

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
Katedra měření



Diplomová práce

# **Vestavný multifunkční systém pro závodní vůz**

Bc. Aleš Svoboda

Vedoucí práce: Ing. Jan Sobotka

Praha, 2015





## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Aleš Svoboda**

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

Název tématu česky: **Vestavný multifunkční systém pro závodní vůz**

Název tématu anglicky: **Race Car Multifunction Embedded System**

### Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte systém pro měření, záznam dat a elektronické ovládání převodovky závodního vozu CTU CarTech FS.0x. Mezi měřená data patří teplota, tlak, otáčky motoru, poloha vozu (GPS), propružení tlumičů, úhel natočení volantu a boční přetížení. Navrhněte a realizujte volantový modul s displejem, kde bude možné naměřené veličiny zobrazit. Implementujte software umožňující zobrazení dat v PC.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Vedral, J., Fischer, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 340 s. ISBN 80-010-2966-2
- [2] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4
- [3] Nicolas Navet, F. and Simonot-Lion, F.: Automotive Embedded Systems Handbook, CRC Press/INC, 2009

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Sobotka**

Datum zadání diplomové práce: **24. listopadu 2014**

Platnost zadání do<sup>1</sup>: **31. srpna 2016**

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



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 24. 11. 2014

<sup>1</sup> Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.



## Čestné prohlášení autora práce

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

V Praze dne .....

.....  
Podpis autora práce



---

# Anotace/Annotation

---

Tato práce se zabývá návrhem elektronického systému pro vůz CTU CarTech FS.0x. Systém je rozdělen na tři části, které jsou popsány v jednotlivých kapitolách. První část je jednotka řazení, která umožňuje elektronické ovládání převodovky a spojky vozu. Druhá část je volantový modul, který tvoří uživatelské rozhraní pro pilota vozu. Toto rozhraní je tvořeno displejem, indikačními LED diodami a ovládacími prvky. Poslední zařízení je data logger, který umožňuje měření a záznam dat ze senzorů běžně používaných ve vozech FS.0x (tlakové a teplotní snímače, potenciometry, ap.). Každá část je tvořena deskou plošných spojů s mikroprocesorem řady STM32Fx. Práce popisuje obvodovou funkci jednotlivých vestavných zařízení, prezentuje výsledný návrh a také popisuje implementovaný software.

This thesis deals with the design of electronic system for CTU CarTech FS.0x race car. This system is divided into three parts, which are described in separate chapters. The first part is a shifting unit, which controls electronic actuation of vehicle's gearbox and clutch. The second part is a steering wheel module which creates an interface between the driver and car. This interface consists of a display, LEDs and controls. The last device is a data logger that enables measurement and data logging from sensor commonly used in FS.0x cars (e.g. pressure and temperature transducers and potentiometers). Each part is realized as a printed circuit board with a STM32Fx-series microcontroller. The paper describes the circuit function of each embedded device, presents the final design and also describes the implemented software.





*Děkuji vedoucímu práce Ing. Janu Sobotkovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky a týmu CTU CarTech za možnost podílet se na vývoji vozu a realizovat tuto práci. Poděkování také v neposlední řadě patří mé rodině za plnou podporu při studiu.*



---

# Obsah

---

<b>Obsah</b>	<b>a</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Projekt CTU CarTech . . . . .	1
1.1.1 Elektronika vozů FS.0x . . . . .	2
1.1.2 Jednotka řazení . . . . .	3
1.2 Cíle práce . . . . .	3
<b>2 Jednotka řazení</b>	<b>5</b>
2.1 Základní koncept . . . . .	5
2.1.1 Řazení rychlostních stupňů . . . . .	5
2.1.2 Specifikace jednotky řazení . . . . .	6
2.1.3 Zvážení použití elektrických aktuátorů . . . . .	7
2.2 Návrh hardware . . . . .	10
2.2.1 Mikroprocesor . . . . .	10
2.2.2 Napájení DPS . . . . .	10
2.2.3 Vstupní porty . . . . .	11
2.2.4 Výstupní porty . . . . .	12
2.3 Software . . . . .	13
<b>3 Volantový modul</b>	<b>19</b>
3.1 Rešerše komponent . . . . .	19
3.1.1 Mikroprocesor pro volantový modul . . . . .	19
3.1.2 Displej pro volantový modul . . . . .	20
3.1.3 Budič CAN . . . . .	21
3.2 Návrh hardware . . . . .	22
3.3 Software . . . . .	23
3.3.1 FT800 . . . . .	23
3.3.2 Ukázka programu . . . . .	25

<b>4</b>	<b>Data logger</b>	<b>29</b>
4.1	Rešerše komponent . . . . .	30
4.1.1	Mikroprocesor . . . . .	30
4.1.2	GPS . . . . .	31
4.1.3	Externí paměť . . . . .	32
4.1.4	Napěťová reference pro A/D převodníky . . . . .	32
4.1.5	Akcelerometr . . . . .	33
4.2	Návrh hardware . . . . .	34
4.2.1	Lineární regulátor . . . . .	34
4.2.2	GPS . . . . .	35
4.2.3	Flash paměť S25FL128S . . . . .	36
4.2.4	Měřicí blok . . . . .	37
4.3	Software . . . . .	41
4.3.1	A/D převodníky . . . . .	41
4.3.2	GPS . . . . .	43
4.3.3	Flash paměť S25FL128S . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
	<b>Literatura</b>	<b>53</b>
<b>A</b>	<b>Schéma jednotky řazení</b>	<b>55</b>
<b>B</b>	<b>Doplňující informace k volantovému modulu</b>	<b>57</b>
<b>C</b>	<b>Doplňující informace k data loggeru</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>66</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>67</b>

# Kapitola 1

---

## Úvod

---

Tato práce vznikla v rámci projektu CTU CarTech na ČVUT v Praze, který se účastní soutěže Formula Student/SAE, což je mezinárodní soutěž určená pro studenty vysokých škol s technickým zaměřením. Cílem je umožnit studentům propojit teoretické vědomosti nabyté ve škole s praxí. Koncepce je taková, že fiktivní firma má požadavek na návrh závodního vozu formulového typu pro víkendového závodníka a výrobu prototypu.

Studentské týmy mají možnost porovnat své návrhy při soutěžích pořádaných po celém světě (Německo, Anglie, USA, Japonsko, Rusko ad.). Hotový vůz je posuzován odbornou komisí ve statických a dynamických disciplínách. Všechny disciplíny jsou bodově ohodnoceny a vyhrává tým, který dosáhl nejvyššího počtu bodů.

Mezi statické disciplíny patří *Design event*, *Cost and Manufacturing analysis event* a *Presentation event*. Úkolem *Design eventu* je obhájit celkový návrh a technická řešení zkonstruovaného vozu. U *Cost and Manufacturing analysis event* se hodnotí cena vozu při výrobě série o 1000 kusech. Při *Presentation event* tým oslovuje fiktivní investory a prezentuje jim plán pro sériovou výrobu vozu.

Mezi dynamické disciplíny patří *Acceleration event*, *Skidpad event*, *Autocross event*, *Endurance event* a *Fuel economy event*. Hodnotí se čas zjetý v jednotlivých disciplínách a u závodu *Endurance* navíc i spotřeba paliva.

### 1.1 Projekt CTU CarTech

Tým CTU CarTech se poprvé zúčastnil soutěže v Německu v roce 2009 a v současné době již patří mezi světovou špičku v konkurenci více než 500 týmů (aktuálně 22. místo z 511 týmů, dle [1]). V letošním roce je připravováno již sedmé auto, tedy s označením FS.07.

Obrázek 1.1: Vůz FS.06 při závodech v Itálii, foto: Štěpán Fišer



Aby si tým udržel současné postavení, využívá stále více nejmodernější technologie a snaží se nalézat inovativní řešení. Jako příklad můžeme uvést vývoj nosné struktury a ráfků z kompozitních materiálů, široké využití 3D tisku a sintrování nebo rozsáhlé výpočty v oblasti aerodynamiky vozu. V oblasti elektroniky se pak jedná o vývoj bezdrátové komunikace (viz [2]), elektropneumatického řazení a rozsáhlá měření jak v laboratoři, tak přímo na závodním voze. Naměřené hodnoty se používají především pro analýzu a následnou optimalizaci chování podvozku v různých jízdních režimech a také pro verifikaci matematických modelů používaných při návrhu auta.

Tyto inovace nemají pouze pozitivní dopad na výsledné dynamické vlastnosti automobilu, ale jsou také velmi kladně hodnoceny v rámci disciplíny *Design event*.

### 1.1.1 Elektronika vozů FS.0x

#### Data logger

Ve voze FS.06 (viz Obr. 1.1) a několika předešlých modelech byl použit data logger AiM MXL Pista, který zároveň slouží jako palubní počítač pro zobrazení nejdůležitějších informací (teplota vody a oleje, tlak oleje a paliva, otáčky motoru atd.). Tato jednotka je hojně využívána i profesionálními závodními týmy, má však několik nevýhod, které vedly k rozhodnutí vyvinout vlastní systém pro zobrazení a záznam dat. Seznam hlavních nevýhod je uveden v Tab. 1.1, jsou seřazeny dle priority.

Tabulka 1.1: Nevýhody komerčního data loggeru AiM MXL Pista

Cena	Cena za samotný data logger se pohybuje okolo 50 000 Kč, s příslušenstvím je cena ještě vyšší, dle [3].
Rozhraní CAN	Jednotka umožňuje příjem dat přes rozhraní CAN. Identifikátory rámců CANu (a i jejich formát) jsou však pevně definovány a nelze je modifikovat. Díky tomu je znemožněno připojení dalšího zařízení, které by např. vysílalo data s novým identifikátorem.
Analog. a dig. vstupy	Základní verze obsahuje 8 analogových vstupů a pouze jeden digitální vstup pro měření otáček motoru. Počet analogových vstupů je možné zvýšit zakoupením speciálního příslušenství, což však zvyšuje pořizovací náklady a hmotnost a zařízení je méně kompaktní pro zástavbu do vozu.
Digitální výstupy	Jednotka neobsahuje žádný logický výstup, pouze programovatelné indikační LED diody.

### 1.1.2 Jednotka řazení

Pohonnou jednotkou formulí FS.0x je zážehový čtyřtákní motor z motocyklu Yamaha R6 s označením RJ11, který pro přenos točivého momentu na kola používá manuální šestistupňovou sekvenční převodovku. Při dynamických disciplínách jsou časy řazení kritické, a to především při *Autocross event*, kdy o vítězi často rozhoduje jedna setina sekundy. Aby bylo přerazení co nejrychlejší, je vhodné pro tuto činnost využít elektroniku. Funkci řazení vč. logických výstupů obsahuje řídicí jednotka motoru EFI Euro 4, kterou tým používá ve všech vozech. Pomocí tohoto systému však není možné ovládat zároveň spojku, která se používá při podřazování. Z toho důvodu se tým rozhodl pro vývoj vlastní jednotky.

## 1.2 Cíle práce

Z výše uvedeného vyplývá, že koncept multifunkčního systému bude rozdělen do tří celků, kterými jsou jednotka řazení, data logger a zobrazovací jednotka. Práce si klade za cíl návrh potřebných plošných spojů, jejich osazení, následné oživení a implementaci základních funkcí pro obsluhu realizované elektroniky.





## Kapitola 2

---

# Jednotka řazení

---

### 2.1 Základní koncept

Zadání je navrhnout zařízení, které bude ovládat převodovku a spojku vozu za použití pneumatických aktuátorů od firmy Festo. Jako aktuátor pro řazení převodových stupňů je použit pneumatický válec<sup>1</sup> a pro zmáčknutí pneumatický fluidní sval<sup>2</sup>. Aktuátory jsou uvedeny do pohybu po otevření elektropneumatického (EP) ventilu<sup>3</sup>, kdy se v systému zvýší tlak na hodnotu přibližně 0,8 MPa. Systém pilot ovládá pomocí pádel (tlačítek) pod volantem.

#### 2.1.1 Řazení rychlostních stupňů

Proces řazení je velmi podobný, jako u klasických osobních automobilů. Jsou zde však rozdíly, které mají vliv na výslednou podobu zařízení.

#### Zařazení vyššího rychlostního stupně

Stejně jako u klasických automobilů, je u formule nutné přerušit distribuci točivého momentu k hnané nápravě (ubrání plynu), aby bylo možné zařadit vyšší převodový stupeň. Na rozdíl od standardních automobilů však pilot nemusí při řazení měnit polohu plynového pedálu. Toto je velmi důležité pro co nejkratší celkovou dobu zařazení.

Nutná doba přerušení dodávaného výkonu pro úspěšné přeřazení se pohybuje v řádu desítek milisekund. Pokud by pilot ubíral plyn manuálně (uvolnění a opětovné zmačknutí plynového pedálu), trval by tento proces mnohem delší dobu. Toto přerušení se tedy realizuje elektronicky, kdy se řídicí jednotce motoru (ECU)

---

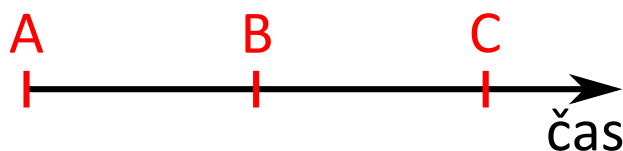
<sup>1</sup>Typ DSNUP-25-50-P-A.

<sup>2</sup>Typ DMSP-10-90N-RM-CM.

<sup>3</sup>Typ VOVG-L10-M32C-AZH-M5-5H2+W1 a VUVG-L10-T32C-AZT-M7-U-5K6L

vyšle signál, na základě kterého vykoná příslušnou akci (vynechání zápalu a/nebo vstříku paliva, změna předstihu atp.). Po ubrání plynu pneumatický válec provede přeřazení.

Obrázek 2.1: Časový průběh řazení vyššího převodového stupně



Na Obr. 2.1 je znázorněna časová osa průběhu řazení. Čas mezi zmáčknutím pádla (A) a ubráním plynu (B) a čas uvedení pneumatického aktuátoru do pohybu (C) se může lišit v závislosti na jízdním režimu automobilu, a proto musí být možné tyto časy konfigurovat, stejně jako doba trvání jednotlivých akcí.

### Zařazení nižšího rychlostního stupně

K zobrazení časové souslednosti podřazování můžeme opět využít Obr. 2.1. Vše je zahájeno stisknutím příslušného pádla (A) následovaného odpojením spojky pomocí pneumatického svalu (B) a nakonec dojde k samotnému podřazení (C). Platí zde stejné požadavky na konfiguraci časů jako při řazení vyšších převodových stupňů.

### 2.1.2 Specifikace jednotky řazení

Souhrn základních vlastností navrhované jednotky je uveden v Tab. 2.1.

Tabulka 2.1: Základní specifikace jednotky řazení

Napájení		Jednotka je napájena napětím v palubní síti (6–15 VDC)
Vstupní porty	Napájení pro EP ventily	Port umožňuje přivedení napájecího napětí v rozsahu 10–30 VDC
	Pádla pod volantem	2x logický vstup pro detekci stisku pádel
	Reset	Vstup je zaveden pro účely ladění
Výstupní porty	ECU	Logický výstup pro aktivování přednastavené funkce v ECU
	EP ventily	Výkonové výstupy pro spínání EP ventilů
Indikační LED		Celkem 5, jedna pro indikaci napájení, ostatní pro účely ladění programu

### 2.1.3 Zvážení použití elektrických aktuátorů

Pneumatické a hydraulické aktuátory jsou obecně výkonnější oproti elektrickým s ohledem na velikost. Použití elektrických aktuátorů by však přineslo řadu výhod, jako např.:

- Možnost sofistikovaného ovládání spojky a převodovky – Pneumatické aktuátory z principu funkce umožňují pouze pohyb do krajních poloh a jejich funkce je nejvíce ovlivněna teplotou okolního prostředí. Elektrické i hydraulické řešení umožňuje zpětnovazební řízení polohy.
- Redukce hmotnosti – Elektrické aktuátory jsou sice větší (a těžší) oproti hydraulickým a pneumatickým, ale hydraulické potřebují ke své funkci čerpadlo a pneumatické zase zásobu pracovního plynu (např. CO<sub>2</sub>, stlačený vzduch), takže ve výsledku by čistě elektrický systém mohl být nejlhčí.
- Jednoduchá údržba – Elektrické aktuátory nepotřebují po celou dobu provozu žádnou údržbu. Podobné je to také u hydraulických aktuátorů. U pneumatických je však potřeba měnit láhev s pracovním plynem.

#### Ovládání spojky

Hlavní kritéria pro výběr akčního členu jsou shrnuta v Tab. 2.2. Tyto požadavky vedou na použití lineárního nebo rotačního servopohonu.

Tabulka 2.2: Specifikace elektrického aktuátoru pro spojku

Napájení	10–30 VDC
Točivý moment	> 8 Nm
Čas sepnutí spojky	< 150 ms
Stupeň krytí	IP65 nebo vyšší
Řízení polohy	Ano, postačující je přímovazební řízení

**Rotační servopohony** Tento typ aktuátoru je hojně využíván v modelářství, kde však většinou není zapotřebí tak velký točivý moment. Podařilo se tedy najít pouze dva aktuátory splňující specifikaci, viz Tab. 2.3. Servopohon firmy Tonegawa-Seiko sice nesplňuje požadavek na rychlost, ale jelikož disponuje přebytkem točivého momentu, je možné použít stálý převod, který zvětší rychlost výstupní hřídele na požadovanou úroveň.

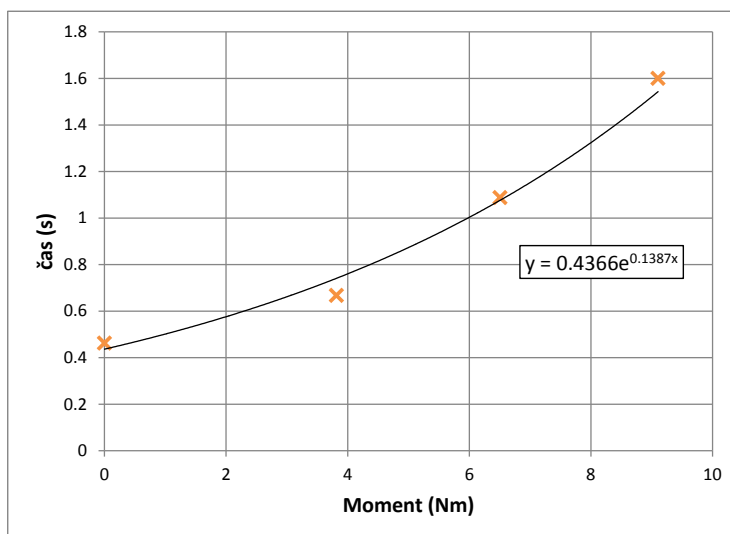
Parametry těchto aktuátorů jsou standardně udávány v režimu bez zatížení, na kterém je však silně závislá rychlost aktuátoru. Se servopohonem HT-1000SGT tedy bylo provedeno jednoduché experimentální měření, které zjišťovalo tuto závislost. Výsledky měření jsou zobrazeny na Obr. 2.2.

Tabulka 2.3: Rotační servopohony pro ovládání spojky

Označení	Hitec HT-SGT1000	Tonegawa-Seiko SSPS105
Napájení (V)	10–15	10.8–13.2
Max. moment (Nm)	10.5	18.6
Rychlost (s/60°)	0.19	0.33
Stupeň krytí	IP65	IP65
Řízení polohy	PWM	PWM
Hmotnost (g)	363	780
Orientační cena (Kč)	9000	9500

Pro sepnutí spojky u formule je nutné pootočit aktuátor přibližně o 10°. Z grafu 2.2 tedy vyplývá, že tento servopohon má dostatečný výkon, aby mohl nahradit pneumatický sval, jelikož čas sepnutí spojky by se pohyboval okolo 130 ms. Navrhovaná jednotka by tedy měla umožnit jak připojení EP ventilu, tak servopohonu.

Obrázek 2.2: Závislost času otočení o 100° na velikosti zatížení



**Lineární servopohony** Na trhu je dostupné velké množství těchto aktuátorů, jen velmi málo z nich však splňuje požadavky uvedené v Tab. 2.2. Seznam dodavatelů lineárních pohonů (nejen sevpohonů), kteří byli v rámci rešerše nalezeni je v Tab. 2.4. Červená pole značí, že daný výrobce nemá v nabídce ani jeden vhodný aktuátor. Zelená pole značí, že firma nabízí vhodný aktuátor. Zjistili jsme však, že jsou tyto akční členy jsou relativně drahé, případně firma nedodává jeden kus.

