čítače reálného času lze vyvolat přerušení stiskem libovolné klávesy na klávesnici. V obsluze přerušení od klávesnice se postupným buzením jednotlivých řádků a čtením logických hodnot ze sloupců maticové klávesnice vyhodnotí, která klávesa byla stisknuta a zapíše se do 32-bitového bufferu klávesnice, vystaví příznak obsloužení přerušení a algoritmus se vrací k původnímu běhu.

Algoritmus vyčítá data z bufferu klávesnice a na jejich základě se algoritmus větví do obslužných rutin jako vstup do menu, zadání souřadnic hvězdného objektu atd. Algoritmus končí až při odpojení napájecího napětí nebo při manuálním resetu pomocí mikropínače umístěného na desce plošných spojů.

5.2 Řídicí algoritmus

Řídicí algoritmus se kromě hlavní funkce `main` a výrobcem dodaných knihoven pro příslušný mikrokontrolér skládá ze šesti knihoven vytvořených pro potřeby řídicí jednotky paralaktické montáže.

5.2.1 Knihovna `hw.h`

Knihovna `hw.h` slouží pro nadefinování maker zastupujících použité vstupně-výstupní piny a pro nastavení výstupních pinů mikrokontroléru.

- **fukce** `void initHW(void)`

Funkce nastavuje výstupní piny. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

5.2.2 Knihovna `clock.h`

Knihovna `clock.h` obsahuje inicializaci čítače reálného času obsluhu přerušení od čítače reálného času a funkci zpoždění.

- **fukce** `void delay100us(word us100)`

Funkce je vygenerována překladačem jako 100 μ s zpoždění. Funkce má vstupní parametr typu `word` reprezentující počet opakování zpoždění. Funkce nemá návratovou hodnotu.

- **fukce** `void initClock(void)`

Funkce inicializuje čítač reálného času. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

- **fukce** `void interrupt VectorNumber_Vrtc isr_rtc(void)`

Funkce realizuje obsluhu přerušení od čítače reálného času. Funkce aktualizuje vnitřní čas mikrokontroléru, posílá hodinové signály na jednotlivé ovladače TB6560AHQ a kontroluje přetečení čítačů. Funkce nemá žádné vstupní

parametry ani návratovou hodnotu.

5.2.3 Knihovna `keyboard.h`

Knihovna `keyboard.h` obsahuje inicializaci klávesnice obsluhu přerušení od klávesnice a funkci pro práci s bufferem klávesnice.

- **funkce** `void loadKeyboardBuffer(char *s)`
Funkce slouží k načtení bufferu klávesnice do řetězce předaného vstupním parametrem. Funkce má vstupní parametr typu `char *` reprezentující adresu řetězce. Funkce nemá návratovou hodnotu.
- **funkce** `void initKeyboard(void)`
Funkce inicializuje klávesnici, povolí přerušovací vstupy, nastaví reakci na vstupnou hranu a pullup rezistory. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **funkce** `void interrupt VectorNumber_Vkeyboard isr_kbi(void)`
Funkce realizuje obsluhu přerušení od klávesnice. Funkce uloží do bufferu klávesnice znak přečtený z klávesnice. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

5.2.4 Knihovna `driver.h`

Knihovna `driver.h` obsahuje inicializaci ovladačů TB6560AHQ.

- **funkce** `void initDRIVER(void)`
Funkce inicializuje ovladače TB6560AHQ. Nastaví požadovaný točivý moment, směr otáčení a deaktivuje resetovací vstupy.

5.2.5 Knihovna `lcd.h`

Knihovna `lcd.h` obsahuje funkce pro vykreslování znaků na LCD displej.

- **funkce** `void sendByteLCD(char RS, char data)`
Funkce slouží k odeslání bytu do LCD displeje. Funkce má dva vstupní parametry typu `char`. První parametr nastavuje zápis dat či instrukce, druhý parametr je datový byte. Funkce nemá návratovou hodnotu.
- **funkce** `void printIntLCD(int i)`
Funkce slouží k zapsání celého čísla na LCD displej. Funkce má jeden vstupní parametr typu `int` reprezentující celé číslo určené k výpisu. Funkce nemá návratovou hodnotu.
- **funkce** `void printLCD(const char *s, ...)`
Tato funkce slouží k výpisu řetězce na LCD displej. Funkce má jeden povinný

vstupní parametr reprezentující řetězec určený k výpisu a nepovinné další parametry modifikující řetězec. Funkce nemá návratovou hodnotu.

- **fukce** `void changePositionLCD(short x, short y)`
Tato Funkce slouží k nastavení pozice kurzoru na LCD displeji. Funkce má dva vstupní parametry typu `short` reprezentující souřadnice x a y. Funkce nemá návratovou hodnotu.
- **fukce** `void displayOnLCD(void)`
Funkce slouží k zapnutí LCD displeje. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void displayOffLCD(void)`
Funkce slouží k vypnutí LCD displeje. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void cursorOnLCD(void)`
Funkce slouží k zapnutí kurzoru. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void cursorOffLCD(void)`
Funkce slouží k vypnutí kurzoru. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void cursorBlinkOnLCD(void)`
Funkce slouží k zapnutí blikání kurzoru displeje. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void cursorBlinkOffLCD(void)`
Funkce slouží k vypnutí blikání kurzoru displeje. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void clearDisplayLCD(void)`
Funkce slouží ke smazání všech segmentů displeje. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void initLCD(void)`
Funkce slouží k inicializaci komunikace s LCD displejem. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

5.2.6 Knihovna `mount.h`

Knihovna `mount.h` obsahuje funkce pro ovládání paralaktické montáže.

- **fukce** `void enterPositionObserver(void)`
Funkce slouží pro zadání souřadnic, na kterých se nachází pozorovatelna. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce** `void enterTimeUTC(void)`
Funkce slouží pro zadání času. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani

návratovou hodnotu.

