



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Realizace elektroniky řídicího a zobrazovacího panelu do elektrovozidla

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Autor práce: **Bc. Pavel Vaner**

Vedoucí práce: Ing. Petr Bílek, Ph.D.





Zadání diplomové práce

Realizace elektroniky řídicího a zobrazovacího panelu do elektrovozidla

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Vaner**
Osobní číslo: M18000170
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Mechatronika
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte elektroniku centrální řídicí jednotky v rámci zobrazovacího panelu do elektrického vozidla s ohledem na univerzálnost použití (volba klíčových komponent s ohledem na automotive standardy, blokové schéma, kompletní elektrické schéma).
2. Vytvořte firmware podle předem navrženého vývojového diagramu pro konkrétní elektrický vůz nebo motorku.
3. Sestavte hardware podle schématu a oživte celé zařízení s příslušným firmware.
4. Upravte komerční skříňku nebo vytvořte vlastní pro zabudování zařízení s ohledem na standardy v automotive.
5. Otestujte zařízení v simulovaných podmínkách nebo přímo v elektrickém vozidle a zhodnoťte dosažené parametry.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40–50
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] EMADI, Ali, ed. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. Energy, power electronics, and machines. ISBN 978-1-138-07285-5.
- [2] NORRIS, Donald. *Programming with STM32: Getting Started with the Nucleo Board and C/C++*. 2018. McGraw-Hill Education TAB. p. 304. ISBN: 9781260031324.
- [3] Datasheety vybraných obvodů a komerčních řídicích jednotek.

Vedoucí práce:

Ing. Petr Bílek, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

9. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

17. května 2021

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

17. 5. 2021

Bc. Pavel Vaner

Abstrakt

Náplní této diplomové práce je realizace elektroniky chytrého zobrazovacího panelu pro elektromobil FIDO. Výsledkem je komplexní zařízení skládající se z navržené desky plošných spojů s displejem, vestavěné do vlastní vytvořené krabičky. Součástí práce je seznámení se strukturou elektromobilu FIDO, z níž jsou vyvozeny hardwarové a softwarové požadavky na chytrý zobrazovací panel. Pro srovnání je uvedena rešerše dostupných komerčních řešení. Dále je zde popsán návrh blokových schémat včetně výběru klíčových komponent s ohledem na automotive standardy. V samotné realizaci jsou podrobně rozebrány jednotlivé obvody, kterými výsledná deska plošných spojů disponuje. Pro řídicí mikroprocesor STM32 je vytvořen firmware, který definuje hardwarovou konfiguraci a ovládá potřebné periferie chytrého zobrazovacího panelu. Funkčnost výsledného zařízení je dostatečně ověřena v laboratorních i provozních podmínkách.

Klíčová slova: elektromobil, chytrý zobrazovací panel, LCD displej, STM32F7, CAN sběrnice

Abstract

The main aim of this diploma thesis is the implementation of the electronics of the smart display panel for the FIDO electric car. The result is a complex device consisting of a designed printed circuit board with a display built into a custom box. One part of the work is an introduction to the structure of the FIDO electric car, from which the hardware and software requirements for a smart display panel are derived. For comparison, a search of available commercial solutions is given. Furthermore, the design of block diagrams is described, including the selection of key components with respect to automotive standards. The individual circuits available to the resulting printed circuit board are analyzed in detail in the implementation itself. Firmware is created for the STM32 control microprocessor, which defines the hardware configuration and controls the necessary peripherals of the smart display panel. The functionality of the resulting device is sufficiently verified in laboratory and operating conditions.

Keywords: electric car, smart display panel, LCD display, STM32F7, CAN bus

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Bílkovi, Ph.D., za cenné informace a rady, které byly poskytnuty v rámci konzultací a především za jeho ochotný a vstřícný přístup, který měl během vypracovávání této diplomové práce. Poděkování také patří mé rodině za podporu po celou dobu studia.

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam zkratek	12
Úvod	13
1 Elektromobil FIDO	14
1.1 CAN sběrnice	16
1.2 Poháněcí systém	17
1.2.1 Motory	17
1.2.2 Kontrolér motoru	18
1.3 BMS a baterie	19
1.4 Nabíječka a nabíjení elektromobilu	20
1.5 OBD II	21
2 Požadavky na chytrý zobrazovací panel a jeho elektroniku	22
2.1 Požadavky na hardware	22
2.2 Požadavky na software	24
2.3 Elektronická zařízení v automobilových aplikacích	25
2.3.1 Elektrické rušení v automobilech	25
2.3.2 Ochrana elektrických zařízení	27
3 Rešerše komerčních řešení na trhu	30
3.1 Ecumaster	30
3.2 Bosch	31
3.3 Continental	32
3.4 Ecotron	33
3.5 Shrnutí komerčních řešení	34
4 Návrh elektroniky chytrého zobrazovacího panelu	36
4.1 Popis hlavních komponent	36
4.1.1 Popis displeje	36
4.1.2 Popis MCU	39
4.2 Blokový návrh	41
5 Realizace chytrého zobrazovacího panelu	44
5.1 Testovací verze	44
5.2 Finální verze	50

5.2.1	Popis schématu	52
6	Testování a firmware	67
6.1	Testování	67
6.2	Firmware	70
7	Výsledné zařízení a zhodnocení výsledků	74
7.1	Výsledné zařízení	74
7.2	Zhodnocení výsledků	75
	Závěr	77
	Literatura	78
	Přílohy	81
	A Obsah přiloženého DVD	81
	B Fotky modulární verze v elektromobilu FIDO	82
	C Schéma DPS pro chytrý zobrazovací panel	83

Seznam obrázků

1.1	Elektromobil FIDO [1]	14
1.2	Vnitřní struktura elektromobilu FIDO	15
1.3	Typy nabíjení elektromobilu [8]	21
2.1	Zdroje rušení [11]	26
2.2	EMC test pro datový vodič [11]	27
2.3	Ochrany elektrických obvodů	28
3.1	Ecumaster ADU7 jednotka [15]	31
3.2	Bosch DDU 10 jednotka [16]	32
3.3	Continental VCU jednotka [17]	33
3.4	Ecotron SCU jednotka [18]	34
4.1	Použitý display WF70A9SWAGDNN0 [22]	38
4.2	Blokové schéma napájení	42
4.3	Blokové schéma periférií MCU	43
5.1	Komerční MCU deska [26]	45
5.2	Displejová deska	46
5.3	Shield deska - vrchní strana	47
5.4	Shield deska - spodní strana	47
5.5	Vlastní MCU deska - vrchní strana	48
5.6	Vlastní MCU deska - spodní strana	48
5.7	Kompletní modulární řešení	49
5.8	Finální verze DPS pro chytrý zobrazovací panel - vrchní strana	51
5.9	Finální verze DPS pro chytrý zobrazovací panel - spodní strana	51
5.10	Napájecí obvod z 12 V na 3,3 V	52
5.11	Obvod napájení senzoru 10 V	54
5.12	Obvod s budičem LED podsvícení	55
5.13	Napájení mikrokontroléru STM32F777BI [25]	57
5.14	RAM paměť	58
5.15	Flash paměť	59
5.16	Galvanicky oddělené CAN vysílače	60
5.17	Digitální výstupy (3,3 V na 12 V)	61
5.18	Digitální vstupy (12 V na 3,3 V) active HIGH/LOW	62
5.19	Analogové vstupy 0 - 10 V	63

