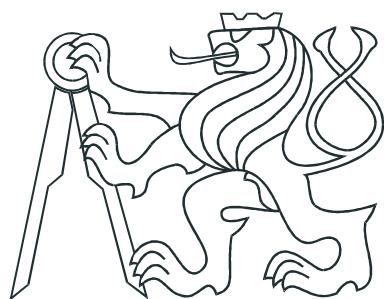


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Elektronika pro systém stabilizace optické  
osy kamerového systému

Praha, 2008

Autor: Jaroslav Žoha



## **Prohlášení**

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

V Praze dne \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
podpis

## **Poděkování**

Děkuji především vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Hurákovi, Ph.D. za příkladné vedení této diplomové práce. Dík patří i kolegovi Martinu Řezáčovi, který se podílel na projektu stabilizované základny se svou diplomovou prací. Děkuji i všem ostatním zúčastněným lidem na projektu stabilizované základny, bez jejichž práce by nebylo možné projekt dokončit.

# **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je navrhnout a realizovat kompletní elektronické vybavení pro řízení optické osy stabilizované kamerové základny pro bezpilotní letoun. Navržená elektronika obsahuje mikroprocesorový systém pro každou ze dvou řízených os základny s regulátory. Zahrnuje zpracování senzorů představovaných elektronickými gyroskopy a IRC čidly společně s výkonovým buzením motorů elevační a azimutální osy základny. Komunikace mezi jednotlivými podsystémy základny a s operátorem probíhá po sběrnici CAN. Stabilizovaná kamerová základna pak dovoluje sledovat zvolený objekt kamerovým systémem a potlačuje při tom vnější pohyby pevného závěsu základny potažmo celého letounu a tím dosahuje nehybného obrazu snímané scény.

# **Abstract**

The aim of my work was to design and realize complete electronic equipment for controlling the line-of-sight stabilized camera platform for unmanned airplane. Designed electronics consist of microprocessor-controlled systems for both controlled axes with linear regulators. Electronic design includes processing of electronic gyroscopes and IRC sensors in combination with power-driving of both motors in elevation and azimuthal axes. Communication between all subsystems and with operator is based on CAN bus. Stabilized platform can keep tracking of chosen target with the camera system and inhibits outer deviations of solid frame firmly connected with the airplane. The goal is to have motionless image of the target scene.



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Jaroslav Žoha

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný  
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Vázev tématu: **Elektronická stabilizace optické osy kamerového systému pro bezpilotní letoun**

Pokyny pro vypracování:

Nastudujte problematiku stabilizace optické osy kamery pomocí inerciálních měření [1].  
Pro zadanou koncepci řídicího systému (co měřit, co odhadovat a co řídit) navrhněte vhodnou  
koncepci elektronického řídicího systému (jaké snímače, jaké procesory, jaké akční členy, jaké  
sběrnice, jaký programovací jazyk, zda a jaký operační systém).

Navrhněte a realizujte funkční vzor elektronického systému.

Vytvořte simulační model pro navržený elektronický systém (simulace výpočetních zpoždění, vlivu  
výpočtu s konečnou přesností, apod.) a podílejte se na jeho začlenění do celkového simulačního  
modelu (ten bude obsahovat i model dynamiky stabilizované základny i letounu).

Otestujte funkčnost Vámi navržených elektronických obvodů na reálném systému (postaví  
průmyslový partner).

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009

f. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



*M. Šebek*  
doc. Ing. Boris Šimák, CSc.  
děkan

V Praze dne 10. 9. 2007



# Obsah

<b>Seznam tabulek</b>	<b>xi</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Budoucí využití . . . . .	1
1.2 Zaměření práce . . . . .	2
<b>2 Problematika stabilizace optické osy</b>	<b>3</b>
2.1 Cíle stabilizace . . . . .	3
2.2 Názvosloví . . . . .	3
2.3 Principy konstrukcí . . . . .	4
2.3.1 Tip-Tilt konstrukce . . . . .	5
2.3.2 El-Az konstrukce . . . . .	5
2.4 Realizovaná konstrukce . . . . .	6
2.5 Blokové schéma činnosti základny . . . . .	8
<b>3 Elektronika</b>	<b>9</b>
3.1 Koncepce elektroniky . . . . .	9
3.1.1 Gyroskopické senzory . . . . .	10
3.1.2 Způsob řízení motorů . . . . .	10
3.1.3 Měření proudu motory . . . . .	11
3.1.4 Způsob komunikace . . . . .	13
3.2 Použitý hardware . . . . .	13
3.2.1 Použité kamery . . . . .	13
3.2.2 Kluzné kroužky . . . . .	14
3.2.3 Použité senzory . . . . .	15
3.2.3.1 IRC čidlo . . . . .	15
3.2.3.2 Gyroskop . . . . .	16
3.2.3.3 Měřič proudu . . . . .	17
3.2.4 Použité motory . . . . .	18
3.2.5 H-můstek . . . . .	19
3.2.6 Použitý procesor . . . . .	20
3.2.7 Použité CPLD . . . . .	21
3.3 Realizace . . . . .	21
3.3.1 Návrh prvních desek PCB . . . . .	22
3.3.1.1 Deska Cpuboard . . . . .	22

3.3.1.2	Vývojová deska CPLD . . . . .	23
3.3.1.3	Deska Cpuboard2 . . . . .	24
3.3.2	Řízení elevační osy . . . . .	25
3.3.3	Řízení azimutální osy . . . . .	27
3.3.4	Zpracování signálu gyroskopů . . . . .	28
3.3.5	Výkonové buzení motoru elevační osy . . . . .	29
3.3.6	Výkonové buzení motoru azimutální osy . . . . .	31
3.3.7	Podpůrné desky konektorů . . . . .	32
3.3.8	Zapojení gyroskopů . . . . .	32
3.3.9	Propojení desek . . . . .	33
3.3.10	Současný stav a budoucí verze desek . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Softwarová část</b>	<b>37</b>
4.1	Programování mikrokontroléru LPC2119 . . . . .	37
4.2	Programy jednotlivý desek . . . . .	38
4.2.1	Spiboard . . . . .	38
4.2.2	CpuboardEL . . . . .	38
4.2.3	CpuboardAZ . . . . .	39
4.3	Program pro obvod CPLD . . . . .	39
4.4	Komunikace mezi deskami . . . . .	39
4.5	GUI pro PC . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Simulace, stabilizace</b>	<b>43</b>
5.1	Simulační model základny . . . . .	43
5.2	Naměřené průběhy . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>45</b>
6.1	Možnosti pokračování . . . . .	45
<b>Literatura</b>		<b>47</b>
<b>A</b>	<b>Řez konstrukcí základny</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Specifikace kamerového systému</b>	<b>III</b>
<b>C</b>	<b>Specifikace kluzných kroužků</b>	<b>IX</b>
<b>D</b>	<b>Specifikace Gyroskopu ADIS16255</b>	<b>XI</b>
<b>E</b>	<b>Specifikace motoru MOOG</b>	<b>XIII</b>
<b>F</b>	<b>Specifikace mikrokontroléru LPC2119</b>	<b>XV</b>
<b>G</b>	<b>Specifikace CPLD Xilinx XC9572XL</b>	<b>XIX</b>
<b>H</b>	<b>Podklady pro výrobu CpuboardEL</b>	<b>XXIII</b>

I	Podklady pro výrobu CpuboardAZ	XXVII
J	Podklady pro výrobu SPIBoard	XXXI
K	Podklady pro výrobu HmustekEL	XXXV
L	Podklady pro výrobu HmustekAZ	XXXIX
M	Podklady pro výrobu konektorových desek	XLIII
N	Obsah přiloženého CD	XLVII



# Seznam tabulek

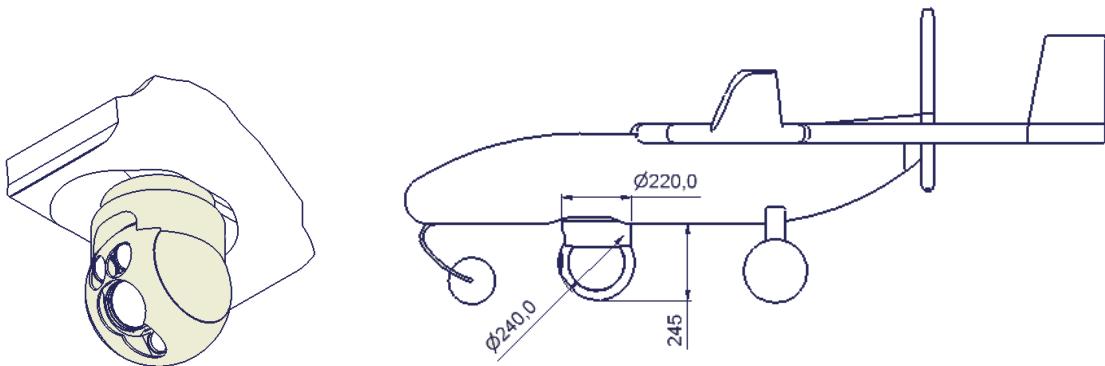
3.1	Tabulka konektorů a zapojení pinů CpüşboardEL . . . . .	26
3.2	Tabulka konektorů a zapojení pinů CpüşboardAZ . . . . .	27
3.3	Tabulka konektorů a zapojení pinů Spüşboard . . . . .	29
3.4	Tabulka konektorů a zapojení pinů HmustekEL . . . . .	30
3.5	Tabulka konektorů a zapojení pinů HmustekAZ . . . . .	31
3.6	Tabulka konektorů a zapojení pinů destičky gyroskopu . . . . .	32
3.7	Tabulka zapojení vodičů kluzných kroužků . . . . .	34
4.1	Tabulka používaných CAN zpráv . . . . .	40



# Kapitola 1

## Úvod

Pro zadavatele projektu, kterým je LOM s.p., o.z. VTÚLaPVO Praha (dále jen VTÚL - Výzkumný technický ústav letectva a protivzdušné obrany) je vyvíjena stabilizovaná základna pro kamerový systém. Jedná se o vývoj ověřovacího funkčního vzoru stabilizované základny s možností testů přímo na bezpilotním letounu. Kompletní stabilizovaná základna pak bude umístěna na bezpilotním letounu MANTA. Cílem celého systému je sledování pevného či pohyblivého cíle a přitom potlačovat pohyby letadla způsobené např. při zatáčení. Zároveň se potlačí i pohyb způsobený např. neutlumenými odezvami dynamických módů letadla. Výsledkem tedy bude nehybný obraz pořízený kamerovým systémem zaměřený na pozorovaný objekt s možností sledování např. i pohyblivého objektu.



Obrázek 1.1: Stabilizovaná základna a její umístění na letoun MANTA

### 1.1 Budoucí využití

Bezpilotní letoun MANTA vyvíjený v současnosti na VTÚLaPVO by měl být hlavním prostředkem, kde bude stabilizovaná základna použita. Tento letoun je nástupcem současného používaného typu Sojka, který je svou koncepcí zastaralý a umožňuje sběr optických in-

formací pouze z pevně umístěné kamery v trupu letounu. Použití se nabízí pro vzdušný průzkum, monitorování dělostřelecké palby, hlídkování na hranicích, pomoc při záchranných akcích aj. V současnosti se rozhoduje o možnosti využití bezpilotního systému Sojka v Integrovaném záchranném systému, při monitorování hranic a dopravy a požární ochraně. Díky relativní nezávislosti na palubních systémech letadla je možno stabilizovanou základnu umístit např. na automobil a stabilizovat tak nežádoucí pohyb způsobený nerovným povrchem vozovky.



Obrázek 1.2: Bezpilotní letouny Manta (nahoře) a Sojka

## 1.2 Zaměření práce

Práce na stabilizované základně popisovaná v této diplomové práci je zaměřena především na elektronickou část základny. Jde o návrh koncepce veškeré elektroniky a návrh všech desek plošných spojů s jejich zdokumentováním. Obsaženy jsou i kapitoly zabývající se mechanickou konstrukcí a softwarovou částí základny. Tyto kapitoly mají za úkol pouze seznámit čtenáře s východisky a principy nutnými k pochopení všech záležitostí spojených s konstrukcí elektronické části. Podrobnější popis lze nalézt v diplomové práci Martina Řezáče, jenž se také zabývá návrhem stabilizované kamerové základny a společně s touto prací tvoří kompletní dokumentaci.

# Kapitola 2

## Problematika stabilizace optické osy

V této kapitole jsou uvedeny předpoklady a cíle pro stabilizaci optické osy. Je zde pojednáno o základních druzích mechanických koncepcí stabilizovaných základen a také nadefinováno názvosloví částí základny používané dále v této diplomové práci. Na závěr je popsána zvolená a realizovaná mechanická konstrukce základny.

### 2.1 Cíle stabilizace

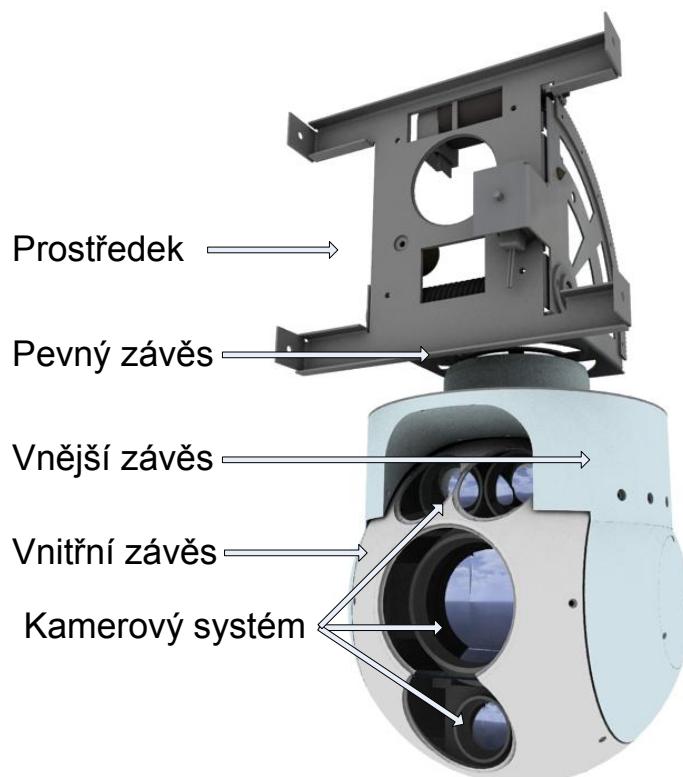
Stabilizací optické osy kamery (line-of-sight stabilization) se rozumí proces, jehož cílem je udržet obraz snímané scény v zorném úhlu kamery tak, aby se cíl v obraze nepohyboval. K zvládnutí stabilizace je tedy potřeba vykompenzovat pohyby prostředku, na kterém je systém umístěn (např. letadlo, automobil) a také kompenzovat případný pohyb cíle. Využití systému stabilizace se nabízí zejména v leteckém průmyslu pro sledování zvolených cílů z letadla na zemi, kde je stabilizace využito ke kompenzaci vlivů pohybu letadla. Využití lze nalézt i v automobilovém průmyslu pro kompenzování rychlých pohybů a rázů vznikajícím vlivem nerovného povrchu u jedoucího automobilu.

### 2.2 Názvosloví

Vzhledem k množství podobných názvů v problematice popisu stabilizované základny a jejich nejednoznačnému významu jsou v následujícím textu popsány výrazy s jejich významem, jenž jsou dále používány:

- Prostředek - Zařízení na kterém je umístěna kamerová základna (např. letadlo, automobil). kamerová základna může být k prostředku připevněna pomocí nějakého vysouvacího mechanismu
- Kamerová základna (Stabilizovaná základna) - Kompletní konstrukce s kamerovým systémem pevně umístěná na prostředku. Někdy je používáno jen "základna"

- Kamerový systém - Kamerové vybavení základny tvořící obraz, který chceme stabilizovat
- Pevná část základny (Base) - Část základny pevně spojená s prostředkem
- Vnější závěs (vnější část, vnější díl, vnější rám) - Část pohyblivá kolem azimutální osy vůči pevné části základny
- vnitřní závěs (vnitřní část, vnitřní díl, vnitřní rám) - Část pohyblivá v elevační ose vůči vnějšímu závěsu, v této části je pevně umístěn kamerový systém



Obrázek 2.1: Názvosloví částí základny

## 2.3 Principy konstrukcí

Stabilizace optické osy kamery lze dosáhnout v principu několika způsoby, které lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- Pohyblivá kamera - Kamerový systém se celý pohybuje a tím kompenzuje vnější pohyb prostředku, nevýhodou takového řešení jsou nároky na rozměry kamerového

systému a obtížnější řízení pohybu větší hmotnosti. Výhodou je snadná konstrukce a ekonomická výhodnost takového řešení.

- Pohyblivý odrazný prvek - Kamerový systém je pevně v prostředku a pohybem odrazného prvku před kamerovým systémem se směruje obraz a kompenzuje pohyb prostředku. Nevýhodou je konstrukční složitost a vysoké požadavky na konstrukci odrazného prvku. Hlavní výhodou je pevné umístění kamerového systému a tedy snadné řízení pouze pohybu odrazného prvku o nižší hmotnosti než má kamerový systém.

V této práci je pojednáno jen o řešení využívající pohyb kamerového systému. Tento systém je dále možno realizovat pomocí dvou principů z hlediska umístění kloubů základny a tedy os pro její pohyb. V úvahu připadají nejjednodušší konstrukce se dvěma stupni volnosti:

### 2.3.1 Tip-Tilt konstrukce

Konstrukce základny typu Tip-tilt umožňuje naklápnění kamery ve dvou na sebe kolmých osách vůči pevné části základny. Hlavní výhodou takového řešení je možnost sledovat kamerovým systémem přímo scénu pod sebou bez jakýchkoliv omezení. Problém nastane, je-li potřeba sledovat scénu v rovině podobné s rovinou letadla, neboli scénu před sebou či za sebou. Zde nastane problém tzv. singulárního bodu, kdy kamera bude sledovat scénu v ose shodné s osou kterou lze řídit. Tím je konstrukce připravena o jeden ze dvou stupňů volnosti a lze tedy stabilizovat jen jednu osu. Další nevýhodou je komplikovanější konstrukce kamerové základny, která se projeví mimojiné i větší celkovou hmotností.

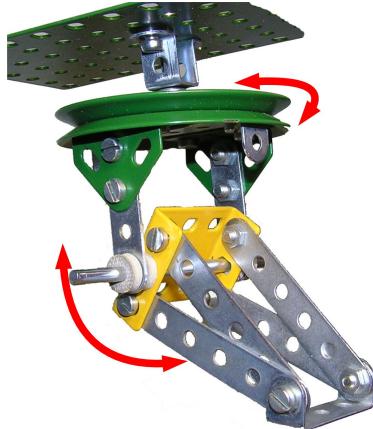


Obrázek 2.2: Model konstrukce typu tip-tilt

### 2.3.2 El-Az konstrukce

Nejrozšířenějším typem kamerové základny je konstrukce typu El-Az. Zde se kamerový systém pohybuje po dvou osách - Azimutální ose pohybem vnějšího závěsu proti pevné

části a elevační ose pohybem vnějšího závěsu vzhledem k vnitřnímu. Tento typ je velmi jednoduchý na konstrukci avšak přináší mnohá omezení, z nichž nejdůležitější je omezení vlivem singulárního bodu konstrukce v bodě, kdy se sledovaná scéna nachází přímo pod kamerovou základnou. Zde opět dochází ke ztrátě jednoho stupně volnosti a jedinou řízenou osou vzhledem k obrazu je osa, která umožňuje rotaci obrazu. Tím je stabilizace v bodě položeném přímo pod základnou znemožněna. Problém však nastane i v okolí singulárního bodu konstrukce, kdy pro pohyb obrazu o malý úsek je potřeba točit klouby ve velkých rozsazích, velkým momentem a velkou rychlostí. Problém singulárního bodu lze vyřešit např. přidáním dalšího stupně volnosti do kamerového systému v ose kolmého k elevaci. Tím se konstrukce zkomplikuje avšak přinese výhody konstrukce typu Tip-Tilt. Řešením problému singulárního bodu může být i vhodnou konstrukcí výsuvného mechanismu základny, který ba umožnil např. naklopení základny o 45deg a tím by se singulární bod posunul do jiného místa.



Obrázek 2.3: Model konstrukce typu El-Az

## 2.4 Realizovaná konstrukce

Zadavatelem byl LOM s.p., o.z. VTÚLaPVO (Dále jen VTÚL nebo zadavatel). Jím byla zvolena konstrukce typu El-Az vzhledem k jednoduchosti a rozšířenosti konstrukce. Problém singulárního bodu byl zadavatelem zanedbán. V realizované konstrukci tudíž k problému při sledování scény pod sebou dochází. Mechanická konstrukce je navržena celá od "nuly" a jediným omezením tedy byla jen mechanická velikost a hmotnost kamerového systému. Složení kamerového systému byl zadáno přímo včetně konkrétních typů. Podrobnosti o kamerách jsou uvedeny v následující kapitole pojednávající o elektronice základny.

Pro uspoření místa a řízení bez nutnosti použití převodovek bylo použito přímých momentových motorů. Konstrukce tak byla těmto motorům přizpůsobena a umožňovala tak umístit do středu motorů modul s kluznými kroužky pro provedení vodičů přes po-

## 2.4. REALIZOVANÁ KONSTRUKCE

7

hyblivý kloub. Tak bylo umožněno neomezené otáčení kamerového systému v obou osách. Požadavkem byla také možnost montáže všech později navržených desek plošných spojů do základny.



Obrázek 2.4: Realizovaná kamerová základna

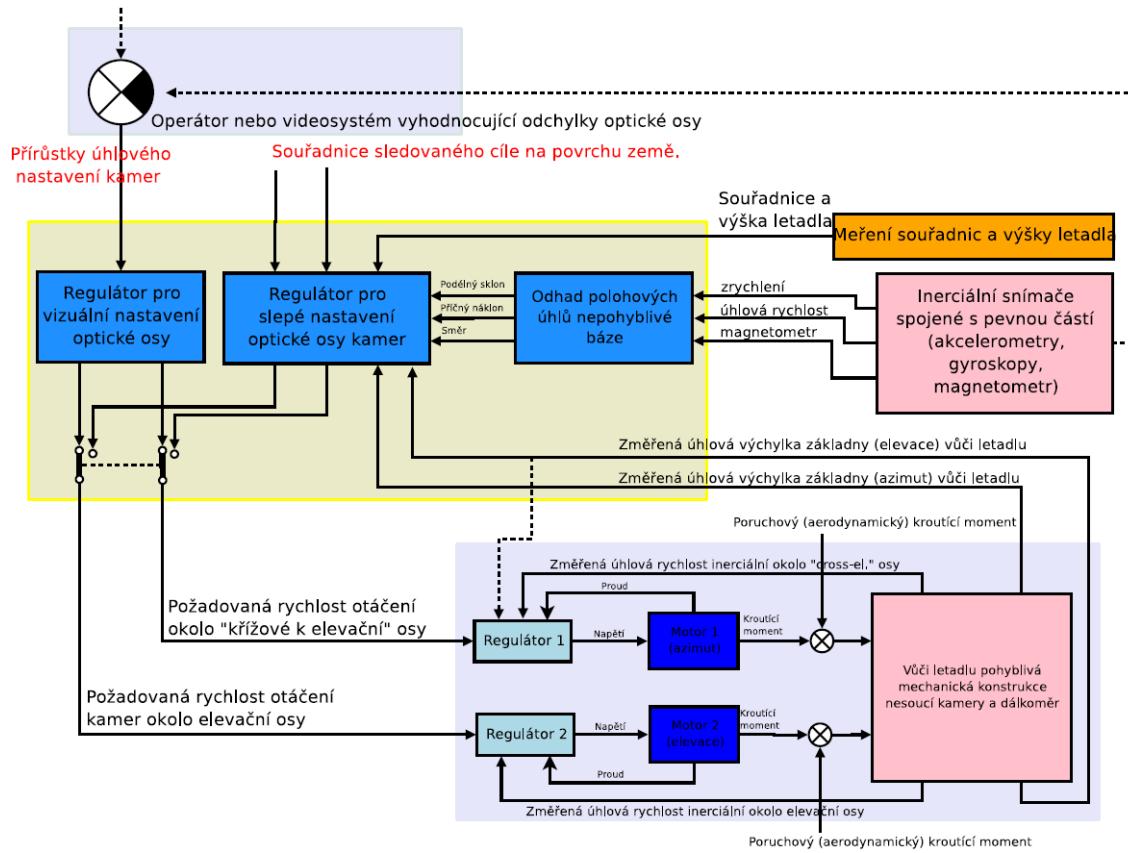
Kompletní návrh mechanického uspořádání a výroba celé konstrukce byla zadána externímu konstruktérovi Ing. Milanu Bartošovi z firmy Opten s.r.o. Byla jím navržena a vyrobena konstrukce z plastových dílů a hliníkových profilů vyhovující požadavkům. Konstrukce obsahuje dostatečný prostor v horní části pro desky plošných spojů tvaru poloviny mezikruží. Desky je možno připevnit buď na vrchní část prostoru k pevné části a nebo do spodní části prostoru a připevnit je tak k vnějšímu závěsu. Desky se tak budou proti sobě otáčet v azimutálním kloubu základny. Veškeré vedení mezi těmito rovinami desek je nutno uskutečnit přes kluzné kroužky v azimutální ose. Technický výkres řezu základny je uveden v příloze A.



Obrázek 2.5: Detail místa pro umístění PCB (Desky jsou nahrazeny papírovými díly)

## 2.5 Blokové schéma činnosti základny

Na obrázku 2.6 je znázorněno blokové schéma činnosti základny. Základem je rychlostní zpětná vazba (světlemodrý obdélník) složená ze senzorů úhlových rychlostí elevace a křížové elevace (cross-elevace) a regulátorů. Vstupem jsou požadované úhlové rychlosti z nadřazeného regulátoru polohy. Přepínač naznačený ve schématu představuje možnost přepínání mezi dvěma režimy základny. Prvním je vizuální zpětná vazba. Zde je vstupem signál ze systému pro zpracování obrazu, jenž přeypočítává pohyb obrazu v pixelech na požadovanou polohu základny. Druhým režimem je tzv. slepé směrování (blind pointing). Operátor zadá souřadnice cíle na zemi a regulátor vypočte ze znalosti své polohy, stavu inerciální jednotky a úhlu natočení jednotlivých kloubů požadované vstupy do regulátoru rychlosti. Navrhovaná elektronika v další kapitole zahrnuje systémy pouze elektronicky nejkomplikovanější části, kterou je rychlostní zpětná vazba. Ostatní pod-systémy lze realizovat buď pouhou změnou programů desek rychlostních regulátorů a nebo naprogramováním dedikovaného hardwaru představovaný dalším mikrokontrolérem nebo počítačem.