- **fukce void enterCoordinateMount(void)**
Funkce slouží pro zadání souřadnic paralaktické montáže. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void applyOrCancel(void)**
Funkce slouží pro potvrzení nebo zrušení volby. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setPositionObserver(void)**
Funkce slouží pro nastavení souřadnic, na kterých se nachází pozorovatelna. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setDateUTC(void)**
Funkce slouží pro nastavení datumu. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setTimeUTC(void)**
Funkce slouží pro nastavení času. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setCoordinateMount(void)**
Funkce slouží pro nastavení souřadnic paralaktické montáže. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void defCoordinate(void)**
Funkce slouží pro definování souřadnic paralaktické montáže. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setSiderealCoordinate(void)**
Funkce slouží pro nastavení hvězdných souřadnic souřadnic. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setLocalST(void)**
Funkce slouží pro nastavení místního hvězdného času. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void placeMount(void)**
Funkce slouží pro nastavení paralaktické montáže na požadované souřadnice. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void menu(void)**
Funkce slouží pro vstup do menu a výběr funkcí. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void printCoordinatesMount(void)**
Funkce slouží pro tisk aktuálních souřadnic na LCD displej. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.
- **fukce void setUpperLimits(void)**
Funkce slouží pro nastavení horních limitů souřadnice. Funkce nemá žádné

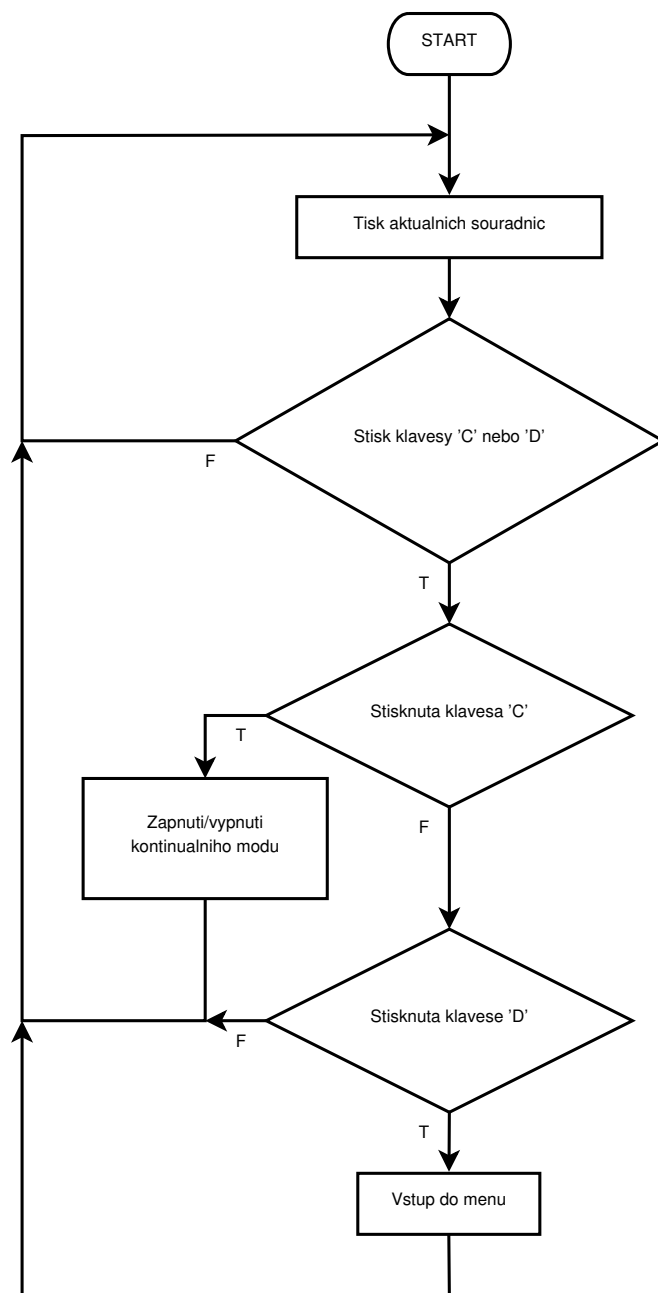
vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

- **funkce** `void setLowerLimits(void)`

Funkce slouží pro nastavení spodních limitů souřadnice. Funkce nemá žádné vstupní parametry ani návratovou hodnotu.

5.3 Vývojový diagram

Vývojový diagram hlavní běhové smyčky je na obr. 5.1



Obr. 5.1: Vývojový diagram hlavní smyčky

6 REALIZACE

Cílem bakalářské práce bylo realizovat řídicí jednotku pro paralaktickou montáž teleskopu Celestron AstroMaster CG-3.

6.1 Deska plošných spojů

Na základě elektrického schématu viz příloha A byla navržena deska plošných spojů pro řídicí jednotku ovladače v programu EAGLE 6.5.0 viz příloha B. Návrh desky plošných spojů byl koncipován jako dvouvrstvá deska, protože rozložení vývodů integrovaných obvodů TB6560AHQ předurčuje tuto koncepci. Návrh desky plošných spojů byl také přizpůsoben domácím výrobním podmínkám. V domácích podmínkách nebylo možné vyrobit desku plošných spojů s prokovenými pájecími ploškami, proto bylo nutné, aby drátové součástky neumožňující zapájení ve vrstvě TOP měly vývody součástek ve vrstvě BOTTOM. Toto řešení zesložilo návrh desky plošných spojů a následné osazování, ale byly dosaženy nižší pořizovací náklady na výrobu. Deska plošných spojů byla úspěšně vyrobena fotocestou, osazena součástkami a oživena.

6.2 Konstrukční krabička

Pro celou řídicí jednotku byla vybrána konstrukční krabička KP12 ze sortimentu firmy GM Electronic. Krabička byla osazena vstupně-výstupními periferiemi a deskou plošných spojů. Dokumentace výsledného vzhledu ovladače pro paralaktickou montáž je v příloze C.