5.20	Zvuková signalizace - magnetický bzučák	64
5.21	Bluetooth modul [34]	65
5.22	Senzor světla	66
6.1	Testování digitálních vstupů/výstupů	68
6.2	Zapojení při testování CAN sběrnice	69
6.3	Test displeje statickým obrázkem	70
6.4	Firmware použitý pro elektromobil FIDO	73
7.1	Výsledný chytrý zobrazovací panel v navržené krabici	74
7.2	Modulární verze chytrého zobrazovacího panelu v elektromobilu FIDO	82

Seznam zkratek

AC	Alternating current; Střídavý proud
AEC	Automotive Electronic Council; Automobilová elektronická rada
BLDC	Brushless DC electric motor; Bezkartáčový stejnosměrný motor
BMS	Battery Management System; Systém správy baterie
CAN	Controller Area Network; Komunikační sériová sběrnice
DC	Direct current; Stejnosměrný proud
DPS	Deska plošných spojů
DSI	Display Serial Interface; Sériové rozhraní displeje
EMC	Electromagnetic compatibility; Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Electromagnetic interference; Elektromagnetické rušení
ESD	Electrostatic discharge; Elektrostatický výboj
EVSE	Electric vehicle supply equipment; Zařízení pro dobíjení elektrických vozidel
FMC	Flexible Memory Controller; Flexibilní řadič paměti
I2C	Inter Integrated Circuit; Sériová datová sběrnice
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor; Izolovaný bipolární tranzistor
IPS	In Plane Switching; Zobrazovací technologie
ISO	International Standard Organization; Mezinárodní organizace pro normalizaci
LCD	Liquid Crystal Display; Displej z kapalných krystalů
LDO	Low dropout regulator; Regulátor napětí s nízkým úbytkem
LIN	Local Interconnect Network; Sériová datová sběrnice
LVDS	Low voltage differential signaling; Nízkonapěťová diferenciální signalizace
MCU	Microcontroller unit; Mikrokontrolér
MIPI	Mobile Industry Processor Interface; Displejové sériové rozhraní
NTC	Negative Temperature Coefficient Thermistor; Termistor s negativním teplotním koeficientem
OBD	On Board Diagnostics; Diagnostický protokol
PPTC	Polymeric Positive Temperature Coefficient Thermistor; Polymerový termistor s pozitivním teplotním koeficientem
PWM	Pulse Width Modulation; Pulzně šířková modulace
RAM	Random Access Memory; Operační paměť
RISC	Reduced Instruction Set Computer; Redukovaná instrukční sada
RTC	Real time clock; Modul reálného času
SCU	Supervisory Control unit; Dozorčí řídicí jednotka
SMD	Surface Mount Device; Součástka pro povrchovou montáž
SPI	Serial Peripheral Interface; Sériové periferní rozhraní
TFT	Thin Film Transistor; Zobrazovací technologie
THT	Through hole technology; Technika skrz otvor
TVS	Transient Voltage Suppressor; Transil
UART	Universal asynchronous receiver transmitter; Univerzální asynchronní přijímač-vysílač
USB	Universal Serial Bus; Univerzální sériová sběrnice

Úvod

Elektromobilita je společně se sdílenou ekonomikou v současné době jedním z velkých témat. Cesta k udržitelnosti městské mobility a zároveň ke snížení emisí a zlepšení ovzduší v centrech měst vede přes sdílené dopravní prostředky. Již dnes jsou k dispozici sdílená kola či elektrické koloběžky. Je jen otázkou času, než budou ve velkých městech takto k zapůjčení i malé elektromobily. Jedním takovým by mohl být i elektromobil FIDO, pro který je v této práci vytvářen chytrý zobrazovací panel.

Chytrý zobrazovací panel v podstatě zastává funkci hlavní řídicí jednotky a zobrazovací jednotky v přístrojové desce. Jeho účelem je snímat informace o elektromobilu a zobrazovat je na displej. Jedná se o data jako je například aktuální rychlost, stav baterie, signalizační kontrolky atd. Zároveň ovládá spínání světel, blinkrů a dalších prvků vozu.

Cílem diplomové práce je vytvořit komplexní řešení chytrého zobrazovacího panelu. To se skládá z navržené desky plošných spojů a zvoleného displeje. Pro řídicí mikroprocesor je vytvořen ovládací firmware. Výsledné zařízení je zabudováno do krabičky a řádně otestováno. Součástí této práce není řešení grafiky displeje, tu vytvářel nezávislý tým programátorů a designérů.

V úvodu práce je nastíněna vnitřní struktura elektromobilu FIDO, ze které vychází požadavky na hardware a software chytrého zobrazovacího panelu. Dále je provedena rešerše dostupných komerčních řešení. Na základě požadavků jsou zvoleny klíčové komponenty s ohledem na automotive standardy a jsou navrženy bloková schémata. V realizaci bylo nejprve vytvořeno modulární řešení, které ověřuje navržené obvody. Následně byla realizována finální DPS disponující všemi požadovanými periferiemi. Pro řídicí mikroprocesor STM32 byl vytvořen firmware, který definuje hardwarovou konfiguraci a ovládá potřebné periferie chytrého zobrazovacího panelu. Výsledná DPS s displejem byla zabudována do vlastní navržené krabičky. Funkčnost celého zařízení byla ověřena v laboratorních i provozních podmínkách.

1 Elektromobil FIDO

V této diplomové práci byla vyvíjena elektronika chytré zobrazovací jednotky do malého městského elektromobilu s názvem FIDO viz Obr.1.1. Pro lepší představu a ucelení problematiky je vhodné si tento elektromobil nejprve představit a nastínit jeho vnitřní strukturu.