Obrázek 2.6: Blokové schéma činnosti základny (Z diplomové práce Martina Řezáče)

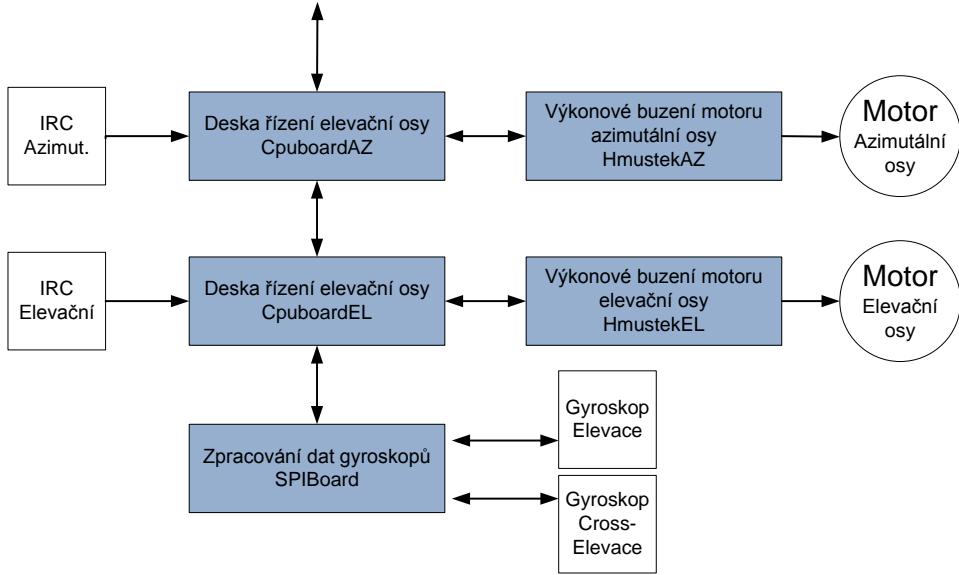
# Kapitola 3

## Elektronika

Tato kapitola se zaměřuje na důkladný popis veškeré elektroniky obsažené v kamerové platformě. Obsahuje podrobnosti o použitých elektronických součástech, senzorech, akčních členech a návrhu všech desek plošných spojů. Pojednání v této kapitole jsou zároveň hlavní částí této diplomové práce.

### 3.1 Koncepce elektroniky

Návrh elektroniky základny je největší měrou podřízen omezením způsobenými zvolenou mechanickou konstrukcí základny. Důležitým omezením je i požadavek neomezeného otáčení základny kolem svých dvou řízených os. Toto je vyřešeno použitím kluzných kroužků pro převedení všech elektrických signálů, které osami musí nutně procházet. Z toho plyne omezení počtu elektrických signálů mezi jednotlivými osami. Zároveň je potřeba brát ohled na maximální proudové zatížení jednotlivých vodičů kluzných kroužků a také faktor rušení mezi jednotlivými vodiči. Kvůli těmto omezením byla elektronika rozdělena do třech hlavních logických částí. V rámci jedné části není potřeba vést signály skrze kluzné kroužky a všechny digitální signály nutné pro komunikaci mezi moduly jsou převedeny na sběrnici CAN (Detaily popsány v dalších částech textu) pro úsporu vodičů a snadnou komunikaci mezi více než dvěma deskami. Analogové signály z kamer a dálkoměru kamery jsou bez ovlivnění další elektronikou přímo převedeny přes kluzné kroužky ven z kamerové základny.



Obrázek 3.1: Blokové schéma všech PCB a jejich propojení

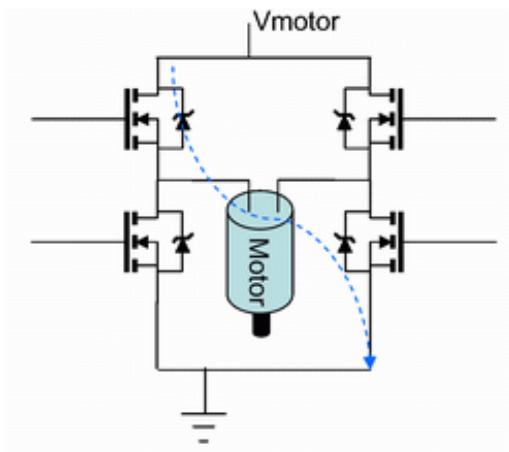
### 3.1.1 Gyroskopické senzory

Vstupem pro stabilizaci je měření úhlových rychlostí v rovině obrazu. Toto jsou základní vstupy pro realizaci regulační smyčky. Měří se elevační a cross-elevační úhlová rychlosť pomocí elektronických jednoosých gyroskopů založených na MEMS principu (Mikromechanické senzory). Gyroskopy jsou umístěny ve vnitřní části základny, kde měří přímo požadované veličiny. Podrobnější popis možností stabilizace a umístění senzorů je uveden v předchozích kapitolách.

### 3.1.2 Způsob řízení motorů

Každá z řízených os základny je vybavena vlastním motorem, který je řízen pomocí pulsně šířkové modulace (PWM). Použity jsou stejnosměrné komutátorové momentové motory podrobněji popsáne v další části této kapitoly.

Řízení motorů PWM signálem je nejvhodnější způsob řízení motorů. Využívá se zde generování obdélníkového signálu s plynule proměnnou střídou. Tím se velmi jednoduchým způsobem vytvoří signál s požadovanou střední hodnotou. Takto vytvořený signál je pak možno přivést na motor přímo a nebo jím spínat prvky v obvodu tzv. H-můstku a tím mít možnost dvěma signály PWM plynule řídit otáčení motoru na obě strany. Otáčky stejnosměrného komutátorového motoru jsou řízeny přímo střední hodnotou napětí a tak je s výhodou použito plného zapojení h-můstku.



Obrázek 3.2: Zapojení plného h-můstku (modře je naznačen směr proudu při otáčení jedním směrem)

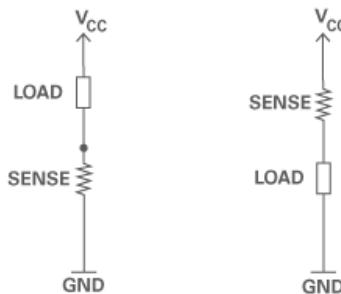
Podrobnější informace o možnostech zapojení motoru a jeho řízení H-můstkem je uvedeno v mnoha publikacích zabývajících se přímo řízením motorů.

### 3.1.3 Měření proudu motory

Pro zabezpečení nepřekročení maximálního dovoleného proudu protékajícího motorem a k předejití poškození motoru vlivem tepelného přetížení způsobeného nadměrným proudem je nutné zajistit zpětnou vazbu od motoru. Toho je docíleno právě měřením proudu motorem protékajícího.

Při řízení motoru pomocí PWM signálu je možno využít několika principů měření proudu. Každý z nich má své výhody a nevýhody a je určen pro různé použití. Měření proudu lze nejjednodušší cestou provádět přes měření úbytku napětí na snímacím odporu umístěném v budícím obvodu motoru. Při návrhu snímacího odporu však musíme brát v úvahu ztrátu části výkonu přiváděného na motor právě na tomto snímacím odporu. Problémem je způsob měření úbytku napětí na snímacím odporu obvykle prováděném pomocí měření napětí diferenčním zesilovačem.

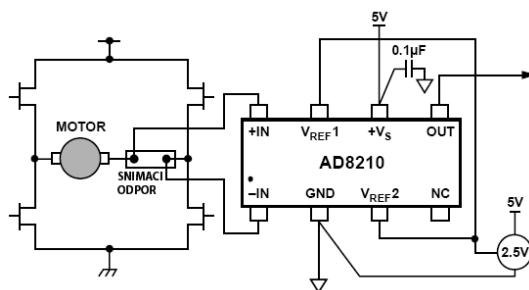
Obecně lze měření proudu rozdělit podle umístění snímacího odporu na high-side a low-side:



Obrázek 3.3: Zapojení snímacího odporu při Low-side (vlevo) a High-side měření proudu. Sense - Snímací odpor, Load - Motor

Low-side princip měření proudu přináší několik výhod, které jsou vyváženy svými nevýhodami. Hlavní výhodou tohoto zapojení je jednoduchost zpracování měřeného napětí ze snímacího odporu, protože napětí je měřeno přímo proti nulovému potenciálu. Nevýhodou tohoto zapojení je možný problém s rušením, jelikož motor nebude dodávat výkon proti nulovému potenciálu, ale proti úbytku napětí na snímacím odporu. Další nevýhodou je nemožnost takovéto řešení použít vždy z konstrukčních omezení motoru - např. nulová svorka motoru je spojena s jeho kostrou. Druhým způsobem zapojení měření proudu je tzv. "high-side" měření proudu, které eliminuje nevýhody předešlého řešení. Toto zapojení přináší výhodu v podobě zmenšení rušení, neboť motor již pracuje přímo proti nulovému potenciálu. Avšak přináší problém v podobě komplikovanějšího zpracování napětí ze snímacího odporu, kde je nutno použít specializovaného obvodu diferenciálního zesilovače.

Při měření proudu v plném H-můstku je potřeba mít informaci o směru otáčení motoru, neboť plný H-můstek umožnuje řízení otáčení motoru oběma směry. K měření proudu v obou směrech je potřeba také vhodně umístit snímací odpor do zapojení H-můstku.



Obrázek 3.4: Katalogové zapojení obvodu pro měření proudu

Jedná se tedy o jistou modifikaci high-side metody měření proudu, která přináší zároveň informaci o směru proudu protékajícího motorem a zároveň dochází k měření proudu indukovaného motorem do smyček H-můstku při otáčení rotoru vnější silou.

### 3.1.4 Způsob komunikace

Pro komunikaci mezi jednotlivými moduly je použito několik druhů sběrnic. Bližší popis způsobu komunikace je uveden v kapitole pojednávající o softwarové části.

- Sběrnice RS232 - Klasická sériová linka pro řídicí signály kamer a dálkoměru. Dále je používána pro programování procesorů a ladění. Řídicí signály kamer jsou však ihned ve středu základny převedeny na sběrnici CAN. Využívá tří vodičů pro propojení způsobem point-to-point.
- Sběrnice CAN - Klasická průmyslová sběrnice použitá pro veškerou komunikaci mezi jednotlivými řídicími deskami modulů základny a ke komunikaci s vnějším okolím a operátorem. Pro komunikaci je využito dvou vodičů a zařízení jsou připojena do sběrnicové topologie.
- Sběrnice SPI - Plně duplexní sériová sběrnice se systémem master/slave použitá pro komunikaci řídicích desek s gyroskopy. Využívá čtyř signálových vodičů ke komunikaci se zařízeními, kde každé připojené zařízení na sběrnici má jeden svůj řídicí signál.

## 3.2 Použitý hardware

Některé součásti základny popsané v této sekci byly určeny přímo zadavatelem. Výběr jiných součástí byl velmi omezen mechanickým uspořádáním základny a úzkou nabídkou dostupných typů. Velká volnost při výběru byla v návrhu elektronických součástek, kde byl při výběru kladen důraz na snadnost použití a zkušenosti kolegů.

### 3.2.1 Použité kamery

Kamerový systém tvoří samotnou podstatu základny, z jeho vlastností se odvíjí mimo jiné i parametry konstrukce základny. Kamerové vybavení však bylo pevně určeno zadavatelem:

- RGB Kamera - SONY FCB-IX - Analogový kompozitní výstup obrazu, řízení pomocí RS232
- IR kamera - Miricle 110K - Analogový výstup obrazu, řízení pomocí RS232
- Laserový dálkoměr - Vectronix LRF42 - Veškerá komunikace přes RS232

Technické specifikace kamerového systému jsou k dispozici na přiloženém CD a jejich hlavní části jsou uvedeny v příloze B.



Obrázek 3.5: RGB kamera, IR kamera (s odlišnou optikou), laserový dálkoměr

### 3.2.2 Kluzné kroužky

Vzhledem k faktu, že požadovanou vlastností základny bylo neomezené otáčení rotačních částí základny kolem svých os, bylo zvoleno použití kluzných kroužků pro převedení všech elektrických signálů. V základně je použitý shodný typ v obou osách. Jedná se o kvalitní produkt firmy MOOG jehož hlavními parametry jsou:

- Počet vodičů: 24
- Proudová zatížitelnost: 2A
- Izolační odpor:  $1000M\Omega$  při 500VDC
- Průchozí odpor: max.  $60m\Omega$



Obrázek 3.6: Kluzné kroužky MOOG

Vzhledem k použití kluzných kroužků došlo samozřejmě i k adekvátní změně požadavků na použité motory popsané dále v textu. Podrobnější technická specifikace kluzných kroužků je uvedena v příloze C.

### 3.2.3 Použité senzory

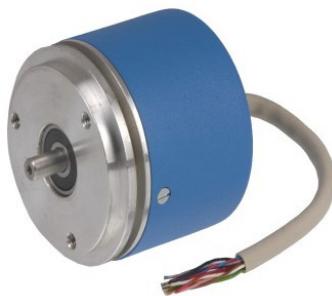
Množinu senzorů použitých v základně (vyjma kamerového vybavení) tvoří měřiče neelektrických a elektrických veličin:

#### 3.2.3.1 IRC čidlo

Slouží k určení absolutní polohy natočení os základny tj. polohy rotoru motoru vůči statoru. Jedná se o klasický inkrementální snímač s výstupy A, B, C v úrovních diferenciální linky RS422. Dodavatelem obou shodných inkrementálních senzorů je společnost ESSA Praha.

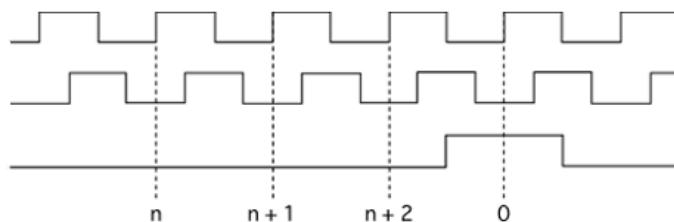
Hlavní parametry snímače:

- Počet impulsů: 50 000 imp/ot
- Výstup: RS422
- Napájení: 5V
- Max. rychlosť otáčení: 10 000 ot/min
- Max. výstupná frekvencia pulsů: 300 kHz



Obrázek 3.7: Inkrementální čidlo ESSA

Výstup snímače tvoří dva signály vůči sobě posunutých obdélníkových pulsů (A,B) a jeden signál (C) označující jedním pulsem za jednu otáčku referenční polohu senzoru. Výslednou hodnotu natočení hřídele lze pak určit počtem pulsů od referenční polohy, směr otáčení pak pomocí vyhodnocení posunu signálů A a B. Senzor pracuje na optoelektronickém principu.



Obrázek 3.8: Signály A, B, C IRC čidla

### 3.2.3.2 Gyroskop

K měření úhlové rychlosti otáčení kamerového systému vzhledem k zemi v elevační a cross-elevační ose obrazu je použito dvou jednoosých gyroskopických senzorů. Použity jsou relativně snadno dostupné senzory od firmy Analog Devices s typovým označením ADIS16255. Senzory jsou založeny na mikromechanickém principu (MEMS).

Hlavní parametry gyroskopů:

- Rozsah měření: Nastavitelný  $\pm 80\text{st./s}$  -  $\pm 320\text{st./s}$
- Rozlišení: 14 bitů
- Rychlosť aktualizace: 255 vzorků/s
- Výstup: Digitální s rozhraním SPI
- Další funkce: Teplotně kompenzovaný výstup, nastavitelný číslicový filtr

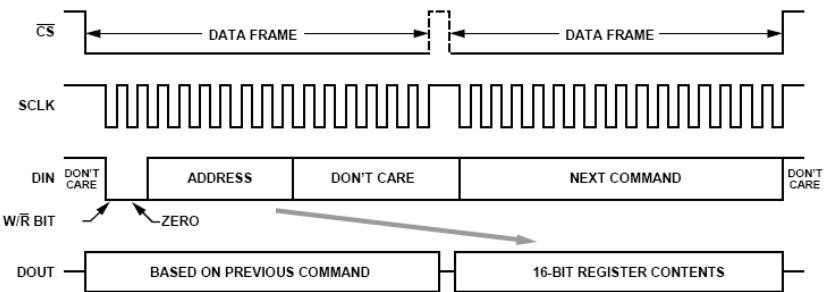


Obrázek 3.9: Vývojová destička s gyroskopem od Analog Devices

Komunikace s gyroskopem probíhá přes rozhraní SPI, což je synchronní duplexní sériové rozhraní řízená systémem master/slave. Pro komunikaci se používá 4 vodičů:

- SCK - Hodinový signál vysílaný zařízením master
- MISO - Datový signál směrující k zařízení master
- MOSI - Datový signál k zařízení slave
- CS - Výběrový signál pro zařízení slave (Chip select)

Pokud tedy master chce komunikovat se zařízením slave, master pomocí CS signálu vybere zvolené zařízení. Poté začne vysílat hodinový synchronizační signál a během něj současně vysílá svůj požadavek v daném formátu (např. adresa a následně data) a zařízení slave zároveň s vysíláním mastera odpovídá na předchozí požadavek. Pro komunikaci s gyroskopem se používá 16-bitových rámců, přičemž gyroskop je zařízení typu slave. Průběh komunikace je naznačen na obrázku 3.10.



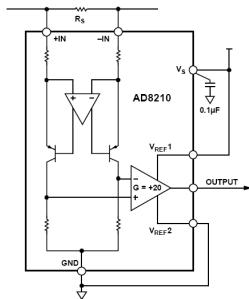
Obrázek 3.10: Průběh komunikace po SPI (Výřez z datasheetu od Analog Devices)

Podrobnější specifikace oregistrech gyroskopu a dalších parametrech je uveden ve výňatku z datasheetu gyroskopu uvedeném v příloze D a kompletní datasheet je uveden na přiloženém CD.

### 3.2.3.3 Měřič proudu

Pro měření proudu byl po několika neúspěšných pokusech s různými jinými metodami zvolena metoda high-side měření proudu přímo na přívodu k motoru na výstupu h-můstku. Tento způsob měření se po testování jeví jako nejvhodnější. Umožnuje měřit přímo směr otáčení motoru změnou polarity napětí na snímacím odporu a také v tomto zapojení měří i proud indukovaný motorem do větví h-můstku při otáčení rotoru vnější silou.

Je použitý specializovaný integrovaný obvod od Analog Devices určený pro toto měření proudu s označením AD8210. Jedná se diferenciální zesilovač s měřením v obou polaritách napětí s výstupem 0-5V, kde nulové hodnotě proudu představovaného úbytkem napětí na snímacím odporu odpovídá středu výstupního napětí tj. 2,5V.



Obrázek 3.11: Blokové schéma zapojení měřiče proudu (Výřez z datasheetu od Analog Devices)

### 3.2.4 Použité motory

Řízenými prvky základny jsou dva motory umístěné každý v jedné z řízených os - elevační a azimutální. Pro výběr motorů byly kladeny velké požadavky a proto se výběr použitelných motorů zredukoval na minimální počet a zároveň nastaly problémy s možností dodání takového motoru splňující naše požadavky. Hlavním požadavkem byl pohon bez použití převodovky z důvodu komplikovaného řízení vlivem vlivu převodovky a také z důvodu prostorové náročnosti a hmotnosti. Z toho vyplývá nutnost použití přímého momentového motoru. Dalším požadavkem bylo snadné řízení takového motoru, čemuž nejlépe vyhovuje stejnosměrný komutátorový motor. Posledním neméně důležitým faktorem ve výběru motoru bylo napájecí napětí motoru 24V.

Přímý momentový motor přináší v aplikaci stabilizované základny jednu zcela zásadní výhodu. Vzhledem k absenci převodovky nedochází teoreticky k žádnému tření a řízený kloub se tak může volně otáčet. S přispěním vlastní hmotnosti kamerového systému a při zajištění dobrého vyvážení rotační části tak základna díky své mechanické dynamice a jí způsobenou setrvačností již z principu stabilizuje rychlé pohyby prostředku, což je velmi žádoucí a vítané. Použitím převodovek by se tato vlastnost ztratila a tyto drobné pohyby by se musely kompenzovat rychlými pohyby motoru.

Nad výběrem dodavatele motorů bylo stráveno mnoho času než se dospělo k americké firmě MOOG Components Group se zastoupením v Německu, která byla schopna dodat motory požadovaných parametrů i pouze v kusovém množství. Zvoleným typem motoru je typ stejnosměrného komutátorového přímého momentového motoru D-2910-G jehož hlavní parametry jsou:

- Napájecí napětí: 26 V
- Proud při maximálním momentu: 1,44 A
- Špičkový moment: 0,42 Nm
- Počet pólů: 10

Popis všech parametrů a technický nákres motoru přímo od výrobce je uveden v příloze E.



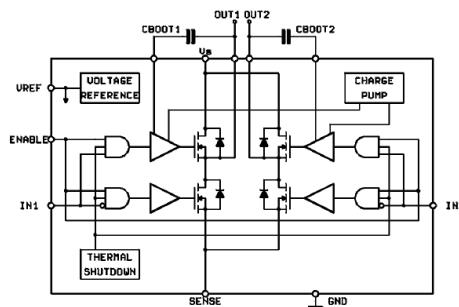
Obrázek 3.12: Přímý momentový motor - Ilustrační obrázek

### 3.2.5 H-můstek

K řízení stejnosměrného motoru pomocí PWM signálu, jehož princip je uveden na začátku této kapitoly je použito klasické zapojení plného h-můstku. S výhodou je zde využito integrovaného řešení v obvodu L6201PS. Obvod byl vybrán na základě doporučení a zkušeností s tímto obvodem. Obvod L6201PS disponuje těmito hlavními parametry:

- Napájecí napětí: max. 48 V
- Střední hodnota spínaného proudu: max. 4 A
- Max. spínací frekvence: 100kHz
- Odpor při sepnutém stavu:  $0,3\Omega$
- Ochrana proti přehřátí, ochrana proti současnemu sepnutí obou větví můstku.

Blokové schéma společně uvedené v obrázku 3.13 samozřejmě odpovídá zapojení plného h-můstku rozšířeného o kontrolní elektroniku spínání a ochrany obvodu.



Obrázek 3.13: Blokové zapojení h-můstku (Výřez z datasheetu obvodu L6201PS)

V návrhu desky je nutné počítat s výraznou výkonovou ztrátou na spínacích prvcích obvodu a tedy je potřeba zajistit dostatečné odvedení vzniklého tepla. Zároveň je potřeba brát v úvahu riziko rušení výkonovou částí můstku a obvod s h-můstkem proto umístit co nejblíže vývodům motoru. Toto bylo respektováno a výkonové buzení motorů je vytvořeno

na samostatných deskách. Konstrukce základny pak umožňuje tyto desky umístit co nejbliže motorům.

### 3.2.6 Použitý procesor

Každou z řízených os řídí samostatná deska vybavená procesorem. Výběr použitého mikroprocesoru probíhal s ohledem na požadované parametry řídicího systému jedné osy:

- Výpočetní výkon dostatečný pro zpracování regulační smyčky s 250 kroky/s dánou rychlosťí gyroskopu.
- Komunikace po sběrnici CAN
- Rozhraní SPI pro komunikaci s gyroskopem
- Generování PWM signálů pro řízení motorů
- Analogově-digitální převodník pro měření proudu
- Schopnost přímo zpracovat signály z IRC čidla
- Dostupné a prakticky ověřené vývojové nástroje
- Ekonomická a fyzická dostupnost

Po pročtení mnoha dokumentací a konzultacích s kolegy, kteří mají s použitelnými procesory zkušenosti, bylo vybráno řešení od společnosti Philips. Při výběru byla také brány v potaz priority důležitosti jednotlivých parametrů. Nejvyšší prioritu měli požadované sběrnice, vyšší prioritu požadavek na dostupnost a praktické zkušenosti s programováním. Nižší prioritu požadavky, které bylo možno splnit např. pomocí dalších obvodů a které velmi omezovaly množinu použitelných procesorů. Vybraným prvkem je mikrokontrolér řady ARM7 s označením LPC2119 od společnosti Philips (NXP). Tento mikrokontrolér vyhovoval téměř všemi námi požadovanými parametry. Bylo možné použít i procesory s vestavěným obvodem pro zpracování signálu z IRC čidel např. od firmy Freescale, avšak pro použití procesoru LPC2119 hovorily zkušenosti s programováním těchto procesorů a snadnost a otevřenosť vývojových prostředků. Také bylo možné využít řešení společnosti Atmel a jejich procesorů řady ARM, avšak jejich vyšší výkon a cena dostatečně nevyvažovaly nevýhody v podobě uzavřeného vývojového prostředí a prakticky nulové zkušenosti s jejich programováním. Co se týče zkušeností s procesory LPC2119, nám byly velkou pomocí zkušenosti autora projektu kráčejícího robota Spejbl, kde byly s výhodou použity právě procesory LPC2119 pro řízení motorů kloubů robota. Pro naši aplikaci však procesor LPC2119 neumožňuje přímé zpracování signálů z IRC senzorů a tak bylo nutné využít jiného externího obvodu.

Nejdůležitější parametry mikrokontroléru LPC2119:

- Pracovní kmitočet: 60MHz
- Architektura: ARM7

- Rozhraní: UART, CAN, SPI, JTAG
- I/O zařízení: PWM výstup, AD převodník, IO piny

Podrobnější specifikace procesoru jsou uvedeny ve výňatku z datasheetu v příloze F. Kompletní datasheet je uveden na přiloženém CD.

### 3.2.7 Použité CPLD

Vzhledem k nutnosti zpracovat signály IRC čidla s velkým počtem pulsů na jednu otáčku, je použito programovatelného obvodu CPLD Xilinx. Byla realizována i samostatná vývojová deska plošných spojů. Také bylo otestováno zpracování signálů IRC čidel pomocí diskrétních logických obvodů v podobě komparátorů a čítačů, avšak díky absolutní nepružnosti takového "hardwarevého" řešení a problémům s realizací řešení některých situací se toto řešení prokázalo jako naprostě nevhodné a přistoupilo se k použití dražšího, avšak univerzálního řešení ve formě obvodu CPLD Xilinx XC9572XL. Obvod disponuje těmito hlavními parametry:

- Maximální frekvence: 178MHz
- Počet makrobuněk (macrocells): 72
- Počet hradel: 1600
- Rozhraní: JTAG pro programování

Podrobnější specifikace obvodu CPLD je uvedena ve výňatku z datasheetu v příloze G. Kompletní datasheet je součástí přiloženého CD.