6.3 Programování mikrokontroléru

Vyvinutý řídicí algoritmus bylo potřeba nahrát do vnitřní paměti mikrokontroléru. Pro tento účel byl vyroben jednoduchý programátor USBDM_JS16 viz příloha D.

6.4 Ověření funkce a deklarovaných parametrů

Byla ověřena funkčnost řídicí jednotky a její deklarované parametry:

- schopnost zaměřit teleskop na uživatelem zadané souřadnice
- kontinuální sledování časové osy a tím udržení nebeských těles v zorném poli teleskopu

- kontrola limitních stavů souřadnic montáže a tím eliminovat kolizi tubusu teleskopu se stativem

Všechny deklarované parametry byly ověřovány bez připojení k montáži Celestron AstroMaster CG-3. Protože není vyřešeno spojení krokových motorů s montáží, není tedy ani znám převodový poměr mechanického spojení krokových motorů s montáží. Protože není známý převodový poměr nutný pro určení počtu kroků, které musí motor vykonat, byla zvolena modelová hodnota jeden krok na desetinu vteřiny úhlové souřadnice (DEC.) a jeden krok na desetinu sekundy časové souřadnice (R.A.)

V rámci takto omezených možností ověření byly splněny všechny deklarované parametry.

6.5 Možné budoucí vylepšení

Řídicí jednotka paralaktické montáže potřebuje informaci o aktuálním místním hvězdném čase pozorovacího stanoviště pro zaměření nebeského objektu. Způsob získání informace o místním hvězdném čase je zdokumentován v příloze E.

Pro výpočet místního hvězdného času je nutné znát aktuální datum, čas a zeměpisnou polohu pozorovatelny. Všechny tyto informace se dají získat ze signálů od GPS satelitů.

Možné vylepšení tedy je: doplnit řídicí jednotku o GPS modul a vybrat výkonnější mikrokontrolér zvládající výpočty s desetinnými čísly.

V aktuálním stavu se musí místní hvězdý čas zadat do řídicí jednotky ručně.

7 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl řešen návrh ovladače pro paralaktickou montáž k montáži Celestron AstroMaster CG-3. Byla uvedena teorie základních typů astronomických montáží s ohledem na jejich mechanické konstrukce, základní typy krokových motorů a jejich konstrukce. Podrobnější pohled byl věnován hybridním krokovým motorům a konkrétnímu hybridnímu krokovému motoru LDO-57STH76-2804A, který je součástí řídicí jednotky montáže.

Dále byly stanoveny parametry řídicí jednotky ovladače montáže a navrženo blokové schéma řídicí jednotky. Pro řídicí jednotku byl zvolen mikrokontrolér Freescale MC9S08JM32CLH a ovladač krokového motoru TB6560AHQ jako hlavní komponenty řídicí jednotky, které vyhovují požadavkům kladeným na ovladač montáže.

Na základě blokového schématu a zvolených komponent bylo navrženo elektrické schéma řídicí jednotky ovladače a následně navržena konstrukce řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž a deska plošných spojů. Deska plošných spojů byla vyrobena fotocestou. Deska plošných spojů byla osazena součástkami a zasazena i se vstupními periferiemi do plastové krabice.

Software byl navrhován ve vývojovém prostředí CodeWarrior a do mikrokontroléru MC9S08JM32CLH byl následně nahrán pomocí programátoru USBDM_JS16.

Po oživení zařízení byla ověřena funkčnost zařízení a splnění deklarovaných parametrů řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž.

Dosažené výsledky pokrývají stanovené cíle bakalářské práce:

- Vypracování liteární rešerše z oblasti astronomických montáží se zaměřením na mechanické konstrukce a řízení pomocí krokových motorů – Velká část byla věnována montáži paralaktické, na kterou je práce zaměřená a hybridním krokovým motorům, které mají pohánět rotační osy montáže.
- Stanovení požadovaných parametrů řídicí jednotky pro ovládání montáže teleskopu Celestron AstroMaster CG-3 – Především schopnost zaměřit teleskop na uživatelem požadované souřadnice, udržet pozorovaný objekt v zorném poli teleskopu a eliminovat kolize.
- Výběr vhodného typu mikrokontroléru – Vybrán byl 8-bitový mikrokontrolér Freescale MC9S08JM32CLH s rozšířeným jádrem HCS08, který splňuje požadavky stanovené na řídicí jednotku ovladače.
- Navržení blokové struktury a elektrického schéma řídicí jednotky montáže teleskopu – Byla navržena bloková struktura a elektrické schéma splňující požadavky kladené na řídicí jednotku.

- Realizace řídicí jednotky pro montáž teleskopu – Vyrobená kompletní řídicí jednotka splňující deklarované parametry.
- Ověření funkce a deklarované parametry řídicí jednotky – Byla ověřena funkčnost řídicí jednotky a její deklarované parametry bez připojení k montáži Celestron AstroMaster CG-3. V rámci možného ověření byly splněny všechny deklarované parametry.