Tabulka 2.4: Dodavatelé lineárních pohonů

Allen-Bradley	Harmonic Drive AG	Parker
American Actuators	Haydon kerk	PHD Inc.
Anaheim Automation	HDT	RK Rose Krieger
Atlanta Drive Systems	IAI	Servo Drive
BEI Kimco Magnetics	Kendall Electric	SMAC MCA
Bimba	Kollmorgen	SMC
Cirolla	Metal work pneumatic	Telco Motion
Dunkermotoren	Mirai inter-tech	Tolomatic
Emotion Inc	MOOG Animatics	Ultramotion
Exlar	Moore International	Warner Linear
H2W Technologies	Moticont	Zaber
Harmonic Drive	Motion	Zero Max

### Ovládání převodovky

Základní požadavky pro výběr elektrické náhrady pneumatického válce jsou shrnuty v Tab. 2.5. Je zde uveden požadavek jak na moment, tak na sílu, kterou musí aktuátor vyvinout. Tyto požadavky však nemusí být splněny současně. Hodnota 12 Nm je potřebná k přerazení převodového stupně bez použití přepákování. Hodnota 200 N pak určuje délku přepákování 60 mm, které se aktuálně na formulích používá.

Tabulka 2.5: Specifikace elektrického aktuátoru pro převodovku

Napájení	10–30 VDC
Moment	> 12 Nm
Síla	> 200 N
Čas přerazení	< 100 ms
Stupeň krytí	IP65 nebo vyšší
Řízení polohy	Ne

Případný aktuátor musí tedy být buď dostatečně „silný“, aby nebylo nutné použít přepákování<sup>4</sup> nebo dostatečně rychlý, aby byl i s přepákováním dosažen čas přerazení pod 100 ms.

Pro tuto úlohu je kromě servomechanizmů (pro které platí stejný závěr jako v předchozím odstavci) možné použít solenoidové akční členy (např. „voice coil“),

<sup>4</sup>Toto samozřejmě platí pouze pro rotační aktuátory.

kteří se v hojně míře používají v reproduktorech. Jejich hlavní výhodou je schopnost generovat velký impuls síly ve velmi krátkém čase. Opět však narážíme na problém, že výrobci nenabízí aktuátor vhodný pro naši aplikaci.

Výjimku tvoří firmy, které se přímo věnují tématice elektrického řazení. Firma Pro-Shift nabízí však pouze kompletní řešení vč. řídicí elektroniky, není tedy možné koupit pouze aktuátor. Nákup kompletního řešení také není možný, jelikož tento systém neumí ovládat současně převodovku a spojku. Firma Kliktronic nabízí jako základní řešení této úlohy aktuátor s dvěma tlačítky a relé. I takto jednoduché řešení však stojí 499 britských liber, viz [4].

## 2.2 Návrh hardware

Kompletní schéma zařízení můžeme nalézt v příloze A. Při návrhu DPS jsme se snažili dodržet pravidla popsaná v [5] a přizpůsobit jej k ručnímu osazování desky. Podoba výsledného zařízení je na Obr. 2.6.

### 2.2.1 Mikroprocesor

Pro jednotku řazení byl zvolen mikroprocesor STM32F100RB. Na výběr procesoru nebyly kladeny žádné požadavky kromě toho, aby měl dostatečný počet vstupně-výstupních bran. Jedná se o základní řadu mikroprocesoru firmy ST Microelectronics. Zvolen byl i z toho důvodu, že stejný MCU je osazen na vývojovém kitu STM32VL DISCOVERY a bylo tak možné vyvíjet a ladit program již v době, kdy byla DPS jednotky řazení teprve ve výrobě. Program je pak možné bez problémů použít jak v kitu, tak v jednotce řazení.

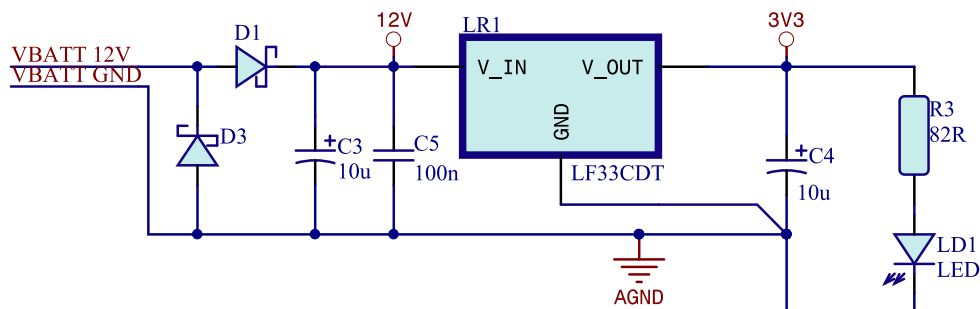
MCU ke své funkci využívá externí krystal s frekvencí 8 MHz.

### 2.2.2 Napájení DPS

Pro napájení MCU je možné použít napětí v rozsahu 1,7–3,3 V. Vzhledem k předpokládanému malému proudovému odběru byl použit lineární regulátor (konkrétně LF33CDT), který má menší účinnost ve srovnání se spínaným zdrojem, je však levnější a méně náročný na počet součástek. Na Obr. 2.3 můžeme vidět zapojení lineárního regulátoru. Diody D1 a D3 slouží jako ochrana proti přepólování. Součástí této ochrany by měla být také tavná pojistka, která však není součástí desky. Zapojíme-li napájení obráceně, veškerý proud bude procházet pouze diodou D3, dokud tavná pojistka nerozpojí obvod.

Výrobce doporučena hodnota kapacity kondenzátoru C4 je 2,2–10  $\mu\text{F}$  a u C5 je 100nF. Kondenzátor C3 slouží jako lokální zdroj energie pro celou desku, jelikož délka napájecích přívodů bude relativně velká a budou tedy pokryty případné špičkové výkyvy při odběru el. energie.

Obrázek 2.3: Schéma zapojení LF33CDT



Diodu LD1 by bylo možné zapojit antiparalelně k D3, je ale vhodné ji umístit na výstup regulátoru a neindikuje tak pouze přítomnost napájení na desce, ale také správnou funkci regulátoru.

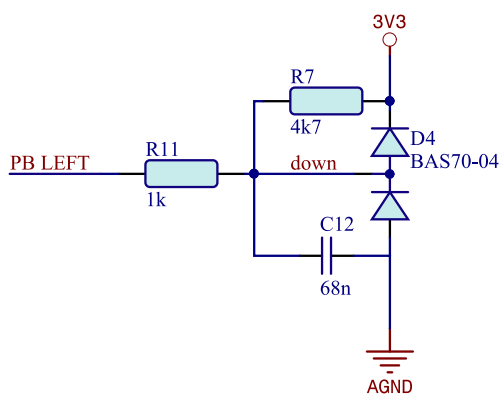
### 2.2.3 Vstupní porty

Jednotka řazení obsahuje celkem tři digitální vstupy. Dva jsou pro pádla pod volantem a jeden slouží k resetování mikroprocesoru (především pro účely ladění).

Vstup je aktivní, pokud je log. nula na vodiči s označením *down* (viz Obr. 2.4), který je připojen také k MCU. Ve výchozím nastavení je tedy signál v log. 1, což zajišťuje pull-up rezistor R7. K němu je připojen také kondenzátor C12, který slouží jako ochrana proti zákmitům tlačítek.

Bližší rozbor obvodové funkce můžeme nalézt v sekci 4.2.4, kde je použito velmi podobné zapojení.

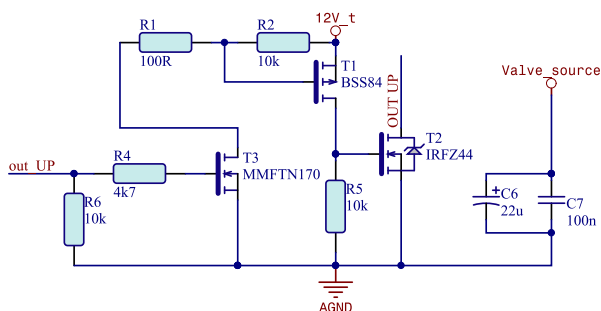
Obrázek 2.4: Schéma vstupního portu



### 2.2.4 Výstupní porty

Na DPS jsou celkem čtyři výstupní porty. Tři jsou „výkonové“ a slouží ke spínání EP ventilů. Čtvrtý slouží jako vstupní signál pro řídicí jednotku motoru.

Obrázek 2.5: Schéma „výkonového“ vstupního portu



Na Obr. 2.5 můžeme vidět schéma zapojení pro spínání EP ventilů. Je zde trojice tranzistorů, kde T2 a T3 jsou typu MOSFET N a T1 je typu MOSFET P. Tyto tranzistory jsou řízeny napětím na elektrodě *gate*.

Mohlo by se zdát, že popsané zapojení je pro spínání ventilů zbytečně složité. Nejjednodušší zapojení s jedním

tranzistorem není možné použít, jelikož výstupní napětí na portech MCU má hodnotu max. 3,3 V a to by nemuselo být dostatečné pro sepnutí výkonového tranzistoru T2. Zapojení s dvěma tranzistory, kde T1 (MOSFET P) by spínal zátěž také není vhodné, a to z toho důvodu, že tranzistory s N kanálem mají výrazně menší odpor v sepnutém stavu [6]. Použité zapojení může být použito také pro generování PWM signálu, kterým se řídí poloha servopohonu. Ve schématu chybí také jeden velmi důležitý prvek, a tím je antiparalelní dioda k EP ventilu (mezi vodiči *OUT\_UP* a *Valve\_source*). Tato dioda je nezbytná vždy když spínáme indukční zátěž. Zde byla vynechána, jelikož je již obsažena v těle EP ventilu.

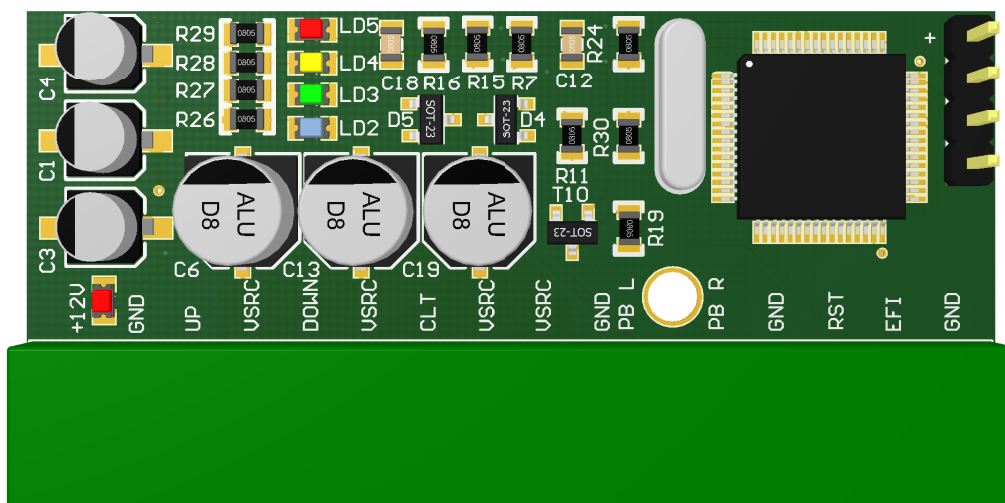
Vodič *out\_UP* je připojen přímo na pin mikroprocesoru. Rezistor R6 slouží jako pull-down rezistor a ve výchozím stavu je tedy tranzistor T3 zavřený. Rezistor R4 slouží k omezení vstupního proudu. Je-li na *out\_UP* log. 1, tranzistor T3 se otevře a na elektrodě *gate* tranzistoru T1 bude výstupní napětí děliče R1R2 (téměř nulové) a T1 se tedy také otevře. Díky tomu se na elektrodě *gate* tranzistoru T2 objeví napětí  $12V_t$  a ten tak přejde do vodivého stavu.

Důležitou funkci zastává také rezistor R5, jelikož díky parazitním kapacitám na elektrodách tranzistoru může T2 zůstat ve vodivém stavu i v případě, že T1 a T3 jsou ve stavu nevodivém. Rezistor R5 tedy zajistí vybití těchto parazitních kapacit a řádné uzavření tranzistoru.

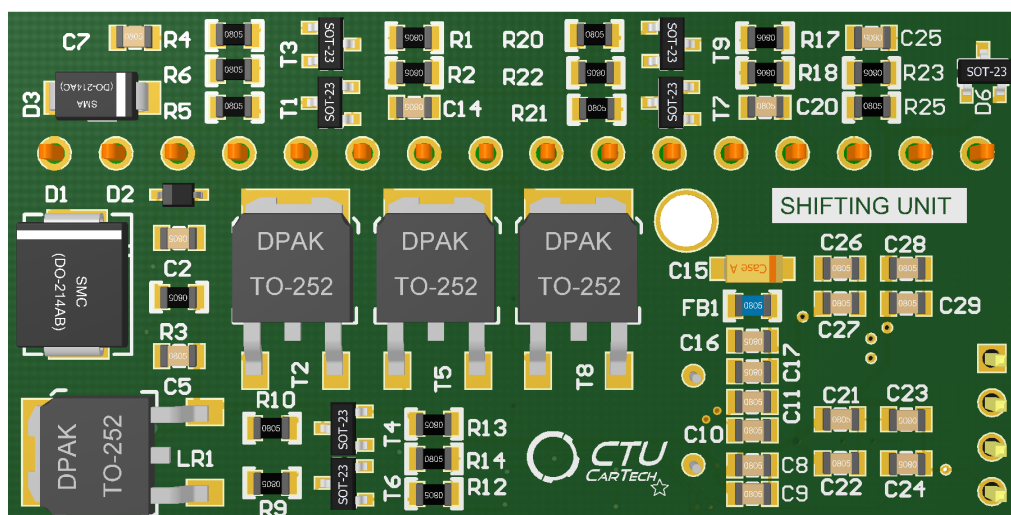
Logický výstup pro ECU je tvořen pouze jedním tranzistorem, který spojí výstupní vodič se zemí *AGND* pro aktivaci funkcí ECU.



Obrázek 2.6: Jednotka řazení



(a) Pohled shora



(b) Pohled zdola

## 2.3 Software

Program jednotky řazení je relativně jednoduchý a jeho hlavní část znázorňují vývojové diagramy na Obr. 2.7, 2.8 a 2.9. Jak bylo řečeno v odstavci 2.1.1, v programu musí být nastavitelná časová souslednost kroků řazení. Výčet těchto parametrů je v Tab. 2.6. Základ software tvoří knihovny *Standard Peripheral Library* od firmy ST Microelectronics.

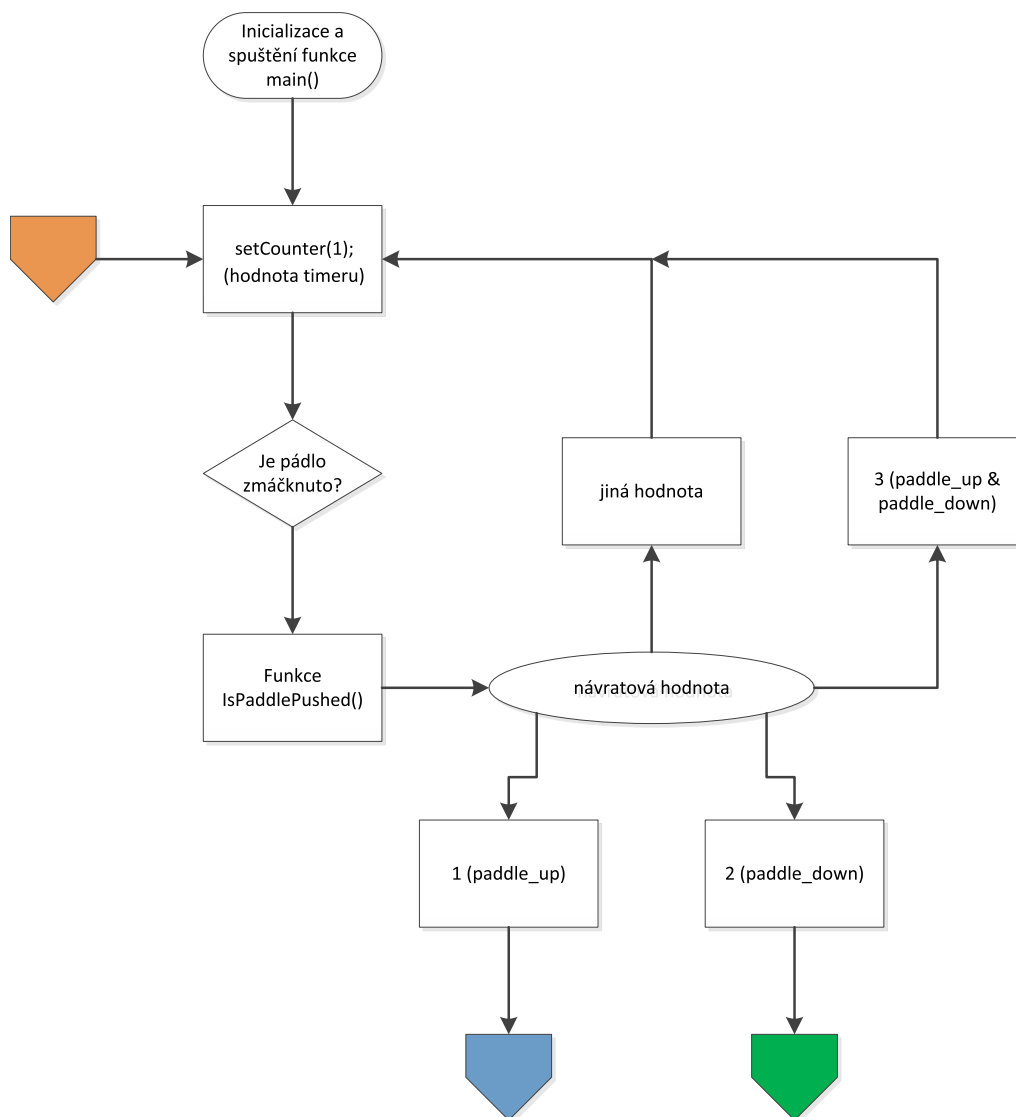
Pro detekci stisku pádel používáme jednu ze základních metod zvanou *polling*. V podstatě se jedná o periodické dotazování, zda bylo tlačítko zmáčknuto. Tato

metoda dovoluje mikroprocesoru (na rozdíl od jednoduché čekací funkce) mezi dvěma dotazy vykonávat jiné instrukce. Mohli bychom využít i jiné metody (např. přerušení), *polling* je však pro danou aplikaci zcela postačující.