## 3.3 Realizace

Návrh schémat a obrazců desek plošných spojů byl pro všechny desky prováděn v návrhovém systému Eagle v4.16. Program Eagle vyhovoval svou nabídkou dostatku funkcí, širokou nabídkou dostupných knihoven součástek a jednoduchostí použití. Pokud není uvedeno jinak, jsou všechny desky navrhovány a následně vyráběny v 6. konstrukční trídě jako dvoustranný plošný spoj. Veškerá výroba desek byla svěřena společnosti Pragoboard, následné osazení a oživení bylo provedeno vlastními silami. Desky byly vyrobeny s následujícími parametry:

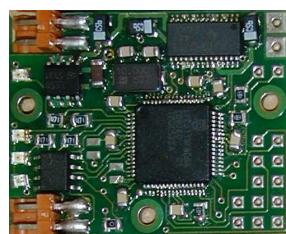
- Tloušťka základního materiálu 1,5mm
- Tloušťka měděných vodivých vrstev  $35\mu\text{m}$
- Frézování obrysu

- Nepájivá maska
- Cínování pájecích plošek (HAL)
- Servisní potisk

Případné odlišnosti od těchto parametrů jsou uvedeny v popisu jednotlivých desek. Podklady z programu Eagle pro výrobu všech dále popsaných desek jsou umístěny v elektronické podobě na CD, které je přílohou této diplomové práce. Schémata všech navrhovaných desek společně s výkresy plošných spojů jsou uvedeny v přílohách.

### 3.3.1 Návrh prvních desek PCB

Základním stavebním prvkem celé elektroniky je deska mikrokontroléru pro řízení jedné osy, jejíž realizace je popsaná následujícími řádky. Návrh schématu zapojení vychází ze zapojení desky Spejblarm použité v projektu krácející robot Spejbl jeho autorem je Marek Peca. Převzato je zapojení základních funkcí procesoru tj. napájení procesoru obvodem TPS73HD318, obvod pro resetování, programovací rozhraní přes UART a budič sběrnice CAN.

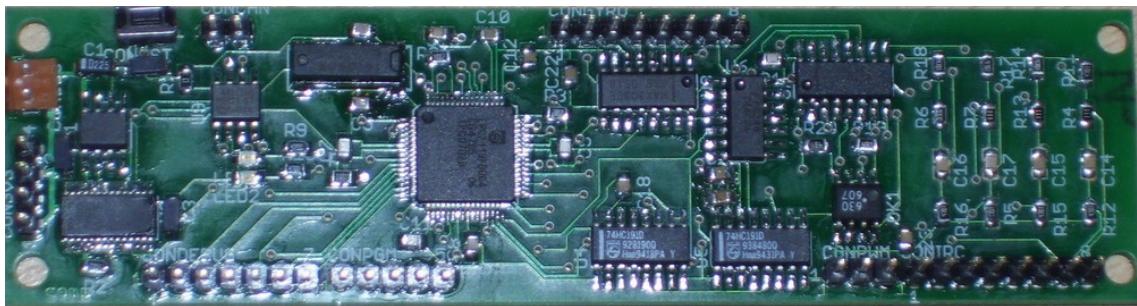


Obrázek 3.14: Osazená deska Spejblarm

Než se dospělo k návrhu desky řízení elevační osy, byly vytvořeny ještě dvě desky Cpu-board a Cpuboard2, které jí předcházely. Cílem těchto předchozích desek nebylo finální umístění do základny se všemi funkcemi ale spíše sloužily k seznámení se s navrhovanými principy řízení a zpracování signálu v celém systému jedné osy. Podrobnější informace o všech prvcích bude uvedeno jen u finální varianty desky umístěné v základně.

#### 3.3.1.1 Deska Cpu-board

Účelem návrhu první desky bylo především otestování možností procesoru LPC2119, obvodu pro zpracování signálu IRC čidel realizovaného pomocí diskrétních logických obvodů, rozhraní SPI pro komunikaci s gyroskopem a výstupu PWM signálu odděleného optočleny. Návrh desky byl zároveň dobrou zkouškou vhodnosti využití návrhového systému Eagle pro návrh dalších desek.



Obrázek 3.15: Osazená deska Cupboard

První deska velmi dobře splnila svůj úkol a přinesla informace o nutných změnách pro návrh další procesorové desky:

- Zpracování signálu IRC čidla pomocí diskrétních logických obvodů je nevhodné, nepružné a dochází k chybám při zpracování.
- Rozhraní SPI pro komunikaci s gyroskopem není nutno převádět na diferenciální linku a místo toho je potřeba využít převodníku napětí logických úrovní mezi gyroskopem a procesorem.
- Zapojení základních prvků procesoru tvořených napájením, blokovacími kondenzátory, resetem a krystalem je plně funkční a vyhovující.

Tato první deska také umožňovala realizovat regulační zpětnou vazbu a řídit tak testovací stejnosměrný motorek se vstupem z gyroskopu připevněného na hřídeli motoru.

### 3.3.1.2 Vývojová deska CPLD

Jelikož se zpracování signálu pomocí diskrétních logických obvodů projevilo jako naprostě nevhodné, bylo rozhodnuto použít obvod CPLD naprogramovaný pro zpracování právě signálu z IRC čidla. Pro vývoj a testování tohoto řešení byla navržena a realizována vývojová deska s CPLD obvodem Xilinx XC9572XL. Deska byla navržena s ohledem na všeobecnost použití a možnost testovat různé programy pro obvody CPLD, nejen pro zpracování signálu IRC čidla. Deska tedy obsahuje následující prvky:

- Obvod Xilinx XC9572XL s programovacím konektorem JTAG pro přímé připojení JTAG adaptéru od společnosti PK-Design.
- Taktování pomocí odpojitelného oscilátoru 10MHz
- Zobrazení logických úrovní na LED sloupcí: 10x
- Vstup logických signálů přes tlačítko: 4x
- Vstup logických signálů přes DIP přepínače: 8x
- Napájení: 3,3V a 5V dostupné na konektoru



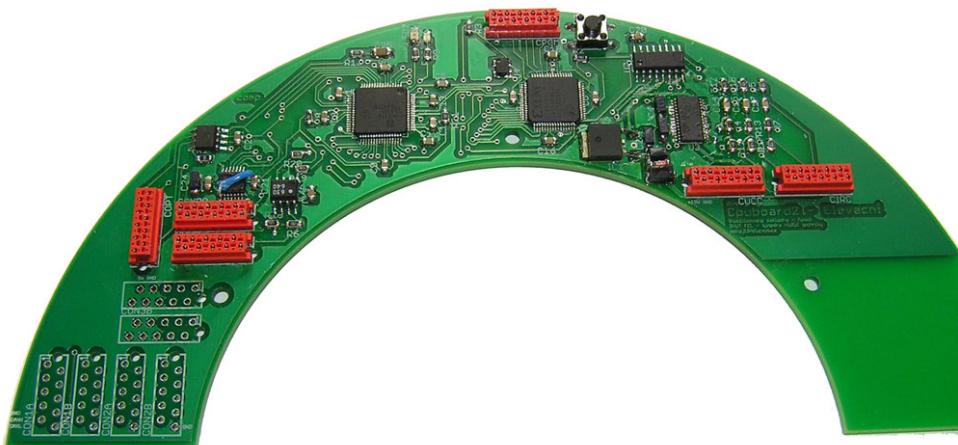
Obrázek 3.16: Osazená vývojová deska CPLD

Vyrobená vývojová deska tak nebyla využita jen pro účely testování programu pro IRC čidlo, ale může najít uplatnění pro testování různých dalších programů našich kolegů a studentů používajících tentýž obvod CPLD.

### 3.3.1.3 Deska Cpuboard2

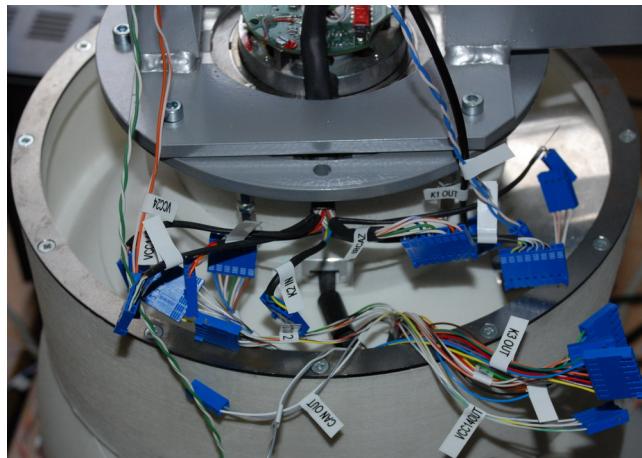
Další verzí řídicí desky Cpuboard je deska označená jako Cpuboard2. Oproti svému předchůdci je již ve tvaru daného konstruktérem pro přímé umístění do základny. Obsahuje také mnoho nových prvků k otestování:

- Obvod CPLD s programem pro vyhodnocení signálu z IRC čidla
  - Převodník úrovní 3V/5V pro připojení gyroskopu
  - Taktování obvodů pomocí oscilátoru namísto krystalu
  - Nový druh konektorů pro připojení všech vnějších elektrických signálů
  - Stabilizátor napájecího napětí 5V s větším proudovou zatížitelností
  - Vstup pro analogový signál pro AD převodník



Obrázek 3.17: Osazená deska Cpuboard2

Tato deska se svým návrhem již velmi přibližovala finální variantě. Byly úspěšně ověřeny funkce zpracování signálů z IRC čidla pomocí CPLD obvodu a také způsob připojení gyroskopu přes převodníky napětí logických úrovní. Obě tyto funkce byly shledány funkčními a jsou použity ve finální verzi desky. Nový typ konektorů použitých na této desce se však neosvědčil. Jednalo se o 10-pinové konektory typu Micromatch s roztečí pinů 1,27mm, které se jevily jako vhodné především díky své malé velikosti. Konektory však neměli pozlacené kontakty a tak docházelo často ke ztrátám propojení. Také byla nedostatečná jejich mechanická odolnost. Ve finální verzi desky tak byly konektory nahrazeny konektory typu Dubox se standardní roztečí pinů 2,54mm. Konektor micromatch však zůstal především z prostorových důvodů pro připojení adaptéru k programování mikrokontroléru a obvodu CPLD. Jelikož tento konektor se používá jen při programování, neprojeví se tolik jeho nedostatky. Deska Cpboard2 tak byla první verzí desky, kterou bylo možné namontovat do vnějšího závěsu základny a provést první pokusy s reálným řízením elevační osy základny.



Obrázek 3.18: Konektory Dubox s popisky na vodičích v základně

### 3.3.2 Řízení elevační osy

Vývojem výše uvedených desek se postupně došlo až k finální desce řízení elevační osy základny. Deska se od předešlé desky lišila zejména v osazení jiných konektorů pro všechny elektrické signály a změnou umístění některých součástek pro lepší rozvržení pozic konektorů. Deska tedy obsahuje níže popsané součásti, jejichž technické specifikace (datasheet) jsou přiloženy v elektronické formě na CD.

- Philips LPC2119 - 32-bitový mikrokontrolér řady ARM7 zajišťující celé řízení a realizující regulátor. Generuje PWM signál oddělený optočleny HCPL0603. Dále obsahuje rozhraní CAN, jehož výstup je osazen budičem sběrnice CAN 82C250. Programování probíhá přes sériové rozhraní RS232, časování pomocí krystalového oscilátoru 10MHz.

- Xilinx XC9572XL - CPLD obvod pro zpracování signálu IRC čidla, jeho vstupem jsou signály IRC čidla a výstupem paralelní rozhraní přímo propojené s procesorem umožňující vyčtení přímé hodnoty počtu pulsů IRC čidla společně s možností vyčítání chyby v počtu pulsů. Podrobnosti o programu jsou uvedeny v kapitole o softwarové části.
- Obvody 78M05, TPS73HD318 - Stabilizátory zajišťující napájení všech obvodů desky. Výstupem jsou napětí 5V z obvodu 78M05, dále napětí 3,3V a 1,8V z obvodu TPS73HD318.
- MAX3096 - Přijímač diferenciální linky pro převod výstupních signálů IRC čidla, jež jsou ve tvaru diferenciální linky, na logické úrovni 0-3,3V.
- OPA340 - Operační zesilovač v zapojení sledovače signálu pro zpracování vstupního napětí do AD převodníku, obvodu předchází dělič napětí pro zmenšení rozsahu vstupního napětí z 0-5V na 0-3,3V.
- SG-8002LA - Jednorázově nastavitelný krystalový oscilátor 10MHz pro taktování mikrokontroléru a obvodu CPLD.

Deska dále obsahuje tlačítko pro reset procesoru a sadu čtyř LED diod např. pro signalizaci stavů procesoru. Deska umožňuje být napájena stejnosměrným napětím o velikosti 8-12V. Deska obsahuje ochranu pomocí diody proti přepólování napájecího napětí a ochranu Zenerovou diodou proti překročení maximálního povoleného napájecího napětí. Deska je osazena tak, že konektory má vyvedeny na straně spojů.

Deska obsahuje mnoho konektorů s následujícími významy a zapojením jednotlivých pinů:

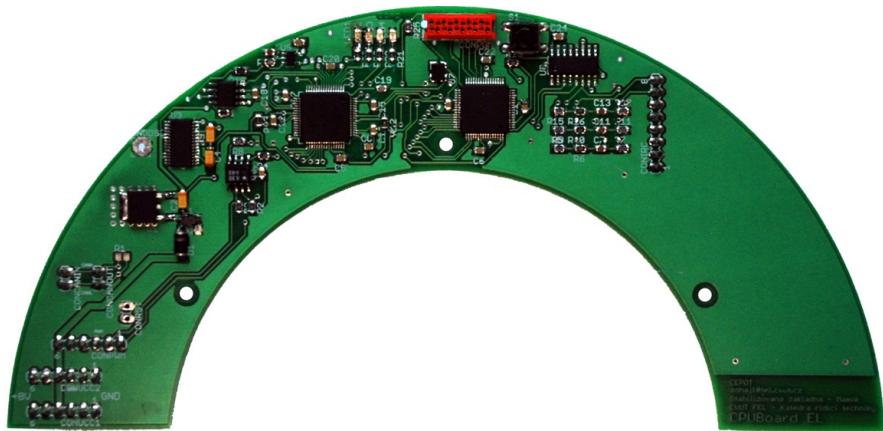
Tabulka 3.1: Tabulka konektorů a zapojení pinů CpboardEL

	Konektor								
pin	UCC1	UCC2	RST	CANIN	CANOUT	IRC	PWM	PGM	
1	GND	GND	GND	CANL	CANL	GND	PWM1	+5V	
2	GND	GND	RESET	CANH	CANH	+5V	PWM2	TXD	
3	GND	GND				nC	GND	RXD	
4	+8V	+8V				C	SENSE	IPSEL	
5	+8V	+8V				nB	GND	GND	
6	+8V	+8V				B	+8V	TCK	
7						nA		TMS	
8						A		TDO	
9								TDI	
10								+3V3	

V servisním potisku desky je u konektorů označen pin 1. Názvům všech konektorů předchází písmena "CON".

Zapojení jednotlivých signálů do procesoru, využití jednotlivých portů procesoru a propojení procesoru s CPLD obvodem je patrné ze schématu a není tak podstatné uvádět

kompletní výpisy. Schéma zapojení desky a nákresy navržené desky plošných spojů jsou uvedeny v příloze H.



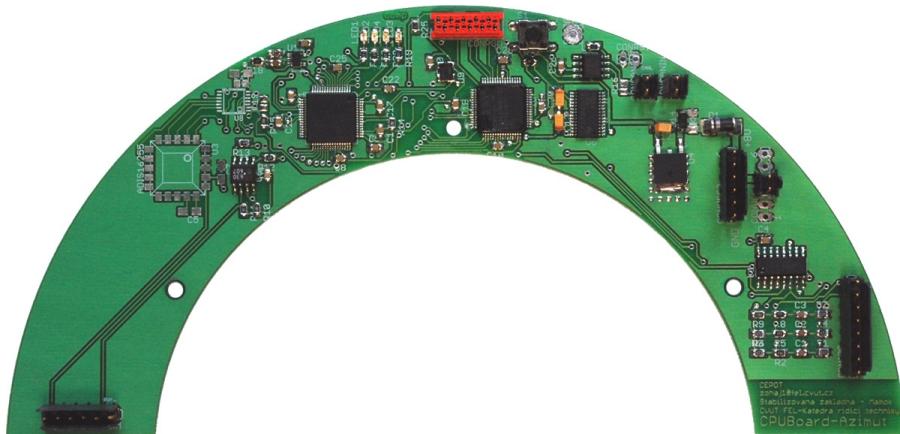
Obrázek 3.19: Osazená deska CpuboardEL

### 3.3.3 Řízení azimutální osy

Deska principiálně vychází z desky pro řízení azimutální osy. Obsahuje totožné prvky. Deska je pouze rozšířena o možnosti přímého osazení gyroskopu ADIS16255. Obsahuje tak tedy i převodník úrovní pro komunikaci s gyrokopem. Ten je realizován obvodem MAX3379, jenž převádí napětí logických úrovní 0-3,3V vycházející z procesoru na úrovni napětí 0-5V pro vstup do gyroskopu. Oproti desce k řízení elevační osy byl modifikován design desky plošných spojů tak, aby odpovídal požadovaným rozměrům a rozmístění konektorů.

Tabulka 3.2: Tabulka konektorů a zapojení pinů CpuboardAZ

V servisním potisku desky je u konektorů označen pin 1. Názvům všech konektorů předchází písmena "CON".



Obrázek 3.20: Osazená deska CpuboardAZ

Schéma desky a obrazce plošných spojů jsou uvedeny v příloze I.

### 3.3.4 Zpracování signálu gyroskopů

Ve vnitřním závěsu konstrukce společně s kamerovým systémem je umístěna také deska sloužící ke zpracování signálů gyroskopů ze sběrnice SPI. Po zpracování je signál převeden na sběrnici CAN a tím poskytnut ostatním deskám pro další využití. Deska opět s výhodou využívá procesoru LPC2119 a jeho vestavěných rozhraní SPI a CAN. S ohledem na možnost budoucího rozšíření je možno připojit až 5 zařízení typu slave na sběrnici SPI. Deska dále obsahuje budiče sériových linek RS232 pro připojení komunikačních signálů z obou kamer i dálkoměru. Komunikační linky ze dvou kamer jsou multiplexovány na jedno rozhraní UART v procesoru a komunikační kanál dálkoměru je přímo připojen (přes budič RS232) na druhé rozhraní UART procesoru.

Deska je osazena těmito obvody:

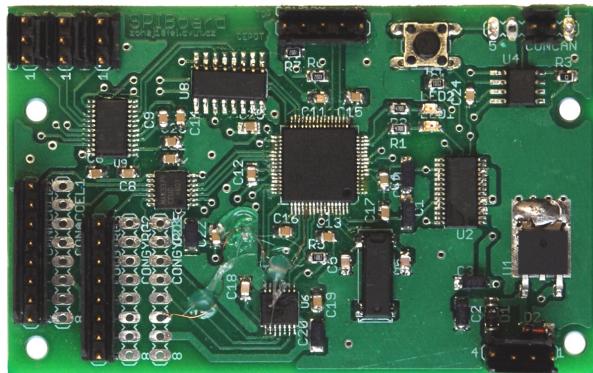
- Philips LPC2119 - 32-bitový mikrokontrolér řady ARM7, jenž obsahuje rozhraní CAN, jehož výstup je osazen budičem 82C250. Dále je využito rozhraní SPI. Programování probíhá přes sériové rozhraní RS232, časování pomocí krystalu 10MHz.
  - Obvody 78M05, TPS73HD318 - Stabilizátory zajišťující napájení všech obvodů desky včetně připojitelných gyroskopů. Výstupem jsou napětí 5V z obvodu 78M05, dále napětí 3,3V a 1,8V z obvodu TPS73HD318.
  - MAX3379 - Převádí napětí logických úrovní 0-3,3V vycházející z procesoru na úrovni napětí 0-5V pro vstup do gyroskopu.
  - MAX3387 - Budič sériové linky RS232 pro tři různá rozhraní

- HCF4052 - Dvoukanálový multiplexor pro výběr sériové linky ke komunikaci

Tabulka 3.3: Tabulka konektorů a zapojení pinů Spiboard

pin	Konektor						
	UCC	CAN	PGM	GYRO1-3	ACCEL1-2	SER1-3	
1	GND	GND	GND	GND	GND	RXD	
2	GND	CANL	IPSEL	CS1-3	CS4-5	TXD	
3	+8V	CANH	RXD	CLK	CLK	GND	
4	+8V	GND	TXD	RST	RST		
5		RST	+5V	MOSI	MOSI		
6				MISO	MISO		
7				+5V	+5V		
8				NC	NC		
9							
10							

V servisním potisku desky je u konektorů označen pin 1. Názvům všech konektorů předchází písmena "CON".



Obrázek 3.21: Osazená deska Spiboard

Schéma desky a obrazce plošných spojů jsou uvedeny v příloze J.

### 3.3.5 Výkonové buzení motoru elevační osy

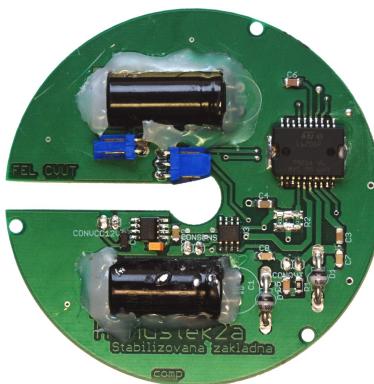
Výkonové buzení motoru má za úkol zde popisovaná deska. Kromě buzení motoru zajišťuje také měření proudu pomocí obvodu AD8210 na snímacím odporu vloženém přímo do středu h-můstku L6201PS k výstupu na motor. Snímací odpor je realizován paralelní kombinací rezistorů s nízkou hodnotou odporu (Low-ohmic). Schéma zapojení integrovaného plného h-můstku odpovídá jeho katalogovému zapojení. Deska je dále osazena

stabilizátorem napětí 5V LE50CD. Rezistory pro snímání proudu bylo potřeba navrhnut tak, aby se na nich při maximálním proudu cca 1,5A tekoucí motorem objevil úbytek napětí 125mV. Rozsah vstupního napětí obvodu AD8210 je  $\pm 125\text{mV}$ . Obvod je zapojen v obousměrném režimu a s výstupem 0-5V, kde napětí 2,5V představuje nulovou hodnotu proudu. Může být tedy měřen proud v rozsahu od -1,5A do +1,5A, který je převeden na napětí 0-5V. Další zpracování tohoto napětí je provedeno až v procesorové desce těsně před připojením k vstupu AD převodníku v procesoru. Co se týče mechanických vlastností, je deska vyrobena v požadovaném tvaru dle technického výkresu pro přímé umístění do vnějšího závěsu základny těsně k motoru kvůli omezení vlivu rušení z přívodů k motoru.

Tabulka 3.4: Tabulka konektorů a zapojení pinů HmustekEL

Konektor					
pin	VCC8V	VCC	PWM	SENSE	OUT
1	GND	GND	GND	GND	OUT1
2	+8V	+24V	PWM2	SENSE	OUT2
3			PWM1		

V servisním potisku desky je u konektorů označen pin 1. Názvům všech konektorů předchází písmena "CON".



Obrázek 3.22: Osazená deska HmustekEL

Schéma desky a obrazce plošných spojů jsou uvedeny v příloze K.

Za uvedení v této práci stojí také fakt, že předchůdcem této desky byla deska s jiným řešením měření proudu pomocí obvodu INA138. Toto zapojení se však neosvědčilo, neboť neumožňovalo obousměrné měření proudu a také byl snímací odporník umístěn na nevhodném místě na vstupu budícího napětí do můstku.

### 3.3.6 Výkonové buzení motoru azimutální osy

K buzení motoru azimutální osy je použito mírně modifikované zapojení z buzení motoru osy elevační. Deska neobsahuje stabilizátor napětí z důvodu přímého připojení napájecího napětí z vedlejší desky a zároveň byla nahrazena dvojice filtračních kondenzátorů budícího napětí jedním kondenzátorem dvojnásobné kapacity z prostorových důvodů. Deska má tvar odpovídající technickému výkresu pro umístění do pevné části základny do stejné roviny s deskou řízení azimutální osy.

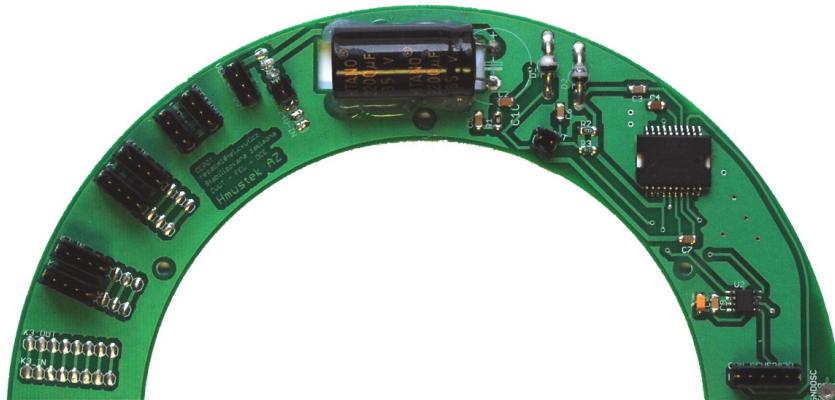
Deska je dále osazena konektory pro propojení všech signálů z kluzných kroužků v azimutální ose k přívodům do základny.

Tabulka 3.5: Tabulka konektorů a zapojení pinů HmustekAZ

Konektor				
pin	VCC24V-IN	VCC24V-OUT	CPUBOARD	OUT
1	GND	GND	PWM1	OUT1
2	GND	GND	PWM2	OUT2
3	GND	+24V	GND	
4	GND	+24V	SENSE	
5	+24V		GND	
6	+24V		+5V	
7	+24V			
8	+24V			

Deska dále obsahuje vždy po dvojici 8-pinových konektorů K1-K3. Ve dvojici jsou navzájem propojené piny obou konektorů a označené IN/OUT. Totéž platí o dvojici konektorů VCC14V IN/OUT.

V servisním potisku desky je u konektorů označen pin 1. Názvům všech konektorů předchází písmena "CON".



Obrázek 3.23: Osazená deska HmustekAZ

Schéma desky a obrazce plošných spojů jsou uvedeny v příloze L.

### 3.3.7 Podpůrné desky konektorů

K propojení elektrických signálů směřujících do vnitřní části základny ke kamerovému systému bylo potřeba nějakým způsobem propojit vodiče z kamery k vodičům kluzných kroužků a stejně tak propojit vodiče kluzných kroužků mezi elevační a azimutální osou ve vnějším závěsu základny. K tomu slouží konektory umístěné na podpůrné desky plošných. Ta obsahuje jen dvojice propojených konektorů. Signály v jednotlivých konektorech jsou využity takto:

- Konektory elevace - Přímé propojení všech zbylých nevyužitých vodičů z kluzných kroužků pro přenos obrazu a napájení 14V.
- Konektory vnitřní - Zakončení vodičů z elevačních kluzných kroužků a propojení s konektory kamerového systému (jen obrazové signály a napájení kamery).