LITERATURA

- [1] CELESTRON. *AstroMaster Series Telescopes INSTRUCTION MANUAL* [online]. [cit. 18. 12. 2013]. Dostupné z URL: <http://www.celestron.com/c3/images/files/downloads/1219957574_astromasterinst.pdf>.
- [2] POHONNATECHNIKA.CZ. *Motory* [online]. [cit. 31. 12. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.pohonnatechnika.cz/>>.
- [3] LDO MOTORS. *Hybrid Stepping Motor 57mm Series 1.8Degree High Torque Type* [online]. [cit. 18. 12. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.cctv-cnc.cz/soubor/stepper-57mm-size-pdf/>>.
- [4] SLANDO.UA. *FL57STH76-2804A* [online]. [cit. 31. 12. 2013]. Dostupné z URL: <<http://kiev.ko.slando.ua/obyavlenie/shagovyy-dvigatel-fl57sth76-2804a-ID86TK1.html>>.
- [5] TOSHIBA. *TOSHIBA BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic TB6560AHQ, TB6560AFG* [online]. [cit. 19. 12. 2013]. Dostupné z URL: <http://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync/201103/DST_TB6560-TDE_EN_27885.pdf>.
- [6] DISPLAY ELEKTRONIK GMBH. *LCD MODULE DEM 16217 SYH-LY* [online]. [cit. 19. 5. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.display-elektronik.de/DEM16217SYH-LY.PDF>>.
- [7] VELLEMAN. *KEYBOARD 16 KEYS* [online]. [cit. 19. 5. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.velleman.eu/products/view/?id=732>>.
- [8] GM ELECTRONIC. *F-KV16KEY BLACK* [online]. [cit. 31. 12. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.gme.cz/img/cache/800x600/637/091/f-kv16key-black-obrazek-2.jpg>>.
- [9] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *MC9S08JM60 MC9S08JM32 Data Sheet* [online]. [cit. 19. 12. 2013]. Dostupné z URL: <http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08JM60.pdf>.
- [10] PLÍVA, Zdeněk. *EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci*. Vyd. 1. Praha: BEN, 2007, 181 s. ISBN 978-80-7300-227-5.
- [11] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN-technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0141-1.

- [12] RYDLO, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*, Studijní texty TU Liberec, Liberec 2000.
- [13] *USBDM_JS16 – programátor pro mikrokontroléry Freescale HCS08, HCS12 a Coldfire V1 (nová verze OSBDM)* [online]. [cit. 20. 05. 2014]. Dostupné z URL: <<http://www.hw.cz/>>
- [14] *Hvězdný čas* [online]. [cit. 20. 05. 2014]. Dostupné z URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hvězdný_čas>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ANSI American National Standard Institute – americká standardizační organizace

ASCII American Standard Code for Information Interchange – americký národní standardizační institut

DEC. Declination – deklinace

H High level – vysoká logická úroveň

IDE Integrated Development Environment – integrované vývojové prostředí

L Low level – nízká logická úroveň

LCD Liquid-Crystal Display – displej z tekutých krystalů

LED Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo

OSC OSCillator – oscilátor

PWM Pulse-Width Modulation – pulzně-šířková modulace

MCU Micro Control Unit – mikrokontrolér

N North magnetic pole – severní magnetický pól

R.A. Right Ascension – rektascenze

RAM Random-Access memory – paměť s přímým přístupem

RTC Real Time Counter – čítač reálného času

S South magnetic pole – jižní magnetický pól

USB Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice

V_{DD} Voltage Drain Drain – Kladné operační napětí

α [°] úhel

ω [rad/s] otáčky

f [Hz] kmitočet

i [–] převod

I [A] elektrický proud

M [Nm] točivý moment

R [Ω] elektrický odpor

T [s] perioda

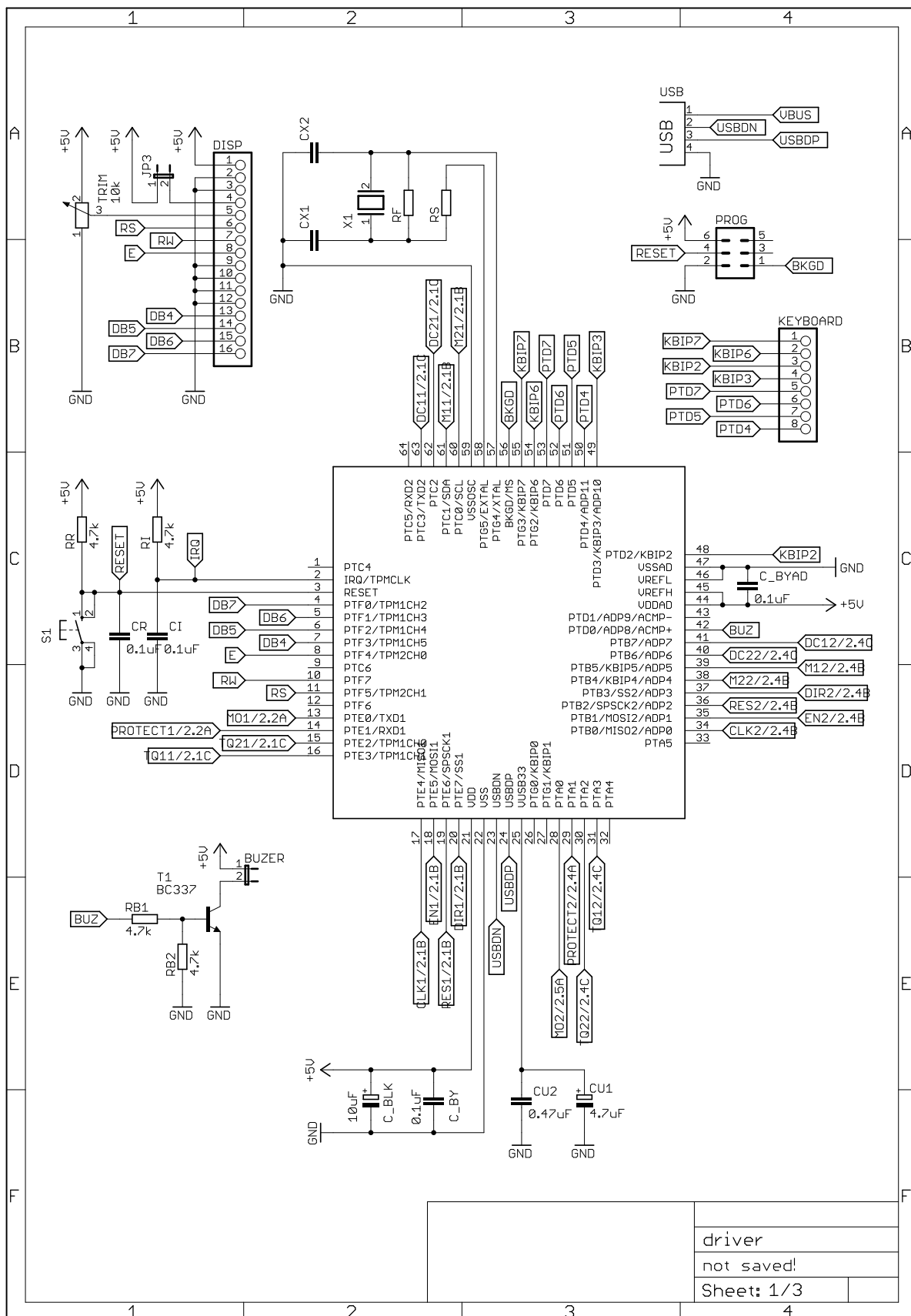
SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh elektrického schématu	55
B	Návrh desky plošných spojů	59
C	Fotodokumentace ovladače	62
D	Programátor USBDM_JS16	63
E	Místní hvězdný čas	64