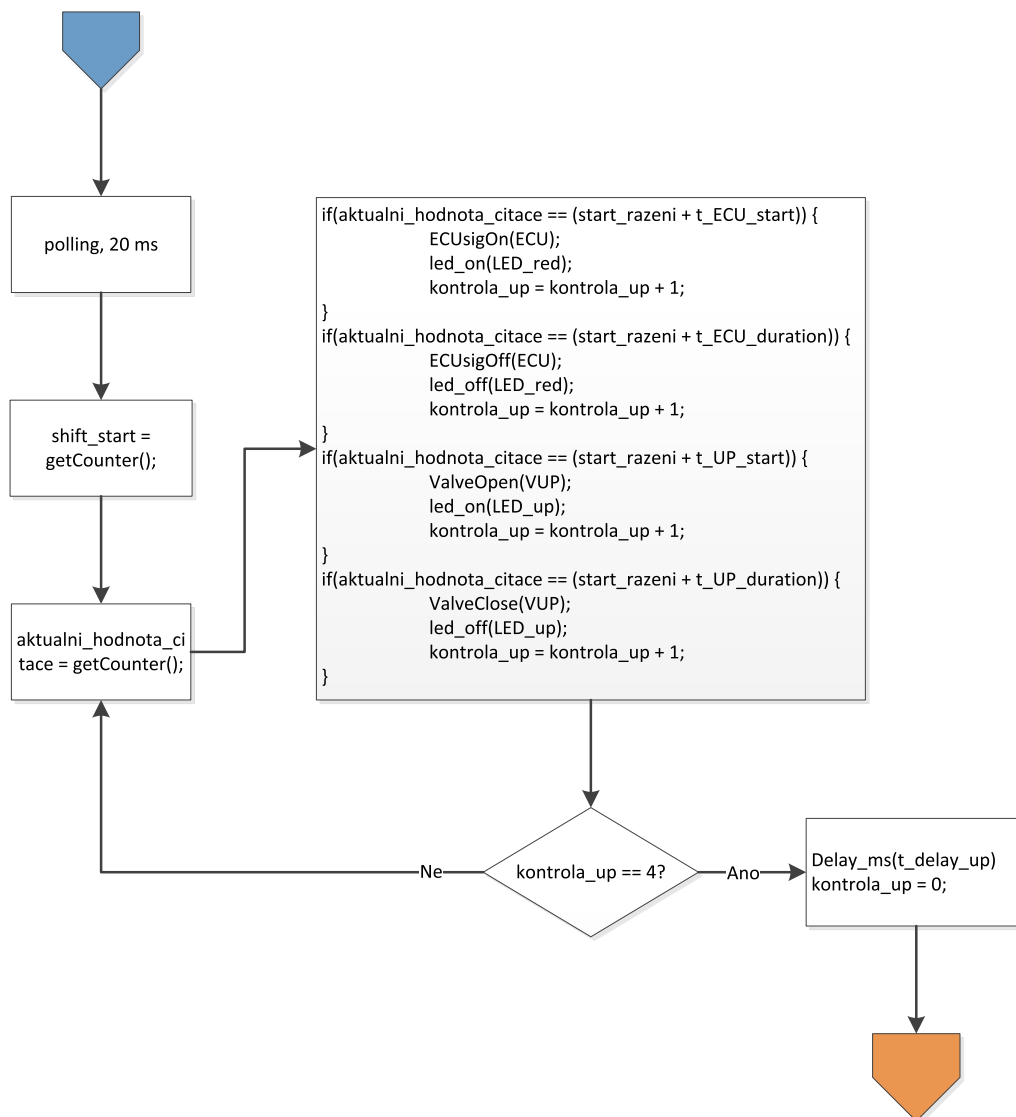
Tabulka 2.6: Časové parametry v programu řazení

Název proměnné	Popis
t_polling	Časový interval mezi dvěma dotazy při pollingu
t_ECU_start	Čas sepnutí signálu pro ECU
t_ECU_duration	Doba trvání sepnutí ECU signálu
t_UP_start	Čas sepnutí EP ventilu pro řazení vyššího rychlostního stupně
t_UP_duration	Doba trvání sepnutí ventilu UP
t_delay_up	Doba od posledního řazení, po kterou nelze zahájit řazení vyššího převodového stupně
t_clutch_start	Čas sepnutí EP ventilu pro rozepnutí spojky
t_clutch_duration	Doba trvání otevření ventilu pro spojku
t_down_start	Čas sepnutí EP ventilu pro podřazení
t_down_duration	Doba trvání sepnutí ventilu DOWN
t_delay_down	Doba od posledního řazení, po kterou nelze zahájit řazení nižšího převodového stupně

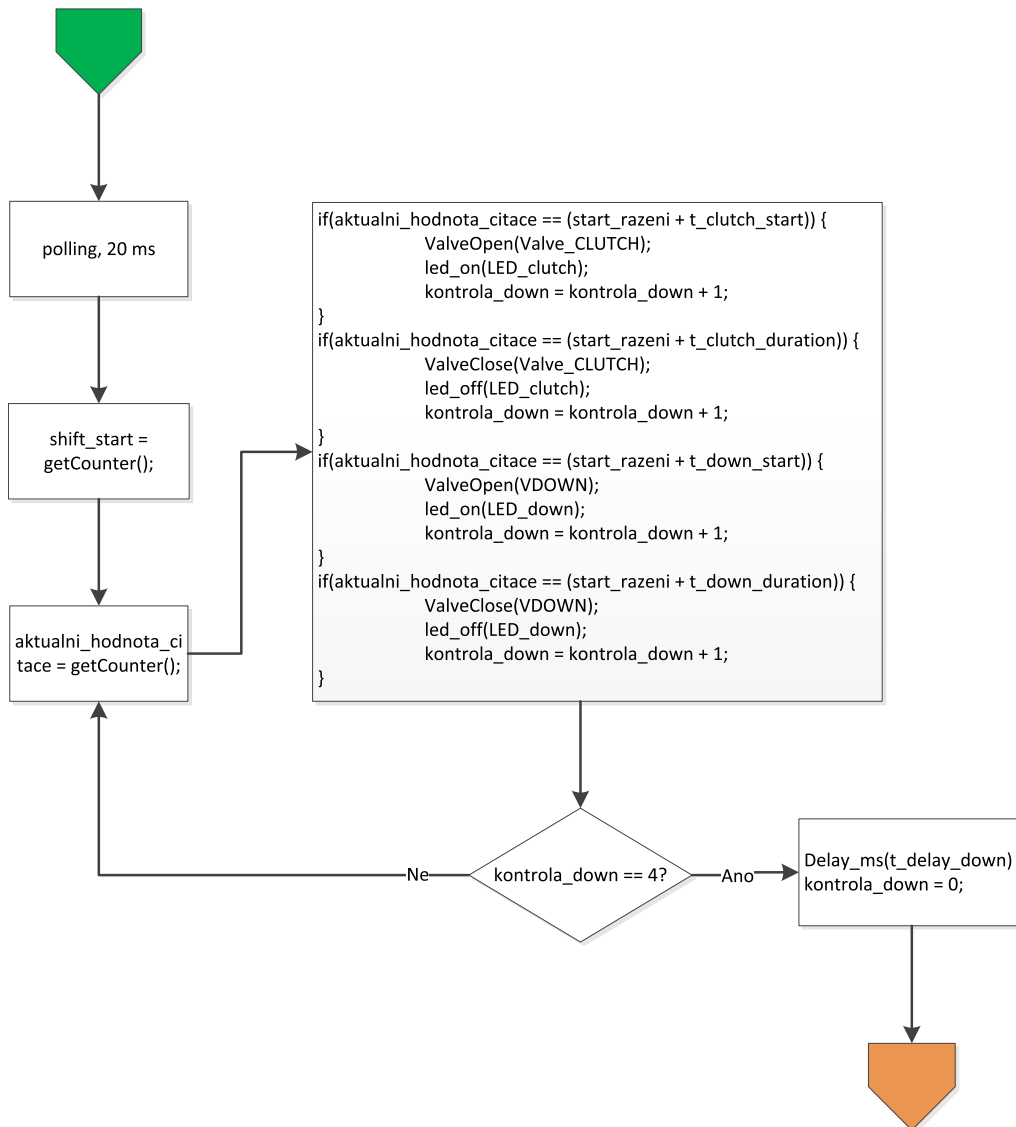
Obrázek 2.7: Vývojový diagram hlavního programu



Obrázek 2.8: Řazení vyššího převodového stupně



Obrázek 2.9: Řazení nižšího převodového stupně





## Kapitola 3

---

# Volantový modul

---

Účelem volantového modulu je zobrazovat vybrané údaje na displeji a vytvářet tak společně s dalšími prvky uživatelské rozhraní pro pilota vozu.

Znázornění toho, jak by mohl kompletní modul s ovládacími prvky vypadat je na Obr. 3.1. Červenou barvou jsou znázorněna tlačítka, oranžová jsou pádla pod volantem a modrou barvu mají indikační LED diody. Největším prvkem je barevný displej.

Ovládacích prvků by na volantu mohlo být i více. Uvažuje se např. o inkrementálním spínači pro nastavení tuhosti stabilizátorů, ovladači upravení poměru brzdné síly mezi přední a zadní nápravou, manuálním ovládním DRS nebo o prostém přepínání obrazovek na displeji. Návrh elektroniky tedy bude podléhat této rozšířené konfiguraci, i když ve výsledku nemusí být všechny prvky využívány.

Obrázek 3.1: Volant vč. modulu



### 3.1 Rešerše komponent

#### 3.1.1 Mikroprocesor pro volantový modul

Požadavky pro výběr MCU byly následující:

- Alespoň 1x sběrnice CAN2.0B pro komunikaci s hlavní jednotkou.
- Rozhraní SPI pro komunikaci s použitým displejem (více viz sekce 3.1.2).
- Kompaktní pouzdro. Jelikož modul je umístěn ve volantu, výsledná DPS musí mít kompaktní rozměry.

- Nejméně 6x vstup pro připojení ovládacích prvků (tlačítka, inkrementální spínače).
- Alespoň 1x výstup pro spínání indikačních diod.

Nejmenší MCU od firmy ST Microelectronics splňující výše uvedené požadavky nese typové označení STM32F303CB. Jedná se o čip v pouzdru LQFP48.

### 3.1.2 Displej pro volantový modul

V závodním režimu slouží displej (případně další indikátory) k zobrazení těch nejdůležitějších údajů. Mezi ně většinou patří zařazený převodový stupeň, teplota vody (a oleje), tlak oleje a paliva a údaj o otáčkách motoru. Indikátory upozorňují např. na nízký tlak v zásobníku CO<sub>2</sub>, vysokou teplotu vody a oleje a vysoký nebo nízký tlak paliva. Jejich výhodou je skutečnost, že řidič i periferně vidí, zda jsou rozsvícené nebo zhasnuté a nemusí přeostržovat zrak ze závodní tratě na volant.

Máme tedy seznam informací, které musíme zobrazovat, forma zobrazování dat však nebyla specifikována. Uvažovali jsme nad následujícími způsoby:

**Multisegmentové LED** Toto řešení je jednoduché na realizaci. Mohli bychom použít několik alfanumerických bloků různých velikostí (ukazatel zařazeného rychlostního stupně musí být poměrně veliký). Výhodou je vysoký kontrast, nevýhodou obtížná zástavba do volantu a nemožnost zobrazení grafických údajů.

**Bodová pole** Zde platí v podstatě stejné argumenty, jako u segmentových displejů. Výhodou těchto polí je možnost zobrazování velikých znaků a díky tomu jsou hojně využívána např. na informačních panelech na letištích a v městské hromadné dopravě.

**E-ink** Technologie tekutého inkoustu je pro zobrazování informací na volantu vhodná a to především kvůli dobrému kontrastu. V dnešní době se vyrábí i vícebarevné e-ink displeje (např. kombinace červené a černé [7]), které by ještě zvýšily přehlednost. Typickou vlastností je malá obnovovací frekvence (řádově jednotky Hz), což však v naší aplikaci nevádí. Drobnou nevýhodou je potřeba externího zdroje světla, závody Formule Student/SAE se však nikdy nekonají v noci a displej je dobře čitelný i za zhoršeného počasí. Jelikož je však tato technologie relativně nová, nelze takový displej koupit v malém množství a nejsou běžně dostupné informace, jak takový displej ovládat.

**Elektroluminescenční displej** V porovnání s ostatními technologiemi, ELD se vyznačuje vysokým kontrastem, pozorovacím úhlem, dobou odezvy a spolehlivostí v náročných okolních podmínkách (vysoká teplota vzduchu, vlhkost, ap.). Vyznačují se také vysokým rozlišením [8]. Většinou bývají



jednobarevné, ale existují i vícebarevné varianty (např. 16 barev). ELD displeje jsou však hůře k sehnání. Standardní dodavatelé elektroniky mají však v nabídce velmi málo těchto displejů a kontaktování jednotlivých specializovaných dodavatelů by bylo časově náročné. Pravděpodobně by také ELD nemohly cenově konkurovat ostatním zmíněným technologiím.

**OLED displej** . Tento typ se vyznačuje dobrým kontrastem a čitelností na slunci. Je však vhodný především pro malá přenosná zařízení jako jsou MP3 přehrávače, jelikož se standardně vyrábí v malých velikostech. Existují i displeje s úhlopříčkou např. 5 palců, poměr stran však bývá např 1:10, což pro náš modul není vhodné.

**LCD TFT** Jak napovídá již Obr. 3.1, byl pro volantový modul zvolen LCD TFT displej. Na něm je možné zobrazit jakékoliv grafické informace (text, grafy, indikátory) a jeho variabilita je velkou výhodou. Další předností je vysoký kontrast a možnost výběru z mnoha typů.

Vybírali jsme displeje s úhlopříčkou v rozmezí 4–5 palců, jelikož je to maximum, co lze ještě do volantu zastavět. Kompletní rešerši lze nalézt v Tab. B.1. Vybraný typ TFT displeje je v tabulce označen zelenou barvou.

Tento displej byl zvolen z následujících důvodů:

- možnost komunikace přes SPI
- vysoký kontrast a svítivost
- jednotná hodnota napájecího napětí pro displej ( $U_{in}$ ) a podsvícení ( $U_{bckp}$ )
- cena
- externí rámeček pro jednodušší montáž

### 3.1.3 Budič CAN

Rozhraní CAN je využito na vzájemnou komunikaci mezi data loggerem a volantovým modulem. Jedná se o velmi rozšířený typ komunikace především v automobilovém průmyslu. Data logger posílá aktuální hodnoty měřených (a zobrazovaných) veličin, volantový modul zase informace o stavu ovládacích prvků.

Budič musí splňovat specifikaci pro CAN2.0b a musí umět aktivně pracovat s rozšířenými identifikátory. Pro zachování jednotného napájení všech komponent je požadováno napájecí napětí 3,3 V.

## 3.2 Návrh hardware

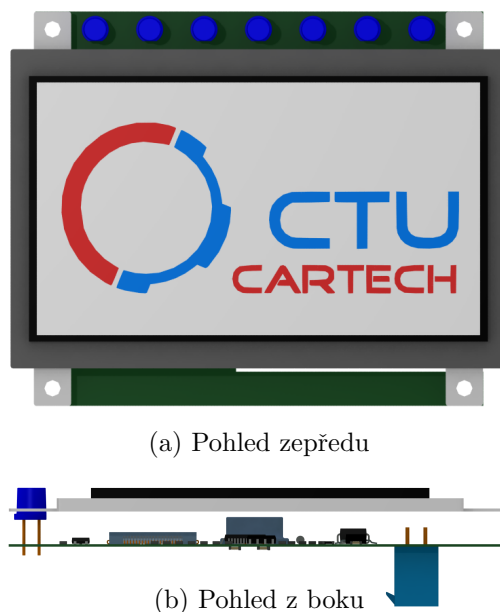
Kompletní schéma zařízení můžeme nalézt v příloze na Obr. B.1. Rozmístění součástek a výslednou podobu dvouvrstvé desky znázorňuje Obr. 3.3.

Dle výše uvedené specifikace výsledné zařízení obsahuje celkem šest digitálních vstupů pro zapojení tlačítek (levé a pravé pádlo, omezovač otáček motoru, vysílačka a dva rezervní), dva vstupy pro zapojení inkrementálních spínačů (pro možnost nastavení tuhosti stabilizátorů a úpravu rozložení brzdného účinku) a sedm nezávisle ovládaných LED diod pro indikaci řazení. Klasické „alarmy“ (upozornění na přehřívání motoru atp.) budou zobrazeny na displeji, tyto LED slouží k indikaci momentu pro optimální přeřazení na vyšší převodový stupeň.

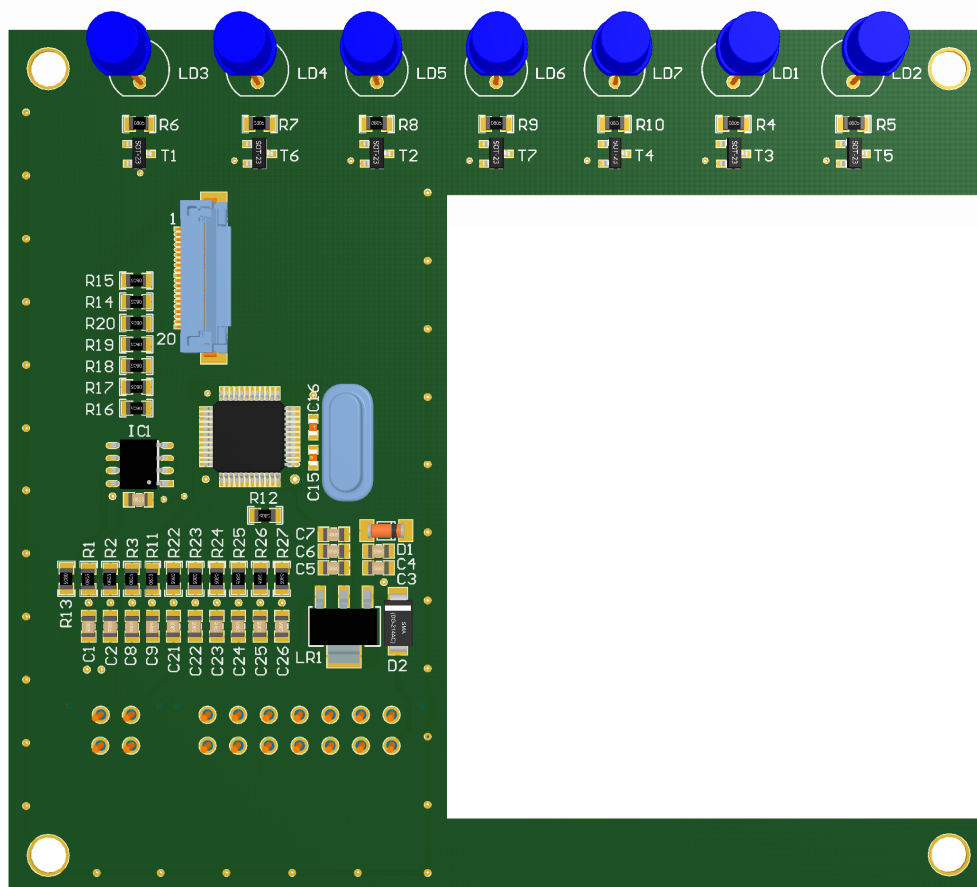
Při návrhu DPS je nutné brát ohled na to, aby bylo možné modul integrovat do volantu. Tomu je přizpůsoben tvar DPS a rozmístění součástek. Kvůli optimalizaci byl také vytvořen 3D model modulu a displeje, viz Obr. 3.2. Díky tomu bylo možné předejít kolizím LED diod s rámečkem, určit pozici montážních otvorů, a také přesně stanovit velikost mezery mezi displejem a nejvyšší součástkou na DPS (krystal), která má vliv na výslednou podobu krabičky zařízení (výšku). Velmi důležité je také umístění dvacetipinového konektoru pro připojení displeje, který by měl být s konektorem na displeji ve stejné výšce. Tak je zajištěno, že použitý FFC kabel nebudeme muset nijak ohýbat, či dokonce lámat. Kabelu by také neměly překážet žádné součástky.

Obvodová funkce volantového modulu je popsána v Kap. 4, kde je použito velmi podobné zapojení ochranných prvků (viz sekce 4.2.4 a Obr. 4.6) a lineárního regulátoru (viz sekce 4.2.1). Napájecí napětí je standardně 12–14 V, pomocí lineárního regulátoru UA78M33CDCY pak dostáváme hodnotu 3,3 V. Indikační LED diody pro řazení jsou však napájeny ze zdroje 12–14 V. Nezatěžujeme tak lineární regulátor, přes který by protékal proud vyšší přibližně o 140 mA. Ztrátový výkon je tak distribuován na více součástek (regulátor a rezistory u LED) a regulátor je méně teplotně namáhán.

Obrázek 3.2: Modul s displejem



Obrázek 3.3: Volantový modul



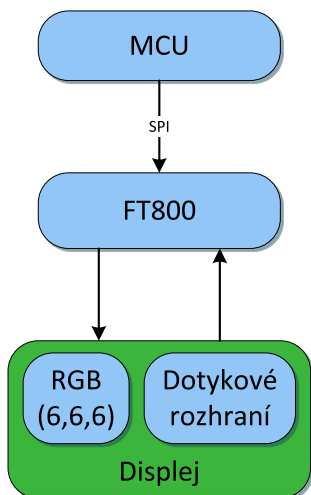
### 3.3 Software

Základem programu modulu jsou novější knihovny *HAL* (Hardware Abstraction Layer) firmy ST Microelectronics. Pro vygenerování základního kódu byla použita utilita *ST Cube MX*. Program *ST Cube MX* však ušetří hodně času především při nastavování periférií a distribuce hodinového signálu. Byl použit také kód pro čip FT800 popsaný v [9].

#### 3.3.1 FT800

Displej RIVERDI RVT4 umožňuje komunikaci pře SPI a je osazen grafickým čipem FT800. Ten je vhodnou volbou pro vytvoření HMI, jelikož obsahuje spoustu funkcí, které zjednodušují implementaci programu. Můžeme jmenovat např. následující:

Obrázek 3.4: Koncepce použití FT800



- Embedded Video Engine (EVE)
- Rozhraní pro zpracování dotykových pokynů
- Paralelní RGB výstup (s šířkou RGB dat 6-6-6)
- Programovatelné časování horizontální a vertikální synchronizace videa
- PWM výstup pro řízení jasu podsvícení displeje

Díky těmto funkcím je možné pro vestavná zařízení s displejem použít jakýkoliv mikroprocesor, který umožňuje komunikaci přes SPI, viz Obr. 3.4.