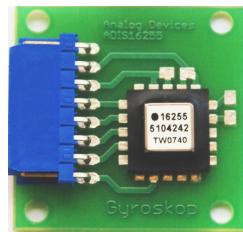
Desky jsou provedeny jako jednostranný plošný spoj bez popisků součástek. Schémata a obrazce desek plošných spojů jsou uvedeny v příloze M.

### 3.3.8 Zapojení gyroskopů

Jednotlivé gyroskopy jsou osazeny na destičce obsahující pouze konektor pro připojení přívodního kabelu a filtrační kondenzátor napájecího napětí. Desky jsou provedeny jako jednostranný plošný spoj bez servisního popisu součástek.

Tabulka 3.6: Tabulka konektorů a zapojení pinů destičky gyroskopu

	<b>Konektor</b>
pin	GYRO
1	RST
2	CS
3	DIN
4	DOUT
5	SCLK
6	GND
7	+5V
8	NC



Obrázek 3.24: Osazená destička s gyroskopem

Destičky s gyroskopy ADIS16255 jsou umístěny ve vnitřní části blízko kamer tak, aby měřily rotační pohyb v elevační ose a v ose kolmé k elevaci (cross-elevační).

### 3.3.9 Propojení desek

Všechny desky byly umístěny do základny a propojeny pomocí vodičů v kluzných kroužcích mezi deskami jednotlivých os.

- CpuboardEL pro řízení elevační osy je umístěn v části vnějšího závěsu společně s deskou konektorů
- CpuboardAZ pro řízení azimutální osy je umístěn v pevné části společně s deskou h-můstku pro azimutální osu
- SPIBoard je umístěn ve vnitřní části společně s gyroskopy a kamerovým systémem

Po laborování s mnoha typy konektorů a jejich testování v praxi se ukázalo jako nejlepší použít konektory se standardní roztečí 2,54mm. Použité jsou konektory typu Dubox dodané ostravskou firmou TME.



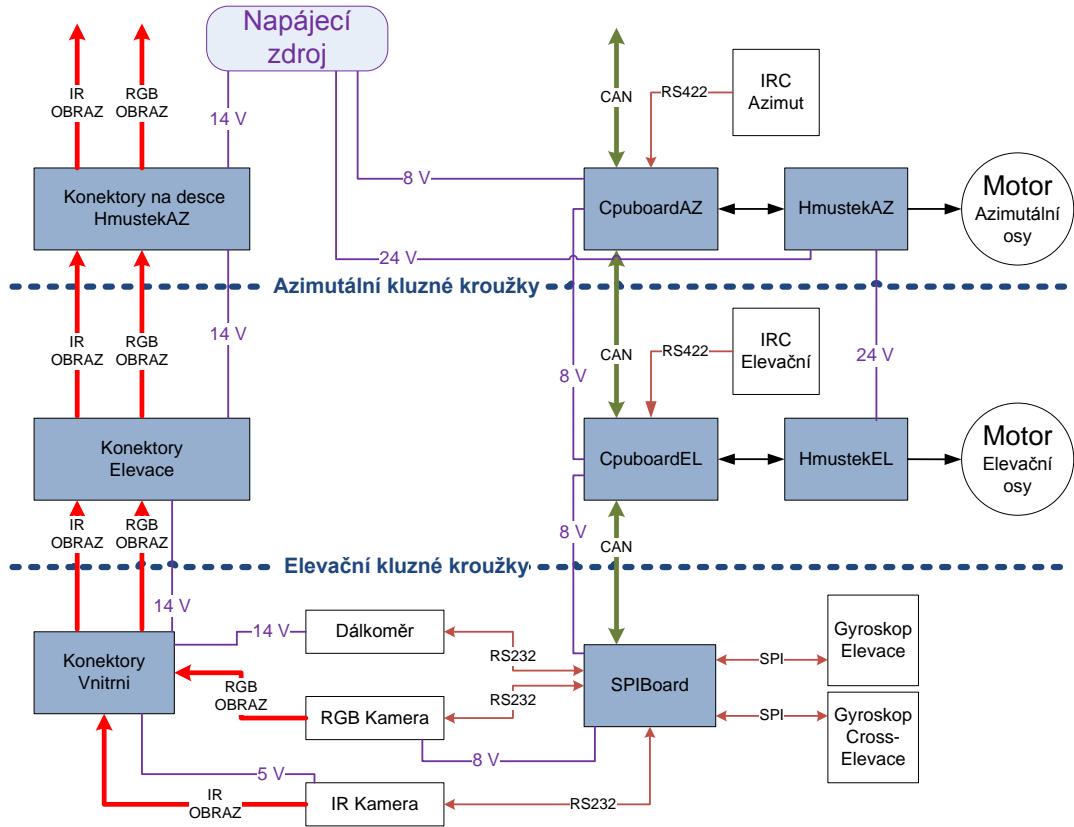
Obrázek 3.25: Konektor Dubox - část „female“, část „male“, detail kontaktu jednoho pinu

Kluzné kroužky byly zapojeny tak, aby se co nejméně ovlivňovaly napájecí vedení a obrazové signály z kamer. Bylo zvoleno pořadí vodičů kroužcích tak aby napájení a možný zdroj rušení byl na jedné straně v pořadí vodičů a obrazový signál na straně druhé. Maximální udávaná proudová zatížitelnost jednotlivých kroužků je 2A a tak je většina napájecích vodičů vedena po více kroužcích paralelně, ve více kroužcích paralelně je také veden analogový obrazový signál z kamer. Vedení jednotlivých vodičů je pomocí

smršťovacích bužírek seskupeno do logických celků a zároveň je tím chráněno proti mechanickému poškození. Všechny konektory jsou navíc označeny samolepkou s popiskem pro přehlednou montáž a zapojení.

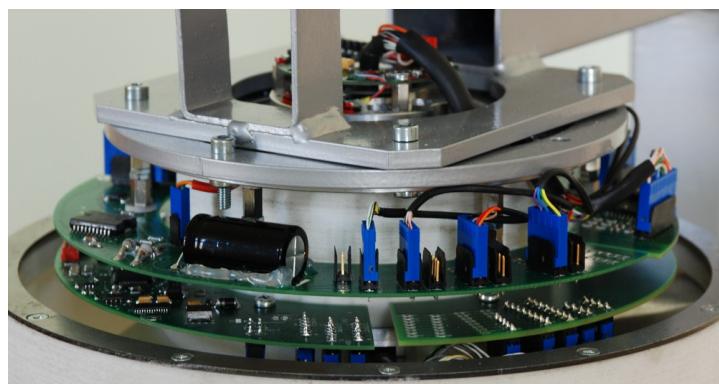
Tabulka 3.7: Tabulka zapojení vodičů kluzných kroužků

Azimutální osa				Elevační osa			
pin	význam	pin	význam	pin	význam	pin	význam
1	VGND	13	VCC14V	1	VGND	13	NC
2	RGB	14	VCC14V	2	RGB	14	NC
3	RGB	15	GND	3	RGB	15	GND
4	VGND	16	GND	4	VGND	16	GND
5	VGND	17	GND	5	VGND	17	VCC14V
6	IR	18	VCC8V	6	IR	18	VCC14V
7	IR	19	VCC8V	7	IR	19	GND
8	VGND	20	VCC8V	8	VGND	20	GND
9	CANH	21	GND	9	CANH	21	GND
10	CANL	22	GND	10	CANL	22	VCC8V
11	GND	23	VCC24V	11	NC	23	VCC8V
12	GND	24	VCC24V	12	NC	24	VCC8V



Obrázek 3.26: Blokové schéma zapojení desek a vybavení v základně

Na blokovém schématu je znázorněno vedení signálů napříč deskami a skrz kluzné kroužky. Znázorněny jsou také úrovně a vedení použitého napájení.



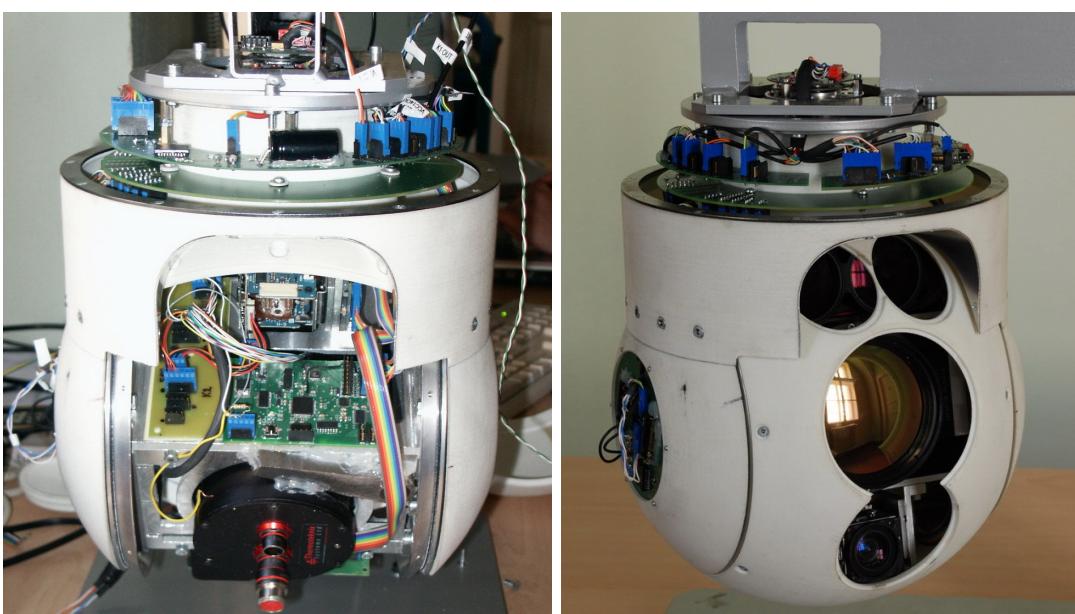
Obrázek 3.27: Desky umístěné a zapojené v základně

### 3.3.10 Současný stav a budoucí verze desek

V současné době je hotova celá elektronika základny kromě hlavního řídicího počítače, který bude umístěn v pevné části základny spojené s letadlem. Ve stávajícím návrhu bylo objeveno několik menších chyb, které nemají vliv na funkčnost celé desky, ale v budoucích verzích je potřeba tyto chyby eliminovat:

- Deska SPIBoard - Chybějící propojení pinu procesoru s konektory SPI zařízení, jedná se o signál MISO. Chyba je vyřešena drátovou propojkou
- Označení CAN konektorů - na všech procesorových deskách je přehozeno označení signálů CANH a CANL popisků umístěných přímo na desce plošného spoje. Tabulky uvedené u popisu desek jsou správně.
- SPIBoard - Deska má nevhodně rozvržené konektory (CAN rozhraní společně s dalšími signály). Na výslednou funkci nemá vliv, avšak znepřehledňuje zapojení.
- SPIBoard - Konektory jsou umístěny příliš blízko sebe a tedy nelze osadit konektory Dubox pro všech 5 slave zařízení.
- Konektorová deska vnitřní - Umístění stabilizátoru napětí je nevhodné a neumožňuje pohodlné zafixování těla chladiče k tělu základny pro chlazení.
- Servisní popisky konektorů jsou na některých místech chybně označeny názvem (zůstalo výchozí označení "JPx" z Eaglu)

Kompletní elektronika i přes zde uvedené nedostatky funguje a umožňuje úspěšné řízení motorů elevační i azimutální osy.



Obrázek 3.28: Otevřená a zavřená osazená základna

# Kapitola 4

## Softwarová část

Úkolem této kapitoly je seznámení s programovým vybavením základny a její komunikací. Neklade si nároky na detailní popis všech programů, jejich jednotlivých funkcích, nastavovaných registrech mikroprocesoru apod. Tyto detaily lze snadno vypozorovat z kódů programů a z programové dokumentace ze systému Doxygen umístěné na přílohouvém CD. V této kapitole jsou zejména uvedeny principy a hlavní funkční bloky programů jednotlivých desek.

### 4.1 Programování mikrokontroléru LPC2119

Mikrokontrolér Philips LPC2119 je zástupcem 32-bitových mikroprocesorů řady ARM7. Pro jeho programování byl zvolen nejjednodušší způsob, kterým bylo programování přes rozhraní UART s použitím převodníku úrovní na RS232 přímo připojeného k počítači PC.

Programování mikrokontroléru bylo na straně PC prováděno v operačním systému Linux s použitím vývojových prostředků GNU C Compiler (GCC). Všechny programy jsou tedy psány v jazyce C. Kompilaci pro procesory typu LPC zajišťovaly knihovny a překladač gcc-arm.

Osvědčil se tento postup zprovoznění a nastavení překladače a knihoven pro programování procesorů LPC:

1. Instalace kompilátoru gcc-arm-elf - Stáhnout a rozbalit do root adresáře:

```
ftp://rtime.felk.cvut.cz/arch-tools/gcc-arm-elf-3.4.3-bin.tar.gz
```

2. Instalace knihoven a systému OMK - Stáhnout a rozbalit strukturu OMK pro ARM procesory a upravit případné nefunkční symbolické odkazy.

```
http://rtime.felk.cvut.cz/gitweb
```

3. Z adresáře h8300-boot spustit příkaz `make default-config`
4. Uživatelské programy jsou uložené v `h8300-boot/app/arm/...`
5. Kompilace jednotlivých programů se pak provádí klasickým způsobem přes `make` případně v kombinaci s `make clean`. Je důležité mít také správné definice v souboru `Makefile.omk`
6. Načtení zkompilovaného programu do programové paměti RAM mikrokontroléra se provede příkazem `make load`. Při nahrávání je nutné mít signál IPSEL vyvedený na programovacím konektoru spojený se zemí. Po spuštění příkazu je dále pro načtení programu provést reset mikrokontroléra tlačítkem RESET.
7. K načtení programu do paměti Flash je potřeba nejprve zkompilovaný program převést do HEX tvaru spuštěním

```
arm-elf-objcopy -O ihex nazev-mpflash nazev.hex
```

a pak pomocí grafického programu `lpc2k_pgm` načíst vytvořený hex soubor a spustit programování.

Výpočet programu běžícího z paměti RAM je až 5x rychlejší než programu z paměti Flash. Pokud je program v paměti RAM tak samozřejmě dojde k jeho vymazání při odpojení napájení a je nutno mikrokontrolér znova naprogramovat.

## 4.2 Programy jednotlivý desek

Všechny programy desek jsou uloženy v mikrokontroléru v jeho vestavěné paměti Flash a tak jsou po zapojení napájení automaticky načteny a spuštěny.

### 4.2.1 Spiboard

Program této desky zpracovává data ze všech připojených gyroskopů přes sběrnici SPI. Hlavní funkcí je načtení naměřených dat úhlových rychlostí všech gyroskopů s frekvencí 250x za sekundu (což je maximum gyroskopů). Data zpracuje a vyšle je po sběrnici CAN k dispozici dalším deskám. Deska takto zajišťuje také synchronizaci všech ostatních desek.

### 4.2.2 CpboardEL

Hlavní funkcí programu desky CpboardEL je regulátor rychlosti pro jednu osu základny. Kromě funkce regulátoru program zajišťuje komunikaci s obvodem CPLD, vyčtení aktuální hodnoty počtu pulsů IRC čidla a případné chyby počtu pulsů. Dále generuje PWM signály

pro řízení motoru a obsluhuje vestavěny AD převodník pro převod přivedeného napětí odpovídajícího proudu motorem. Samozřejmostí je komunikace po sběrnici CAN skládající se z příjmu naměřených hodnot rychlostí od desky SPIBoard a vyslání dalších parametrů řídicího systému jedné osy stávajících se z počtu pulsů IRC čidla (poloha natočení kamerového systému), hodnoty proudu motorem, akčního zásahu regulátoru (napětí přivedené na motor) apod.

#### 4.2.3 CpboardAZ

Program této desky tvoří téměř totožný program s programem v desce CpboardEL. Rozdíl je jen v nastavení konstant regulátoru a jiné id zpráv vysílaných na CAN.

### 4.3 Program pro obvod CPLD

Obvod CPLD Xilinx XC9572XL obsahuje program v jazyce VHDL vyvinutý ve vývojovém prostředí Xilinx ISE pro dekódování signálů z IRC čidla na přímý počet pulsů během jedné otáčky hřídele čidla. Program v CPLD také dokáže vyhodnotit chybu počtu pulsů IRC čidla při přechodu referenční pozicí, tj. odchylku aktuálního stavu napočítaných pulsů během celé otáčky hřídele od daného maximálního počtu pulsů. Aktuální hodnotu odchylky je vždy možno předit mikrokontroléru. Programování obvodu CPLD probíhalo přes rozhraní JTAG pomocí adaptéra na paralelní port počítače PC.

### 4.4 Komunikace mezi deskami

Komunikace mezi deskami a s vnějším prostředím je zajištěna pomocí sběrnice CAN. Deska Spiboard vysílá s frekvencí 250x za sekundu naměřená data gyroskopů. Těmito daty se zároveň synchronizují procesorové desky CpboardEL a CpboardAZ, které při každém příchodu nových dat načtou hodnoty k nim připojených senzorů (IRC čidlo, proud motorem) a vypočtou akční zásah. Akčním zásahem je střední hodnota napětí na motor, který představuje parametry PWM signálu. Dále obě desky vytvoří CAN zprávy se svými naměřenými hodnotami a hodnotou akčního zásahu a vyšlou je na sběrnici.

Současný stav CAN komunikace a významu používaných zpráv je uveden v následující tabulce:

Tabulka 4.1: Tabulka používaných CAN zpráv

<b>id</b>	<b>Zdroj</b>	<b>Význam</b>	<b>Popis</b>
100	Operátor	Start	Spustí stabilizaci
101	Operátor	Stop	Zastaví stabilizaci
124	CpuboardEL	EL-IRC REF	Vyšle se při projití referenční polohou elevační osy
125	CpuboardAZ	AZ-IRC REF	Vyšle se při projití referenční polohou azimutální osy
303	Spiboard	Gyroskopy	Naměřené hodnoty rychlostí gyroskopů
304	CpuboardEL	Hodnoty EL	Naměřené hodnoty elevační řídicí jednotky
305	CpuboardAZ	Hodnoty AZ	Naměřené hodnoty azimutální řídicí jednotky

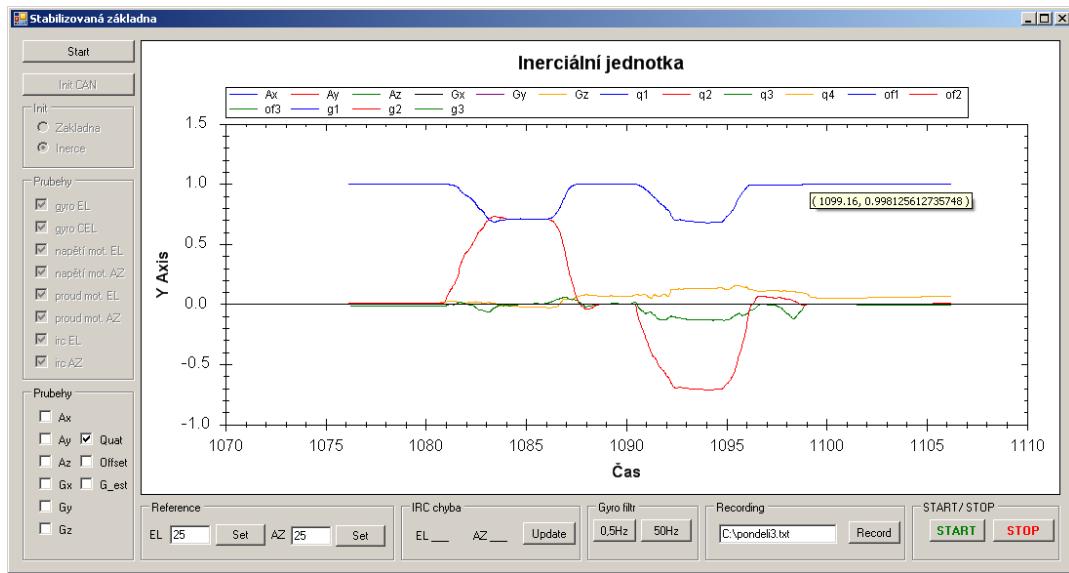
## 4.5 GUI pro PC

Grafické uživatelské rozhraní pro ovládání stabilizované základny je program pro OS Windows naprogramovaný v jazyce C# v prostředí MS Visual Studio. Program využívá karty CAN rozhraní pro sběrnici PCI Express 1x. Označení karty je PCIECan a dodavatelem je společnost Kvaser.

Program v současné verzi umožňuje několik hlavních funkcí:

- Zobrazení všech průběhů signálů v reálném čase
  - Úhlové rychlosti gyroskopů
  - Proud protékající motory
  - Akční zásah - Napětí na motorech
  - Aktuální poloha základny - IRC čidla
- Zapnutí / Vypnutí stabilizace
- Ukládání všech zobrazovaných dat ve formátu CSV
- Načtení chyb v počtu impulsů IRC čidel

Program dále umožňuje komunikaci s inerciální jednotkou a modulem pro výpočet Kalmanova filtru. Podrobnosti o inerciální jednotce a modulu pro Kalmanův filtr jsou uvedeny v diplomové práci Martina Řezáče.



Obrázek 4.1: Okno grafického uživatelského rozhraní



# Kapitola 5

## Simulace, stabilizace

Tato kapitola se zabývá stručným popisem simulačního modelu základny a průběhu simulací. V kapitole je uvedeno pouze minimum informací o simulačním modelu v simulinku pro simulaci mechanických a dynamických vlastností stabilizované základny včetně regulátorů. Podrobné informace jsou uvedeny v diplomové práci od Martina Řezáče. Kapitola také obsahuje výsledky stabilizace reálného systému.

### 5.1 Simulační model základny

Simulinkový model základny jehož bližší popis je k dispozici v diplomové práci Martina Řezáče simuluje kompletní systém a dynamiku základny včetně rychlostní a polohové zpětné vazby s regulátory:

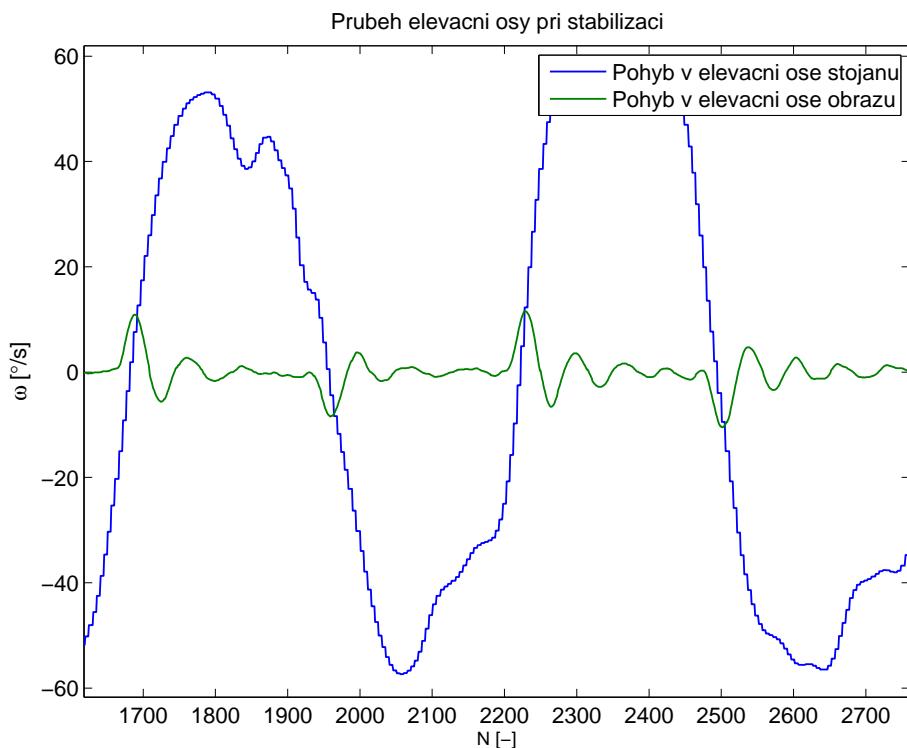
- Model dynamiky základny
- Rychlostní zpětnovazební regulátor (vzorkování 250Hz)
- Polohový regulátor (vzorkování 50Hz)
- Odhad polohových úhlů letadla

Co se týče simulace elektronických prvků základny, modelování zpoždění signálů a simulací výpočtů s konečnou přesností, nebyla vytvořena konkrétní simulační schémata. Vzhledem k použitému hardwaru a koncepci komunikace v základně zde hraje zpoždění výpočtů v řádu  $\mu$ s zanedbatelnou roli, stejně tak nepřesnosti v měření polohy IRC čidlem v rozsahu 1 LSB. Chyba měření úhlové rychlosti měřená gyroskopem však přináší značné problémy vzhledem k nekonstantnímu offsetu měřené hodnoty. Tento problém se snaží vyřešit návrh inerciální jednotky s EKF popsaný v diplomové práci Martina Řezáče.

## 5.2 Naměřené průběhy

Na reálném systému stabilizované základny byla s úspěchem ověřena činnost stabilizace rychlostní zpětné vazby v obou osách základny současně.

Základna byla pevně umístěna ve stojanu. Stojan byl poté ručně vychylován různými rychlostmi do různých směrů, které byly měřeny gyroskopy přímo umístěnými na stojanu a ledovány reakce základny. Zároveň byl sledován obraz RGB kamery z kamerového systému základny. Na obrázku 5.1 jsou pak uvedeny úhlové rychlosti měřené na stojanu a úhlové rychlosti měřené u kamerového systému základny. Znázorněna je pouze elevační osa, průběh azimutální osy je obdobný. Na obrázku je jasné vidět činnost regulátoru. Nutno podotknout, že oba regulátory nejsou optimálně naladěny na konkrétní dynamiku systému a jsou zde proto patrné překmity.



Obrázek 5.1: Naměřený průběh regulace

Sledovaný obraz kamery se při stabilizaci choval dle očekávání klidně a sledoval stále stejné místo. Docházelo jen k mírné rotaci obrazu, který je dán mechanickým omezením konstrukce a samotnou koncepcí typu Az-El. Na CD příloze je v multimedialní části uvedeno video činnosti stabilizace základny, ze kterého je patrná funkčnost celého systému.