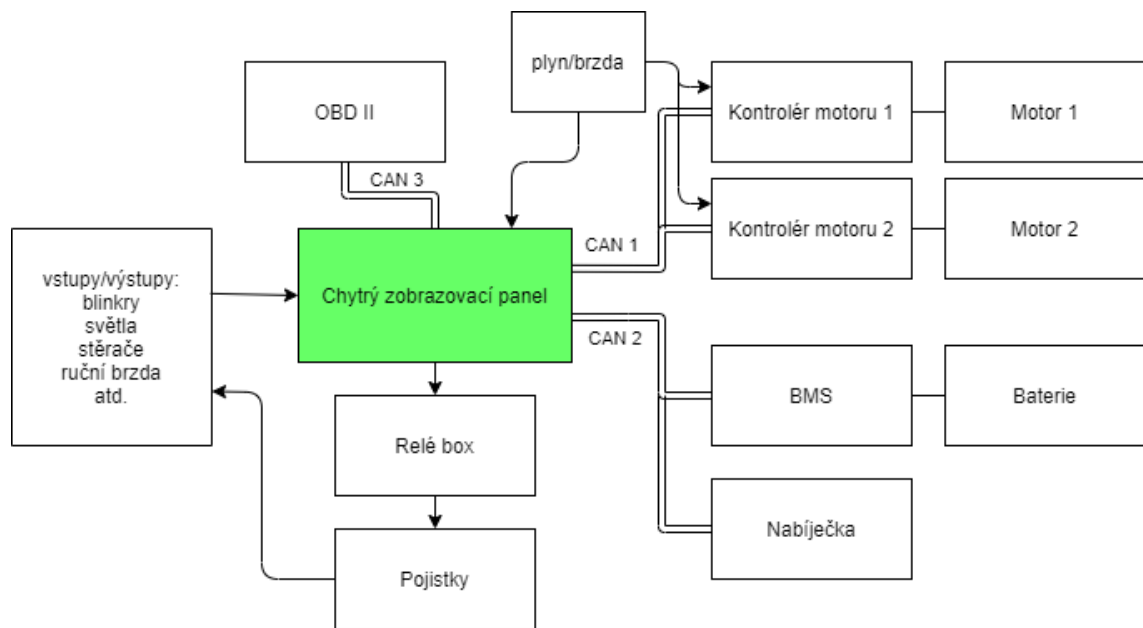


Obrázek 1.1: Elektromobil FIDO [1]

FIDO je koncept malého městského elektromobilu vyvíjeného firmou Combatera ve spolupráci s TUL. Jedná se o elektromobil spadající do kategorie řídičského oprávnění malého motocyklu AM. Jeho maximální rychlost je 45 km/h a váha zhruba 350 kg. Je určen pro mladé řidiče od patnácti let, vhodný by měl být i pro seniory a invalidy. Jedním z dalších záměrů je využívat ho ve městech k rozvozu

jídla či pošty nebo jako sdílené městské vozidlo po vzoru sdílených kol či koloběžek. FIDO nabízí místo pro dva členy posádky, kteří budou ve vozidle sedět diagonálně za sebou. Elektromobil je svými rozměry velmi úsporný. Vůz dosahuje délky 245 cm a šířky 138 cm, což by mu mělo umožnit parkovat kolmo k chodníku. [2]

Z hlediska vnitřní struktury elektroniky se elektromobil FIDO skládá z několika hlavních komponent. Tyto hlavní komponenty a jejich vzájemná provázanost pomocí datových sběrnic je zobrazena v blokovém schématu viz Obr.1.2.



Obrázek 1.2: Vnitřní struktura elektromobilu FIDO

Navrhovaný chytrý zobrazovací panel zde zastává funkci hlavní řídicí jednotky a zobrazovací jednotky. Ovládá všechny vstupy/výstupy elektromobilu jako například blinkry, světla, ruční brzdu, stěrače atd. Výstupy jsou navíc vedeny přes relé box a pojistkovou skříň. S ostatními komponenty komunikuje pomocí několika CAN sběrnic.

1.1 CAN sběrnice

CAN je sériová komunikační sběrnice navržená pro robustní a flexibilní výkon v náročných podmínkách, zejména pro průmyslové a automobilové aplikace. Byla vyvinuta společností Bosch a později byla standardizována normou ISO11898-1. CAN poskytuje služby na první a druhé vrstvě OSI modelu. Rychlost sběrnice je závislá na její délce, která se pohybuje od maximálně 40 metrů při rychlosti 1 Mb/s až po maximální vzdálenost 6 kilometrů při rychlosti 10 kb/s. Při rychlostech od 125 kb/s poskytuje CAN odolnost proti chybám. Pokud je jeden ze dvou vodičů přerušen nebo zkratován, druhý stále vysílá. Fyzická vrstva je řešena párem diferenciálních vodičů, které vedou inverzní napětí, aby se snížilo rušení. Jedná se o multi-master sběrnici, tudíž jsou v sítích CAN vysílány všechny zprávy do celé sítě, což zajišťuje konzistenci dat v každém uzlu systému.

CAN sběrnice má definované dva druhy rámců zpráv, standardní a extended rámeček zprávy. Ve standardním rámci je použit 11 bitový identifikátor, což je 2^{11} různých ID zpráv. Extended formát rámce zprávy používá 29 bitový identifikátor, což je 2^{29} různých ID zpráv. Existují celkem čtyři typy zpráv, které jsou pomocí rámců posílány po CAN sběrnici, a to datový rámeček, vzdálený rámeček, rámeček přetížení a rámeček chyby.

CAN je protokol CSMA/CD, což znamená, že každý uzel na sběrnici může detekovat kolize a po určité době ustoupit, než se pokusí o opakovaný přenos. Této detekce kolize je dosaženo prostřednictvím prioritního arbitrážního řízení na základě identifikátorů zprávy. CAN používá diferenciální signál se dvěma logickými stavy, které se nazývají recesivní a dominantní. Recesivní označuje, že rozdílové napětí je menší než minimální prahové napětí. Dominantní znamená, že rozdílové napětí je větší než tato minimální prahová hodnota. Zajímavé je, že dominantního stavu je dosaženo logickou 0 na sběrnici, zatímco recesivního stavu je dosaženo logickou 1. Důležité je, že dominantní stav během arbitrážního procesu přepíše stav recesivní.[3]

V roce 2012 byl představen nový standard CAN FD (CAN with Flexible Data rate), který zvětšuje data v rámci zpráv z 8 bytů až na 64 bytů. Navíc CAN FD

již není limitován původní maximální rychlostí sběrnice 1 Mb/s, ale jeho maximální rychlost je udána maximální rychlostí, kterou zvládne fyzická vrstva.

V elektromobilu FIDO jsou vedeny tři samostatné CAN sběrnice. Chytrý zobrazovací panel je spojen se všemi. Z jedné CAN sběrnice vyčítá data posílaná řídicími jednotkami motorů, z druhé odposlouchává data odesílaná BMS a nabíječkou. Třetí CAN sběrnice je rezervována pro diagnostické funkce OBD II.

1.2 Poháněcí systém

Poháněcí systém elektromobilu se skládá v podstatě pouze ze dvou komponent. Elektromotoru, který poskytuje hnací sílu a kontroléru motoru, který řídí použití této energie. Naopak poháněcí systém vozidla se spalovacím motorem se skládá z mnoha komponent, jako je například motor, karburátor, olejové čerpadlo, převodovka, spojka, vodní čerpadlo atd.