#### Přenos dat

Jak bylo uvedeno výše, pro komunikaci s čipem FT800 budeme používat SPI<sup>1</sup>. FT800 obsahuje 4 MB adresového prostoru s řídicími registry a buffery, kam hostitelský mikroprocesor zapisuje příkazy nebo odkud čte data.

Sběrnice pracuje v módu 0, tedy polarita hodin  $CPOL = 0$  (klidová úroveň hodinového signálu je log. 0) a fáze  $CPHA = 0$  (čtení při náběžné hraně). Délka dat je 8 bitů, MSB je odeslán jako první. Soubor bytů je odeslán jako *little endian*, tedy nejméně signifikantní byte je odeslán jako první. Budeme-li tedy chtít odeslat/číst slovo  $0x1A2B3C4D$ , musíme přehodit pořadí bytů na tvar  $0x4D$ ,  $0x3C$ ,  $0x2B$  a  $0x1A$ . Úplný popis komunikace vč. mapy registrů můžeme nalézt v literatuře [10].

#### Vykreslování grafických objektů

EVE umožňuje vytvořit dva základní typy objektů. Jedním jsou primitivní objekty a druhým jsou *widgety*. Do skupiny primitivních objektů patří např. vykreslení bodů a kružnic, čar a pruhů, obdélníků a bitmap. Do druhé skupiny patří vykreslení textu a číslic, tlačítek, hodin, posuvníků, otočných knoflíků ap.

Chceme-li zobrazit na displeji nějaký objekt, musíme nejdříve vytvořit tzv. *Display list*. V podstatě se jedná o seznam příkazů, co má být vykresleno. Do tohoto seznamu poté jednotlivé příkazy zapisujeme – ukládáme hodnoty s délkou 32 bitů (= 1 příkaz) do vyhrazeného prostoru paměti RAM (v programu nese označení *RAM\_DL*) o velikosti 8 kB. Celkem je tedy možné vytvořit až 2000 příkazů pro jeden DL. Když je seznam hotový, spuštěním příkazu *display* čip zpracuje DL a příkazem *swap* docílíme zobrazení zpracovaného DL. V pseudokódu by tento proces vypadal následovně:

<sup>1</sup>Je možné používat také sběrnici I<sup>2</sup>C (Inter-integrated circuit).

```

VytvorDL();
nakresliCtverec(x, y, delka, sirka);
nakresliKruh(x, y, R);
.
.
.
nakresliBod(x,y);
display();
swap();

```

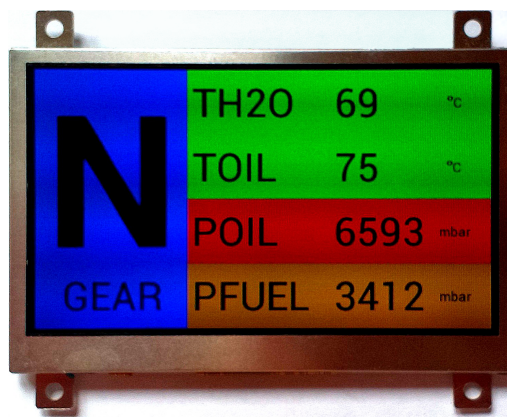
Takto je však možné zobrazit pouze primitivní objekty. Chceme-li používat *widgets*, využijeme příkazy co-processoru, které se zapisují do kruhového FIFO bufferu *RAM\_CMD* o velikosti 4 kB. Co-processor poté vytvoří DL a zapíše jej do *RAM\_DL*. Do *RAM\_CMD* můžeme ukládat i příkazy pro zobrazení primitivních objektů a libovolně je kombinovat s příkazy pro *widgets*.

Teoreticky je tedy možné při vytváření DL část příkazů zapisovat do *RAM\_DL* a část do *RAM\_CMD*, není to však vhodný postup. V paměti *RAM\_DL* by mohla vzniknout kolize dat, jelikož část dat (příkazů) by byla ukládána „napřímo“ a část by zapisoval co-processor. Je doporučeno tedy pro daný DL používat pouze jeden typ příkazů [9].

### 3.3.2 Ukázka programu

Na Obr. 3.5 můžeme vidět výslednou podobu informačního panelu pro pilota vozu, který se skládá z barevných panelů a textu. V levé části můžeme vidět informaci o zařazeném rychlostním stupni (písmeno „N“ značí neutrální), v pravé části jsou zobrazeny ostatní důležité informace (shora: teplota vody, teplota oleje, tlak oleje a tlak paliva). Barevný podklad jednotlivých informací slouží jako indikátor a může mít jednu ze tří barev:

Obrázek 3.5: Demonstrace zobrazení dat



**Zelená:** Tato barva značí, že měřená hodnota se nachází v definovaném rozmezí.

V případě teploty vody motoru by tento interval byl např. 60–105 °C<sup>2</sup>, což značí, že má motor správnou pracovní teplotu.

<sup>2</sup>U závodního automobilu bývá tlak ve vodním okruhu vyšší než atmosferický a bod varu je tedy dosažen při vyšší teplotě.

**Oranžová:** Indikátor upozorňuje na hraniční hodnoty měřené veličiny. V případě tlaku paliva by se jednalo např. o množinu hodnot  $[2500, 2700)$  mbar pro spodní hranici a  $(3300, 3500]$  mbar pro horní.

**Červená:** Tato barva značí kritické (nízké nebo vysoké) hodnoty měřené veličiny. Pro tlak oleje se jedná o sjednocení intervalů  $[0, 800) \cup (5000, p_{\max}]$  mbar, kde  $p_{\max}$  je maximální tlak, který dokáže olejové čerpadlo generovat.

### Zobrazení textu

Čip FT800 obsahuje v paměti ROM ve formě bitmapových obrázků celkem 16 přednastavených metrik (typů písma). Každé metrice přísluší jedna tabulka s dodatečnými informacemi (*font table*, FT). Má velikost 148 bytů a její struktura je popsána v Tab. 3.1.

Tabulka 3.1: Formát *font table* [11]

Číslo parametru	Popis	Velikost	Offset adresy
1	Šířka znaku	128	0
2	Formát bitmapy	4	128
3	Linestride	4	132
4	Šířka písma	4	136
5	Výška písma	4	140
6	Hodnota ukazatele na znak	4	144

Popis parametrů tabulky 3.1:

1. FT obsahuje celkem 128 znaků ASCII tabulky, šířka znaku je udávána v pixelech.
2. Popis jednotlivých formátů je uveden v [11], kap. 4.3.2. Pro písma jsou většinou využívány formáty L1, L4 a L8 (černobílá bitmapa nebo ve stupních šedé). Jeden pixel je tvořen jedním bitem ve formátu L1, čtyřmi bity ve formátu L4 a jedním bytem ve formátu L8.
3. Udává šířku bitmapy v bytech. Dle zvoleného formátu musí být toto číslo násobek jednoho nibblu nebo jednoho bytu.
4. Každý znak v textu je vykreslen do pomyslného obdélníku, jehož šířku udává tento parametr. Pozor na záměnu s parametrem 1 – šířka znaku se může lišit, ale všechny znaky jsou vykresleny do stejně velkého obdélníku.
5. Udává výšku obdélníku zmíněného v předchozím bodě.

6. Ukazatel na adresu, kde nalezneme vybraný znak z FT (ukazuje na počátek – levý horní roh znaku).

Jelikož se jedná o písma definovaná bitmapou (nejsou vektorová), narazíme na problém ve chvíli, kdy budeme chtít použít jinou velikost písma. Mohli bychom implementovat funkci, která změní měřítko bitmapy, ale výsledný text by nebyl ostrý<sup>3</sup>. Další možností je vytvoření nového písma (ve správné velikosti).

Do FT800 je možno dodefinovat až 15 nových metrik které jsou uloženy v paměti *RAM.G*. K tomu můžeme využít utilitu *Fnt\_cvt*, kterou poskytuje firma FTDI (výrobce). Popis programu a postup vytvoření metriky je uveden v [12]. Tato metrika má stejný formát, jako písma v paměti ROM popsána výše. Touto metodou byl vytvořen soubor znaků pro ukazatel zařazeného rychlostního stupně (znak „N“ v modrém poli v Obr. 3.5). Největší velikost písma dostupná z předdefinované sady v paměti ROM je pro srovnání použita v Obr. 3.5 v textu „GEAR, TOIL“ atd.

---

<sup>3</sup>Tato funkce je v textu implementovaná, má název „DM\_scale“. Ukazuje se, že pro relativně malá zmenšení/zvětšení je tento přístup postačující a text je dostatečně ostrý.





## Kapitola 4

---

# Data logger

---

Data logger je nejkompexnější zařízení z navrhovaného systému. Kromě sběru dat má na starosti komunikaci s volantovým modulem (viz Kap. 3) a případně také ovládání jednotky řazení (viz Kap. 2).

Tabulka 4.1: Seznam měřených veličin

Měřená veličina	Typ snímače	Výstup	Počet
Úhel natočení štkicí klapky	Rotační potenciometr	A	2
Rychlost otáčení vačkové hřídele	Indukční snímač	D	1
Rychlost otáčení klikové hřídele	Hallova sonda	D	1
Teplota vody	Termistor (NTC)	A	2
Teplota vzduchu	Termistor (NTC)	A	1
Teplota oleje	Termistor (NTC)	A	1
Tlak paliva	Variohm EPT2100	A	1
Rychlost otáčení kol	Pepperl+Fuchs NBB1,5-5GM25-E0	D	4
Kvalita výfukových plynů	Širokopásmová Lambda sonda	A	1
Tlak v brzdové soustavě	Variohm EPT2100	A	2
Tlak CO <sub>2</sub>	Festo SDET-22T-D10-G14-U-M12	A	1
Úhel natočení volantu	Rotační potenciometr	A	1
Propružení tlumičů	Lineární potenciometr	A	4
Indikace neutrálu	Koncový spínač	D	1
Boční zrychlení	AiM MXL Pista (akcelerometr)	- (A)	1
GPS	AiM MXL Pista	- (D)	1
Napětí autobaterie	AiM MXL Pista	- (A)	0
Zařazený rychlostní stupeň	Rotační potenciometr	A	1
Tlak vzduchu v sání	Tlakový snímač	A	1
Průtok vzduchu v sání	Odporový snímač	A	1
Teplota brzdových třmenů	Termistor (NTC)	A	4
Hladina oleje	Hladinomě	A/D	1
Poloha deformačních členů stabilizátorů	Rotační potenciometr	A	4
Úhel natočení zadního přitlačného křídla	Rotační potenciometr	A	1

Záznam dat v současné době zajišťuje data logger AiM MXL Pista zmíněný v sekci 1.1.1 a také řídicí jednotka motoru EFI Euro 4, která zpracovává vstupní signály důležité pro řízení motoru (a dále je přes sběrnici CAN odesílá do data loggeru). Seznam měřených veličin je uveden v Tab. 4.1. První část tabulky jsou senzory zapojené do ECU. Druhá část jsou ostatní měřené veličiny (měřeno data loggerem). Třetí část tabulky vyjadřuje plánované rozšíření současného systému o další měření.

Specifikace navrhovaného data loggeru je tedy dána seznamem zaznamenaných veličin v Tab. 4.1. Zařízení by mělo umožnit záznam všech uvedených veličin.

## 4.1 Rešerše komponent

### 4.1.1 Mikroprocesor

Celý systém je založený na mikroprocesorech s jádrem Cortex-M. Tým CTU CarTech disponuje vývojovými kity od firmy STMicroelectronics, které obsahují rozhraní ST-Link/V2. ST-Link/V2 slouží nejen k nahrání programu do kitů, ale také k programování mikroprocesorů externích aplikací<sup>1</sup>. Pro výběr mikroprocesoru jsme si stanovili následující požadavky:

- Minimálně 16 vstupů pro A/D převodníky. Jedním z nedostatků doposud používaného systému pro sběr dat bylo malé množství analogových vstupů (8 vstupů).
- Možnost připojení externí napěťové reference pro A/D převodníky. Můžeme tak dosáhnout větší přesnosti měření.
- Minimálně 2x sběrnice CAN2.0B. Sběrnice slouží nejen ke komunikaci s ostatními systémy závodního vozu (především s řídicí jednotkou motoru), ale také k výměně dat s volantovým modulem. Přestože předpokládaný datový tok je menší než přenosová kapacita sběrnice, je vhodné použít dvě nezávislé sběrnice z bezpečnostních důvodů – komunikace s řídicí jednotkou motoru je kritická pro chod motoru a snižujeme tedy riziko narušení této komunikace.
- USB sběrnice pro možnost komunikace s PC.
- Sběrnice SMBus pro možnost připojení digitálních senzorů (např. akcelerometr nebo bezkontaktní teploměr).
- Hodiny reálného času (RTC). Díky RTC můžeme v aplikaci implementovat funkci kalendáře a zaznamenávat tak i datum a čas, kdy bylo dané měření provedeno.

---

<sup>1</sup>Platí pro mikroprocesory řady STM32Fx.

- Minimálně 4x rozhraní SPI. Toto rozhraní je použito např. pro komunikaci s digitálními senzory (akcelerometr).
- Minimálně 2x rozhraní USART. Může být využito pro komunikaci s PC a GPS moduly.
- Alespoň 1024 kB vnitřní paměti. Pro ukládání dat je použita externí paměť, avšak vnitřní paměť slouží k uložení veškeré konfigurace (související především s volantovým modulem).

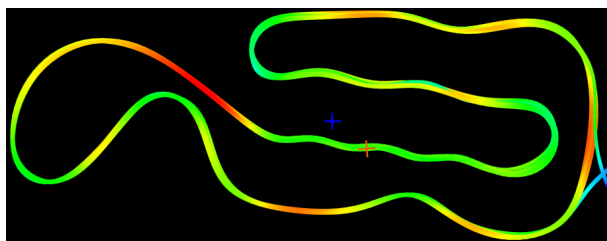
Na základě výše uvedených požadavků byl vybrán mikroprocesor s označením STM32F429ZI. Ke zvolení tohoto typu přispěl také fakt, že stejný MCU je osazen na vývojovém kitu STM32F4DISCOVERY, na kterém bylo možné implementovat části kódu a byla zaručena následná kompatibilita s vyvíjeným systémem.

### 4.1.2 GPS

Data o poloze GPS jsou v závodních vozech využívána jako doplňkové měření. Lze z nich vyčíst přibližnou polohu, případně vypočítat rychlost a zrychlení. Slouží ale především pro názornější vizualizaci dat, viz Obr. 4.1.

Můžeme zde vidět profil testovacího okruhu a také grafické znázornění údaje o okamžité rychlosti vozu. Ta je znázorněna barevným škálováním (modrá – zelená – žlutá – červená). Modrá barva odpovídá nízké okamžité rychlosti, červená vysoké. Tímto způsobem je možné zobrazit i další údaje, např. tlak v brzdovém okruhu, boční přetížení nebo činnost DRS systému.

Obrázek 4.1: Trať vykreslená pomocí GPS dat data loggeru AiM MXL Pista



Kompletní rešerši integrovaných obvodů pro příjem GPS dat nalezneme v příloze v Tab. C.1, zvolený čip je zvýrazněn zelenou barvou. Při výběru jsme kladli důraz především na hodnotu maximální frekvence obnovení pozice (v Tab. C.1 značena jako „Update“), která bývá v rozmezí 1–10 Hz [13]. Další podmínkou bylo použití SMA konektoru, který umožní umístění antény do jiného místa než data logger. Ten bude zabudovaný ve voze, kde není zajištěna přímá viditelnost satelitů. Třetím kritériem byla cena modulu.

V následujícím přehledu jsou vysvětleny další pojmy, které se také vyskytují v Tab. C.1.

**Počet kanálů** Pro civilní účely vysílání navigačních zpráv se používá signál s nosnou frekvencí 1575,42 MHz. Jelikož tuto frekvenci sdílí všechny sa-

telity (civilního) GPS systému, je nutné signál modulovat. Každý satelit navíc vynásobí vysílaný signál pseudonáhodnou sekvencí, díky které je pak možné jej v přijímači identifikovat. Jeden kanál v přijímači zpracovává signál s danou sekvencí, tedy data z jednoho satelitu. Dle počtu kanálů je možné paralelně přijímat data z více vysílačů.

**Citlivost** Udává minimální sílu signálu, při které přijímač dokáže určit polohu.

**TTF** *Time to first fix* je doba, která udává, jak dlouho trvá, než přijímač přesně vypočítá polohu <sup>2</sup>. *Hot* zjednodušeně znamená, že si zařízení pamatuje svou poslední zaznamenanou polohu a seznam satelitů, které byly v danou dobu viditelné. *Warm* znamená, že má zařízení informaci o poslední zaznamenané poloze, ale nikoliv o satelitech. *Cold* značí, že přijímač musí získat všechny informace znovu.

### 4.1.3 Externí paměť

Pro ukládání naměřených dat jsme se rozhodli použít paměť typu NOR Flash. Její výhody spočívají především v možnosti náhodného přístupu na jakoukoliv adresu a možnosti zápisu jednotlivých bytů (na rozdíl od paměti NAND Flash, kde je zápis po stránkách).

Při výběru paměti byl kladen důraz především na tyto kritéria:

- Napájecí napětí 3,3 V.
- Velikost paměti alespoň 8 MB (tuto velikost má i AiM MXL Pista a dlouhodobým používáním zařízení se ukázala jako postačující).
- Komunikační rozhraní SPI nebo I<sup>2</sup>C.
- Pouzdro čipu vhodné pro ruční osazování.
- Cena.

Výše uvedenou specifikaci splňuje relativně málo typů pamětí (především kvůli požadavku na vhodné pouzdro). Při finálním výběru jsme použili konfigurátor na webových stránkách [cz.farnell.com](http://cz.farnell.com), kde je možnost přímého porovnání produktů. Požadavky nejlépe splňovala paměť firmy Spansion s označením S25FL128S.

### 4.1.4 Napěťová reference pro A/D převodníky

Pro generování referenčního napětí se nejčastěji používají teplotně kompenzované Zenerovy diody nebo zdroje typu *Band gap*. Jsou charakterizovány především časovou a teplotní stabilitou a citlivostí na změnu zátěže napájení [14].

<sup>2</sup>Při dobré viditelnosti alespoň čtyř satelitů.

Jelikož napěťová reference může výrazně ovlivňovat výslednou nejistotu měření, byla preferována kvalita součástky před cenou. Při výběru byl kromě základních parametrů kladen důraz také na velikost napájecího napětí (12 V) a velikost výstupního proudu (alespoň 5 mA)<sup>3</sup>.

Dle výše uvedeného byla vybrána reference firmy Linear Technology s označením LT1236BILS8-5. Využívá vlastnosti podpovrchové Zenerovy diody a vyznačuje se velmi dobrou časovou a teplotní stabilitou. Vybrané parametry jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tabulka 4.2: Parametry napěťové reference LT1236BILS8-5 při  $V_{IN} = 10\text{ V}$  a  $T = 25\text{ °C}$  [15]

Parametr	Min.	Typ.	Max.	Jednotky
Vstupní napětí ( $V_{IN}$ )	6	-	40	V
Výstupní napětí	4.9975	5	5.0025	V
Teplotní koeficient výstupního napětí	-	5	10	ppm/°C
Line regulation	-	2	6	ppm/V
Load regulation (sourcing)	-	10	20	ppm/V
Load regulation (sinking)	-	60	100	ppm/mA
Napájecí proud	-	0,8	1,2	mA
Šum výstupního napětí	-	2,2	3,5	$\mu V_{RMS}$
Časová stabilita výstupního napětí ( $\Delta t = 1000$ hodin)	-	20	-	ppm
Teplotní hystereze ( $\Delta T = 25\text{ °C}$ )	-	10	-	ppm

**Line regulation** Schopnost reference udržet dané výstupní napětí v závislosti na změně vstupního napětí.

**Load regulation** Schopnost reference udržet dané výstupní napětí v závislosti na zátěži. Pokud reference energii do obvodu dodává, jedná se o *sourcing*, v opačném případě se jedná o *sinking*.