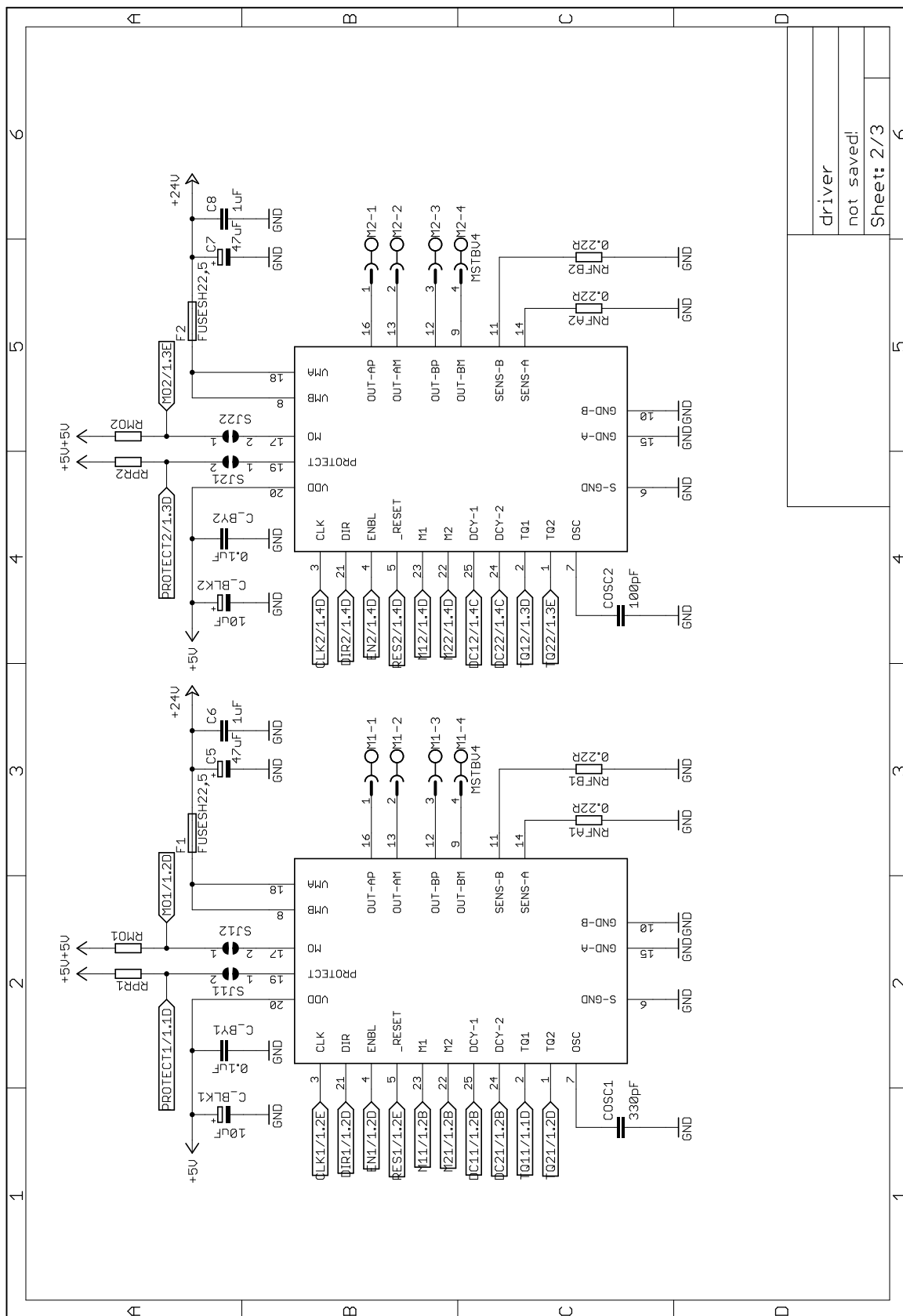
A NÁVRH ELEKTRICKÉHO SCHÉMATU

Návrh elektrického schématu řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž je zobrazen na obr A.1, A.2, A.3. Na prvním listu obr A.1 je zapojení řídicího mikrokontroléru MC9S08JM32CLH a vstupně výstupních periférií. Na druhém listu obr A.2 je zapojení ovladačů krokových motorů TB6560AHQ a na třetím listu obr A.3 je zapojení napájecího obvodu pro ovladač paralaktické montáže.