# Kapitola 6

## Závěr

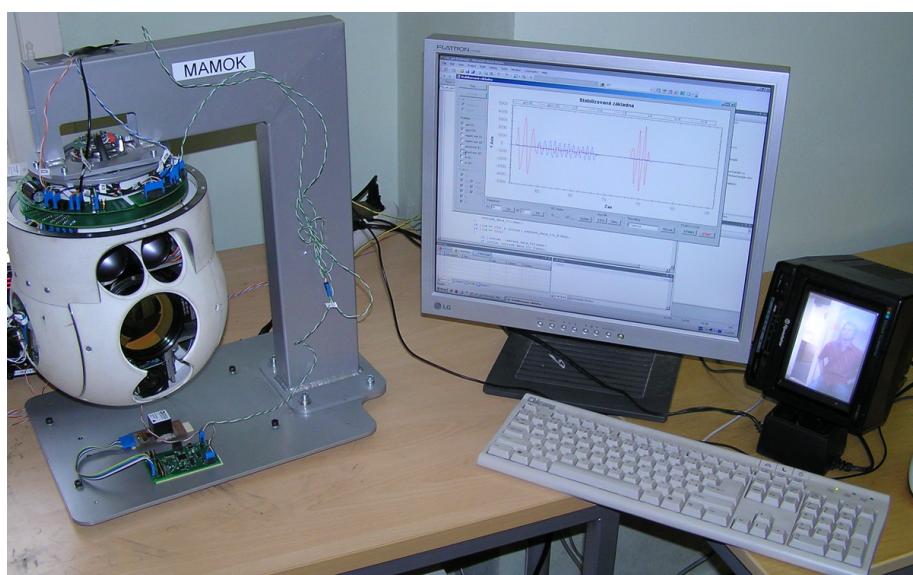
Výsledkem této diplomové práce je funkční vzor stabilizované kamerové základny. Všechny teoretické principy a praktická zapojení jsou realizována a důkladně otestována. Co se týče koncepcí řízení a elektroniky není potřeba výraznějších změn. Po mechanické stránce však není konstrukce zcela dostačující a je potřeba provést zásadní úpravu konstrukce pro pevnější a neměnné upnutí vnitřní části základny k té vnější skrz elevační kloub. Nyní dochází k nežádoucímu pohybu v uložení elevačního kloubu a to vede k pohybu rotoru motoru vůči statoru a tím vzniká svod při dotyku rotoru se statorem. Tento jev může mít fatální následky a vést ke zničení budící elektroniky nebo celého motoru. Z důvodu změn v kamerovém systému daného zadavatelem spočívající v nahrazení původně zvoleného typu IR kamery současným typem o větší hmotnosti bude potřeba pravděpodobně přehodnotit výběr motoru. Při současné hmotnosti kamerového systému může teoreticky nastat problém, že motor azimutální osy nebude mít dostatečný silový moment k překonání mechanického odporu způsobeného rychle proudícím vzduchem na rovné části základny. Výskyt tohoto problému je však možné ověřit až při budoucím testování základny na letadle. Motor lze pak relativně snadno bez zásadních úprav konstrukce nahradit výkonnějším typem. Přes tyto nedostatky lze považovat práci za úspěšnou a kamerovou základnu za funkční.

### 6.1 Možnosti pokračování

Tuto diplomovou prací však není celá práce na stabilizované základně uzavřena. Je zapotřebí dořešit několik dalších věcí pro kompletní uzavření projektu a ukončení ve stavu, kdy je fungující autonomní stabilizovaná základna, ke které se připojí jen palubní napájení, sběrnice CAN a zobrazovací systém. Postup další práce by spočíval ve vyřešení těchto problémů:

- Spolupráce se systémem zpracování obrazu a zavedení zpětné vazby od obrazu
- Návrh hlavního řídicího počítače a koncepce komunikace s operátorským stanovištěm
- Operátorský software pro ovládání základny

- Protokol komunikace po sběrnici CAN s okolím a oddělení vnitřních zpráv se zprávami vysílanými ven
- Úprava mechanické konstrukce - uložení elevačního kloubu
- Testování a měření parametrů na dostupném prostředku (automobil)
- Vyřešení napájení všech prvků základny z jednoho palubního napětí



Obrázek 6.1: Stabilizovaná kamerová základna - “pracoviště”

# Literatura

ANALOG DEVICES (n.d.), *Technická dokumentace k elektronickým součástkám*. Dostupný na WWW: <http://www.analog.com/>.

ŘEZÁČ, MARTIN (2008), Návrh řízení pro systém stabilizace optické osy kamerového systému pro bezpilotní letoun, Master's thesis, ČVUT FEL Praha.

MAXIM/DALLAS SEMICONDUCTORS (n.d.), *Technická dokumentace k elektronickým součástkám*. Dostupný na WWW: <http://www.maxim-ic.com/>.

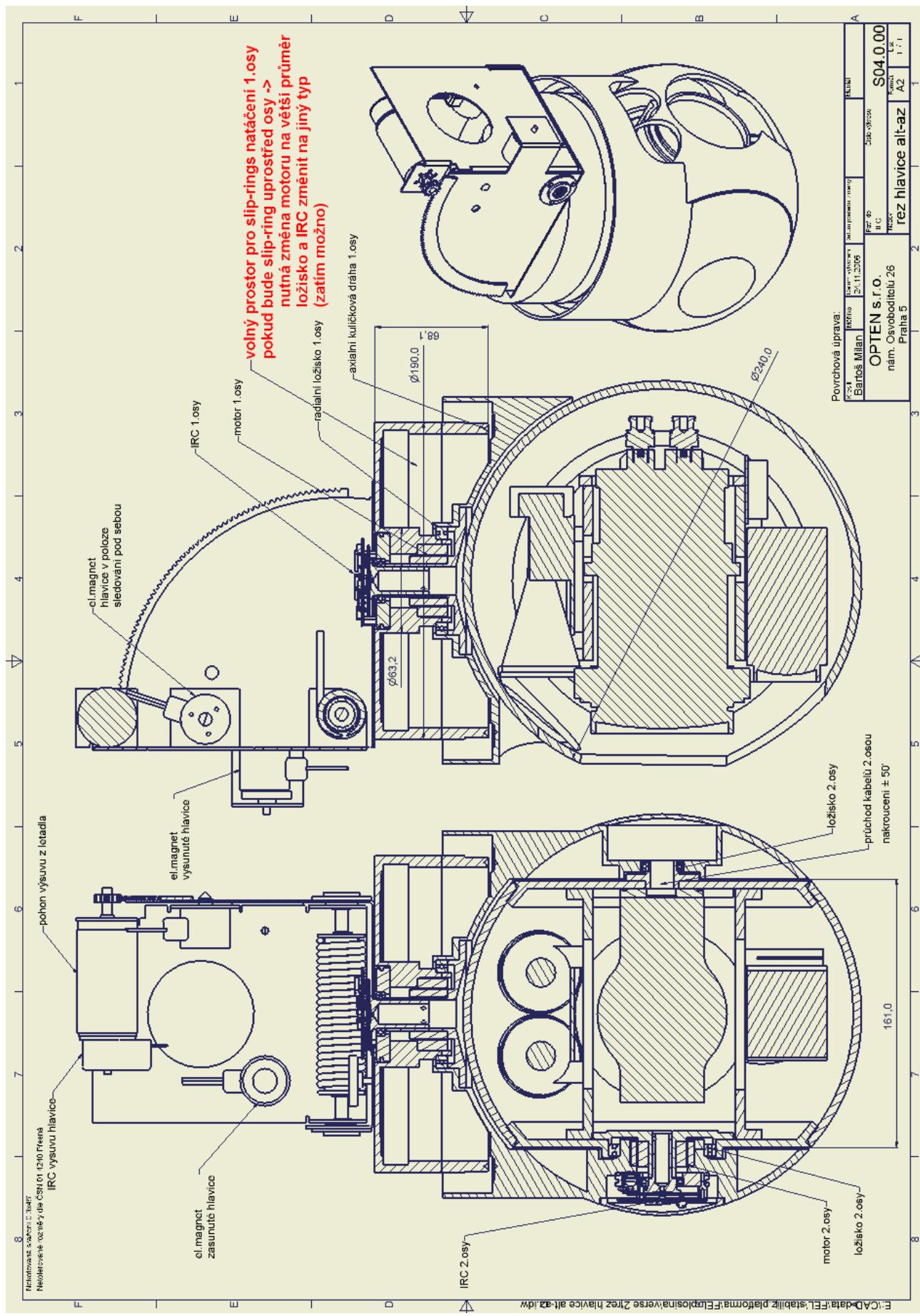
MOOG COMPONENTS GROUP (n.d.), *Technická dokumentace k produktům*. Dostupný na WWW: <http://www.polysci.com/>.

NXP PHILIPS (n.d.), *Technická dokumentace k elektronickým součástkám*. Dostupný na WWW: <http://www.nxp.com/>.



## Příloha A

### Řez konstrukcí základny



## Příloha B

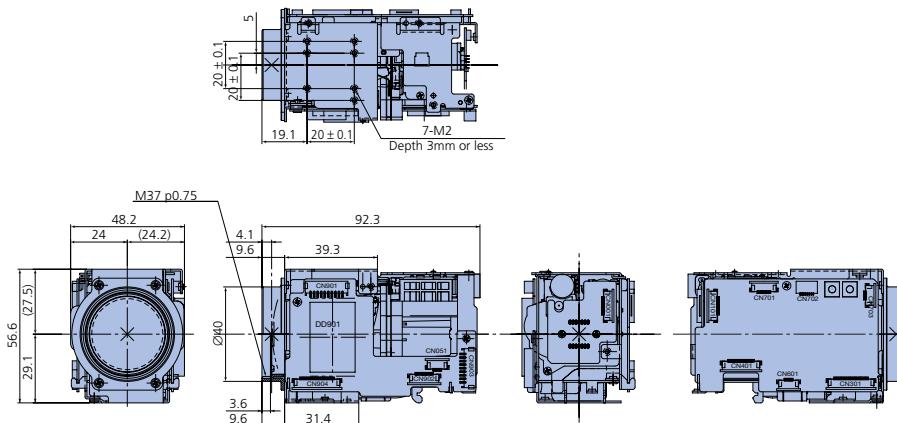
### Specifikace kamerového systému

# FCB-IX SERIES LINE-UP

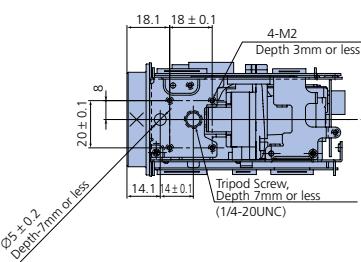


## FCB-IX47A/IX47AP

- 1/4-type Super HAD CCD
- 72x Zoom Ratio (18x optical, 4x digital)
- Minimum Illumination of 1.0 lx (typical)
- Key Switch Control Compatibility
- Spot AE
- Field Memory/Freeze Mode
- High-speed Serial Interface (maximum 38.4 Kb/s) with TTL Signal-Level Control (VISCA protocol)
- Electronic Shutter/Slow Shutter
- On-screen Display (date/time/title)



Unit: mm

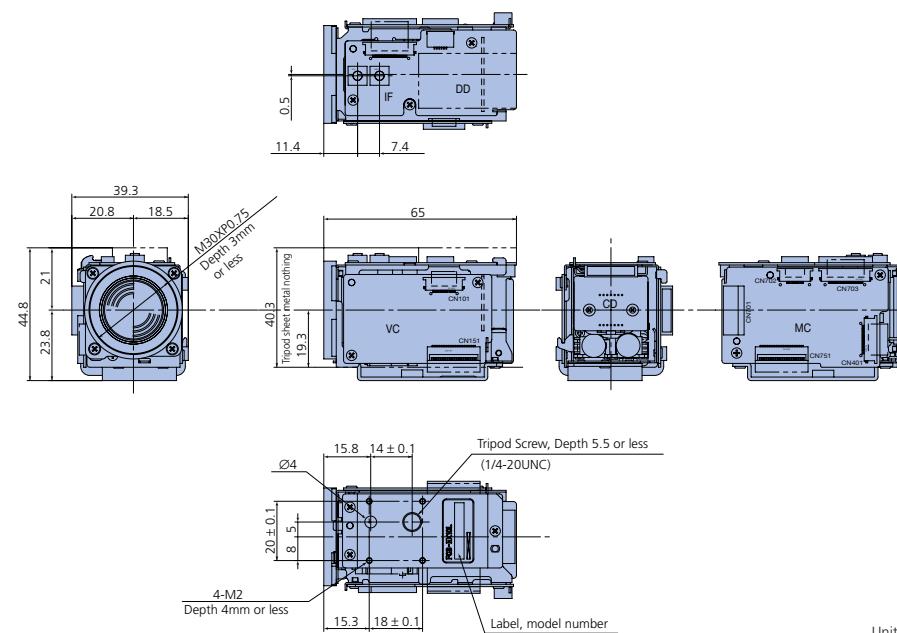


\*The dimensions and appearance of the FCB-IX47A/IX47AP and FCB-IX45A/IX45AP are the same.

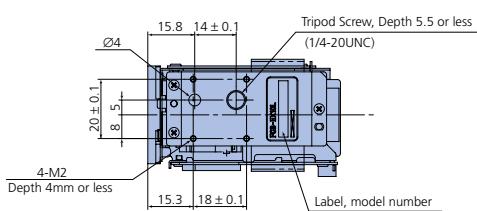


## FCB-IX11A/IX11AP

- 1/4-type Exview HAD CCD
- Compact and Lightweight
- 40x Zoom Ratio (10x optical, 4x digital)
- Minimum Illumination of 1.5 lx (typical)
- Key Switch Control Compatibility
- Spot AE
- Field Memory/Freeze Mode
- High-speed Serial Interface (maximum 38.4 Kb/s) with TTL Signal-Level Control (VISCA protocol)
- Electronic Shutter/Slow Shutter
- On-screen Display (date/time/title)



Unit: mm



# PIN ASSIGNMENT

## CN903

DC and video connector  
(FCB-IX47A/IX47AP and FCB-IX45A/IX45AP)

Pin No.	Name	Level
1	Power In	6 V – 12 V
2	GND (power)	–
3	NC	–
4	Video Out	Composite video signal
5	GND (for video)	–
6	Y_Out	1.0 ± 0.2 V
7	GND (for Y signal)	–
8	C_Out	–
9	GND (for C signal)	–

Connector: JST S9B-ZR-SM3A-TF

## CN901 IF Board

DC and video connector  
(FCB-IX11A/IX11AP)

Pin No.	Name	Level
1	Power In	6 V – 12 V
2	GND (power)	–
3	NC	–
4	Video Out	Composite video signal
5	GND (for video)	–
6	Y_Out	–
7	GND (for Y signal)	–
8	C_Out	–
9	GND (for C signal)	–

Connector: JST S9B-ZR-SM3A-TF

## CN751 MC-Board

Communication connector  
(FCB-IX11A/IX11AP)

Pin No.	Name	Level
1	T x D IN	RS-232C Level
2	NC	–
3	NC	–
4	R x D IN	RS-232C Level
5	TD	TTL Level
6	NC	–
7	NC	–
8	RD	TTL Level
9	GND	–
10	AF_LED	–

Connector type: JST S10B-ZR-SM3A-TF

## CN701

Key switch connector

Pin No.	Name
1	GND
2	GND
3	KEY_ADO
4	KEY_AD1
5	KEY_AD2
6	KEY_AD3
7	KEY_AD4
8	KEY_AD5
9	KEY_AD6
10	KEY_AD7
11	NC
12	Strobe

Connector type: Molex 52689-1297 FFC (0.5 mm)

# SPECIFICATIONS

	FCB-IX47A	FCB-IX47AP	FCB-IX45A	FCB-IX45AP	FCB-IX11A	FCB-IX11AP
Image device			1/4-type Super HAD CCD		1/4-type Exview HAD CCD	
Effective picture elements	Approx. 380,000 pixels	Approx. 440,000 pixels	Approx. 380,000 pixels	Approx. 440,000 pixels	Approx. 380,000 pixels	Approx. 440,000 pixels
Lens			18x zoom, $f=4.1$ mm (wide) to 73.8 mm (tele), F1.4 to F3.0		10x zoom, $f=4.2$ mm (wide) to 42 mm (tele), F1.8 to F2.9	
Digital zoom			4x (72x with optical zoom)		4x (40x with optical zoom)	
Viewing angle (H)			48° (wide end) to 2.7° (tele end)		46° (wide end) to 5.0° (tele end)	
Minimum working distance			10 mm (wide end), 800 mm (tele end)		10 mm (wide end), 1000 mm (tele end)	
Sync system			Internal			
Minimum illumination			1.0 lx (50 IRE)		1.5 lx (50 IRE)	
S/N ratio			More than 50 dB			
Electronic shutter	1/1 to 1/10,000 s, 22 steps	1/60 to 1/10,000 s, 16 steps	1/50 to 1/10,000 s, 16 steps	1/1 to 1/10,000 s, 22 steps		
White balance			Auto, ATW, Indoor, Outdoor, One-Push, Manual			
Gain			Auto/Manual (-3 to 28 dB, 2 dB steps)			
AE control			Auto, Manual, Priority mode, Bright, EV compensation, Back-light compensation			
EV compensation			-10.5 to +10.5 dB (1.5 dB steps)			
Back-light compensation			On/Off			
Flicker cancel	Auto	–	Auto	–	Auto	–
Focusing system			Auto (Sensitivity: normal, low), One-Push AF, Manual, Infinity, Interval AF, Zoom Trigger AF			
Picture effect			Neg. Art, Black & White, Mirror Image			
Camera operation switch			Zoom tele, Zoom wide			
Video output			VBS: 1.0 Vp-p (sync negative), Y/C Output			
Camera control interface			VISCA (TTL/RS-232C signal level), baud rate: 9.6 Kb/s, 19.2 Kb/s, 38.4 Kb/s, Stop bit: 1/2 selectable			
Storage temperature			-4 to 140 °F (-20 to 60 °C)			
Operating temperature			32 to 122 °F (0 to 50 °C)			
Power consumption		6 to 12 V DC/1.5 W (motors inactive) 2.0 W (motors active)		6 to 12 V DC/1.6 W (motors inactive) 2.1 W (motors active)		
Weight		6.0 oz (170 g)		3.4 oz (95 g)		
Dimensions (W x H x D)		1 15/16 x 2 1/4 x 3 3/4 inches (48.2 x 56.6 x 92.3 mm)		1 9/16 x 1 13/16 x 2 5/8 inches (39.3 x 44.8 x 65 mm)		

**SONY®**

Sony Electronics Inc.  
1 Sony Drive  
Park Ridge, NJ 07656  
(201) 930-7000  
[www.sony.com/videocameras](http://www.sony.com/videocameras)

IS-1190  
MK10196V1

© 2004 Sony Corporation. All rights reserved.  
Reproduction in whole or in part without written permission is prohibited.  
Design, features and specifications are subject to change without notice.  
All non-metric weights and measures are approximate.  
Sony, Super HAD, Exview HAD, and VISCA are trademarks of Sony Corporation.

image is  
everything™

Printed in USA (12/04)

# Technical Data LRF42

Range performance	905nm	1550nm	1550nm with beamshaper
Beam divergence	0.3 × 1.5mrad	2.0 × 2.0mrad	0.4 × 0.7mrad
Range capability, best conditions	3500m	4500m	7500m
Specified performance*	2500m	2500m	4500m
2.3 × 2.3m target, albedo 0.3, detection rate 90% at visibility 10km			

## The following applies to all versions

Accuracy* (1σ)	± 1m to ± 3m
Minimum range	
Functional	5m
Specified	50m
Time per measurement	0.3 to 1.1s
Repetition rate	20 per minute (0.3Hz)
Target discrimination	30m
Eye safety	class 1 per IEC 60825-1 Ed 1.2 (2001-08)

## Miscellaneous functions

Multiple target ranging	allows interpretation as first and last return
Range gating capability	on request
Built-in test (BIT)	via serial interface

## Electrical

Power supply voltage	4V to 6V, ripple < 100 mVpp
Power consumption at 5.5V	
Range measurement	Average current while lasing < 650mA, $I_{peak} < 1300mA$ for not more than 500μs
Heading & tilt measurement	0.6W
Standby	30mW (SWT or Com_switch to GND)
Shutdown	55μW (no SWT or Com_switch to GND)
Connector interface	2 PCB mounted FCI Minitek™ connectors
Serial interface	RS232 or RS422, baud rate 9600, 19200 or 38400 bits per second

## Environmental conditions\*

Temperature	
Operating	-35°C to +55°C
Storage	-40°C to +85°C
Shock	50g / 11ms half sine, 2000g / 0.5ms half sine
Vibration	Random, 5 to 500Hz, 0.02g²/Hz, 120 minutes per axis

## Mechanical

Transmitter/receiver aperture	42mm
Weight with DMC-SX	350g
Weight without DMC-SX	325g
Dimensions (L × W × H)	110 × 100 × 50mm
Interface	4x mounting pad, 2x 3mm positioning hole, 4x M4 threaded hole

\* Compliance depends on actual application

## Available configurations

Article No.	Description
901 858	LRF42mm-905nm, Laser Range Finder Module incl. Digital Magnetic Compass
901 632	LRF42mm-905nm, Laser Range Finder Module
901 859	LRF42mm-1550nm, Laser Range Finder Module incl. Digital Magnetic Compass
901 860	LRF42mm-1550nm, Laser Range Finder Module
901 861	LRF42mm-1550nm BS, Laser Range Finder Module incl. Digital Magnetic Compass
901 862	LRF42mm-1550nm BS, Laser Range Finder Module

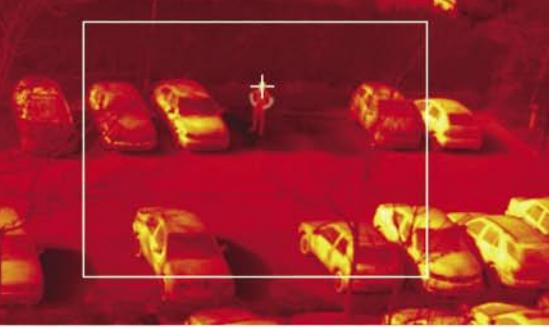


Vectronix AG  
Max-Schmidheiny-Strasse 202  
CH-9435 Heerbrugg  
Switzerland  
Telephone +41 71 727 47 47  
Fax +41 71 727 46 79  
[www.vectronix.ch](http://www.vectronix.ch)

# MIRICLE 110K

Powered by Thermoteknix

384 x 288

**PERFORMANCE**

	<b>MIRICLE 110K</b>
FPA Detector	Alpha Silicon uncooled micro-bolometer
Array size	384 x 288 (110,592 effective pixels)
Spectral band	7 - 14 $\mu$ m
Pixel pitch	35 $\mu$ m
Optical Fill	> 80 %
NEDT	$\leq 50$ mK @ 30 °C (f/1.0, 60Hz)
IFoV (instantaneous Field of View)	1.09 mrad with standard 32mm f/1.0 lens
Standard Frame Rate	50/60 Hz
Video Output Format	Monochrome RS170/NTSC or CCIR/PAL
Custom Frame Rate	Up to 120 Hz available
Dynamic Range	14 bit
Gain/Level Control	Auto
Time to image	< 1 second
Shutter	Micro-compact. Auto NUC
Power Input	3.3 – 5 V
Power Consumption - Nominal	< 2.5 W (USB2/LVDS output) < 3.2 W (Analogue video)
Power saving mode	< 2.0 W
Environmental Properties	
Impact	25G IEC 68-2-29
Vibration	2G IEC 68-2-6
Operating ambient temperature	-20 - +50°C
Humidity (Operating/Storage)	5 - 95% non condensing (KS model 100%)
Size (dimensions mm/inch)	42 x 40 x 40 mm 1.6 x 1.6 x 1.6 inches
Weight (inc. detector)	(86 g) 3.0 oz
Connector	Lemo/Miniature USB2/Ribbon cable depending on model
Optional Extras	USB2 Digital / LVDS Digital / External motor drive (focus) / Custom frame rates (up to 120 Hz)

**MIRICLE 110K camera systems are available in a choice of configuration and housings:**

**MIRICLE 110KB**

The MIRICLE 110 KB Camera features a bayonet lens front mount which provides rapid interchange ability between lenses

**MIRICLE 110KS**

A screwflange front mount allows lens interchange whilst offering a choice of environmental sealing and ruggedisation options including IP67 (NEMA 4), hermetic and space compliance

**MIRICLE 110KC**

MIRICLE cameras are available in custom configurations to suit integrator and third party development. Choice of shutter assemblies, mounts, casings, outputs and features

**STANDARD SOFTWARE AND OPTIONAL PACKAGES**

**MIRICLE Control Software (RS232 PC)** is included with all units

Functions: Freeze frame/live, Store digital frame (BMP), Black hot/White hot, Flip video: Left/Right, Up/Down

**OPTIONAL COLOUR VIDEO PACKAGE**

Video Output Format

Black & White / Colour  
RS170/NTSC or CCIR/PAL

Communication

RS232

Software Control

Black hot/White hot  
Flip video: Left/Right, Up/Down  
Manual or Auto configurable NUC  
Zoom x2 x4 x8 around centre or offset

Gain Modes

Multiple Autogain modes with 1 or 2 configurable zones:  
Peak, Histogram,  
Standard Deviation, Span or  
Gamma Compression

Colour Palettes

10

**MIRICLE ENGINEERING DEVELOPMENT TOOLKIT**

- Engineering development technical support
- Miricle diagnostic and debugging development software
- User configuration profiles to download personality settings
- Reticule overlay – standard and configurable
- Text overlays with choice of fonts, fore and background colours
- Area of interest measurement:  
Spots (8), Rectangles (4) with Auto Max/Min tracking,  
Line values (2), Profiles (2)  
Choice of tool colour
- Real time image filtering:  
Edge detection/smoothing, Feature extraction,  
3 x 3 discrete convolution filtering  
5 x 5 discrete convolution filtering  
Median Filter
- Bad Pixel Replacement Tools

**OPTIONAL ACCESSORIES**

*ThermaGRAM USB Digital Image Processing Software*

*ThermaGRAM PRO USB Real Time Digital Image Capture & Analysis Software*

**LENSES**

Choice of multi-element Germanium lenses with electronic focus, shutter and mount options including AutoID sensing:

Focal Length	Aperture	IFoV	HFoV	VFoV	Diag
18mm	f/1.0	1.94 mrad	40.9°	31.3°	50.0°
32mm	f/1.0	1.09 mrad	23.7°	17.9°	29.4°
50mm	f/1.0	0.70 mrad	15.3°	11.5°	19.1°
75mm	f/1.0	0.47 mrad	10.2°	7.7°	12.8°
<b>60/180mm Lens:</b>					
60mm setting -	f/1.4	0.58 mrad	12.8°	9.6°	15.9°
180mm setting -	f/1.4	0.19 mrad	4.3°	3.2 °	5.3°



A range of spectral transmission filters are available

**US GOVERNMENT EXPORT LICENSE AUTHORIZATION : NOT REQUIRED**

*Not all features present on all models. Specifications subject to change. MIRICLE is a registered trademark of Thermoteknix Systems Ltd.*  
*Printed on environmentally friendly 100% chlorine free pulp*





## **Příloha C**

### **Specifikace kluzných kroužků**

# Slip Ring Capsules (Compact)

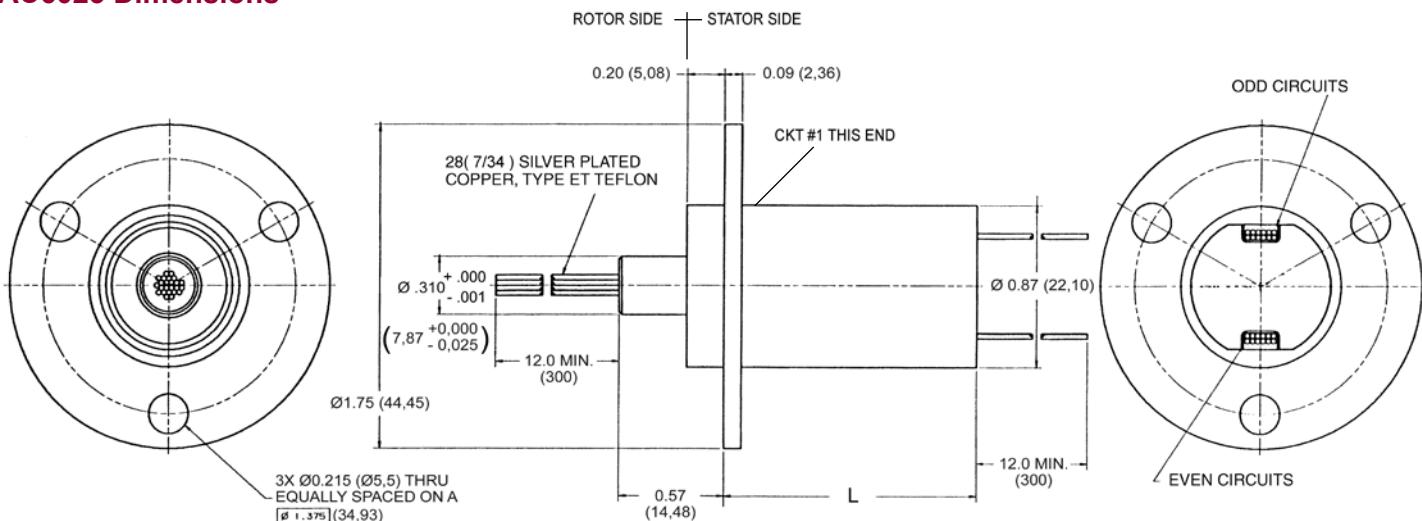
Specifications		Custom Assemblies	Options
Operating Speed	250 rpm* continuous		
Number of Circuits	6, 12, 18, or 24		
Lead Lengths	12, 24, 36, and 48 inches		
Lead Size / Type	28 (7 / 34) silver plated copper, type ET Teflon®		
Voltage	210 VDC / 240 VAC		
Temperature Range	-40°C to +80°C		
Contact Material	Gold		
Current Rating	2 amps / ckt		
Dielectric Strength	250 VAC @ 60 Hz, between each circuit and all other circuits		
Insulation Resistance	1000 megohms @ 500 VDC		
Electrical Noise	60 milliohms max. tested @ 6 VDC, 50 millamps when running @ 5 rpm		
		Please contact us to discuss your precise needs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Splash seals for dust and moisture resistance</li> </ul>

\*Please note that the operational life of the unit is dependent upon rotational speed, environment and temperature.