#### 4.1.5 Akcelerometr

Kromě možnosti připojit externí akcelerometr přes sběrnici I<sup>2</sup>C nebo SMBus (System Management bus) byl na DPS data loggeru integrován také MEMS akcelerometr firmy STMicroelectronics s označením LIS3LV02DL. Jedná se o zařízení, které je schopné měřit zrychlení ve třech osách v rozsahu  $\pm 2g/$  nebo  $\pm 6g$  (programovatelné) a má digitální výstup (SPI nebo I<sup>2</sup>C).

<sup>3</sup>Tento požadavek je vysvětlen v sekci 4.2.4.

Kromě velikosti napájecího napětí a měřicího rozsahu nebyly na akcelerometr kladeny žádné zvláštní požadavky. Typ LIS3LV02DL byl vybrán především z toho důvodu, že podobný je osazen na vývojovém kitu STM32F4DISCOVERY a je k dispozici hotový kód pro komunikaci s tímto akcelerometrem.

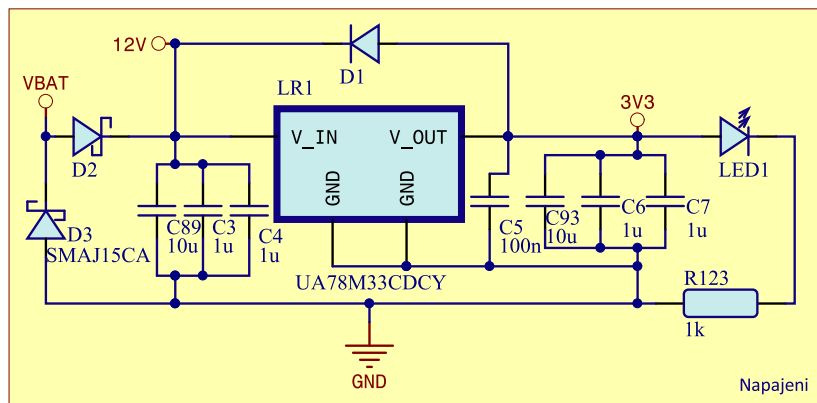
Data z MEMS akcelerometru jsou používána jako doplňkové měření. V kombinaci s GPS daty indikují především body největšího bočního přetížení při průjezdu zatáčkou. Nejsou používána pro přesné měření náklonu, setrvačných sil nebo vibrací, jelikož jsou MEMS akcelerometry v porovnání s jinými snímači daných veličin velmi nepřesné.

## 4.2 Návrh hardware

### 4.2.1 Lineární regulátor

Převod napětí palubní sítě na napětí 3,3 V (napájecí napětí součástek na DPS) zajišťuje lineární regulátor UA78M33CDCY, jehož schéma zapojení je znázorněno na Obr. 4.2.

Obrázek 4.2: Zapojení lineárního regulátoru UA78M33CDCY



Dvojice diod D2 a D3 chrání DPS proti přepólování, pro správnou funkci by měla být na přívodním kabelu napětí palubní sítě sériově zapojena tavná pojistka. Kondenzátory C89, C3 a C4 slouží jako širokopásmový filtr napětí 12V a také pro eliminaci indukčnosti přívodů a přechodových odporů napájecích konektorů [5]. Napětí 12V je použito nejen pro napájení regulátoru, ale také pro obvod generující referenční napětí pro A/D převodníky (viz sekce 4.2.4) a pro napájení indukčních snímačů rychlosti otáčení kol. Hodnota kapacity kondenzátoru C5 byla zvolena dle doporučení výrobce. Skupinové kondenzátory C93, C6 a C7 slouží jako zdroj napětí 3,3 V. Dioda LED1 indikuje přítomnost napětí na DPS a dioda D1 slouží jako ochranný prvek pro případ  $V_{IN} < V_{OUT}$  (zkrat), což je pro analogový regulátor nepřijatelný režim [5].

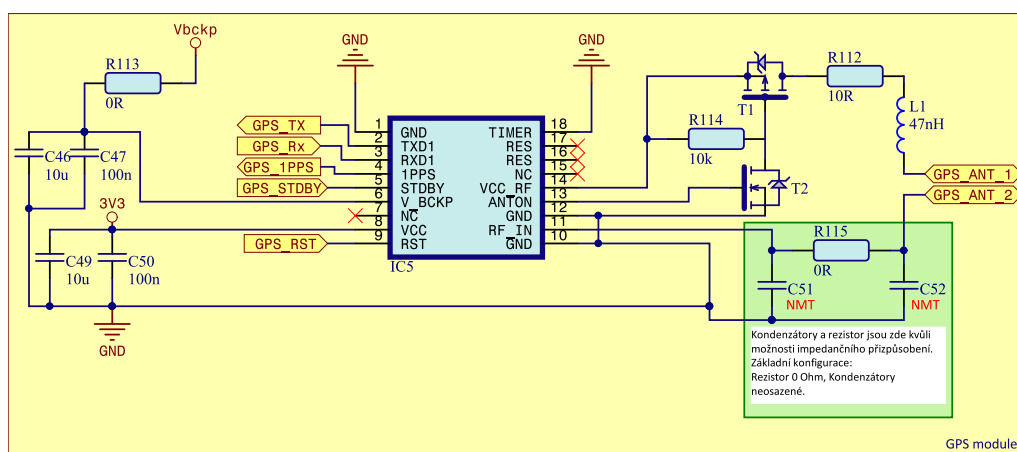
### 4.2.2 GPS

Zapojení GPS modulu je znázorněno na Obr. 4.3. Většina levnějších modulů používá pro komunikaci s MCU USART. Čip Quectel L70B je navržen jako DCE a používá standardní DCE–DTE připojení. Výstupní napěťová úroveň datového signálu je však 0–3,6 V, datové signály (GPS\_Tx a GPS\_Rx) je tedy možné připojit přímo na porty mikroprocesoru a není nutné je převádět z/do RS-232 úrovní.

Čip dále obsahuje tyto piny (popis dle [16]):

- 1PPS: Výstupní obdélníkový signál s frekvencí 1 Hz a střídou 10 % dle kterého lze např. provádět synchronizaci hodin.
- V\_BCKP: Připojení záložního zdroje napájení. Pokud při odpojení hlavního zdroje není přítomno záložní napájení, čip ztratí veškeré údaje o poloze a dostupných satelitech.
- STDBY: Vstupní signál, při log. 0 je zařízení uvedeno do STANDBY módu.
- RST: Reset čipu, aktivní v log. 0.
- RF\_IN: Vstupní signál z antény s charakteristickou impedancí 50  $\Omega$ .
- ANTON: Výstupní signál, který může připojit či odpojit anténu od napájení VCC\_RF (např. odpojení při vstupu do STANDBY módu).
- TIMER: Pomocí tohoto vstupního signálu můžeme odpojit hlavní napájení čipu. Jelikož tento pin nepoužíváme, je připojen na GND (dle doporučení výrobce).

Obrázek 4.3: Zapojení čipu Quectel L70B



## Zapojení antény

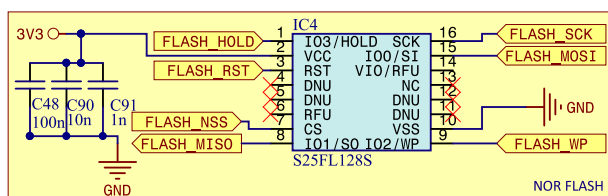
Zařízení umožňuje připojení jak pasivní, tak aktivní antény. Dle doporučení výrobce bylo realizováno zapojení pro aktivní anténu a řídicím výstupem AN-TON, který s použitím tranzistorů T1 (MOSFET P) a T2 (MOSFET N) spíná či rozpojuje přívod napájení k anténě. V základní konfiguraci je kondenzátor C51 a C52 nezapojený a rezistor R115 má hodnotu 0  $\Omega$ . Tyto tři prvky mohou sloužit k lepšímu impedančnímu přizpůsobení obvodu.

### 4.2.3 Flash paměť S25FL128S

Na Obr. 4.4 můžeme vidět schéma zapojení použité NOR Flash paměti. V Tab. 4.3 nalezneme popis vybraných pinů tohoto čipu, dle [17]. Piny označené jako „DNU“ (Do Not Use) mohou být

používané výrobcem pro testovací účely a v uživatelské aplikaci mohou být připojeny k VSS nebo zůstat nepřipojené, jelikož k nim je interně připojený pull-down rezistor. Piny označené jako „NC“ mohou být připojeny k jakémukoliv signálu a tudíž využity pro vedení vodičů na DPS, čímž se může usnadnit připojení, snížit plocha proudové smyčky atp. Piny označené jako „RFU“ (Reserved for Future Use) by kvůli zajištění kompatibility s jinými verzemi této Flash paměti neměly být využívány pro vedení vodičů.

Obrázek 4.4: Zapojení S25FL128S



Tabulka 4.3: Popis pinů S25FL128S

Název pinu	Popis
RST	HW reset zařízení, aktivní při log. 0
IO0	Vstupní signál sériové komunikace
IO1	Výstupní signál sériové komunikace.
IO2	Write Protect – ochrana proti zápisu. Aktivní při log. 0
IO3	Hold (pause). Pozastavení přenosu.
CS	Chip Select. Aktivní při log. 0
SCK	Hodinový signál.



### 4.2.4 Měřicí blok

#### Základní parametry A/D převodníků

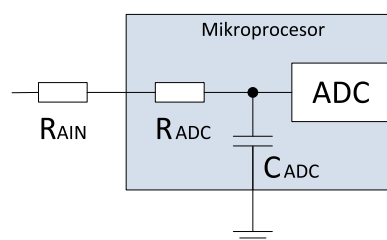
Zvolený mikroprocesor obsahuje celkem tři analogově digitální převodníky (ADC) s postupnou aproximací a každý z nich obsahuje 16 kanálů pro měření signálů z externích zdrojů<sup>4</sup>. Základní údaje udávané výrobcem shrnuje Tab. 4.4.

Tabulka 4.4: Základní parametry AD převodníku, [18]

Symb.	Parametr	Podmínky	Min.	Typ.	Max.	Jedn.
N	Počet bitů		-	-	12	
V <sub>DDA</sub>	Napájení ADC	$V_{DDA} - V_{REF} < 1, 2$	1.7	-	3.6	V
V <sub>REF</sub>	Ref. napětí		1.7	-	V <sub>DDA</sub>	V
f <sub>ADC</sub>	Frekvence hod.	$V_{DDA} \in < 1, 7; 2, 4 >$	0.6	15	18	MHz
		$V_{DDA} \in < 2, 4; 3, 6 >$	0.6	30	36	MHz
V <sub>AIN</sub>	Rozsah vstup. napětí		0	-	V <sub>REF</sub>	V
R <sub>AIN</sub>	Vstupní impedance	Více v rovnici (4.1)	-	-	50	kΩ
R <sub>ADC</sub>	Odpor vzorkovacího obvodu		-	-	6	kΩ
C <sub>ADC</sub>	Kapacita vzor. obvodu		-	4	7	pF
T <sub>s</sub>	Vzor. perioda	f <sub>ADC</sub> = 30 MHz	0.1	-	16	μs
f <sub>s</sub>	Vzor. frekvence	Standardní mód	-	-	2	Msp/s
		Duální mód	-	-	3.75	Msp/s
		„Triple“ mód	-	-	6	Msp/s
I <sub>VREF</sub>	Proud pinem V <sub>REF</sub>	Při konverzi	-	300	500	μA
I <sub>VDDA</sub>	Proud pinem V <sub>DDA</sub>	Při konverzi	-	1.6	1.8	mA

Výpočet R<sub>AIN</sub> Abychom omezili vstupní proud do ADC, můžeme použít předřadný odpor R<sub>AIN</sub> zapojený do série. Jeho velikost však nemůže být libovolná. Na Obr. 4.5 můžeme vidět, že R<sub>AIN</sub> společně s prvky vzorkovacího obvodu tvoří RC článek, jehož časová konstanta roste se zvětšováním vstupního odporu. Velký sériový odpor a tedy malý vstupní proud může následně způsobovat chybu zesílení převodníku.

Obrázek 4.5: Základní uspořádání A/D převodníku



<sup>4</sup>A/D převodník může mít až 19 multiplexovaných kanálů, kde dva kanály jsou použity pro měření interních signálů a jeden pro měření napětí V<sub>bat</sub>.

Vhodný odpor zvolíme výpočtem rovnice (4.1), přičemž vypočítaná hodnota způsobí chybu menší než jednu čtvrtinu LSB [19].

$$R_{AIN} = \frac{k - 0,5}{f_{ADC} \cdot C_{ADC} \cdot \ln(2^{N+2})} - R_{ADC} \quad (4.1)$$

Hodnoty jednotlivých konstant nalezneme v Tab. 4.4. Proměnná  $k$  představuje vzorkovací periodu. Tuto hodnotu můžeme nastavit v registru ADC\_SMPR1<sup>5</sup>, kde nejmenší hodnota je 3 a největší 480. Můžeme tedy vypočítat odpor  $R_{AIN}$ :

$$R_{AIN,3} = \frac{3 - 0,5}{f_{ADC} \cdot C_{ADC} \cdot \ln(2^{12+2})} - R_{ADC}$$

### Statické chyby A/D převodníku

Statické chyby A/D převodníku jsou vyjádřeny v počtu LSB. Hodnotu jednoho LSB určíme dle vztahu

$$1 \text{ LSB} = \frac{V_{ref}}{2^N} = \frac{2,5}{2^{12}} \doteq 0,00061 \text{ V}. \quad (4.2)$$

Volbu napěťové reference blíže popisuje odstavce níže v této sekci.

Výčet jednotlivých statických chyb shrnuje Tab. 4.5. Uvedené hodnoty závisí na volbě frekvence  $f_{ADC}$ , jejíž hodnotu jsme zvolili 30 MHz. Velikost statických chyb pro jiné frekvence můžeme nalézt v [19].

Tabulka 4.5: Statické chyby AD převodníku pro  $f_{ADC} = 30 \text{ MHz}$

Symbol	Popis	Typ	Max	Jednotka
ET	Celková chyba	$\pm 2$	$\pm 5$	LSB
EO	Chyba nuly	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	
EG	Chyba zesílení	$\pm 1.5$	$\pm 3$	
ED	Diferenciální nelinearita	$\pm 1$	$\pm 2$	
EL	Integrální nelinearita	$\pm 1.5$	$\pm 3$	

### Dynamické parametry A/D převodníku

Hodnoty uvedené v Tab. 4.6 opět závisí na volbě  $f_{ADC}$ . Výrobce však udává dynamické parametry pouze pro  $f_{ADC} = 18 \text{ MHz}$  a  $36 \text{ MHz}$ , tabulka tedy popisuje parametry pro vyšší z uvedených hodnot  $f_{ADC}$ .

### Napěťová reference pro A/D převodníky

Použité schéma zapojení napěťové reference LT1236BILS8-5 na Obr. 4.6 vychází z doporučení výrobce, viz [15]. Výstupní napětí  $V_{out}$  má hodnotu 5 V. Jelikož

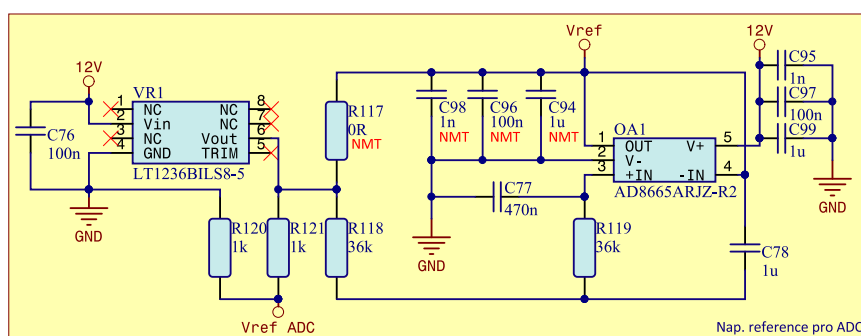
<sup>5</sup>Více viz [18], kap. 13.5.

Tabulka 4.6: Dynamické chyby AD převodníku pro  $f_{ADC} = 36\text{MHz}$ 

Symbol	Popis	Min.	Typ	Jednotky
ENOB	Effective number of bits	10.6	10.8	bits
SINAD	Signal to noise and distortion	66	67	dB
SNR	Signal to noise ratio	64	68	
THD	Total harmonic distortion	-70	-72	

maximální vstupní napětí pro ADC u MCU STM32F429 má hodnotu 3,6 V (viz Tab. 4.4), používáme dělič R120R121, na jehož výstupu je napětí  $V_{ref\ ADC}$  o velikosti 2,5 V<sup>6</sup>.

Obrázek 4.6: Zapojení napěťové reference



Napětí  $V_{out}$  je v základní konfiguraci také zapojeno do napěťového sledovače s pasivní filtrací vstupního napětí tvořeného operačním zesilovačem AD8665. Díky tomu má maximální výstupní proud reference hodnotu přes 100 mA a je možné napájet celou řadu senzorů, jejichž odběr se pohybuje v řádu jednotek mA. Pro účely testování nebo v případě nesprávné funkce operačního zesilovače je možné senzory napájet přímo z integrovaného obvodu LT1236BILS8-5, a to po osazení rezistoru R117<sup>7</sup> a vyjmutí operačního zesilovače (nebo odpojení pinu „OUT“).

Celý obvod je napájen napětím 12 V. To je dáno specifikací jednotlivých součástek (které neumožňují použít vstupní napětí 3,3 V). Díky tomu je také méně zatěžován použitý lineární regulátor napětí popsany v sekci 4.2.1.

### Kompletní uspořádání A/D převodníků

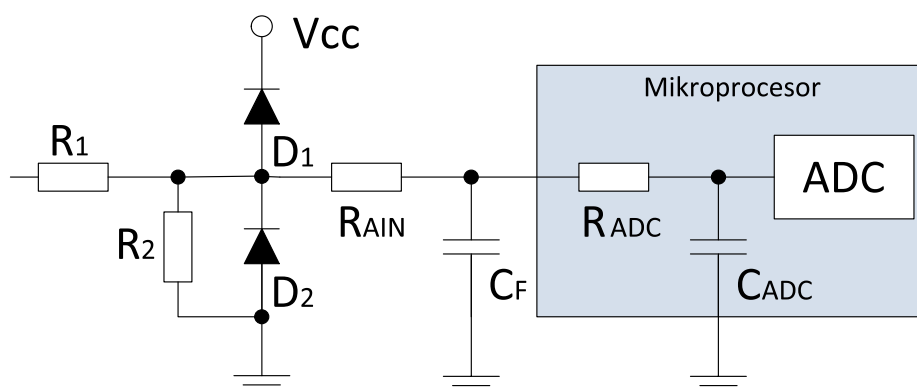
Na Obr. 4.7 je znázorněno kompletní schéma vstupního obvodu A/D převodníku.

<sup>6</sup>Od hodnoty napětí 2,4 V je možné využívat všech funkcí ADC, které nejsou dostupné při nižší hodnotě vstupního napětí, viz [19].

<sup>7</sup>V základní konfiguraci jsou součástky označené symbolem „NMT“ neosazené.

Před vstupem do mikroprocesoru je umístěn pasivní RC filtr typu dolní propust. V základním „nastavení“ bude kondenzátor  $C_F$  nezapojený a rezistor  $R_{AIN}$  bude mít hodnotu  $0 \Omega$ . Je to z toho důvodu, že zatím neznáme povahu vstupního napětí a nemůžeme tedy určit časovou konstantu filtru. Při nevhodně zvolené časové konstantě bychom mohli výrazně potlačit i užitečnou složku vstupního signálu. Parametry RC filtru budou závislé také na nastavení režimu ADC (např. hodnota  $R_{AIN}$  viz odstavec 4.2.4).

Obrázek 4.7: Kompletní uspořádání ADC



Toto zapojení bylo navrženo tak, aby plnilo také ochrannou funkci. Pro ochranu před napěťovými špičkami je před filtrem dvojice Schottkyho diod  $D_1$  a  $D_2$ . Stejná konfigurace diod se nachází i před rezistorem  $R_{ADC}$  uvnitř mikroprocesoru<sup>8</sup>, kde se ovšem jedná o „klasické“ diody, které začínají propouštět elektrický proud při rozdílu napětí přibližně  $0,7 \text{ V}$ . Schottkyho diody mají úbytek napětí přibližně  $0,2 \text{ V}$  a na napěťové špičky tedy reagují rychleji.