1.2.1 Motory

Elektromotor je jednou z hlavních komponent elektromobilu. Elektrické motory používané pro automobilové aplikace by měly mít vlastnosti, jako je vysoký rozběhový moment, vysoká hustota výkonu, dobrá účinnost atd. Elektromotorů existuje velké množství, mezi ty nejpoužívanější v automobilovém průmyslu patří stejnosměrný motor, BLDC motor, synchronní motor s permanentními magnety (PMSM), třífázové střídavé indukční motory a spínané odporové motory (SRM). V elektromobilu FIDO jsou použity dva BLDC hub motory, proto bude dále přiblížen princip pouze těchto motorů.

BLDC motor se skládá z rotoru s permanentními magnety a statoru s navinutými cívkami. Pro své fungování potřebuje řídicí jednotku/kontrolér motoru, který převádí stejnosměrný proud na střídavý. Tento střídavý proud je následně pouštěn do cívek statoru, čímž se vytváří točivé magnetické pole, které působí na permanentní magnety rotoru a vytváří tak točivý moment. Tento typ motoru neobsahuje komutátor ani kartáče, komutace je řešena elektronicky, proto BLDC motory nevyžadují

v podstatě žádnou údržbu. BLDC motory mají trakční vlastnosti jako vysoký rozběhový moment a vysokou účinnost okolo 95-98%. Jsou vhodné pro řešení vyžadující vysokou hustotu výkonu. Z těchto důvodů jsou BLDC motory nejpreferovanějšími motory pro použití v elektromobilech.

BLDC motory se dále dělí na dva typy, takzvané out runner a in runner. U out runner BLDC motoru je rotor v podstatě celá vnější část motoru a stator je umístěn uvnitř, tento typ se také nazývá hub motor. Poháněné kolo je připojeno napřímo s rotorem, tento typ motoru tudíž nepotřebuje žádný externí převodový systém. Díky této konstrukci se motor hodí do malých vozidel, kde zabere pouze malé množství prostoru. Druhým typem je in runner BLDC motor, ten je řešen jako většina konvenčních motorů čili stator je vnější část a rotor je umístěn uvnitř. Tento typ vyžaduje externí převodový systém pro převod hnacího momentu na kola.[4]

BLDC motory mají několik hlavních parametrů, dle kterých by se měl vybírat motor pro konkrétní použití. Tyto parametry jsou především špičkový výkon, jmenovitý výkon, jmenovité napětí, maximální točivý moment, maximální účinnost a také celkové rozměry motoru. V elektromobilu FIDO jsou použity dva BLDC hub motory, konkrétně typ 12 260 45H s výkonem 5000 W, maximálním kroučícím momentem 230 Nm a účinností 91%. Více informací o tomto motoru je k nalezení na stránkách výrobce viz [5].

1.2.2 Kontrolér motoru

Kontrolér motoru neboli řídicí jednotka motoru je elektronické zařízení, které operuje mezi trakční baterií a elektromotorem. V elektromobilu FIDO jsou zabudovány dva AC kontroléry motoru, protože mají za úkol ovládat BLDC motory. Kontrolér motoru tedy přeměňuje DC proud tekoucí z trakční baterie na AC proud, který následně pouští do jednotlivých vinutí motoru. Řídicí jednotka motoru řídí směr otáčení motoru, jeho otáčky a točivý moment. Dále dokáže v případě brždění zajistit rekuperaci energie a dobíjet tak trakční baterii.

Elektromobil FIDO využívá konkrétně kontroléry motoru SEVCON Gen4 DC Size 4, které dokážou řídit motor napřímo. Do kontroléru jde signál přímo z plynového

a brzdového pedálu a z přepínače směru jízdy. Kontrolér také podporuje komunikaci přes sběrnici CAN, pomocí které komunikuje s chytrým zobrazovacím panelem.[6]

1.3 BMS a baterie

BMS je elektronický systém, který spravuje dobíjecí baterii a to tak, aby zajistil její bezpečný a efektivní provoz. BMS je navržen tak, aby monitoroval parametry spojené s akumulátorem a jeho jednotlivými články, aplikoval shromážděná data k eliminaci bezpečnostního rizika a optimalizoval výkon baterie.

Elektromobily většinou využívají vysokonapěťové Lithium-ion baterie, které mají větší hustotu energie oproti ostatním druhům baterií. U lithium-ion baterií je riziko vzniku požáru při neobvyklých okolnostech, proto je důležité provozovat je v definovaných bezpečných limitech. BMS z tohoto důvodu nepřetržitě monitoruje parametry, jako je teplota, napětí a proud tekoucí z a do akumulátoru, aby bylo zajištěno, že bude po celou dobu provozován v bezpečných podmínkách. BMS je také zodpovědná za teplotní management baterie, může upravovat chlazení. V případě přehřátí spouští bezpečnostní mechanismy. Dále detekuje přebíjení jednotlivých článků baterie, určuje maximální nabíjecí a vybíjecí proud a snímá elektrickou izolaci vůči kostře vozu.

BMS je zodpovědná za optimalizaci výkonu baterie. Lithium-iontové baterie fungují nejlépe, když je stav jejich jednotlivých článků udržován mezi minimálním a maximálním limitem nabití definovaným v profilu baterie. Přebíjení i hluboké vybíjení zhoršuje kapacitu baterie a tím zkracuje její životnost. Při nabíjení BMS určuje, kolik proudu může bezpečně téct do baterie a tuto informaci sdílí s EVSE nebo s nabíječkou. BMS řídí také dobíjení baterie při rekuperaci brzděné energie.

Jednotlivé články baterie mohou časem vykazovat rozdíly v kapacitě, které se zesilují s každým cyklem nabíjení/vybíjení. Tato nerovnováha omezuje množství energie, které lze odvodit z baterie a také to, jak moc lze baterii nabít. K udržení stejných napěťových úrovní jednotlivých článků a maximalizaci kapacity baterie se využívá takzvaného balancování článků, které rovněž zajišťuje BMS.

BMS komunikuje s ostatními řídicími jednotkami ve vozidle. Předává potřebná data o parametrech baterie do hlavní řídicí jednotky, případně do kontroléru motoru, aby byl zajištěn hladký chod vozidla. V případě nabíjení střídavým proudem komunikuje s nabíječkou integrovanou ve vozidle za účelem monitorování a řízení nabíjení baterie. Pro nabíjení stejnosměrným proudem je navázáno komunikační spojení přímo mezi EVSE a BMS. BMS komunikuje požadované úrovně výstupního napětí a proudu s EVSE a odesílá pokyny ke spuštění/zastavení procesu nabíjení.