Lead Wire Color Codes					
Ring#	Color Code	Ring#	Color Code	Ring#	Color Code
1	BLK	9	GRY	17	WHT-BLU
2	BRN	10	WHT	18	WHT-VIO
3	RED	11	WHT-BLK	19	WHT-GRY
4	ORN	12	WHT-BRN	20	WHT-BLK-BRN
5	YEL	13	WHT-RED	21	WHT-BLK-RED
6	GRN	14	WHT-ORN	22	WHT-BLK-ORN
7	BLU	15	WHT-YEL	23	WHT-BLK-YEL
8	VIO	16	WHT-GRN	24	WHT-BLK-GRN

Capsule Length = L		
# Of Circuits	Capsule Length (L)	Part #
6	0.57 inch (14,5 mm)	AC6023-6
12	0.84 inch (21,3 mm)	AC6023-12
18	1.11 inch (28,2 mm)	AC6023-18
24	1.38 inch (35,1mm)	AC6023-24

## AC6023 Dimensions



Dimensions in inches (millimeters)

## Příloha D

### Specifikace Gyroskopu ADIS16255

### FEATURES

**Yaw rate gyroscope with digital range scaling**  
 $\pm 80^\circ/\text{sec}$ ,  $\pm 160^\circ/\text{sec}$ , and  $\pm 320^\circ/\text{sec}$  settings

**14-bit digital gyroscope sensor outputs**

**12-bit digital temperature sensor output**

**Calibrated sensitivity and bias**

- ADIS16250:**  $+25^\circ\text{C}$
- ADIS16255:**  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$

**In-system, auto-zero for bias drift calibration**

**Digitally controlled sample rate**

**Digitally controlled frequency response**

**Dual alarm settings with configurable operation**

**Embedded integration for short-term angle estimates**

**Digitally activated self-test**

**Digitally activated low power mode**

- Interrupt-driven wake-up**

**SPI®-compatible serial interface**

**50 Hz sensor bandwidth**

**Auxiliary 12-bit ADC input and 12-bit DAC output**

**Auxiliary digital input/output**

**Single-supply operation: 4.75 V to 5.25 V**

**2000 g powered shock survivability**

### APPLICATIONS

**Instrumentation control**

**Platform control and stabilization**

**Motion control and analysis**

**Avionics instrumentation**

**Navigation**

**Image stabilization**

**Robotics**

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

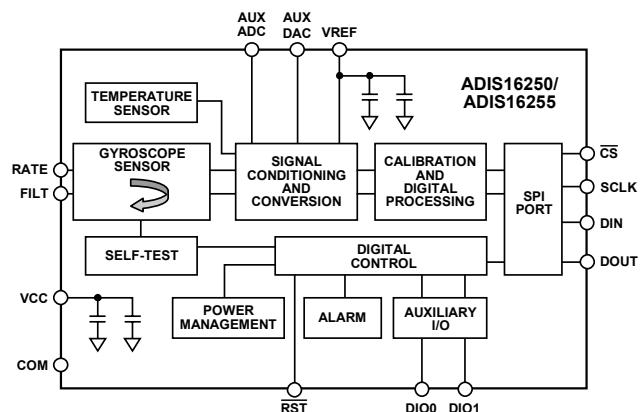


Figure 1.

06/07/001

### GENERAL DESCRIPTION

The ADIS16250/ADIS16255 are complete angular rate measurement systems available in a single compact package enabled by Analog Devices, Inc. *iSensor™* integration. By enhancing Analog Devices *iMEMS®* sensor technology with an embedded signal processing solution, the ADIS16250/ADIS16255 provide factory-calibrated and tunable digital sensor data in a convenient format that can be accessed using a simple SPI serial interface. The ADIS16255 additionally provides an extended temperature calibration. The SPI interface provides access to measurements for the gyroscope, temperature, power supply, and one auxiliary analog input. Easy access to calibrated digital sensor data provides developers with a system-ready device, reducing development time, cost, and program risk.

The device range can be digitally selected from three different settings:  $\pm 80^\circ/\text{sec}$ ,  $\pm 160^\circ/\text{sec}$ , and  $\pm 320^\circ/\text{sec}$ . Unique characteristics of the end system are accommodated easily through

several built-in features, including a single-command auto-zero recalibration function, as well as configurable sample rate and frequency response. Additional features can be used to further reduce system complexity, including:

- Configurable alarm function
- Auxiliary 12-bit ADC and DAC
- Two configurable digital I/O ports
- Digital self-test function

System power dissipation can be optimized via the ADIS16250/ADIS16255 power management features, including an interrupt-driven wake-up. The ADIS16250/ADIS16255 are available in an 11 mm × 11 mm × 5.5 mm, laminate-based land grid array (LGA) package with a temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .

Rev. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

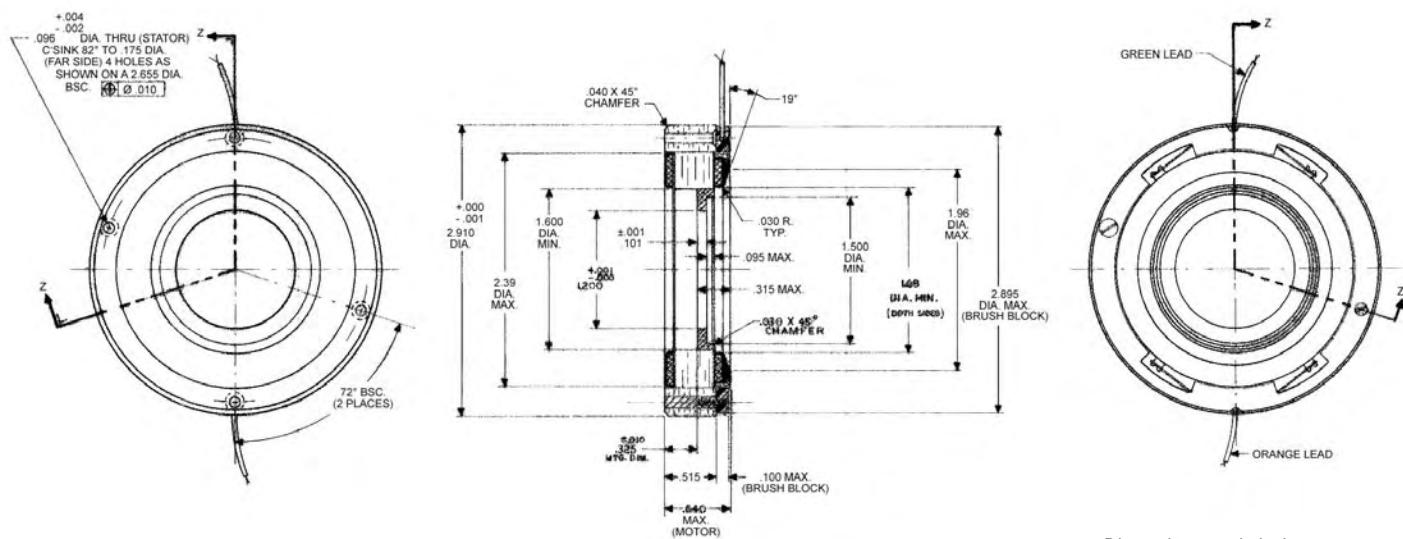
## **Příloha E**

### **Specifikace motoru MOOG**

## D-2910-G SPECIFICATIONS @ 25°C

Size Constants	Value	Units
Peak Torque, $T_p$	59.2	oz-in
Motor Constant, $K_M$	9.66	oz-in/ $\sqrt{W}$
Number of Poles	10	
Weight	9.5	oz (nom)
Motor Inertia, $J_M$	1.30E-02	oz-in-s <sup>2</sup>
Friction Torque, $T_F$	1.2	oz-in
Electrical Time Constant, $\tau_E$	0.333	ms
Mechanical Time Constant, $\tau_M$	19.68	ms
Temperature Rise, Housed TPR'	3.8	° C/W
Ripple Torque, $T_R$	5	max. avg. to peak (%)
Winding Constants	Value	Units
Torque Sensitivity, $K_T$	41	oz-in/amp
Back EMF, $K_E$	0.29	V per rad/s
Terminal Resistance, $R_M$	18	ohms (nom)
Terminal Inductance, $L_M$	6	mH (nom)
Voltage, Stalled at Peak Torque, $V_p$	26	volts
Amps at Peak Torque, $I_p$	1.44	amps

### D-2910-G Typical Outline Drawing



Dimensions are in inches

## **Příloha F**

### **Specifikace mikrokontroléru LPC2119**

# 1. INTRODUCTION

## GENERAL DESCRIPTION

The LPC2119/2129/2194/2292/2294 are based on a 16/32 bit ARM7TDMI-S™ CPU with real-time emulation and embedded trace support, together with 128/256 kilobytes (kB) of embedded high speed flash memory. A 128-bit wide internal memory interface and a unique accelerator architecture enable 32-bit code execution at maximum clock rate. For critical code size applications, the alternative 16-bit Thumb Mode reduces code by more than 30% with minimal performance penalty.

With their compact 64 and 144 pin packages, low power consumption, various 32-bit timers, combination of 4-channel 10-bit ADC and 2/4 advanced CAN channels or 8-channel 10-bit ADC and 2/4 advanced CAN channels (64 and 144 pin packages respectively), and up to 9 external interrupt pins these microcontrollers are particularly suitable for industrial control, medical systems, access control and point-of-sale.

Number of available GPIOs goes up to 46 in 64 pin package. In 144 pin packages number of available GPIOs tops 76 (with external memory in use) through 112 (single-chip application). Being equipped wide range of serial communications interfaces, they are also very well suited for communication gateways, protocol converters and embedded soft modems as well as many other general-purpose applications.

## FEATURES

- 16/32-bit ARM7TDMI-S microcontroller in a 64 or 144 pin package.
- 16 kB on-chip Static RAM
- 128/256 kB on-chip Flash Program Memory (at least 10,000 erate/write cycles over the whole temperature range). 128-bit wide interface/accelerator enables high speed 60 MHz operation.
- External 8, 16 or 32-bit bus (144 pin package only)
- In-System Programming (ISP) and In-Application Programming (IAP) via on-chip boot-loader software. Flash programming takes 1 ms per 512 byte line. Single sector or full chip erase takes 400 ms.
- EmbeddedICE-RT interface enables breakpoints and watch points. Interrupt service routines can continue to execute whilst the foreground task is debugged with the on-chip RealMonitor software.
- Embedded Trace Macrocell enables non-intrusive high speed real-time tracing of instruction execution.
- Two/four interconnected CAN interfaces with advanced acceptance filters.
- Four/eight channel (64/144 pin package) 10-bit A/D converter with conversion time as low as 2.44 ms.
- Two 32-bit timers (with 4 capture and 4 compare channels), PWM unit (6 outputs), Real Time Clock and Watchdog.
- Multiple serial interfaces including two UARTs (16C550), Fast I<sup>2</sup>C (400 kbit/s) and two SPIs™.
- 60 MHz maximum CPU clock available from programmable on-chip Phase-Locked Loop.
- Vectored Interrupt Controller with configurable priorities and vector addresses.
- Up to forty-six (64 pin) and hundred-twelve (144 pin package) 5 V tolerant general purpose I/O pins. Up to 12 independent external interrupt pins available (EIN and CAP functions).
- On-chip crystal oscillator with an operating range of 1 MHz to 30 MHz.
- Two low power modes, Idle and Power-down.
- Processor wake-up from Power-down mode via external interrupt.
- Individual enable/disable of peripheral functions for power optimization.
- Dual power supply.
  - CPU operating voltage range of 1.65V to 1.95V (1.8V +/- 8.3%).
  - I/O power supply range of 3.0V to 3.6V (3.3V +/- 10%).

## APPLICATIONS

- Industrial control
- Medical systems
- Access control
- Point-of-sale
- Communication gateway
- Embedded soft modem
- general purpose applications

## DEVICE INFORMATION

Table 1: LPC2119/2129/2194/2292/2294 device information

Device	No. of pins	On-chip RAM	On-chip FLASH	No. of CAN channels	No. of 10-bit AD Channels	Note
LPC2119	64	16 kB	128 kB	2	4	-
LPC2129	64	16 kB	256 kB	2	4	-
LPC2194	64	16 kB	256 kB	4	4	-
LPC2292	144	16 kB	256 kB	2	8	with external memory interface
LPC2294	144	16 kB	256 kB	4	8	with external memory interface

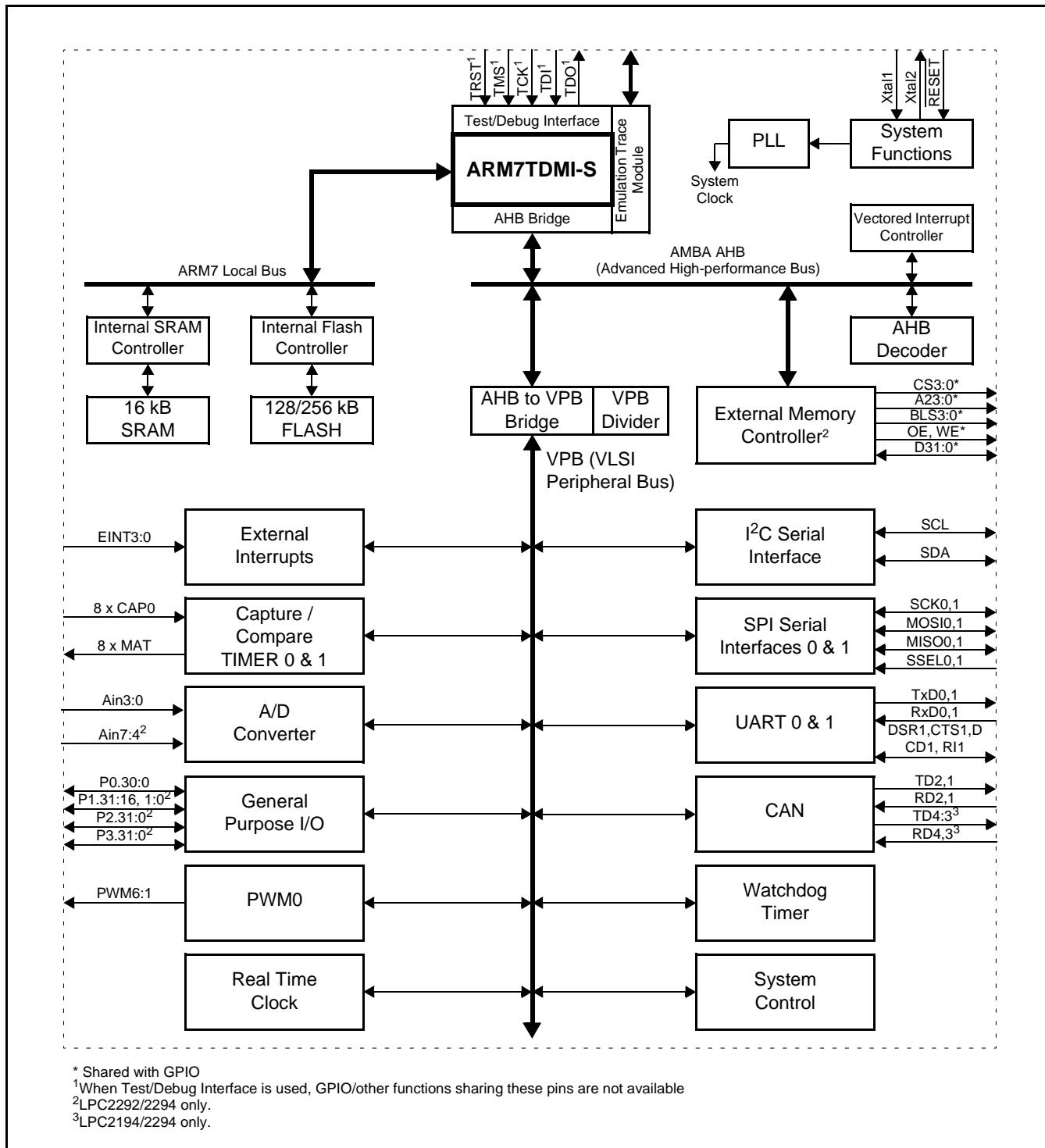
**BLOCK DIAGRAM**

Figure 1: LPC2119/2129/2194/2292/2294 Block Diagram

## **Příloha G**

### **Specifikace CPLD Xilinx XC9572XL**

## Features

- 5 ns pin-to-pin logic delays
- System frequency up to 178 MHz
- 72 macrocells with 1,600 usable gates
- Available in small footprint packages
  - 44-pin PLCC (34 user I/O pins)
  - 44-pin VQFP (34 user I/O pins)
  - 48-pin CSP (38 user I/O pins)
  - 64-pin VQFP (52 user I/O pins)
  - 100-pin TQFP (72 user I/O pins)
  - Pb-free available for all packages
- Optimized for high-performance 3.3V systems
  - Low power operation
  - 5V tolerant I/O pins accept 5V, 3.3V, and 2.5V signals
  - 3.3V or 2.5V output capability
  - Advanced 0.35 micron feature size CMOS Fast FLASH™ technology
- Advanced system features
  - In-system programmable
  - Superior pin-locking and routability with Fast CONNECT™ II switch matrix
  - Extra wide 54-input Function Blocks
  - Up to 90 product-terms per macrocell with individual product-term allocation
  - Local clock inversion with three global and one product-term clocks
  - Individual output enable per output pin
  - Input hysteresis on all user and boundary-scan pin inputs
  - Bus-hold circuitry on all user pin inputs
  - Full IEEE Standard 1149.1 boundary-scan (JTAG)
- Fast concurrent programming
- Slew rate control on individual outputs
- Enhanced data security features
- Excellent quality and reliability
  - Endurance exceeding 10,000 program/erase cycles
  - 20 year data retention
  - ESD protection exceeding 2,000V
- Pin-compatible with 5V-core XC9572 device in the 44-pin PLCC package and the 100-pin TQFP package

WARNING: Programming temperature range of

T<sub>A</sub> = 0° C to +70° C

## Description

The XC9572XL is a 3.3V CPLD targeted for high-performance, low-voltage applications in leading-edge communi-

cations and computing systems. It is comprised of four 54V18 Function Blocks, providing 1,600 usable gates with propagation delays of 5 ns. See [Figure 2](#) for overview.

## Power Estimation

Power dissipation in CPLDs can vary substantially depending on the system frequency, design application and output loading. To help reduce power dissipation, each macrocell in a XC9500XL device may be configured for low-power mode (from the default high-performance mode). In addition, unused product-terms and macrocells are automatically deactivated by the software to further conserve power.

For a general estimate of I<sub>CC</sub>, the following equation may be used:

$$I_{CC}(\text{mA}) = MC_{HS}(0.175*PT_{HS} + 0.345) + MC_{LP}(0.052*PT_{LP} + 0.272) + 0.04 * MC_{TOG}(MC_{HS} + MC_{LP}) * f$$

where:

MC<sub>HS</sub> = # macrocells in high-speed configuration

PT<sub>HS</sub> = average number of high-speed product terms per macrocell

MC<sub>LP</sub> = # macrocells in low power configuration

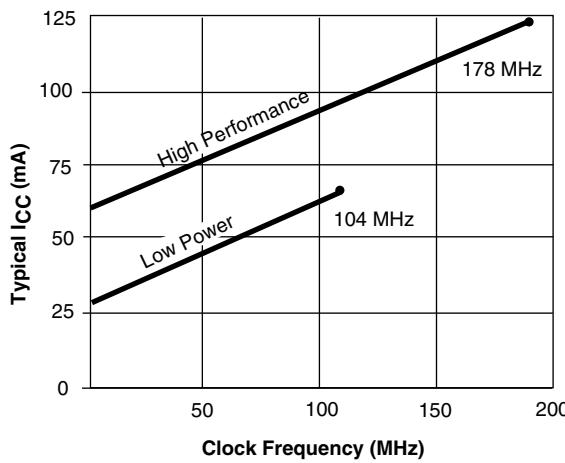
PT<sub>LP</sub> = average number of low power product terms per macrocell

f = maximum clock frequency

MCTOG = average % of flip-flops toggling per clock (~12%)

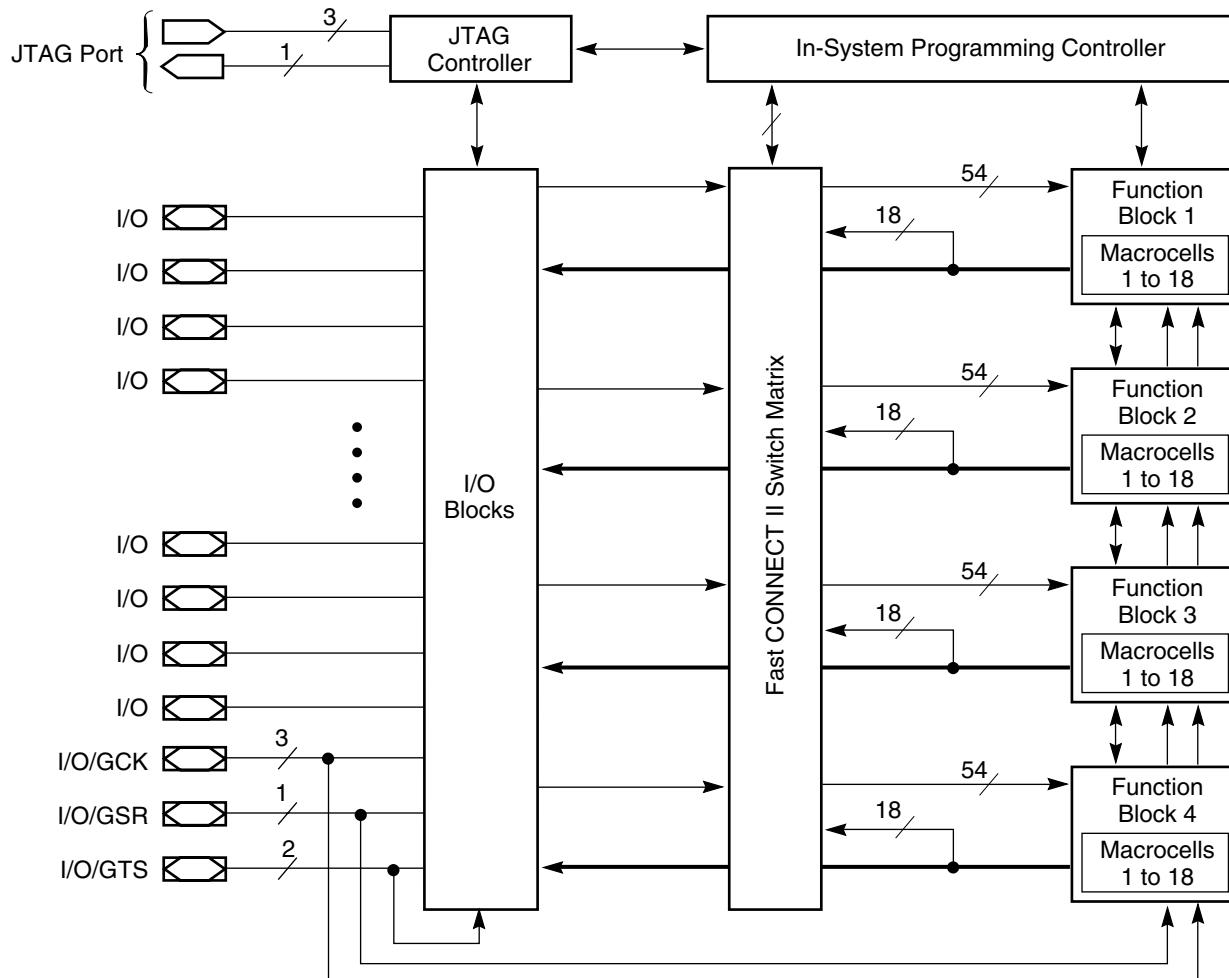
This calculation was derived from laboratory measurements of an XC9500XL part filled with 16-bit counters and allowing a single output (the LSB) to be enabled. The actual I<sub>CC</sub> value varies with the design application and should be verified during normal system operation. [Figure 1](#) shows the above estimation in a graphical form. For a more detailed discussion of power consumption in this device, see Xilinx

application note [XAPP114, "Understanding XC9500XL CPLD Power."](#)