Posledním prvkem v obvodu je napěťový dělič s rezistory  $R_1$  a  $R_2$ . Dělicí poměr je 2:1, jelikož maximální výstupní napětí ze senzorů je  $5 \text{ V}$  a napěťová reference pro ADC je  $2,5 \text{ V}$ . Rezistor  $R_1$  plní také ochrannou funkci. Pokud by došlo k nechtěnému připojení napájení akumulátoru (max.  $14,5 \text{ V}$ ) k ADC, začal by přes diodu  $D_1$  protékat proud, který dle specifikace nesmí být větší než  $200 \text{ mA}$ . Minimální hodnota rezistoru  $R_1$  je tedy

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{U_{AK} - V_{cc}}{I} = \frac{14,5 - 3,3}{0,2} = 56 \Omega.$$

Při této hodnotě odporu by však byl ztrátový výkon

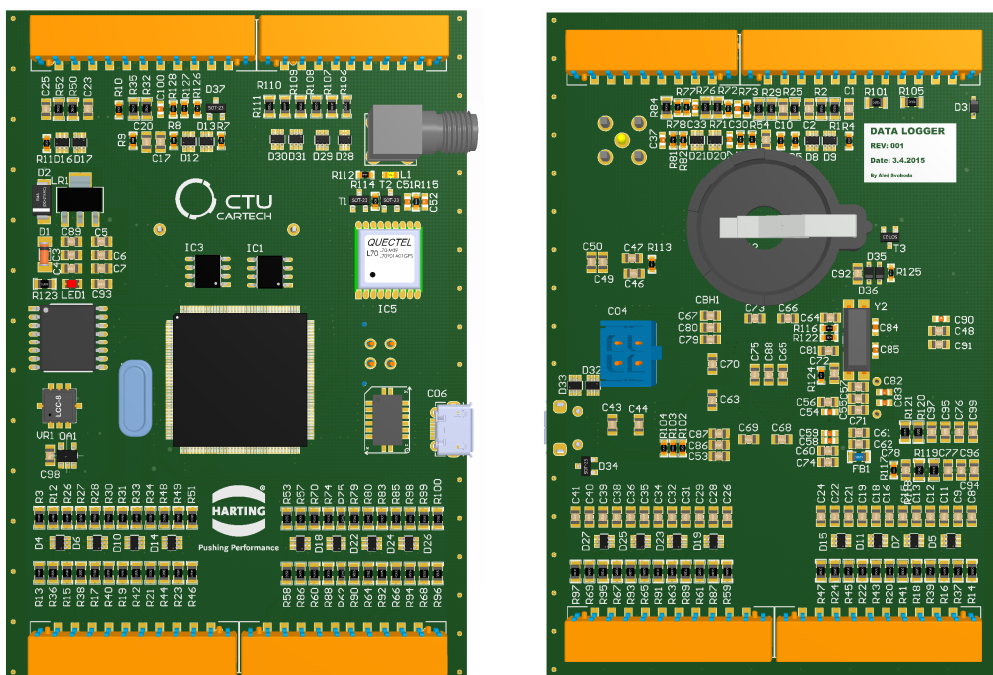
$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(14,5 - 3,3)^2}{56} = 2,24 \text{ W}.$$

Jelikož chceme použít součástky pro povrchovou montáž, které mají velmi malé rozměry, je hodnota ztrátového výkonu nad přípustnou mezí. Zvolíme-li např. pouzdro rezistoru s označením 0805, je maximální povolený ztrátový výkon  $P =$

<sup>8</sup>Více viz [19], str. 157: Typical connection diagram using the ADC

0,125 W. Hodnota  $R_1$  však nemůže být také moc velká (např. 1 M $\Omega$ ), jelikož by při měření proud tekoucí rezistorem  $R_{AIN}$  byl malý a kondenzátory  $C_F$  a  $C_{ADC}$  by se nestihly plně nabít, což samozřejmě ovlivňuje měření. Volíme tedy  $R_1 = R_2 = 1$  k $\Omega$ .

Obrázek 4.8: Výsledná podoba data loggeru



(a) Pohled shora

(b) Pohled zdola

## 4.3 Software

### 4.3.1 A/D převodníky

#### Módy A/D převodníku

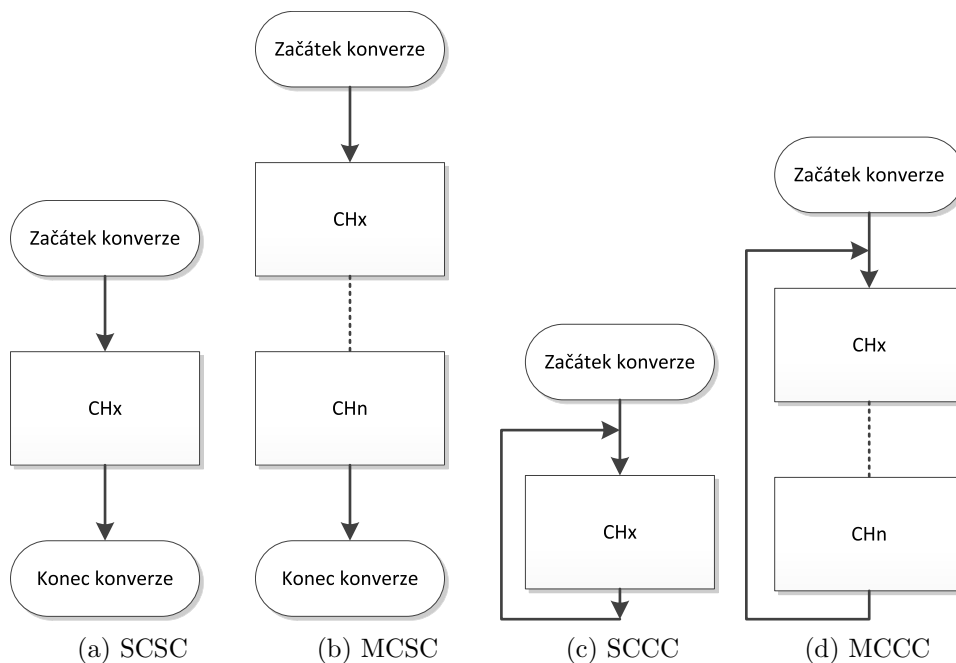
Převodníky provádí konverzi v nezávislém nebo duálním módu. Podrobný popis těchto módů můžeme nalézt v [20]. V duálním módu je možné časově synchronizovat měření převodníku 1 a 2, nelze však takto synchronizovat také převodník 3, a proto tento mód nebudeme používat.

V nezávislém módu máme na výběr několik typů konverze, jejichž popis nalezneme níže. Pro obsluhu A/D převodníků je možné použít DMA (Direct Memory Access). Pro konverzi je velice vhodné DMA použít – můžeme tak zabránit ztrátě vzorků měřeného signálu a také šetříme strojový čas jádra mikroprocesoru [20].

**Jeden odměr jednoho kanálu** Jedná se o nejjednodušší mód, ve kterém je odečtena hodnota zvoleného kanálu a tím je měření ukončeno, viz Obr. 4.9a.

**Jeden odměr více kanálů** V tomto módu proběhne jedno měření libovolně zvolených kanálů, kde každý kanál může mít zcela odlišnou vzorkovací frekvenci, viz Obr. 4.9b. Díky tomu můžeme nakonfigurovat dané kanály najednou a v určitých aplikacích tak ušetřit nějaký strojový čas jádra mikroprocesoru.

Obrázek 4.9: Nezávislé módy A/D převodníku [20]



**SCSC** Single channel, single conversion.

**MCSC** Multichannel, single conversion.

**SCCC** Single channel, continuous conversion.

**MCCC** Multichannel, continuous conversion.

**Průběžné měření jednoho kanálu** Tento mód měří napětí na daném kanálu v nekonečném cyklu<sup>9</sup>. Můžeme také použít DMA, kdy převod vstupního signálu probíhá nezávisle na mikroprocesoru a šetříme tak strojový čas, viz Obr. 4.9c.

<sup>9</sup>Přesněji řečeno do té doby, než změníme konfiguraci převodníku.

**Průběžné měření více kanálů** Napěťové úrovně vstupních signálů jsou měřeny nepřetržitě. Pro snížení zátěže mikroprocesoru opět můžeme použít DMA, viz Obr. 4.9d.

**Injekční mód** Tento mód se používá v případě, že je začátek konverze vyvolán externí událostí. Kanály A/D převodníku v tomto módu mají větší prioritu a mohou tedy přerušovat konverzi standardních kanálů.

### 4.3.2 GPS

#### USART

Zařízení podporuje rychlost datového přenosu 4800, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600 nebo 115200 Bd. V základním nastavení je rychlost 9600 Bd, datový rámeček má délku 8 bitů (bez parity) a jeden stop bit. Hardwarové řízení toku dat není podporováno.

#### NMEA protokol

NMEA je v oblasti satelitní navigace běžně používaný protokol, který kóduje informaci pomocí ASCII znaků. Čip L70B používá standard NMEA 0183. V tomto standardu je definováno šest zpráv, které zařízení odesílá – RMC, VTG, GGA, GSA, GSV a GLL. Formát zprávy je uveden v Tab. 4.7, popis jednotlivých zpráv můžeme najít v [21].

Tabulka 4.7: Formát standardní NMEA zprávy

Délka (byte)	1	1–2	3	V	1	V	1	2	2
Část	ST	ID	NID	MSG1	DLM	MSG <sub>n</sub>	MSGE	CeS	END

**ST** Každá zpráva začíná znakem „\$“.

**ID** Identifikátor příjemce . U GPS příjemce je tato hodnota vždy „GP“.

**NID** NMEA identifikátor (RMC, VTG, ...).

**MSG1–n** Obsah zprávy. Pro každý identifikátor je přesně definován obsah a pořadí odesílaných dat (která mají různou délku – V). Jednotlivé hodnoty jsou odděleny čárkou (DLM). Množství odeslaných dat se liší dle NID.

**MSGE** Identifikátor konce odesílaných dat. Tato hodnota je vždy „\*“.

**CeS** Kontrolní součet (checksum). Vypočítá se jako XOR (exkluzivní součet) všech znaků mezi „\$“ a „\*“

**END** Zpráva je vždy zakončena znaky *Line Feed* a *Carriage Return*, tj. „\r\n“ nebo hexadecimálně „0x0A, 0x0D“.

### MTK NMEA protokol

MTK NMEA je rozšíření standardního protokolu o zprávy, pomocí kterých můžeme konfigurovat čip L70B. Formát zprávy je znázorněn v Tab. 4.8, kompletní výčet a popis zpráv můžeme najít v [21].

Tabulka 4.8: Formát rozšířené MTK NMEA zprávy

Délka (byte)	1	1	3	3	V	1	V	1	2	2
Část	ST	ID	NID	PKTt	D1	DLM	Dn	MSGE	CeS	END

**ST** Každá zpráva začíná znakem „\$“.

**ID** Identifikátor zprávy, hodnota vždy „P“.

**NID** NMEA identifikátor, vždy „MTK“.

**PKTt** Typ paketu, číslo v intervalu „000–999“.

**D1-Dn** Datové byty, vždy odděleny čárkou.

**MSGE** Identifikátor konce odesílaných dat. Tato hodnota je vždy „\*“.

**CeS** Kontrolní součet (checksum). Vypočítá se jako XOR (exkluzivní součet) všech znaků mezi „\$“ a „\*“

**END** Zpráva je vždy zakončena znaky *Line Feed* a *Carriage Return*, tj. „\r\n“ nebo hexadecimálně „0x0D, 0x0A“.

### Příjem a zpracování zpráv

Základ pro zpracování přijímaných zpráv tvoří struktura *hGPS* typu *GPS\_handle*. Tato struktura obsahuje prvky popsané v Tab. 4.9. Díky této struktuře víme v každé fázi příjmu a zpracování paketu aktuální stav a je možné jednoduše detekovat případné chyby.

Na Obr. 4.10 je znázorněn proces zpracování zprávy z přijatého paketu. Tato zpráva může být dvojího typu – standardní nebo rozšířená NMEA. Pro každý typ standardní zprávy byla implementována jedna struktura, celkem tedy šest struktur s názvy *GPS\_RMC*, *GPS\_VTG*, *GPS\_GGA*, *GPS\_GSA*, *GPS\_GSV* a *GPS\_GLL*. Do nich je možné ukládat jednotlivé informace o poloze, rychlosti, času ap. Jako příklad můžeme uvést podobu struktury *GPS\_GLL* (viz ukázka kódu níže). Obsah struktur ostatních standardních NMEA zpráv koresponduje s jejich popisem v [21].



Tabulka 4.9: Struktura typu GPS\_handle

Typ proměnné	Název	Popis
char []	rxbuffer	Do tohoto pole je uložena přijatý packet.
char *	p_rxbuffer	Ukazatel na rxbuffer.
uint16_t	norb	Počet přijatých bytů.
uint16_t	nopb	Počet zpracovaných bytů.
char []	message	Do tohoto pole je uložena jedna zpráva (sekvence bytů, před následujícím symbolem \$
char *	p_message	Ukazatel na message.
uint8_t	message.length	Délka zprávy.
uint8_t	npof	Počet částí zprávy (bloky oddělené čárkou).
GPS_status	sts	Aktuální stav příjmu a zpracování dat (v pořádku/ chyba/ konec packetu).
GPS_transfer_sts	rx_TransferSTS	Stav přijímání zpráv.
GPS_transfer_sts	tx_TransferSTS	Stav odesílání zpráv.
uint8_t	CRC_received	Přijatá hodnota kontrolního součtu.
uint8_t	CRC_calculated	Vypočítaná hodnota kontrolního součtu.

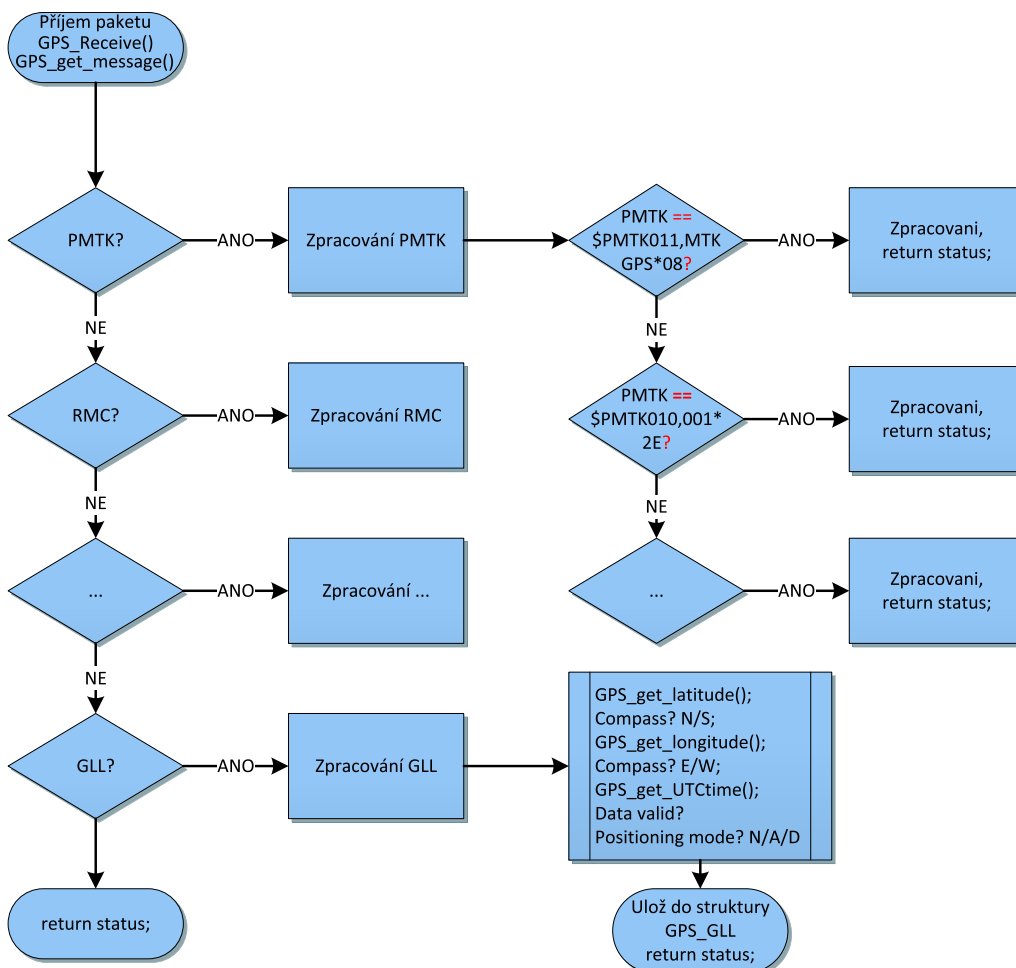
```

/* NMEA PACKET PROTOCOL: GPGLL
 * Example:
 * $GPGLL,3110.2908,N,12123.2348,E,041139.000,A,A*59<CR><LF>
 */
typedef struct {
    GPS_data_validity validity;
    uint8_t UTC_hours;
    uint8_t UTC_minutes;
    uint8_t UTC_sec;
    uint16_t UTC_msec;
    uint8_t latitude_degs;
    uint8_t latitude_minutes;
    uint16_t latitude_promiles;
    compass lat_comp;
    uint8_t longitude_degs;
    uint8_t longitude_minutes;
    uint16_t longitude_promiles;
    positioning_mode mode;
} GPS_GLL;

```

Jedná-li se rozšířené NMEA zprávy, ty mají konkrétní neměnnou podobu a stačí tedy porovnávat přijatá data s databází uložených PMTK zpráv, viz [21].

Obrázek 4.10: Zpracování přijatého paketu



### 4.3.3 Flash paměť S25FL128S

#### SPI

Zvolená paměť umožňuje použít dva SPI módy (viz popis níže), které odesílají zprávy s délkou osmi bitů, MSB jako první.

**SPI mód 0:** V tomto módu je polarita hodinového signálu CPOL = 0 (klidová úroveň) a fáze CPHA = 0 (vzorkování na náběžnou hranu).

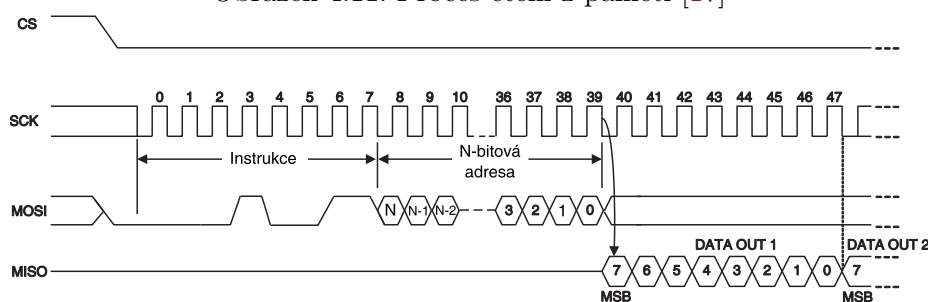
**SPI mód 1:** Polarita hodinového signálu CPOL = 1 a CPHA = 1.

### Zápis, čtení a mazání dat

Podrobný popis procesů práce s daty můžeme nalézt v [17]. Veškerou komunikaci s pamětí provádíme pomocí příkazů, dle kterých zařízení určí, jakou operaci chceme vykonat. Každý příkaz začíná osmibitovou instrukcí. Ta může být jediným prvkem příkazu (např. při resetování čipu) nebo může být následována dodatečnými informacemi (adresa, data).

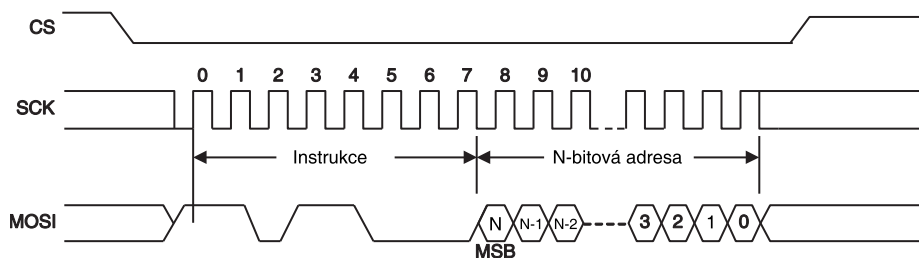
Zvolená paměť je rozdělena na sektory o velikosti 256 kB, celkem tedy obsahuje 64 sektorů. Pro čtení dat z těchto sektorů použijeme instrukci *READ*, viz Obr. 4.11, která je následovaná adresou o délce  $N$  (24 nebo 32 bitů). Počáteční adresa čtení může být v jakémkoliv místě paměťového prostoru. Při čtení čip automaticky inkrementuje hodnotu ukazatele adresy a můžeme tedy kontinuálně vyčíst obsah celé paměti. Při přetečení proces čtení pokračuje od adresy 000000h.