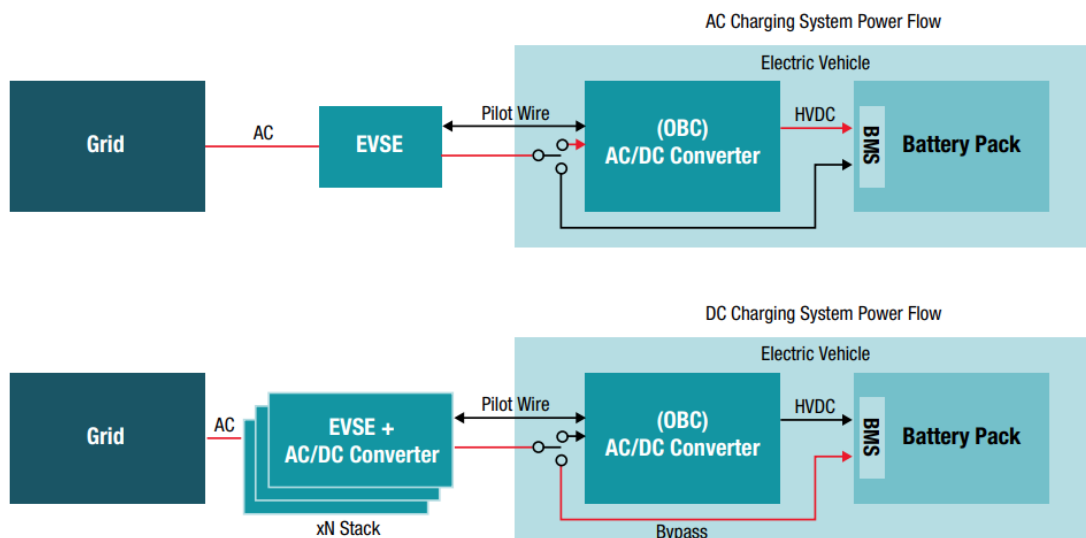
V elektromobilu FIDO je konkrétně použit typ bateriového managementu Orion BMS junior 2 v kombinaci s trakční baterií skládající se ze 14 sériově a 60 paralelně zapojených Lithium-ion článků o celkové kapacitě 15 kWh. [7]

1.4 Nabíječka a nabíjení elektromobilu

Každý elektromobil vyžaduje výkonový elektronický systém, který dokáže převést elektrickou energii z elektrické sítě do baterie vozu. Tento elektronický systém je rozdělen na dvě části, nabíjecí stanici (EVSE) neboli off-board nabíječku a palubní (on-board) nabíječku, která je součástí vozu. Palubní nabíječka konvertuje střídavý proud z AC nabíjecí stanice na stejnosměrný proud, kterým následně nabíjí baterii vozu. DC nabíjecí stanice pracují bez palubní nabíječky a nabíjí tak stejnosměrným proudem baterii na přímo viz Obr. 1.3.

Napájecí subsystémy on-board nabíječky a nabíjecí stanice jsou rozděleny na základě úrovně nabíjecího výkonu. DC nabíjecí stanice jsou obecně konstruovány k přenosu vyšších výkonů v řádu až několika desítek kW, vyžadují však sofistikovanější řešení BMS. On-board nabíječky přenáší menší výkony čili nabíjení elektromobilu trvá delší dobu, výhodou ovšem je možnost dobíjení elektromobilu z elektrické sítě 230 VAC, která je dostupná v každé domácnosti. [8] [9]

V elektromobilu FIDO je integrována on-board nabíječka disponující nabíjecím proudem až 50 A a napětím 60 V. Nabíječka komunikuje s ostatními prvky vozu pomocí CAN sběrnice. Elektromobil je tedy možné nabíjet oběma způsoby, které jsou v této kapitole popsány.



Obrázek 1.3: Typy nabíjení elektromobilu [8]

1.5 OBD II

OBD II je protokol sloužící k diagnostice systémů a subsystémů automobilů. Je definovaný několika normami ISO9141, J1962, J1850 a ISO-15765. Standard OBD II vznikl již v roce 1996 a specifikuje typ diagnostického konektoru, jeho pinout, dostupné elektrické signalizační protokoly, formát zpráv a seznam poruchových kódů. V elektromobilu FIDO je pro OBD II zvolena komunikační sběrnice CAN, která je v tomto standardu definovaná normou ISO-15765.[10]

2 Požadavky na chytrý zobrazovací panel a jeho elektroniku

Chytrý zobrazovací panel je součástí elektromobilu FIDO, který bude homologován a určen k použití do běžného silničního provozu. Z tohoto důvodu musí chytrý zobrazovací panel a především jeho elektronika splňovat požadavky určené legislativou a normami pro automobily. Další požadavky vyplývají z potřeb elektromobilu FIDO a jeho architektury viz [Elektromobil FIDO](#). Tyto požadavky určují, kterými periferiemi by měl chytrý zobrazovací panel disponovat a jaké by měly být jejich parametry.

2.1 Požadavky na hardware

Pro splnění všech potřeb, které elektromobil FIDO od chytrého zobrazovacího panelu očekává, musí chytrý zobrazovací panel poskytovat následující hardwarové periferie a parametry:

- **Displej** - sloužící pro zobrazování všech potřebných informací o vozidle, jako jsou aktuální rychlost vozidla, ujetá vzdálenost, signalizace světel, závad atd. Displej by měl splňovat automotive standardy a požadavky na dostatečnou svítivost, minimální rozlišení (800×480 pixelů), velikost 7 palců a dobré pozorovací úhly.
- **3× sběrnice CAN** - v elektromobilu jsou celkem tři samostatné CAN sběrnice, přičemž pomocí dvou z nich vyčítá chytrý zobrazovací panel data z BMS, kontrolérů motorů a nabíječky. Třetí CAN sběrnice je vyhrazena pro OBD.

Všechny CAN sběrnice by měly být ochráněny vůči poruše či rušení. Sběrnice musí být schopny komunikovat minimální rychlostí 500 kbit/s.

- **24× digitální vstup na 12 V** - pro snímání stavu ovládacích prvků vozidla, například páček blinkrů a světel, ruční brzdy atd. Digitální vstupy by měly mít rozsah vstupního napětí 5 V až 26 V a zároveň by měly být dostatečně robustně ochráněny. Dále by měla být část vstupů nastavena jako active low a část jako active high.
- **10× digitální výstup na 12 V** - digitální výstupy budou přes relé ovládat periferie vozidla, například světla, blinkry, stěrače, zamykání dveří atd. Digitální výstupy by měly být schopné dodávat do cívky relé alespoň 0,2 A při 12 V, měly by být dostatečně chráněny a nastaveny jako active high kvůli lepší bezpečnosti.
- **4× analogový vstup 0 - 10 V** - pro snímání hodnot ze sensorů s analogovým výstupem, například sensor teploty. Analogové vstupy by měly být dostatečně ochráněny.
- **2× výstup 10 V** - sloužící pro napájení sensorů vozidla. Napájecí výstup by měl být schopen dodávat 50 mA při 10 V.
- **Bluetooth** – pro možnost bezdrátové komunikace s koncovým uživatelem prostřednictvím chytrého telefonu či jiných zařízení podporující bluetooth komunikaci. Možnost přenášet základní informace o vozidle či vyčítat chybová hlášení.
- **Zvuková signalizace** - pro akustické upozornění na zapnutá světla, vybití baterie a případnou signalizaci problémů při závadě na některé části elektromobilu.
- **Senzor světla** - sloužící pro snímání světla v kabině vozu a následné automatické upravování jasu displeje.