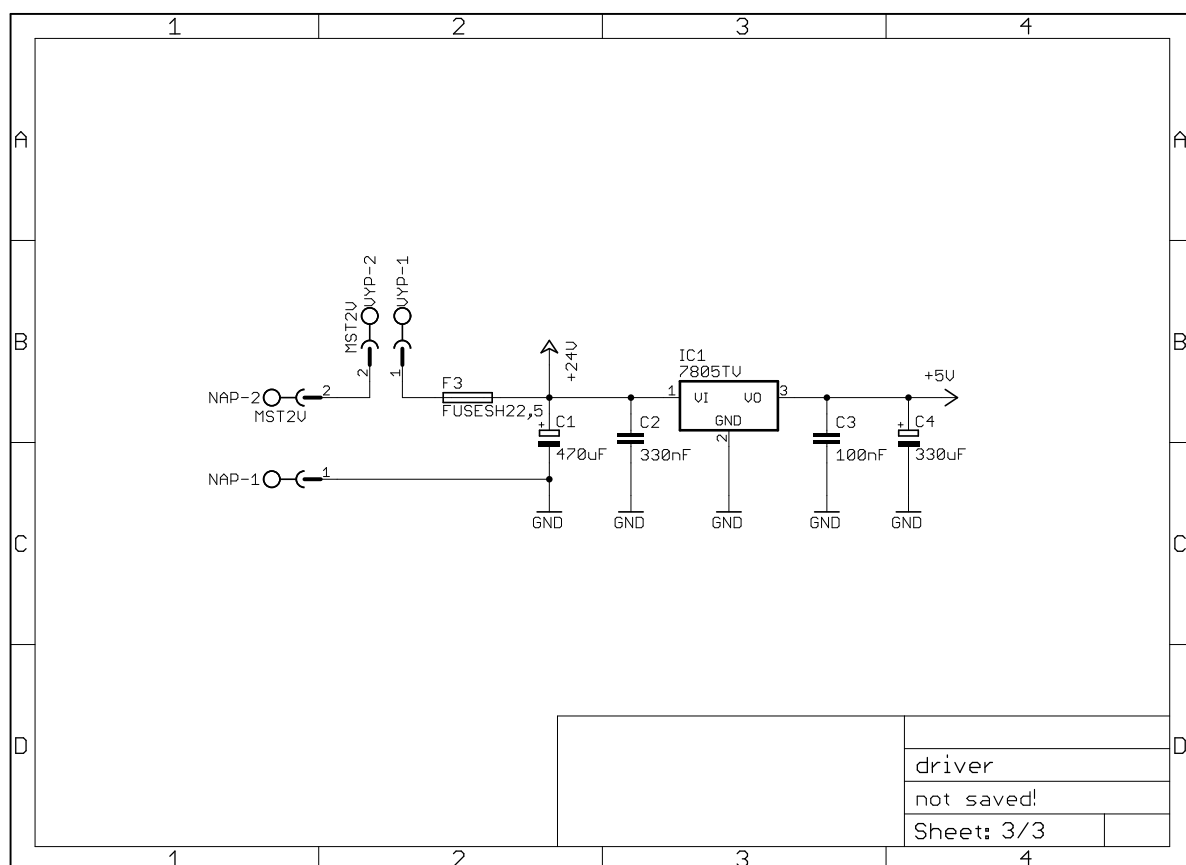
K návrhu byl použit software EAGLE 6.5.0 od firmy CadSoft a literatura [10].



Obr. A.1: Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 1.



Obr. A.2: Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 2.

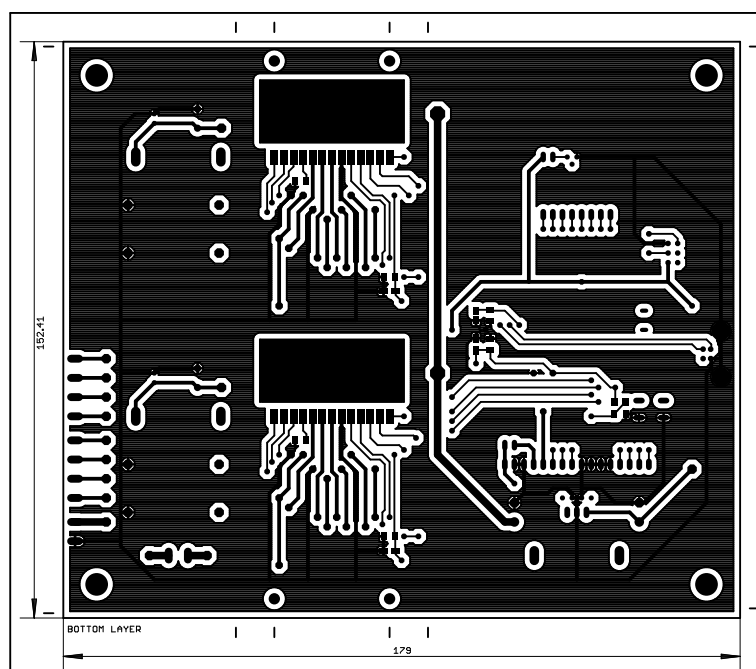


Obr. A.3: Schéma zapojení ovladače pro paralaktickou montáž: list 3.