Obrázek 4.11: Proces čtení z paměti [17]



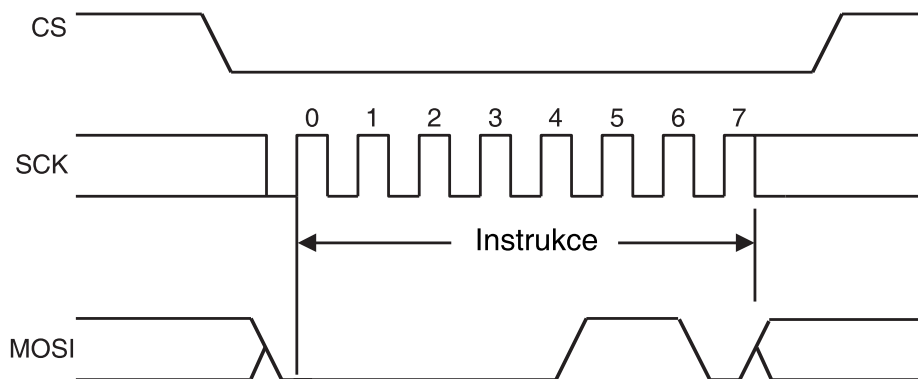
Pro zápis dat používáme instrukci *Page Program*. Z důvodu časové optimalizace je vhodné zapisovat data vždy po stránkách (tj. 512 bytů), ale je možné zapisovat libovolné množství dat v intervalu 1–512 bytů s počátkem v jakémkoliv místě adresového prostoru. Zápis vždy ovlivňuje pouze cílené byty a nevymaže tedy informaci ze zbytku sektoru ap. Pro vymazání dat ze sektoru není možné použít instrukce pro zápis. Každé instrukci *Page Program* musí předcházet příkaz *WREN* (write enable), jehož časový průběh je znázorněn na Obr 4.13. Pro kontrolu ukončení zápisu dat je možné přečíst hodnoty ve *Status Registru* zařízení.

Obrázek 4.12: Příkaz *Sector Erase* [17]



Pro vymazání dat z paměti používáme příkaz *Sector Erase*, viz Obr. 4.12. Jak již název napovídá, nelze vymazat jednotlivé byty, musí být vždy vymazán celý sektor. Stejně jako při zápisu, nejdříve musíme použít příkaz *WREN*, který je následován N-bitovou adresou (délka adresy je  $N - 24$  nebo  $32$  bitů). Ihned poté, co CS změní stav z log 0 na log 1 je zahájen proces mazání. Stav procesu můžeme zkontrolovat vyčtením hodnot ze *Status Registru*. Po úspěšném vymazání mají všechny byty cíleného sektoru hodnotu  $0xFF$ .

Obrázek 4.13: Příkaz WREN [17]



## Kapitola 5

---

# Závěr

---

V rámci této práce se podařilo úspěšně navrhnout celý systém, který se skládá z jednotky řazení, volantového modulu a data loggeru.

Jednotka řazení je koncipována jako dvouvrstvá DPS s mikroprocesorem STM32F100RB. Zpracovává signál z tlačítek (pádel) pod volantem, na základě kterého ovládá aktuátor převodovky (pneumatický válec) a aktuátor spojky (fluidní sval). To je realizováno otevíráním nebo zavíráním příslušných elektropneumatické ventilů. Návrh jednotky je koncipován tak, aby bylo možné, připojit a ovládat pomocí pulzně-šířkové modulace také servomechanizmy, které mohou nahradit pneumatický systém.

Hardware jednotky je možné z pohledu návrhu DPS ještě optimalizovat – záměnou funkce některých pinů mikroprocesoru a jeho následným otočením bychom docílili snížení plochy proudových smyček. Drobnou chybou je také skutečnost, že některé spoje na DPS zasahují téměř k okrajům desky a při nepřesné výrobě (např. při frézování okrajů nebo ostříhu desky) by mohlo dojít k narušení těchto vodivých cest.

Z uživatelského hlediska obsahuje implementovaný program několik parametrů, pomocí kterých lze měnit časovou souslednost jednotlivých kroků v procesu řazení a jejich dobu trvání. Při řazení vyššího rychlostního stupně se jedná o chvilkové snížení výkonu motoru (odeslání signálu, na základě kterého je v ECU snížen výkon) a otevření příslušného ventilu pro uvedení pneumatického válce do pohybu, při řazení nižšího převodového stupně se jedná o sekvenci otevírání/zavírání ventilů pneumatického válce a fluidního svalu.

Toto zařízení se podařilo také otestovat ve voze FS.06 a v průběhu provozu nebyl zaznamenán žádný problém. Z pohledu koncepce systému řazení by však bylo vhodné nahradit přímovazební řízení zpětnou vazbou. Při experimentálním měření času zařazení jednotlivých rychlostních stupňů bylo zjištěno, že se tento čas pro různé rychlostní stupně liší. Na tuto situaci by zpětnovazební systém

(např. s koncovým spínačem nebo jiným detektorem úspěšného přerazení) dokázal reagovat a mohl by se tedy zkrátit celkový čas řazení.

Druhým realizovaným zařízením je volantový modul, který vytváří rozhraní mezi pilotem a vozem. Toto rozhraní je tvořeno LCD TFT displejem (rozlišení 480x272 bodů, úhlopříčka 4,3"), indikačními LED diodami a mechanickými ovládacími prvky (tlačítka, otočné spínače). Displej slouží k zobrazení nejdůležitějších údajů a k upozornění na kritické stavy (např. přehřívání motoru). LED diody pro indikaci optimálního řazení mohou být spínány nezávisle, což umožňuje implementovat různé režimy indikace, případně také DPS osadit diodami různých barev pro lepší přehlednost. Na realizovaném zařízení však byly použity modré číré diody, které zajistí dobrou viditelnost i na přímém slunečním světle.

Volantový modul je koncipován jako dvouvrstvá DPS s mikroprocesorem STM32F303CB, který byl zvolen především kvůli malému pouzdru (LQFP48) a možnosti komunikace po sběrnici CAN. Netypický tvar modulu je dán požadavkem na jednoduchou zástavbu do volantu závodního vozu. Napájení mikroprocesoru a displeje zajišťuje analogový lineární regulátor, který je dimenzovaný na max. proud 500 mA. Maximální proudový odběr DPS se pohybuje okolo 400 mA. Tato hodnota závisí na nastavení intenzity podsvícení LCD displeje, kterou můžeme regulovat pulzně šířkovou modulací. Díky relativně nízké účinnosti regulátoru je při maximální spotřebě generováno nezanedbatelné množství tepla. Z těchto důvodů byla na DPS lokálně použita rozlitá měď a technika zvaná *via stitching*, která napomáhá odvodu tepla od součástky. Ukázalo se však, že takto navržené chlazení není zcela postačující. Situaci lze snadno vyřešit přidáním externího pasivního chladiče.

Posledním a nejkomplexnějším zařízením multifunkčního systému je data logger, který by měl nahradit v nových vozech týmu CTU CarTech doposud používaný data logger AiM MXL Pista. Navržená jednotka je schopna měřit současně až 24 signálů z analogových senzorů (teplotní čidla, senzory tlaku ap.) a 12 digitálních signálů. Čtyři digitální vstupy jsou primárně určeny k měření rychlosti otáčení kol (indukční senzor nebo snímač na bázi Hallovy sondy), ostatní digitální vstupy mohou sloužit např. k připojení spínacích prvků. Všechny analogové senzory je možné napájet z přesné napěťové reference 5 V, pro snímače rychlosti je v konektoru vyvedeno napájecí napětí palubní sítě (přibližně 12–14 V). Data logger je také osazen GPS čipem a tříosým akcelerometrem.

Jedná se o čtyřvrstvou DPS s dvěma signálními vrstvami a dvěma vodivými plochami v konfiguraci SIG1–GND–VCC–SIG2. Při návrhu byl kladen důraz na dodržení návrhových pravidel uvedených v [5], jako např. vícebodové zemnění, oddělení analogové a digitální země, pravidlo 20H, důsledné blokování napájení a omezení plochy proudových smyček. Z důvodu velkého množství analogových a digitálních signálů, které je třeba zpracovat, byl zvolen mikroprocesor s označením STM32F429ZI, který má 144 pinů (pouzdro LQFP144). Jako paměť pro ukládání

dat byla použita NOR Flash o velikosti 16 MB, která komunikuje s mikroprocesorem (stejně jako použitý akcelerometr) přes rozhraní SPI.

V implementovaném programu byly kromě inicializace základních periférií vytvořeny knihovny pro komunikaci s Flash pamětí a GPS modulem. Knihovna pro externí paměť obsahuje kompletní seznam instrukcí pro obsluhu čipu a funkce pro čtení, zápis a mazání dat. Knihovna pro GPS modul obsahuje funkce pro inicializaci zařízení a vyčítání/odesílání dat. Dále implementuje funkce pro parsování přijatých packetů, které jsou ve formátu NMEA zpráv. Pro možnost zobrazit naměřené hodnoty v PC bylo nutné vyřešit také komunikaci PC–data logger. Pro přenos dat ze zařízení do PC tedy obsahuje zařízení USB sběrnici, pomocí které je možné vytvořit virtuální COM port nebo jiný typ USB zařízení. Software pro USB a obsluhu MEMS akcelerometru není implementován, je však možné použít programové řešení z [22].

V rámci dalšího vývoje tohoto vestavného multifunkčního systému je v tuto chvíli nutné jej otestovat přímo na závodním voze a odstranit případné nedostatky jak v návrhu hardware, tak v implementovaném programu. Vhodným rozšířením by mohla být integrace bezdrátové telemetrie popsané v [2] a implementace analytického software pro PC.





---

# Literatura

---

- [1] Formula student world – ranking list. [Online], 2015, [cit. 6.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.fs-world.org>. [str. 1]
- [2] Marek P. Bezdrátový přenos kritických dat ze závodního vozu. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, 2014. [str. 2, 51]
- [3] Nabídka produktů mxl firmy aim. [Online], 2015, [cit. 22.3.2015]. Dostupné z www: <http://www.aimsports.com/products/mxl-chooser.html>. [str. 3]
- [4] Kliktronic retail price list. [Online], 2010, [cit. 29.4.2015]. Dostupné z www: <http://www.kliktronic.co.uk/order.htm>. [str. 10]
- [5] Záhlava V. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. BEN - technická literatura, 2010. ISBN: 978-80-7300-266-4. [str. 10, 34, 50]
- [6] ON Semiconductor. Using mosfets in load switch applications. [Online], 2014, [cit. 29.4.2015]. Dostupné z www: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/AND9093-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AND9093-D.PDF). [str. 12]
- [7] E ink spectra. [Online], 2015, [cit. 4.5.2015]. Dostupné z www: [http://www.eink.com/display\\_products\\_spectra.html](http://www.eink.com/display_products_spectra.html). [str. 20]
- [8] LUMINEQ. Thin film electroluminescent displays. [Online], 2015, [cit. 29.4.2015]. Dostupné z www: <http://http://lumineq.com/en/technology>. [str. 20]
- [9] FTDI. Application note an\_312: Ft800 example with arm. [Online], 2014, [cit. 11.12.2014]. Dostupné z www: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT800.html>. [str. 23, 25]
- [10] FTDI. Application note an\_240: Ft800 from the ground up. [Online], 2014, [cit. 11.12.2014]. Dostupné z www: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT800.html>. [str. 24]
- [11] FTDI. Ft800 embedded video engine datasheet. [Online], 2013, [cit. 4.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT800.html>. [str. 26, 67]
- [12] FTDI. Application note an\_277: Create user defined font. [Online], 2013, [cit. 4.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs/FT800.html>. [str. 27]

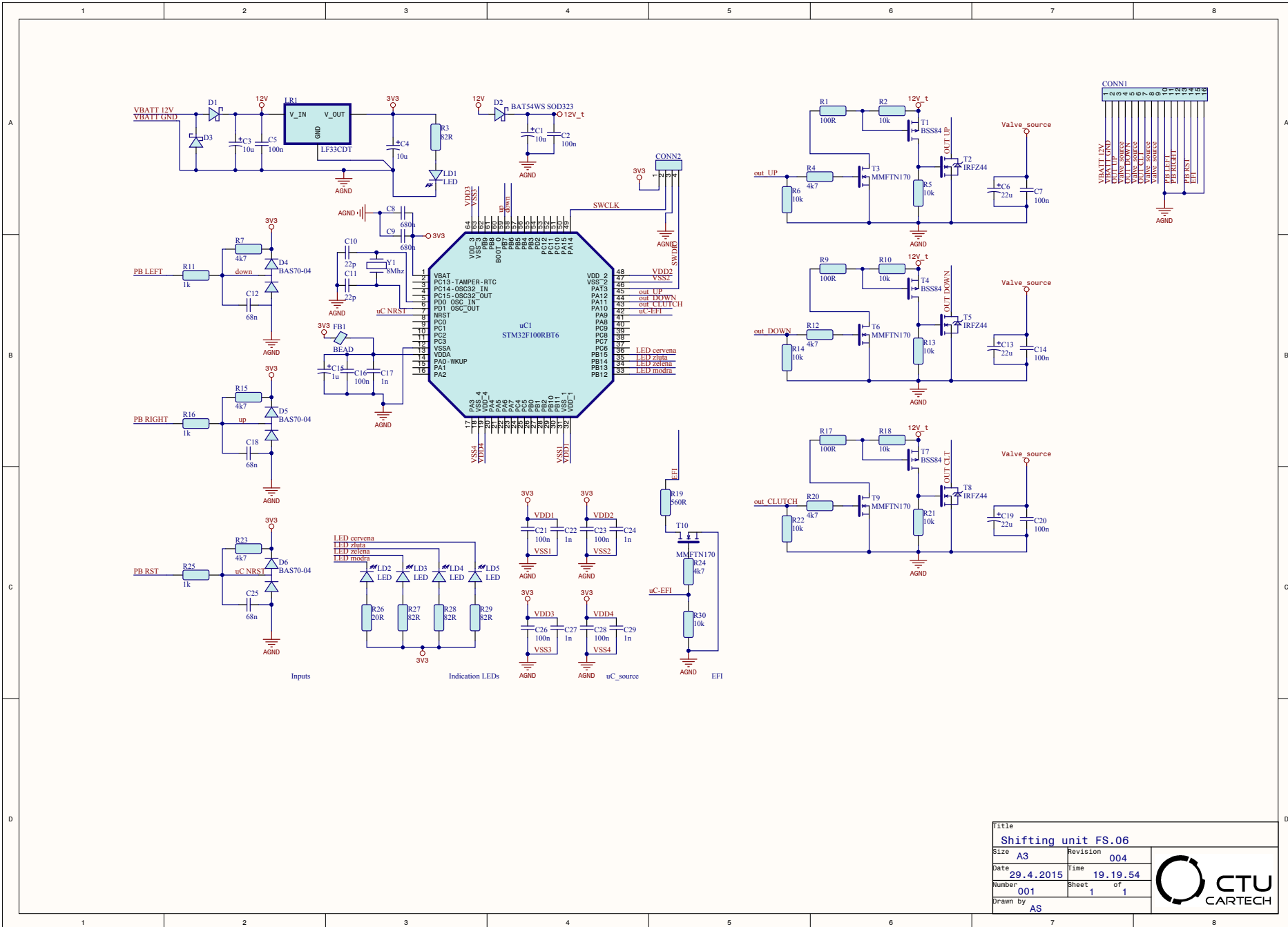
- [13] Sprakfun Electronics. [Online], [cit. 4.5.2015]. Dostupné z www: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/gps-basics/the-basics-of-gps>. [str. 31]
- [14] Vedral J., Fischer J. *Elektronické obvody pro měřicí techniku*. Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN: 80-01-02966-2. [str. 32]
- [15] Linear Technology. Datasheet: Lt1236 – precision reference. [Online], [cit. 6.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.linear.com/product/LT1236>. [str. 33, 38, 67]
- [16] Quectel. Datasheet: Gps l70. [Online], 2014, [cit. 6.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.quectel.com/product/prodetail.aspx?id=13>. [str. 35]
- [17] Spansion. Datasheet: Spansion fl nor flash memory. [Online], 2014, [cit. 8.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.spansion.com/Products/memory/Serial-Flash/Pages/Spansion%20FL.aspx>. [str. 36, 47, 48, 66]
- [18] STMicroelectronics. STM32F427xx/STM32F429xx datasheet. [Online], 2014, [cit. 21.2.2015]. Dostupné z www: [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/reference\\_manual/DM00031020.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/reference_manual/DM00031020.pdf). [str. 37, 38, 67]
- [19] STMicroelectronics. STM32F427xx/STM32F429xx datasheet. [Online], 2014, [cit. 21.2.2015]. Dostupné z www: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00071990.pdf>. [str. 38, 39, 40]
- [20] ST Microelectronics. Application note: Stm32<sup>TM</sup>'s adc modes and their applications. [Online], 2010, [cit. 21.2.2015]. Dostupné z www: [http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application\\_note/CD00258017.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00258017.pdf). [str. 41, 42, 66]
- [21] Quectel. L70 gps protocol specification. [Online], 2014, [cit. 6.5.2015]. Dostupné z www: <http://www.quectel.com/product/prodetail.aspx?id=13>. [str. 43, 44, 46]
- [22] Tilen Majerle. Library 35: Lis302dl or lis3dsh accelerometer. [Online], 2014, [cit. 10.5.2015]. Dostupné z www: <http://stm32f4-discovery.com/category/stm32f429/>,. [str. 51]

## **Příloha A**

---

# **Schéma jednotky řazení**

---



Title		Shifting unit FS.06	
Size	A3	Revision	004
Date	29.4.2015	Time	19.19.54
Number	001	Sheet	1 of 1
Drawn by	AS		



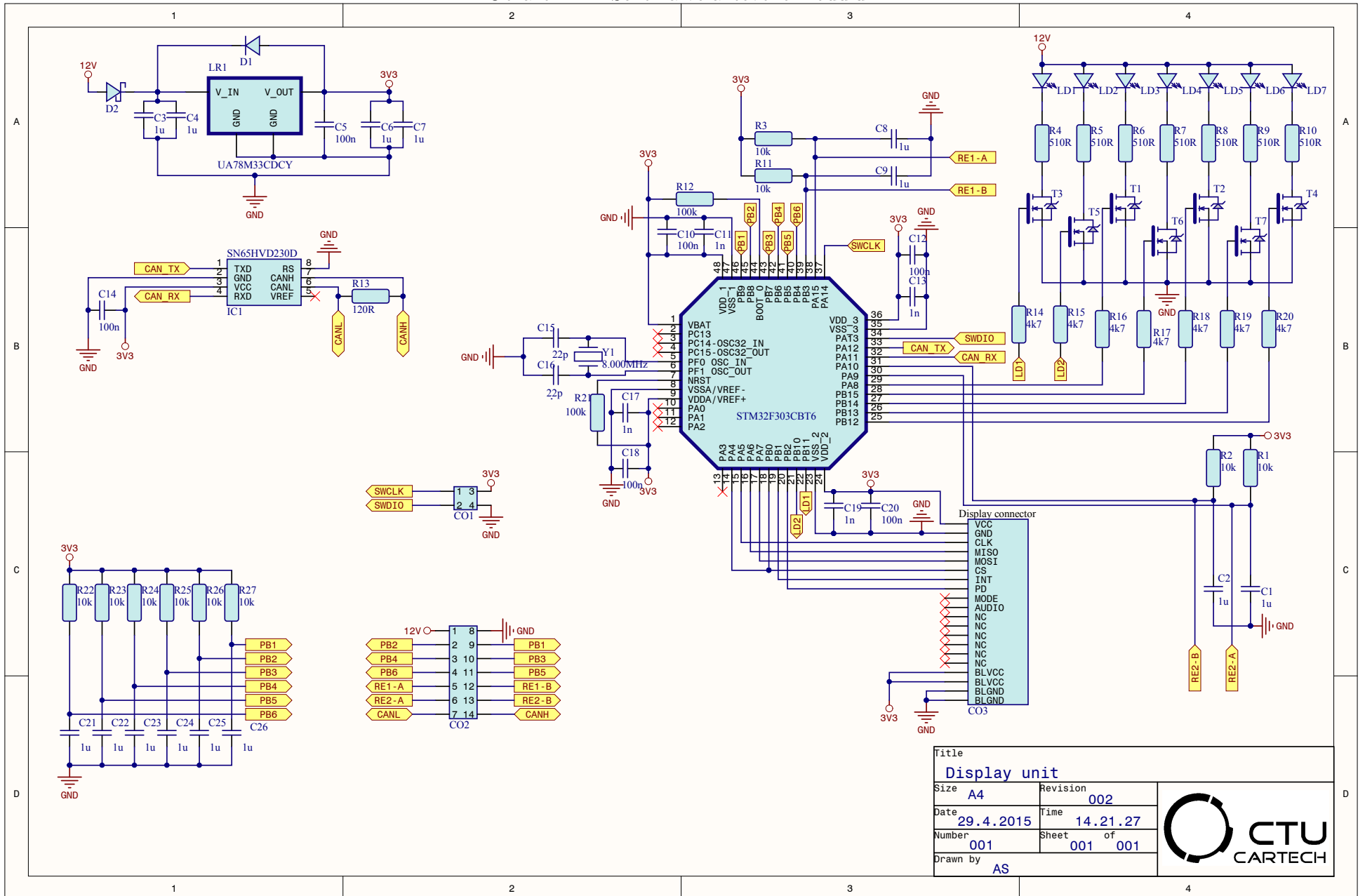
## **Příloha B**

---

# **Doplňující informace k volantovému modulu**

---

Obrázek B.1: Schéma volantového modulu



Title		Display unit	
Size	A4	Revision	002
Date	29.4.2015	Time	14.21.27
Number	001	Sheet	001 of 001
Drawn by	AS		