DS057\_01\_010102

Figure 1: Typical I<sub>CC</sub> vs. Frequency for XC9572XL



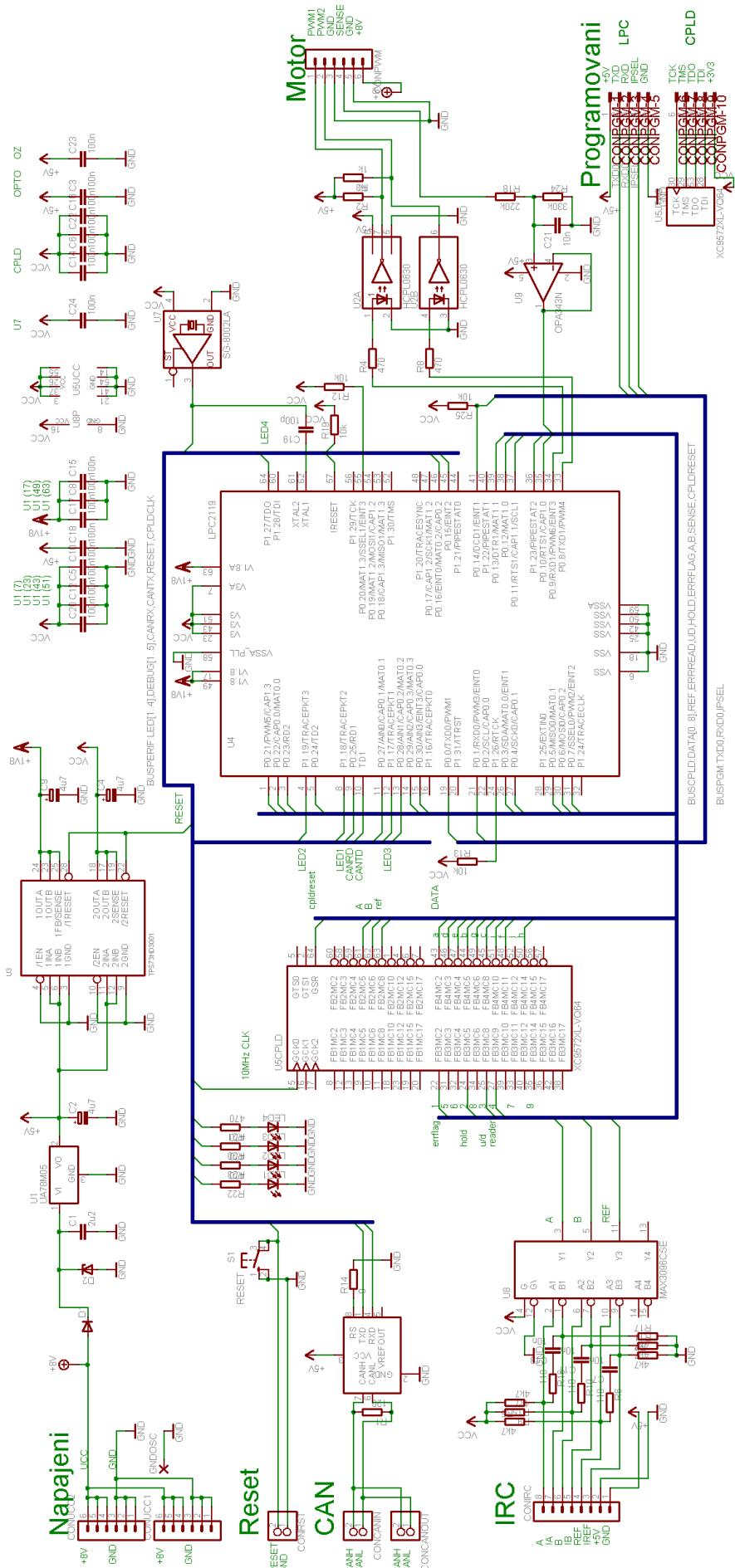
DS057\_02\_082800

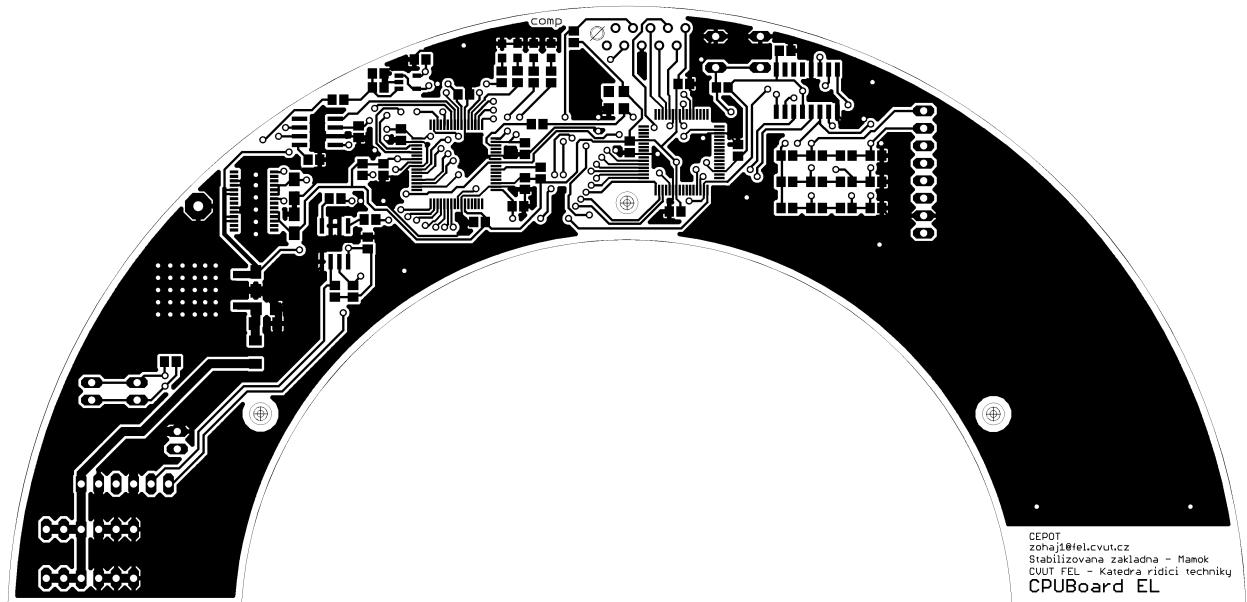
Figure 2: XC9572XL Architecture  
Function Block outputs (indicated by the bold line) drive the I/O Blocks directly.



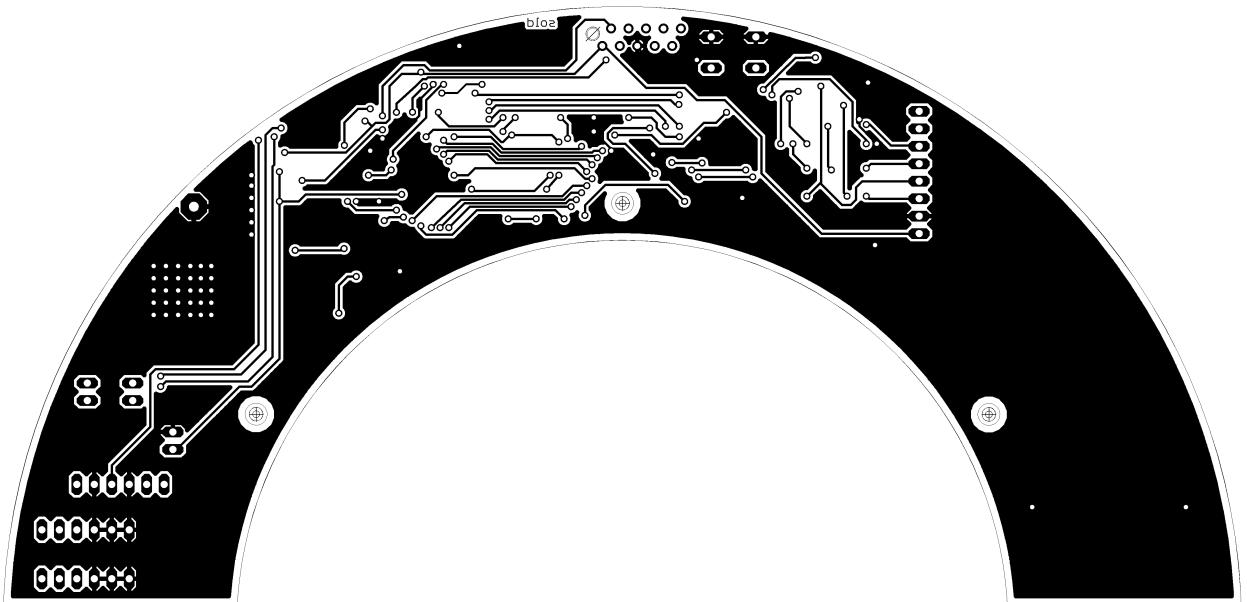
## **Příloha H**

### **Podklady pro výrobu CpuboardEL**

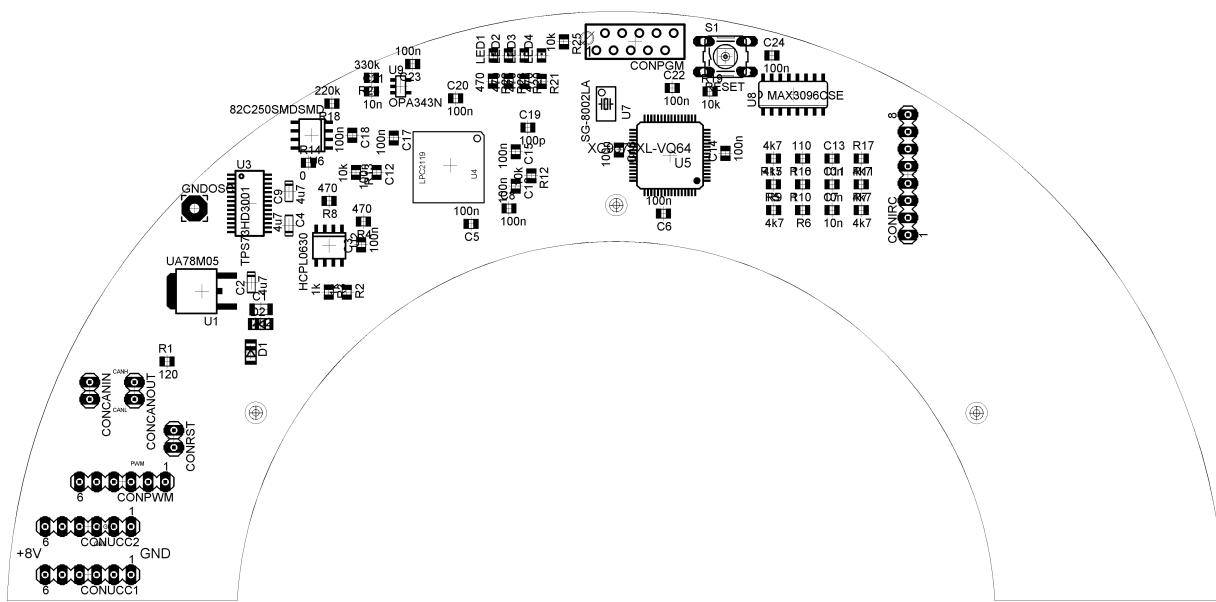




Obrázek H.1: Obrazec plošných spojů CpuboardEL - strana součástek



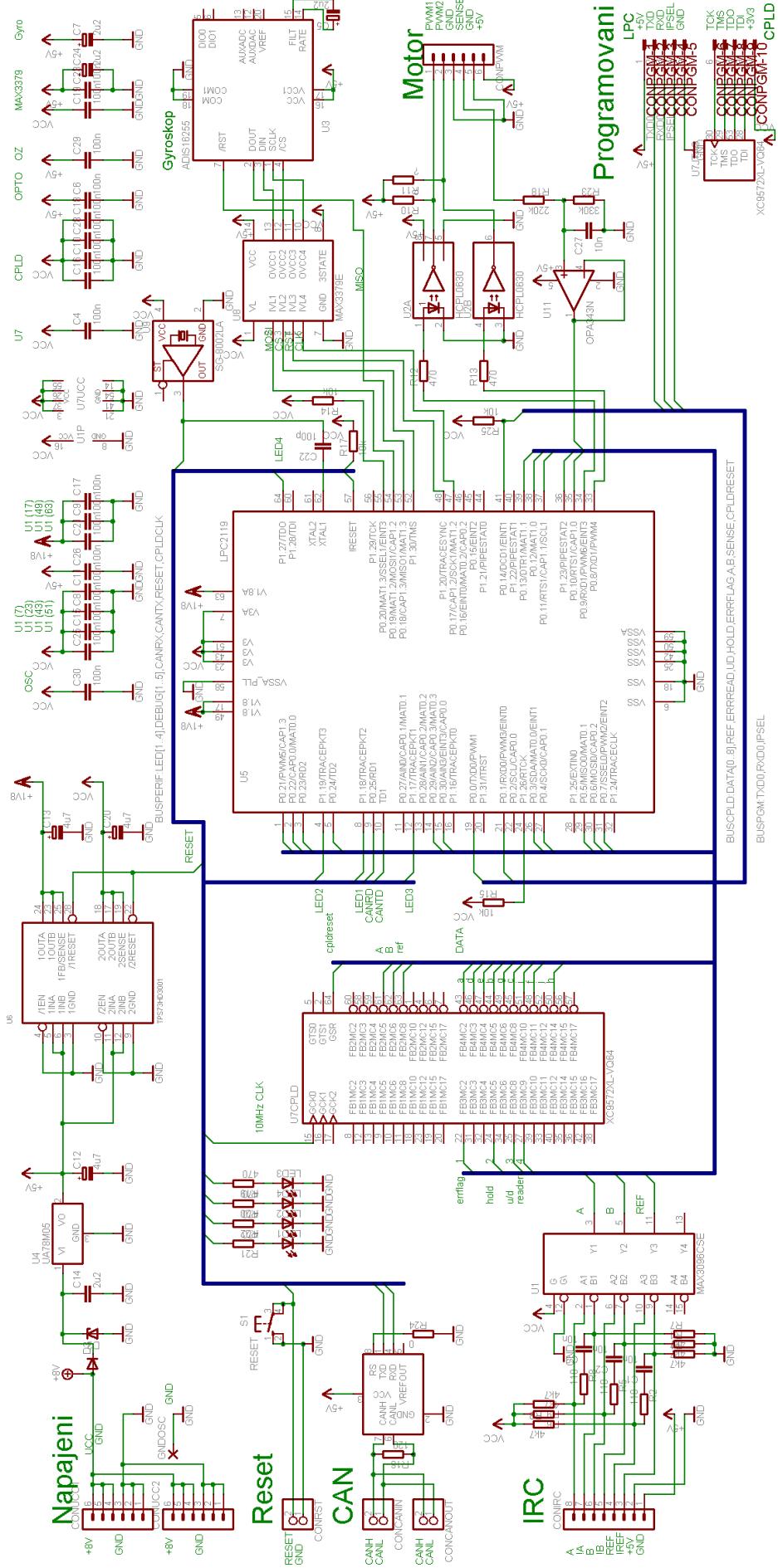
Obrázek H.2: Obrazec plošných spojů CpuboardEL - strana spojů

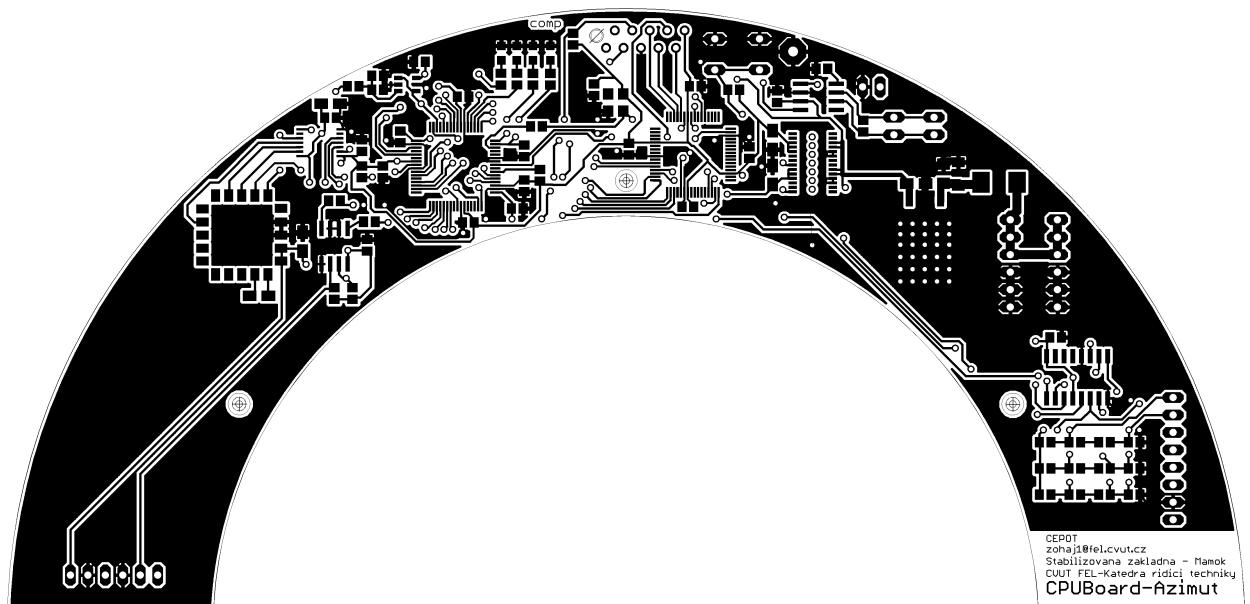


Obrázek H.3: Obrazec plošných spojů CpuboardEL - osazovací schéma

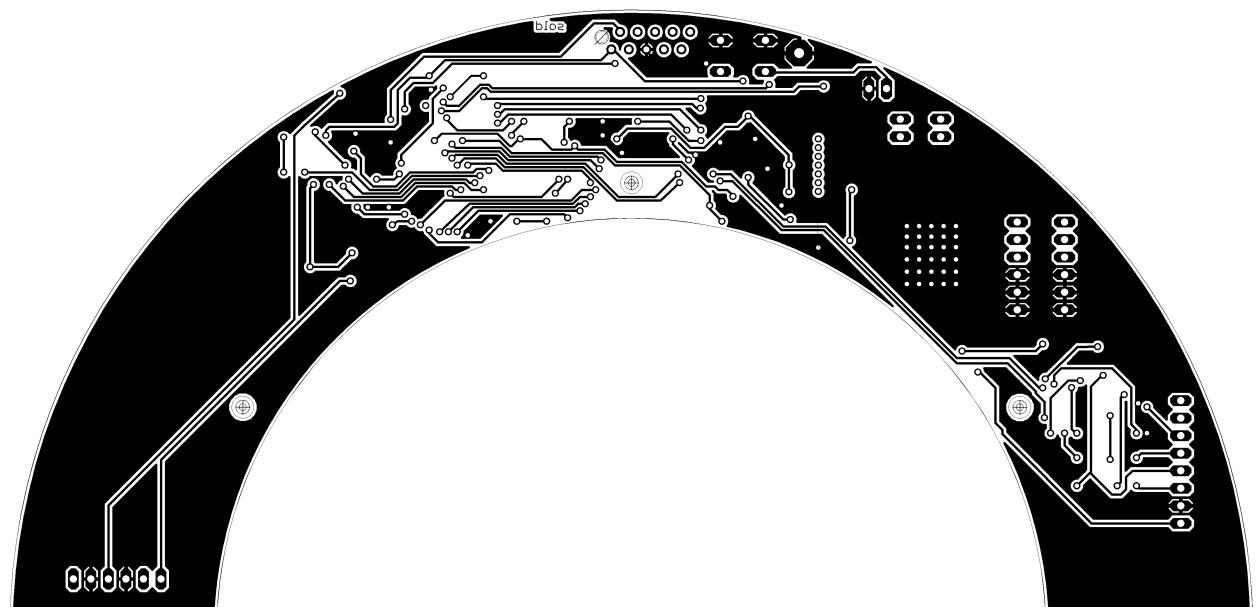
# Příloha I

## Podklady pro výrobu CpuboardAZ

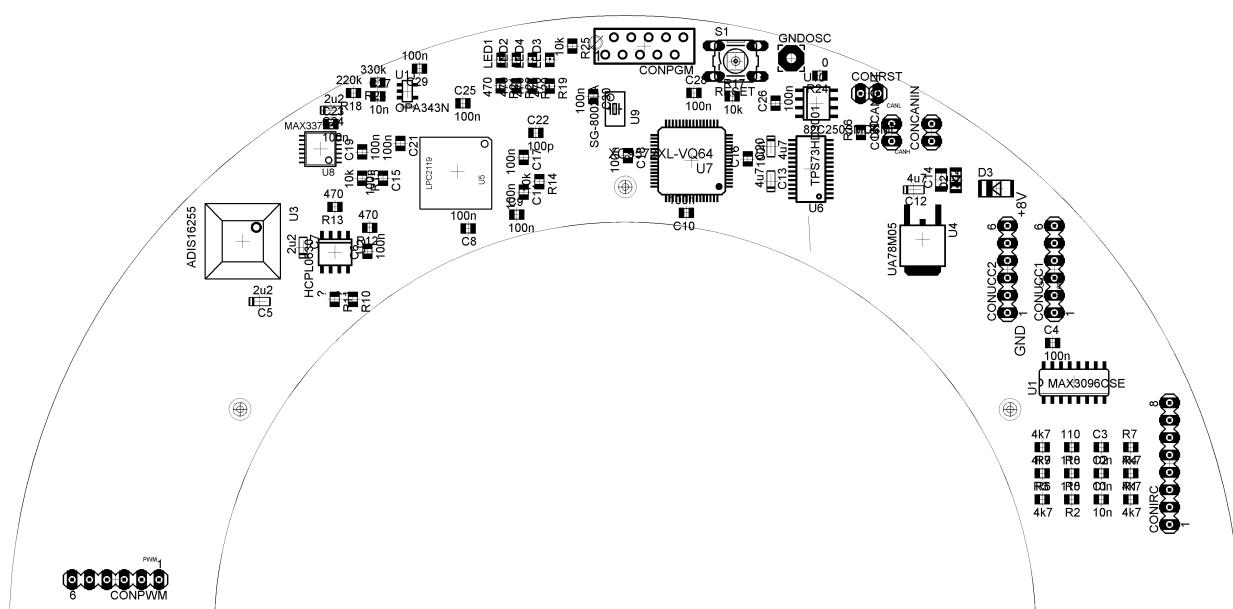




Obrázek I.1: Obrazec plošných spojů CpboardAZ - strana součástek

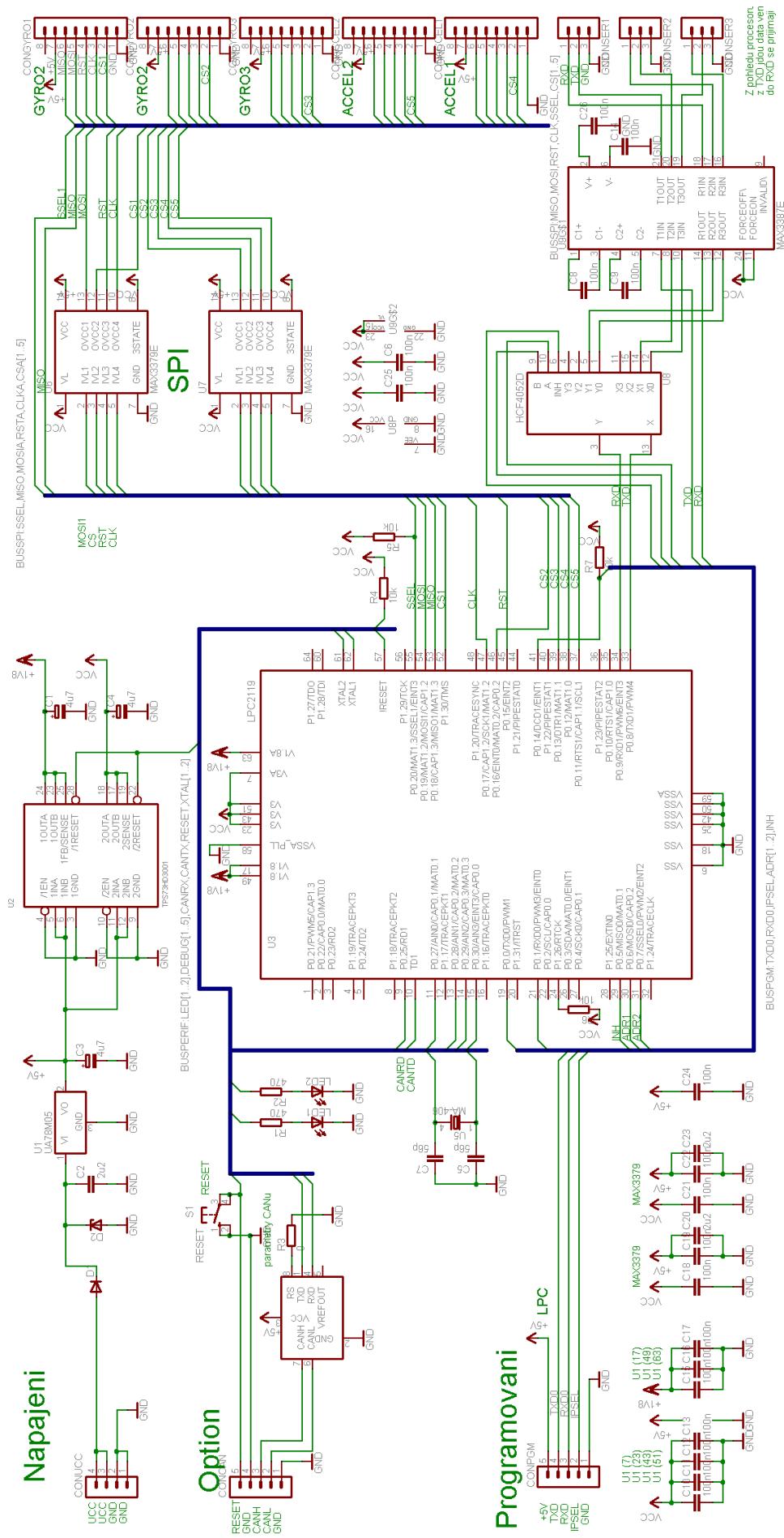


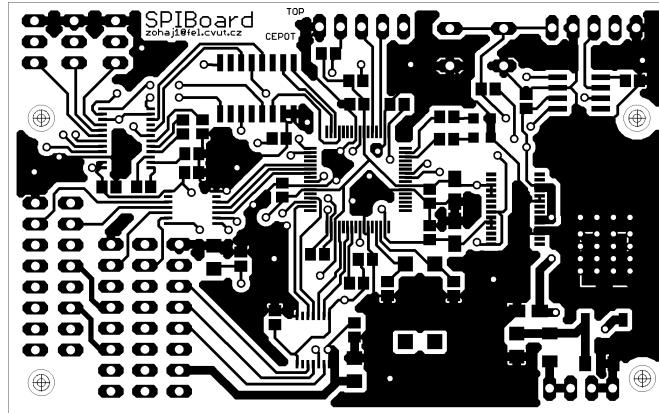
Obrázek I.2: Obrazec plošných spojů CpboardAZ - strana spojů