2.2 Požadavky na software

Požadavky na software lze rozdělit do dvou rovin. Za prvé na požadavky na firmware, který bude obsluhovat spotřebiče na 12 V napájecí větvi a získávat informace z CAN sběrnic atd. Druhou rovinou jsou požadavky na grafiku, která se bude zobrazovat na displeji.

Firmware by měl být schopen obsluhovat digitální vstupy/výstupy a ovládat pomocí nich potřebné spotřebiče vozidla, jako jsou stěrače, blinkry, světla či ruční brzda. Jedním z nejdůležitějších požadavků na firmware chytrého zobrazovacího panelu je jeho schopnost odposlouchávat zprávy z CAN sběrnic a číst tak informace z ostatních řídicích jednotek ve vozidle, jako jsou BMS, kontroléry motorů a nabíječka. Chytrý zobrazovací panel z nich bude vyčítat aktuální údaje o rychlosti, spotřebě energie, stavu baterie atd. a zobrazovat je na displej. Dále by měla být implementována komunikace s bluetooth modulem, pomocí kterého bude možné komunikovat například s chytrým telefonem či jinými bluetooth zařízeními a předávat jim tak informace o vozidle. Firmware by měl také na základě informací ze senzoru světla automaticky řídit jas displeje. Implementováno by mělo být i zaznamenávání chybových stavů do Flash paměti, aby bylo možné následně vůz diagnostikovat.

Požadavky na grafickou část softwaru definují to, jaké informace a kontrolky budou na displeji zobrazovány. Jedná se především o aktuální rychlost vozidla, stav baterie, počet najetých kilometrů a dále informativní a varovné kontrolky světel, blinkrů, brzdy či ukazatele poruchy. Dále požadavky definují rozmístění jednotlivých grafických prvků na displeji, jejich barvu a velikost. Obnovovací frekvence dat na displeji by měla být alespoň 10 Hz. Grafická část softwaru je řešena externím týmem programátorů a designerů.

Výsledný software pro chytrý zobrazovací panel nebude nijak zasahovat do klíčových struktur vozidla, jako je brzda/plyn, kontroléry motorů, BMS či nabíječka. Zařízení bude pouze číst informace a zobrazovat je na displeji a také bude spravovat spotřebiče na 12 V napájecí větvi.

2.3 Elektronická zařízení v automobilových aplikacích

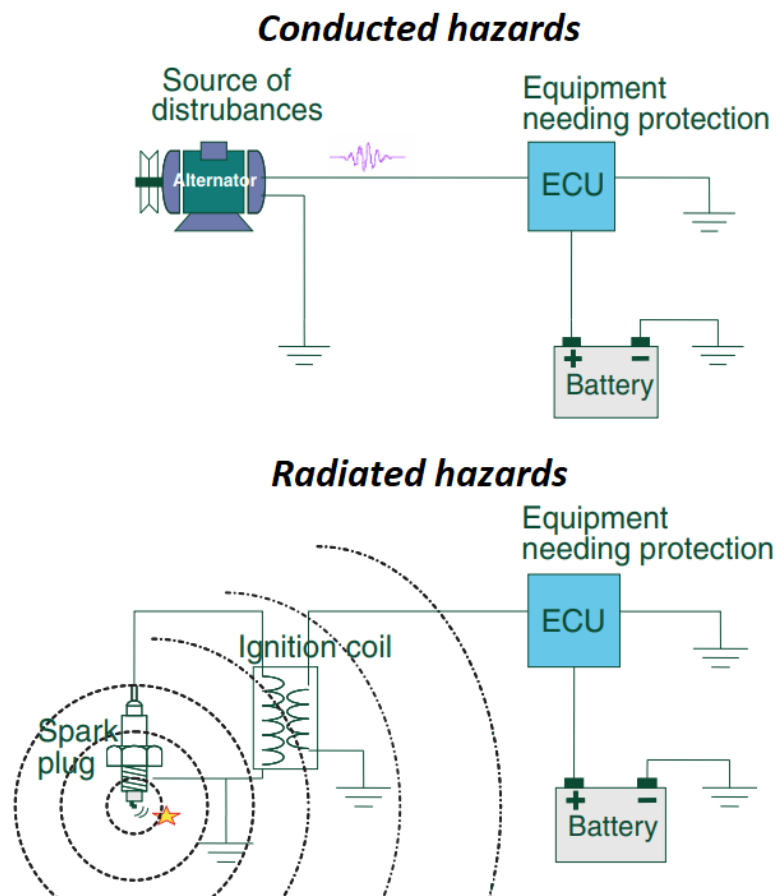
V současné době jsou elektronická zařízení nedílnou součástí automobilů. Tato elektronická zařízení v porovnání se staršími vozy přináší uživatelům moderních automobilů mnohem větší komfort a bezpečnost, zároveň ale přináší určitá rizika týkající se spolehlivosti v automobilovém prostředí. Elektronická zařízení jsou citlivá na elektromagnetické rušení (EMI), elektrostatické výboje (ESD) a další elektrická rušení, jejichž mnoho zdrojů se nachází v automobilech. Elektronické zařízení tedy musí být odolné proti rušení, zároveň ale svojí činností nesmí ovlivňovat či rušit ostatní elektronická zařízení. Z tohoto důvodu je potřeba dodržovat určitá pravidla při návrhu elektronických zařízení určených do automobilů. V průběhu let bylo vytvořeno několik standardů popisujících elektrická nebezpečí, která v současné době v automobilech existují. Výrobci v automobilovém průmyslu musí tyto standardy dodržovat a pro jejich splnění musí do elektrických zařízení zakomponovat ochranné prvky uložené těmito standardy.

2.3.1 Elektrické rušení v automobilech

Automobilové prostředí je zdrojem mnoha elektrických rušení, která mohou být generována různými částmi vozu. U spalovacích automobilů generuje elektrické rušení například zapalování, kontakty relé, alternátor, vstřikovače atd. U elektromobilů způsobují elektrické rušení například výkonové měniče, elektrické motory, trakční baterie a napájecí kabely, kterými protékají vysoké proudy.