Tabulka B.1: Rešerše displejů

Popis	Kontrast	Svřtivotost (cd)	Rozlišení	Uin (V)	Ubckp (V)	Rozhraní	Dotykový display	Cena	Datum
HTDISPLAY HT480043K	500:1	450	480x272	3.3	28	parallel	ne	546.56 Kč	22.9.2014
HTDISPLAY HT800050G	700:1	500	800x480	3.3	19.8	parallel	ne	725.80 Kč	
HTDISPLAY HT800050G-RTP	700:1	500	800x480	3.3	19.8	parallel	rezistivní	922.03 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TFWN00	500:1	550	480x272	3.3	16	parallel	ne	494.53 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TFWC00	500:1	500	480x272	3.3	16	parallel	kapacitní	1 237.78 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CNWR36	500:1	440	480x272	3.3	16	parallel	rezistivní	921.90 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CNWN36	500:1	550	480x272	3.3	16	parallel	ne	875.81 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CNWC36	500:1	500	480x272	3.3	16	parallel	kapacitní	1 619.91 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CFWR36	500:1	440	480x272	3.3	16	parallel	rezistivní	954.83 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CFWN36	500:1	550	480x272	3.3	16	parallel	ne	915.32 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272CFWC36	500:1	500	480x272	3.3	16	I2C, SPI	kapacitní	1 659.42 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TFWR00	500:1	440	480x272	3.3	16	parallel	rezistivní	537.99 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TNWC00	500:1	500	480x272	3.3	16	parallel	kapacitní	1 198.47 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TNWN00	500:1	550	480x272	3.3	16	parallel	ne	457.66 Kč	
RIVERDI RVT4.3A480272TNWR00	500:1	440	480x272	3.3	16	parallel	rezistivní	516.26 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CFWC00	500:1	500	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	ne	1 692.35 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CFWN00	500:1	550	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	ne	948.24 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CFWR00	500:1	440	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	rezistivní	994.34 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CNWC00	500:1	500	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	kapacitní	1 652.84 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CNWN00	500:1	550	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	kapacitní	915.32 Kč	
RIVERDI RVT4.3B480272CNWR00	500:1	440	480x272	3.3	3.3	I2C, SPI	rezistivní	954.83 Kč	
STM32F4DIS	-	-	320x240	3.3	-	parallel	rezistivní	1 241.87 Kč	23.9.2014
KENTEC - K430WQA-V4-F	-	-	480x272	3.3	-	parallel	ne	946.21 Kč	
MIDAS - MCT043EC6W480272LML	-	-	480x272	3.3	28	parallel	ne	1 032.94 Kč	
UMSH-8253MD-3T	-	-	480x272	3.3	16.5	parallel	kapacitní	1 608.88 Kč	
INT043BTFT-TS	-	-	480x272	3.3	5	parallel	ne	1 602.16 Kč	
LQ043T1DG28	-	-	480x272	3.3	4	parallel	ne	1 472.52 Kč	
INT043BTFT	-	-	480x272	3.3	17	parallel	ne	1 418.20 Kč	
NHD-4.3-480272EF-ATXL#-CTP	-	-	480x272	3.3	19.2	parallel	ne	1 347.92 Kč	
AWY-480800T43N01	-	250	800x480	3.3	25.6	i80	ne	1 287.16 Kč	
HDA430-3	450:1	-	480x272	3.3	23.1	parallel	ne	1 134.84 Kč	
DT043BTFT	-	-	480x272	3.3	17	parallel	ne	1 060.64 Kč	
UMSH-8253MD-1T	-	-	480x272	3.3	16.5	parallel	ne	929.60 Kč	
NHD-4.3-480272EF-ATXL#-T	-	-	480x272	3.3	19.2	parallel	rezistivní	883.12 Kč	
NHD-4.3-480272EF-ATXL#	-	-	480x272	3.3	19.2	parallel	ne	813.40 Kč	
NHD-5.0-800480TF-ATXI#	600:1	250	800x480	3.3	23.1	parallel	ne	1 022.56 Kč	
NHD-5.0-800480TF-ATXL#	600:1	450	800x480	3.3	19.2	parallel	ne	1 069.04 Kč	
NHD-5.0-800480TF-ATXL#-T	600:1	400	800x480	3.3	19.2	parallel	rezistivní	1 538.04 Kč	
NHD-5.0-800480TF-ATXL#-CTP	600:1	450	800x480	3.3	19.2	parallel	kapacitní	1 626.80 Kč	
AFW480272D-4.3-8973	400:1	-	320x240	3.3	20.4	SPI, parallel	rezistivní	1 096.17 Kč	
WF43GTIBEDBT0 WINSTAR	500:1	350	480x272	3.3	32	8080	rezistivní	1 161.22 Kč	
DEM480272DTMH-PW-N	350:1	1000	480x272	3.3	19.8	parallel	rezistivní	1 037.59 Kč	
ER-TFT050	500:1	300	800x480	3.3	-	I2C, SPI	ne	679.36 Kč	



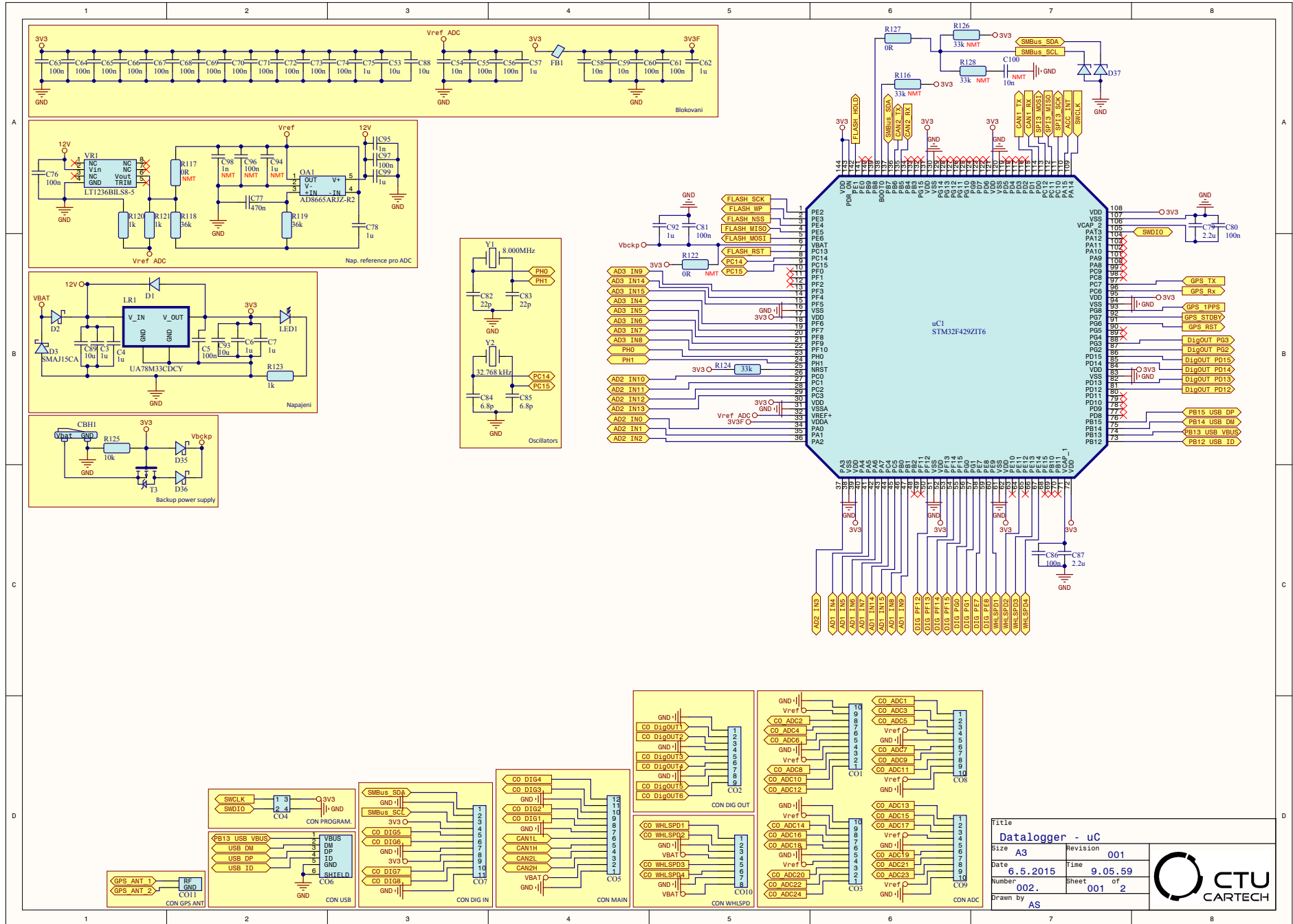


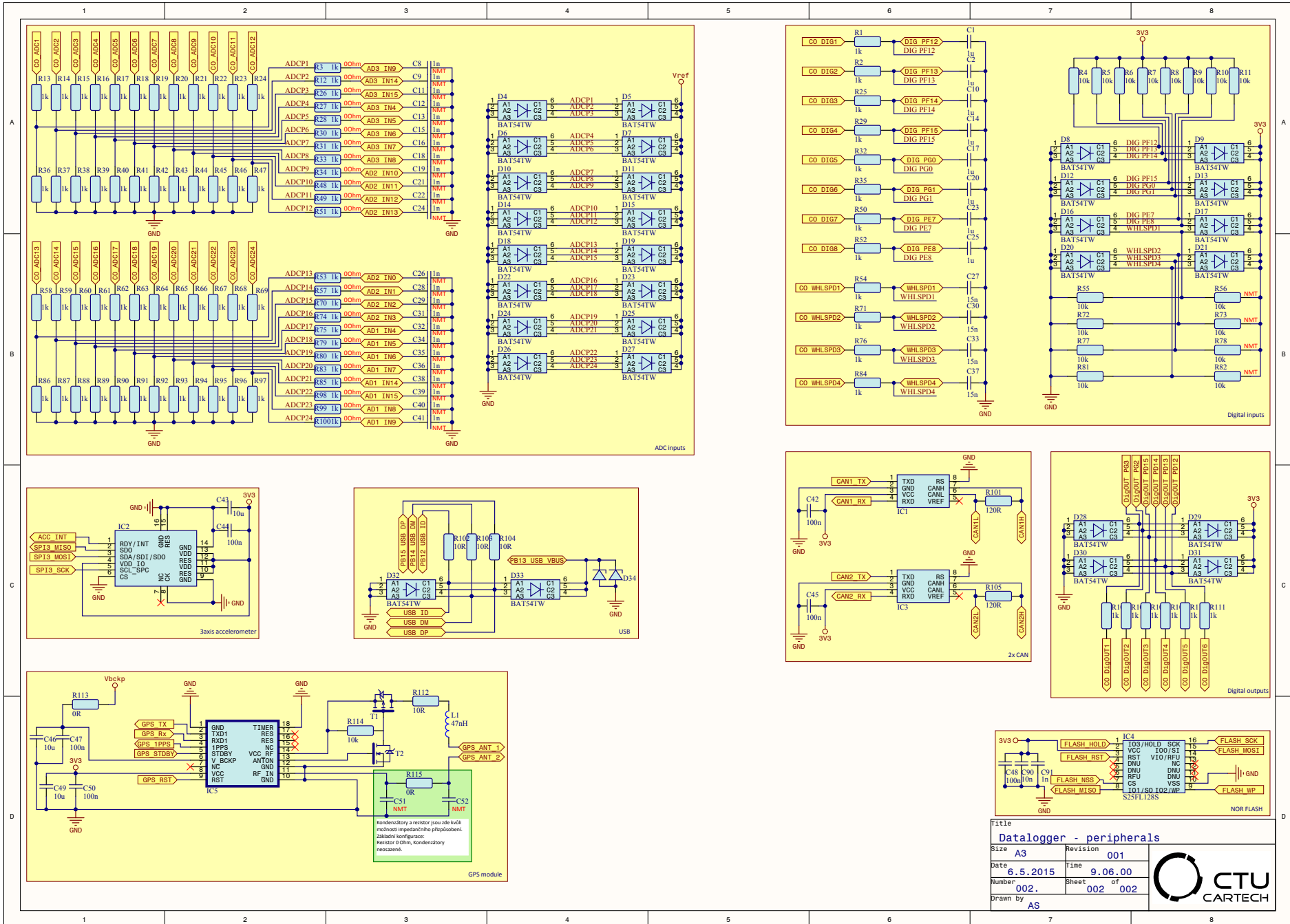
## Příloha C

---

# Doplňující informace k data loggeru

---





Tabulka C.1: Rešerše GPS čipů

Název	Počet kanálů	Přesnost pozice (m)	Citlivost (dBm)			Time to first fix (s)			Update (Hz)	Cena (Kč)	Datum
			Cold	Navi	Tracking mód	Cold	Warm	Hot			
NVS TECHNOLOGIES - NV08C-CSM	32	2.5	-143	-160	-160	25	25	3	10	1043.27	23.9.2014
MAESTRO WIRELESS SOLUTIONS - A2235H	48	2.5	-148	-160	-163	38	35	1	5	423.37	
MAESTRO WIRELESS SOLUTIONS - A2200A	48	2.5	-148	-160	-163	35	35	1	5	348.33	
MAESTRO WIRELESS SOLUTIONS - A2035H	48	2.5	-148	-160	-163	35	32	1	5	512.17	
RF SOLUTIONS - GPS-610F	65	2.5	-145	-161	-161	29	5	1	10	930	
RF SOLUTIONS - GPS-330R	16	5	-140	-	-155	60	35	5	1	1228.45	
MAESTRO WIRELESS SOLUTIONS - A2100-A	48	2.5	-148	-160	-163	35	32	1	-	688.06	
TE CONNECTIVITY - A1080-A	20	5	-144	-	-159	35	32	1	-	2140.92	
ORIGIN GPS LTD. ORG1208-R01	32	1.5	-146	-160	-162	35	34	1	10	763	
L76-M33 QUECTEL	33	2.5	-148	-160	-165	35	30	1	10	171	
L70B-M39 QUECTEL	22	2.5	-148	-160	-165	35	30	1	10	147	

---

# Seznam zkratek

---

Zkratka	Popis	
ADC	Analog Digital Converter	str. 37
CAN	Controller Area Network	str. 30
DCE	Data Communication Equipment	str. 35
DL	Display List	str. 24
DMA	Direct Memory Access	str. 41
DPS	Deska plošných spojů	str. 10
DRS	Drag Reduction System	str. 19
DTE	Data Terminal Equipment	str. 35
ECU	Engine Control Unit	str. 5
ELD	Electroluminescent display	str. 20
EP	Elektro-pneumatický	str. 5
EVE	Embedded Video Engine	str. 24
FFC	Flexible Flat Cable	str. 22
FIFO	First In First Out	str. 25
FT	Font table	str. 26
GPS	Global Positioning System	str. 31
HAL	Hardware Abstraction Layer	str. 23
HMI	Human Machine Inteface	str. 23
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit	str. 32
LCD	Liquid Crystal Display	str. 21
LSB	Least Significant Bit/Byte (závisí na kontextu)	str. 38
MEMS	Micro-Elctro-Mechanical System	str. 33
MCU	Micro Controller Unit	str. 10
NMEA	(The) National Marine Electronics Association	str. 43
OLED	Organic Light Emitting Diode	str. 21
PWM	Pulse Width Modulation	str. 12
RAM	Random Access Memory	str. 24
ROM	Read-only Memory	str. 26
RTC	Real-time Clock	str. 30
SMA	SubMiniature, version A	str. 31
SPI	Serial Peripheral Interface	str. 31
TFT	Thin Film Transistor	str. 21
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter	str. 31

---

# Seznam obrázků

---

1.1	Vůz FS.06 při závodech v Itálii, foto: Štěpán Fišer . . . . .	2
2.1	Časový průběh řazení vyššího převodového stupně . . . . .	6
2.2	Závislost času otočení o 100° na velikosti zatížení . . . . .	8
2.3	Schéma zapojení LF33CDT . . . . .	11
2.4	Schéma vstupního portu . . . . .	11
2.5	Schéma „výkonového“ vstupního portu . . . . .	12
2.6	Jednotka řazení . . . . .	13
2.7	Vývojový diagram hlavního programu . . . . .	15
2.8	Řazení vyššího převodového stupně . . . . .	16
2.9	Řazení nižšího převodového stupně . . . . .	17
3.1	Volant vč. modulu . . . . .	19
3.2	Modul s displejem . . . . .	22
3.3	Volantový modul . . . . .	23
3.4	Koncepce použití FT800 . . . . .	24
3.5	Demonstrace zobrazení dat . . . . .	25
4.1	Trať vykreslená pomocí GPS dat data loggeru AiM MXL Pista . . . . .	31
4.2	Zapojení lineárního regulátoru UA78M33CDCY . . . . .	34
4.3	Zapojení čipu Quectel L70B . . . . .	35
4.4	Zapojení S25FL128S . . . . .	36
4.5	Základní uspořádání A/D převodníku . . . . .	37
4.6	Zapojení napěťové reference . . . . .	39
4.7	Kompletní uspořádání ADC . . . . .	40
4.8	Výsledná podoba data loggeru . . . . .	41
4.9	Nezávislé módy A/D převodníku [20] . . . . .	42
4.10	Zpracování přijatého paketu . . . . .	46
4.11	Proces čtení z paměti [17] . . . . .	47
4.12	Příkaz <i>Sector Erase</i> [17] . . . . .	47
4.13	Příkaz WREN [17] . . . . .	48
B.1	Schéma volantového modulu . . . . .	58

---

# Seznam tabulek

---

1.1	Nevýhody komerčního data loggeru AiM MXL Pista . . . . .	3
2.1	Základní specifikace jednotky řazení . . . . .	6
2.2	Specifikace elektrického aktuátoru pro spojku . . . . .	7
2.3	Rotační servopohony pro ovládání spojky . . . . .	8
2.4	Dodavatelé lineárních pohonů . . . . .	9
2.5	Specifikace elektrického aktuátoru pro převodovku . . . . .	9
2.6	Časové parametry v programu řazení . . . . .	14
3.1	Formát <i>font table</i> [11] . . . . .	26
4.1	Seznam měřených veličin . . . . .	29
4.2	Parametry napěťové reference LT1236BILS8-5 při $V_{IN} = 10\text{ V}$ a $T = 25\text{ °C}$ [15] . . . . .	33
4.3	Popis pinů S25FL128S . . . . .	36
4.4	Základní parametry AD převodníku, [18] . . . . .	37
4.5	Statické chyby AD převodníku pro $f_{ADC} = 30\text{ MHz}$ . . . . .	38
4.6	Dynamické chyby AD převodníku pro $f_{ADC} = 36\text{ MHz}$ . . . . .	39
4.7	Formát standardní NMEA zprávy . . . . .	43
4.8	Formát rozšířené MTK NMEA zprávy . . . . .	44
4.9	Struktura typu GPS_handle . . . . .	45
B.1	Rešerše displejů . . . . .	59
C.1	Rešerše GPS čipů . . . . .	64