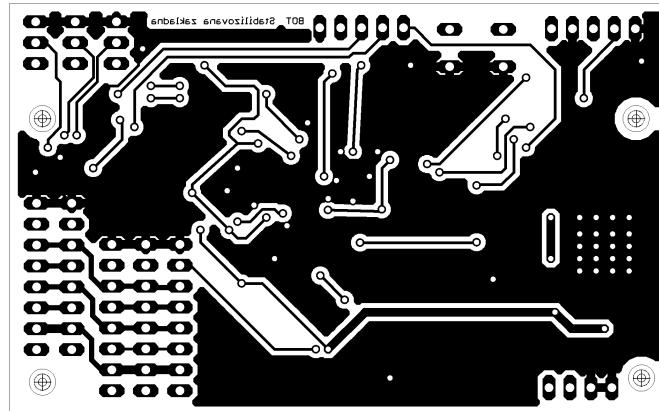
## **Příloha J**

### **Podklady pro výrobu SPIBoard**

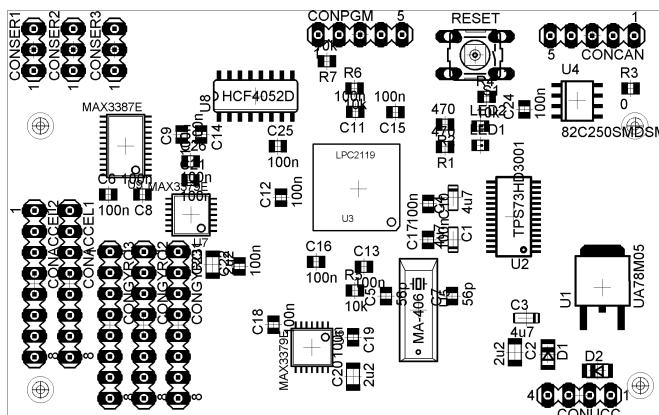




Obrázek J.1: Obrazec plošných spojů SPIBoard - strana součástek



Obrázek J.2: Obrazec plošných spojů SPIBoard - strana spojů

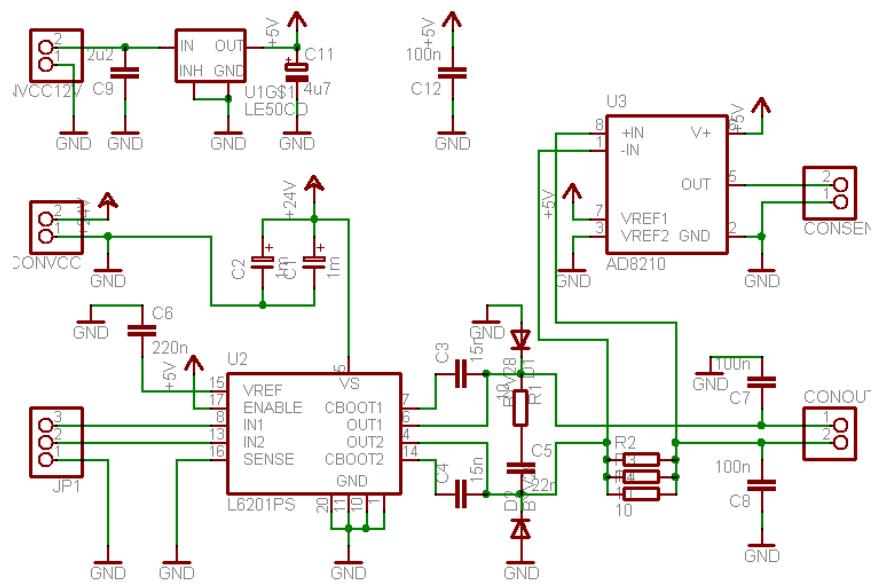


Obrázek J.3: Obrazec plošných spojů SPIBoard - osazovací schéma

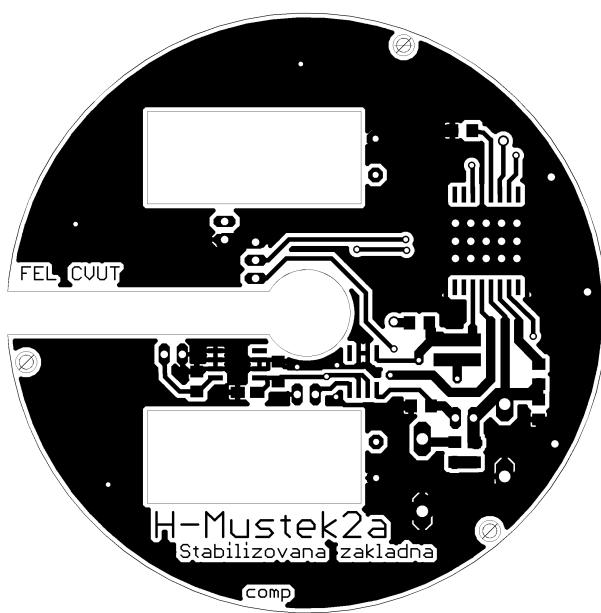


## **Příloha K**

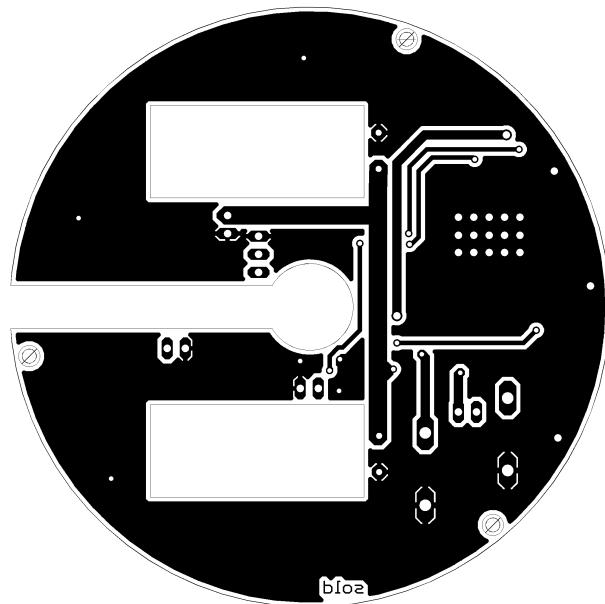
### **Podklady pro výrobu HmustekEL**



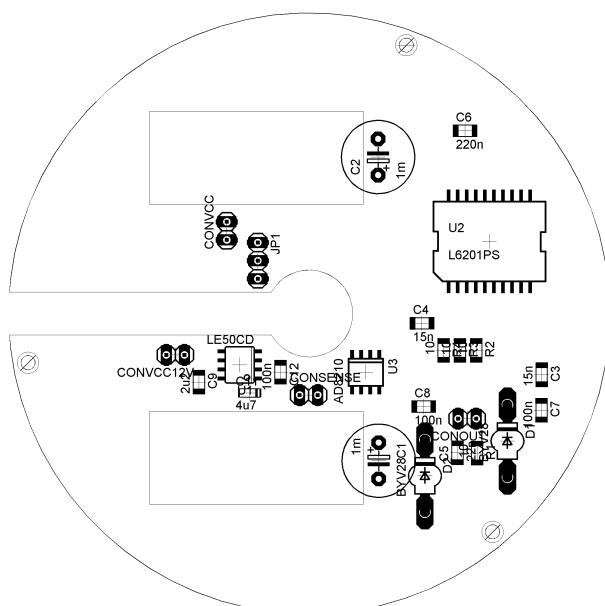
Obrázek K.1: Schéma zapojení desky HmustekEL



Obrázek K.2: Obrazec plošných spojů HmustekEL - strana součástek



Obrázek K.3: Obrazec plošných spojů HmustekEL - strana spojů

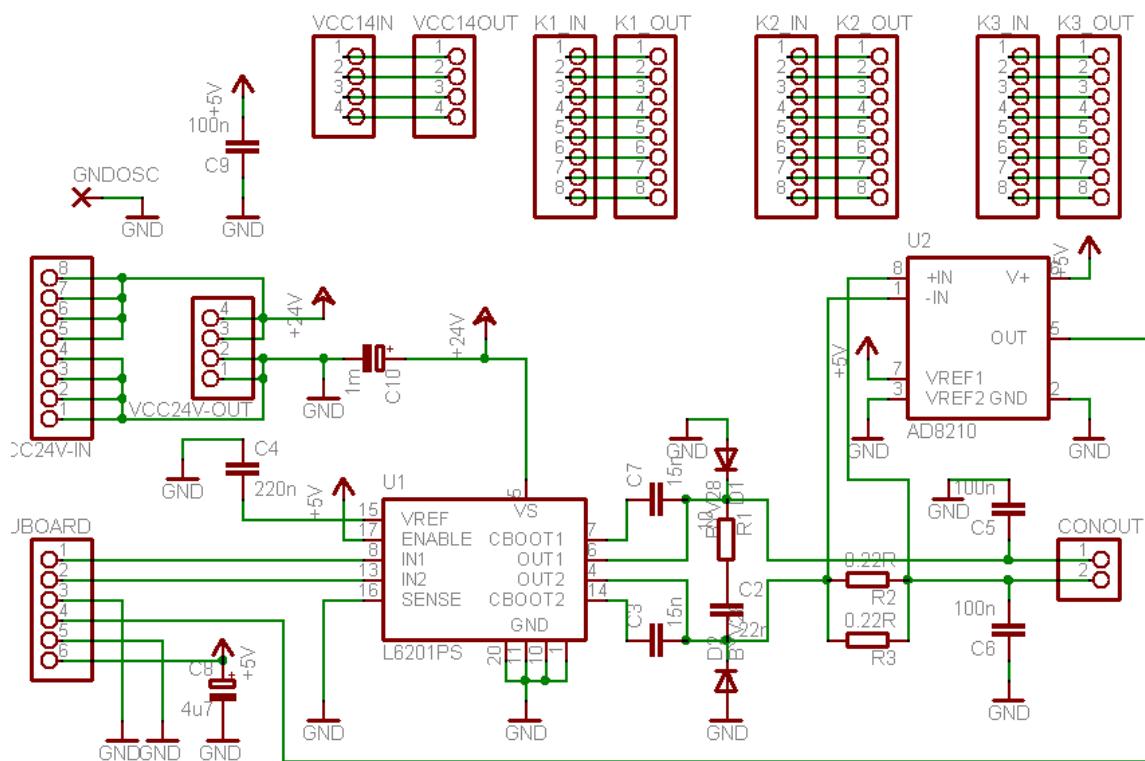


Obrázek K.4: Obrazec plošných spojů HmustekEL - osazovací schéma

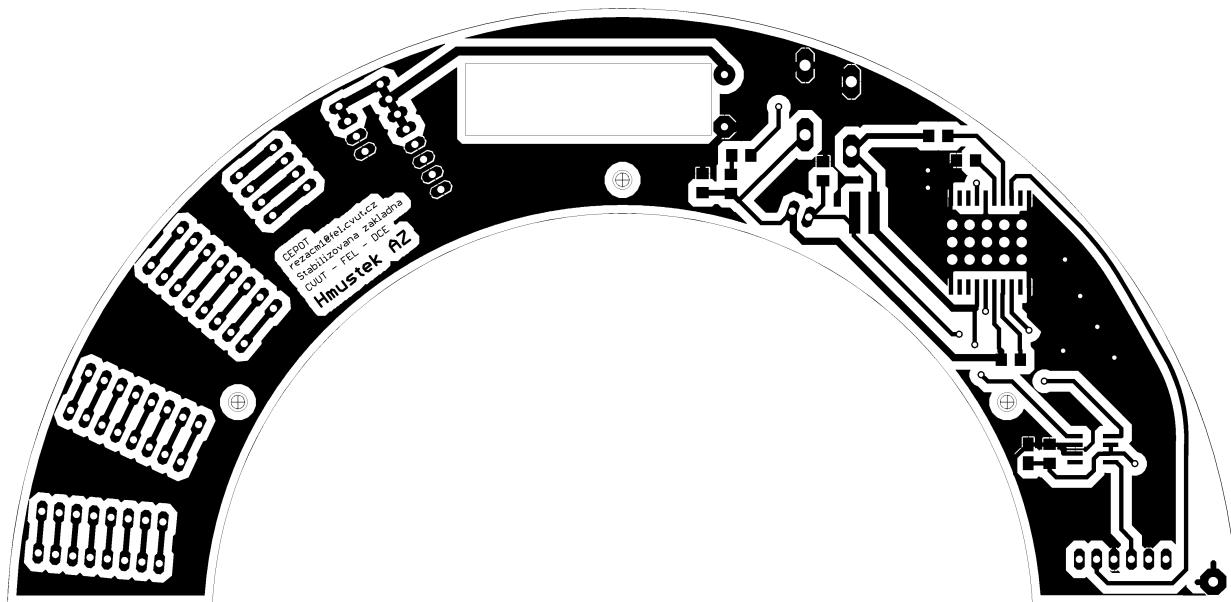


## Příloha L

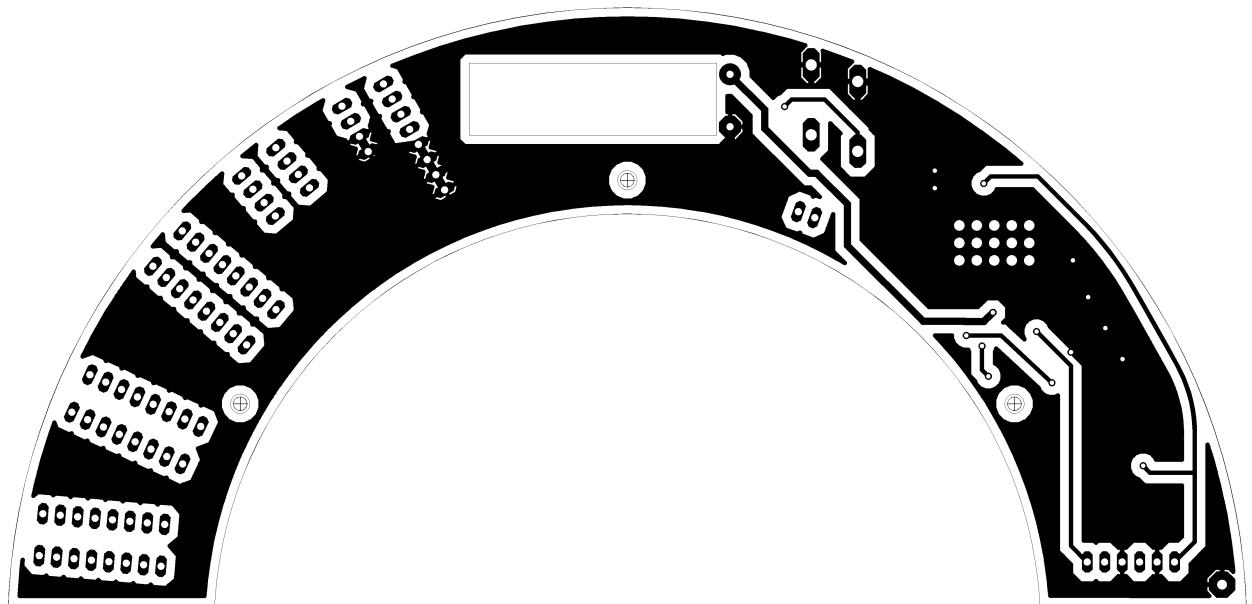
### Podklady pro výrobu HmustekAZ



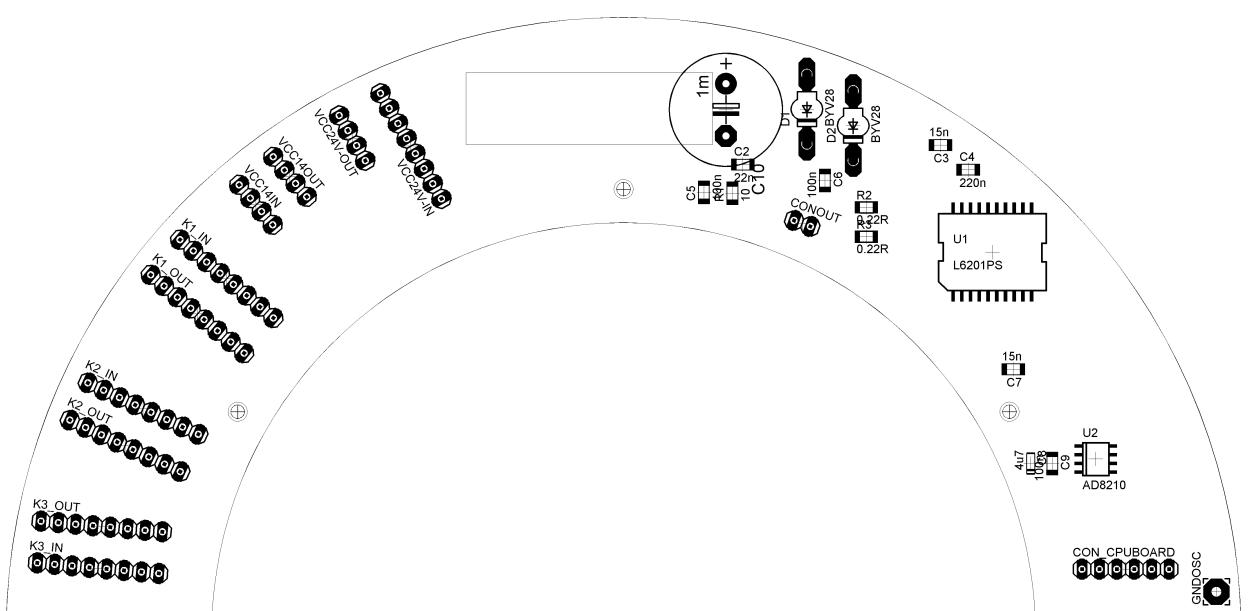
Obrázek L.1: Schéma zapojení desky HmustekAZ



Obrázek L.2: Obrazec plošných spojů HmustekAZ - strana součástek



Obrázek L.3: Obrazec plošných spojů HmustekAZ - strana spojů

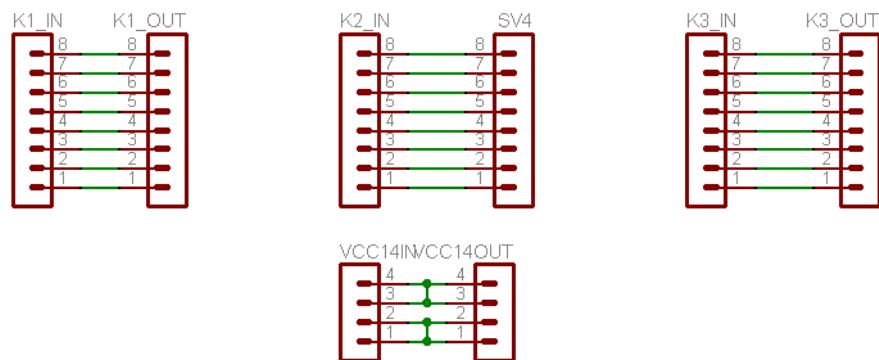


Obrázek L.4: Obrazec plošných spojů HmustekAZ - osazovací schéma

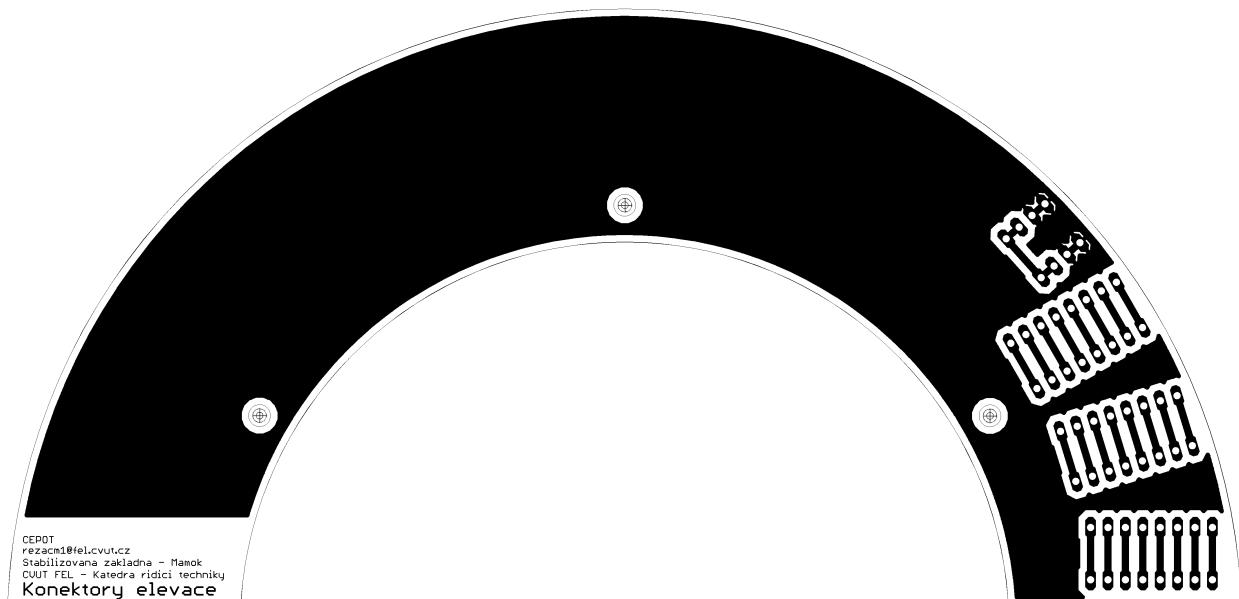


## **Příloha M**

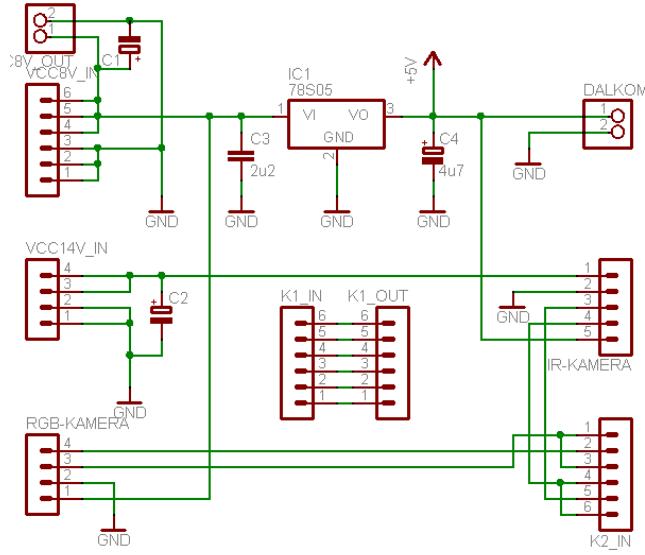
### **Podklady pro výrobu konektorových deseck**



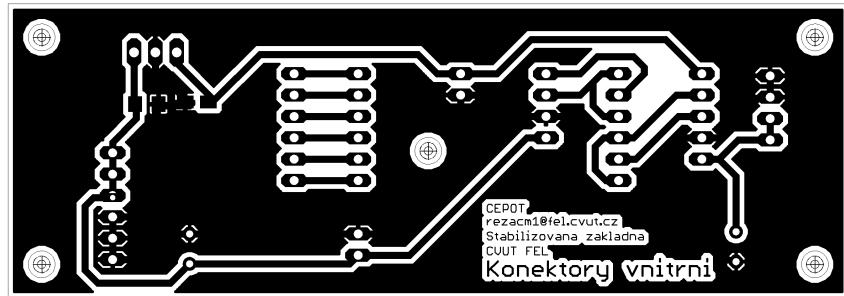
Obrázek M.1: Schéma zapojení desky Konektory elevace



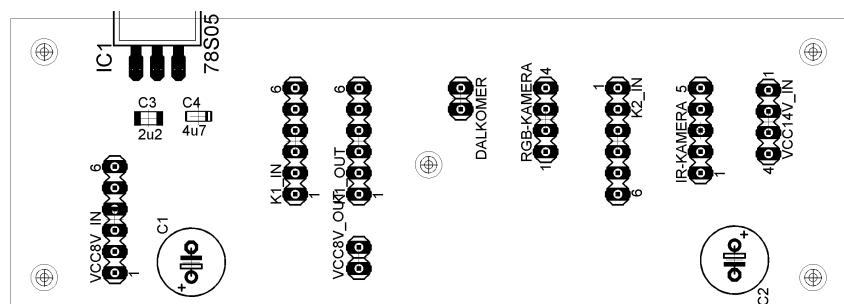
Obrázek M.2: Obrazec plošných spojů Konektory elevace - strana součástek



Obrázek M.3: Schéma zapojení desky Konektory vnitřní



Obrázek M.4: Obrazec plošných spojů Konektory vnitřní - strana součástek



Obrázek M.5: Obrazec plošných spojů Konektory vnitřní - osazovací schéma



## Příloha N

### Obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD s touto diplomovou prací v elektronické podobě společně s potřebnou další dokumentací a ukázkovými multimedialními soubory.

- Diplomová práce ve formátu PDF
- Dokumentace k použitým elektronickým součástkám
- Podklady pro výrobu desek plošných spojů
- Technické výkresy desek a řezu základny
- Zdrojové kódy programů mikrokontrolérů
- Multimediální část s videem činnosti základny a fotografiemi