Zdroje rušení lze rozdělit podle toho, jakým způsobem se k ovlivněnému zařízení dostávají viz Obr. 2.1. První způsob, kterým se rušení přenáší, je přímo po napájecím kabelu. Rušení je v tomto případě generováno zařízením s indukční zátěží, příkladem může být alternátor, zapalovací svíčka či elektromotor. Druhý způsob, kterým se rušení přenáší, je formou elektromagnetického záření. Toto elektromagnetické záření generují zařízení nebo vodiče, jimiž prochází velký proud v řádech desítek ampér. Příkladem mohou být IGBT tranzistory, relé, zapalovací svíčky nebo napájecí kabely vedoucí z trakční baterie k výkonovému měniči. Toto rušení ovlivňuje všechny

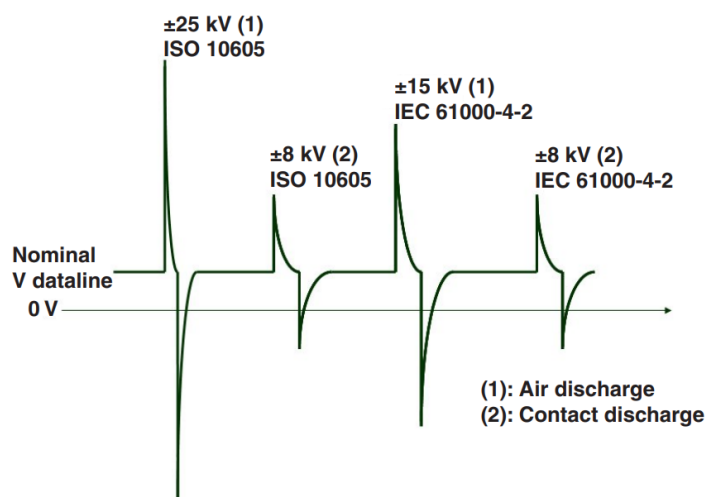
zařízení a vodiče v jeho blízkosti, včetně datových vodičů a sběrnic.



Obrázek 2.1: Zdroje rušení [11]

Zkouška EMC, během níž se posuzuje odolnost elektrického zařízení vůči EMI a ESD, musí být vždy ve shodě s mezinárodními normami. Mezi tyto normy patří například ISO 7637, ISO 10605, ISO 11451, IEC 61000-4-2. Příklad EMC zkoušky pro datové vodiče je uveden na obrázku viz Obr.2.2

Standardy v automobilových aplikacích popisují kromě norem ISO (International Standard Organization) ještě další organizace a jejich normy. Mezi ně patří SAE (Society of Automobile Engineers) a AEC (Automotive Electronic Council).[11] [12]



Obrázek 2.2: EMC test pro datový vodič [11]

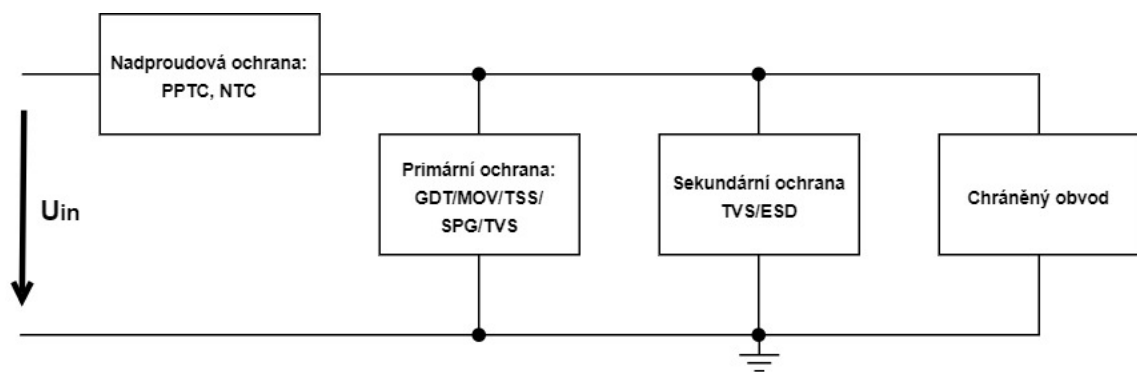
2.3.2 Ochrana elektrických zařízení

Při navrhování vhodné ochrany pro elektronické zařízení musíme znát jeho parametry a také parametry prostředí, ve kterém bude zařízení provozováno, mezi ty hlavní patří:

- Jmenovité napětí (V_{nom}), na kterém je zařízení provozováno
- Jmenovitý proud (I_{nom}), při kterém je zařízení v provozu
- Rozsah vstupního napájecího napětí, na kterém je zařízení schopno provozu (V_{min} , V_{max})
- Teplota okolního prostředí (T_{amb})
- Maximální přepětové napětí (V_s), na které bude dimenzována ochrana
- Maximální vstupní proud (I_{max}), na který bude dimenzována ochrana

Statické výboje, přepětí, nárazové proudy či nadproud jsou všechno jevy, které mohou zničit obvody uvnitř elektronických zařízení. Pokud je do zařízení přivedeno přepětové napětí či nadproud, který překračuje meze provozního napětí/proudu, může dojít k trvalému poškození obvodu či jeho části. K ochraně před těmito jevy

je k dispozici několik ochranných komponentů. Tyto komponenty se dále dělí na ochranu proti přechodovým přepětím a nadproudům, proto je nutné pro komplexní ochranu elektrického zařízení použít více ochranných prvků. Mezi primární formy ochrany proti přepětí patří například MOV (Metal Oxide Varistor), GDT (Gas Discharge Tubes), SPG (Spark Gap Protectors) a TSS (Thyristor Surge Suppressors). Komponenty jako TVS (Transient Voltage Suppressor) a ESDs (Electrostatic Discharge Diodes) poskytují sekundární ochranu proti přepětí. PPTCs (Polymeric Positive Temperature Coefficient Thermistors) a NTC (Negative Temperature Coefficient Thermistors) se používají jako ochrany proti nadproudu. Rozdělení typů ochran elektronických zařízení lze vidět v obrázku viz Obr. 2.3. Komponenty chránící proti přepětí se umísťují paralelně k chráněnému obvodu, zatímco prvky chránící obvod proti nadproudu či proudovým rázům se umísťují do série před chráněný obvod.[13]



Obrázek 2.3: Ochrany elektrických obvodů

MOV jsou typy varistorů skládající se z oxidu kovu, nejčastěji oxidu zinečnatého. Vynikají především velmi krátkou dobou odezvy, jsou schopny reagovat a usměrnit přechodové přepětí do 20 ns. Dokáží absorbovat výrazně vyšší přepětí než TVS diody a to v rozsahu napětí od 18 do 1800 V a pro rázové proudy až 70 kA, v některých případech i více. MOV jsou široce používány v AC napájecích zdrojích, signálních vedeních, jističích, LED budičích či v systémech inteligentního měření. Nevýhodou MOV je, že na rozdíl od TVS diod mohou stárnout. To znamená, že mají pouze

omezenou životnost v závislosti na přechodových jevech, které absorbují. Aby se tento účinek zmírnil, tak se obvykle používají v sérii s GDT nebo SPG.[13]