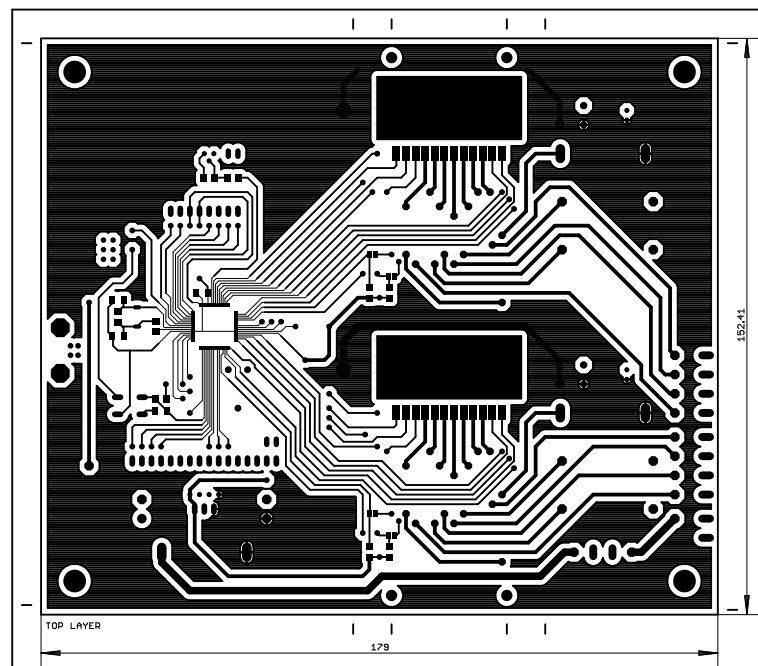
B NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Návrh DPS řídicí jednotky ovladače pro paralaktickou montáž byl koncipován jako dvouvrstvá deska z důvodu použitých integrovaných obvodů TB6560AHQ, které jsou rozmístěním svých vývodů předurčeny pro minimálně dvouvrstvou desku. Dále je DPS navržena bez prokovených pájecích plošek z důvodu nemožnosti jednoduché vlastní výroby, z toho důvodu obsahuje DPS větší množství propojů, protože většinu drátových součástek lze zapájet pouze na vrstvě BOTTOM. Vrstva BOTTOM desky plošných spojů je zobrazena na obr B.1 a vrstva TOP na obr B.2. Osazovací plán vrstvy BOTTOM je na obr B.3 a osazovací plán vrstvy TOP je na obr B.4.

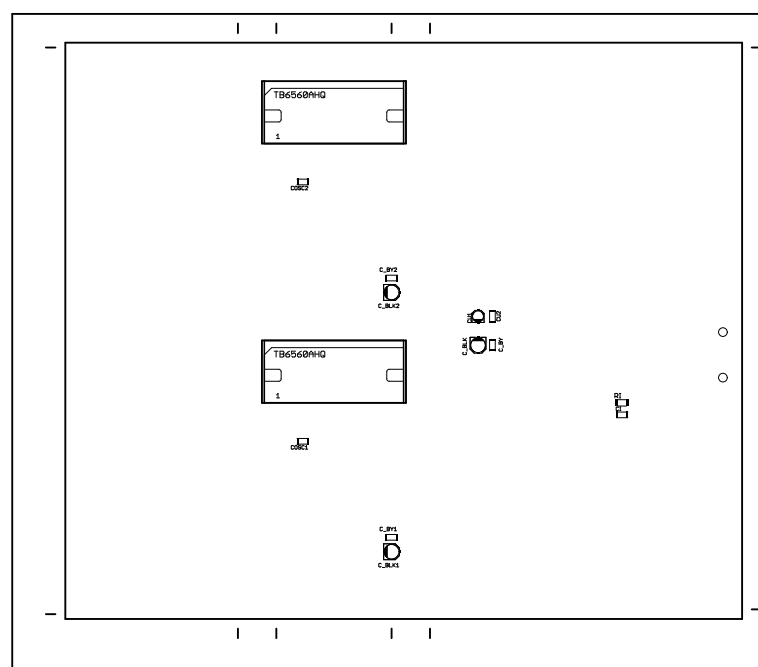
K návrhu byl použit software EAGLE 6.5.0 od firmy CadSoft a literatura [10].



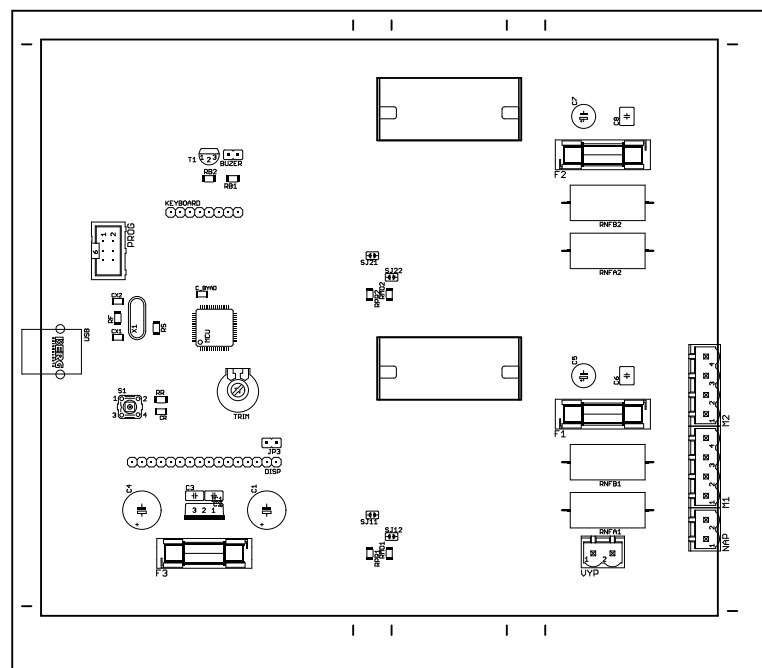
Obr. B.1: Vrstva BOTTOM M1:2



Obr. B.2: Vrstva TOP M1:2

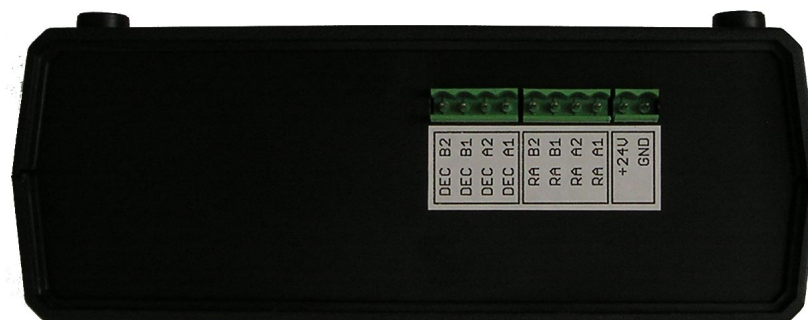


Obr. B.3: Osazovací plán vrstvy BOTTOM M1:2



Obr. B.4: Osazovací plán vrstvy TOP M1:2

C FOTODOKUMENTACE OVLADAČE



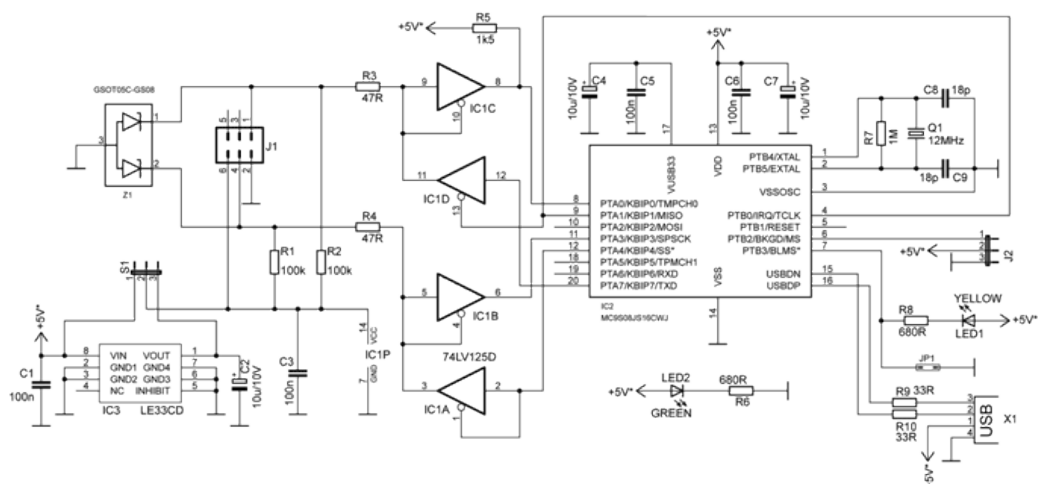
Obr. C.1: Ovladač pro paralaktickou montáž z pravého boku



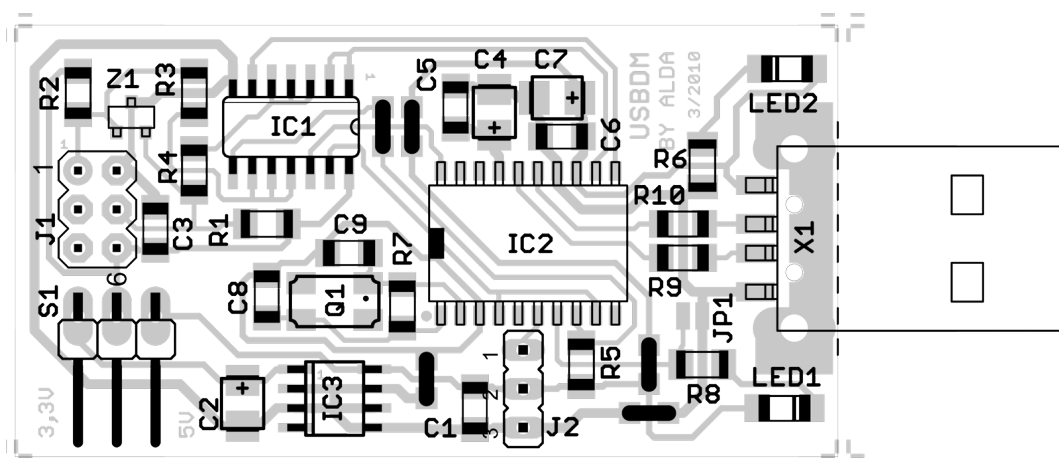
Obr. C.2: Ovladač pro paralaktickou montáž ze předu

D PROGRAMÁTOR USBDM_JS16

Tento jednoduchý programátor z rodiny programátorů USBDM je převzat z článku "USBDM_JS16 – programátor pro mikrokontroléry Freescale HCS08, HCS12 a Col-dfire V1 (nová verze OSBDM)". Schéma zapojení programátoru USBDM_JS16 je na obr D.1 a osazovací plán na obr D.2. [13]



Obr. D.1: Schéma zapojení programátoru USBDM_JS16



Obr. D.2: Osazovací plán programátoru USBDM_JS16

E MÍSTNÍ HVĚZDNÝ ČAS

Hvězdný čas je čas používaný v astronomii k popisu zdánlivého pohybu hvězd vlivem rotace Země kolem vlastní osy. Sluneční den trvá 24 hodin, ale hvězdný den trvá pouze 23 hodin 56 minut a 4.09 sekund. Rozdíl je způsoben rotací Země kolem Slunce. [14]

Místní hvězdný čas udává přepočtení mezi souřadnicí hvězdného objektu a hodinovým úhlem, pod kterým objekt nalezneme na obloze. Tento časový úhel se vypočítá jako rozdíl místního hvězdného času LST a souřadnice hvězdného objektu RA :

$$t = LST - RA \quad (E.1)$$

Algoritmus výpočtu místního hvězdného času pro aktuální čas uveden v desetinách sekund a pro aktuální zeměpisnou šířku udanou v desetinách vteřin:

```
long JDN, A, R, N, E;
double JD;
double T;
double S0;
double S;
double LST;

if (months < 3) A = 1;
else A = 0;

R = years + 4800 - A;
N = months + 12 * A - 3;
E = days + (153 * N + 2) / 5;

JDN = E + 365 * R + R / 4 - R / 100 + R / 400 - 32045;
JD = JDN - 0.5;
T = (JD - 2451545) / 36525;
S0 = 6.697374558 + 2400.05133691 * T + 0.000025862 * T * T
S0 -= 0.0000000017 * T * T * T;
S = S0 + 1.0027379093 * (actualTimeUTC / 36000.0)
S += (actualLongitude / 36000.0) / 15;
while (S >= 24) S -= 24;
LST = S;
```