TVS diody označované také jako supresorové diody nebo transily mohou upínat přepětové špičky v řádu pikosekund a omezit je tak na bezpečnou hodnotu napětí, aby ochránily obvod před poškozením. TVS diody mohou poskytovat jednosměrnou či obousměrnou ochranu. Mezi jejich hlavní parametry patří především průrazné napětí, při kterém se transil otevře a špičkový proud, který ještě transil snese bez jeho poškození. Rozsah průrazných napětí je zhruba v rozmezí od 1 do 600 V. Primárními výhodami TVS diod je jejich krátká doba odezvy, nízká kapacita a schopnost poskytovat jednosměrnou a obousměrnou ochranu. Z těchto důvodů se transily ideálně hodí pro zařízení napájená DC proudem, bezpečnostní a sledovací systémy, telekomunikace a také automobilové aplikace. Výhodou oproti MOV je, že TVS diody dokáží reagovat na více přechodových dějů za sebou, drží si svoje výrobní parametry a jsou rychlejší.[13]

PPTC chrání elektronický obvod proti nadproudům a nadměrnému teplu. Někdy se také nazývá vratnou pojistkou, což není zcela správně, jelikož PPTC je v podstatě nelineární termistor omezující proud. Za normální teploty má PPTC velmi nízký odpor obvykle v řádu desítek miliohmů a neovlivňuje tak nijak elektronický obvod. Pokud ovšem teplota PPTC přesáhne mezní přepínací teplotu (T_{sw}), ať už v důsledku nadproudu nebo vlivu teploty okolí, začne se nelineárně zvyšovat odpor PPTC, typicky na tisíce až miliony ohmů, čímž se sníží procházející proud na minimum. Po odeznění poruchového jevu a tedy zdroje tepla se PPTC vrací zpět do normálního stavu s minimálním odporem. Rychlost odezvy se pohybuje v řádu jednotek milisekund a maximální vypínací proudy, které PPTC snese, jsou desítky ampér. Výhodou oproti klasickým pojistkám je, že po odeznění poruchového jevu může chráněné zařízení pracovat dál bez vnějšího zásahu nebo výměny komponent.[13] [14]

3 Rešerše komerčních řešení na trhu

Chytrý zobrazovací panel musí vzhledem k unikátní koncepci elektromobilu FIDO a jeho požadavkům zastávat funkci hlavní řídicí jednotky vozu a zobrazovací jednotky. Díky tomuto specifickému návrhu je obtížné na trhu najít odpovídající komerční řešení, které by vyhovovalo ve všech požadovaných aspektech. Komerčně dostupné řešení většinou nabízí samostatné zobrazovací jednotky a samostatné řídicí jednotky. Pro porovnání jsou některé z nich uvedeny v následujících kapitolách.

3.1 Ecumaster

Společnost Ecumaster nabízí univerzální zobrazovací jednotku ADU7 (Advanced Display Unit), která disponuje vysokou mírou konfigurovatelnosti zobrazovaných informací a logických vstupů/výstupů. ADU7 má k dispozici dvě samostatné CAN sběrnice pro komunikaci s ostatními zařízeními ve vozidle. Nabízí 8 analogových vstupů v rozsahu napětí 0 V až 5 V s rozlišením 10 bitů, 1 analogový výstup se stejnými parametry, 8 digitálních vstupů s programově řízenými pull-up rezistory a 2 digitální výstupy pro maximální proud až 2 A. Hlavním prvkem ADU7 je 7 palcový LCD TFT displej s rozlišením 800×480 pixelů a svítivostí 1000 cd/m². Pro snížení odrazů má displej antireflexní vrstvu. Grafika displeje a ostatní periferie zobrazovacího panelu lze naprogramovat ve speciálním softwaru, který dodává jeho výrobce. Přední strana jednotky je vybavena světelným senzorem, pomocí kterého lze automaticky upravovat jas displeje dle aktuálních podmínek. Druhou možností signalizace dat je 15 RGB LED diod, které jsou umístěny na krajích displeje. ADU7 lze také použít k záznamu provozních dat, informace sbírané zobrazovací jednot-

kou lze uložit na USB zařízení. Díky RTC obvodu, který má jednotka k dispozici, mají všechna zaznamenaná data i časový údaj. Jednotka disponuje také teplotním senzorem, akcelerometrem a gyroskopem pro případnou analýzu dynamiky vozidla. Rozsah provozního napájecího napětí je 6 až 22 V. K vozu se jednotka připojuje pomocí automobilového konektoru s 35 piny. Zobrazovací panel splňuje standard AEC-Q100, tudíž jeho rozsah provozních teplot je od -40°C do 85°C . [15]



Obrázek 3.1: Ecumaster ADU7 jednotka [15]

3.2 Bosch

Společnost Bosch nabízí zobrazovací jednotku DDU 10, která integruje plně programovatelný barevný displej společně se systémem pro ukládání provozních dat. S ostatními zařízeními ve voze může jednotka komunikovat pomocí dvou samostatných CAN sběrnic, Ethernetu nebo přes sériovou linku RS 232. DDU 10 disponuje čtyřmi analogovými vstupy s napěťovým rozsahem 0 V až 5 V, rozlišením 12 bitů a nastavitelnými pull-up rezistory, dále jednotka disponuje dvěma napájecími 5 V výstupy s maximálním odběrem až 250 mA a jedním 10 V napájecím výstupem s maximálním odběrem až 250 mA. Nejdůležitějším prvkem zobrazovacího panelu

je samotný displej. Jedná se o 7 palcový barevný LCD displej s rozlišením 800×480 pixelů. Svítivost, pozorovací úhly a další údaje o displeji bohužel výrobce neuvádí. Pro programování periférií a grafiky displeje zobrazovací jednotky je od výrobce poskytnut speciální software. Na stranách displeje je umístěno 20 RGB LED diod, které lze naprogramovat a mohou sloužit například pro indikaci chybových stavů vozu. Na přední pohledové straně panelu je instalován senzor světla, který slouží pro automatické nastavování jasu displeje. Rozsah provozního napájecího napětí jednotky je od 6 V do 18 V, proudový odběr při 12 V jsou 2 A. Teploty, ve kterých dokáže DDU 10 pracovat se pohybují od -20°C do 85°C.[16]



Obrázek 3.2: Bosch DDU 10 jednotka [16]

3.3 Continental

Společnost Continental nabízí univerzální programovatelnou řídicí automobilovou jednotku Conti-gVCU, která je určena k širokému použití v automobilech. Jejím hlavním prvkem je 32 bitový mikroprocesor vhodný pro použití v aplikacích pracujících v reálném čase. Disponuje 1 MB Flash a 96 kB RAM pamětí. Jednotka dále poskytuje 16 digitálních vstupů, 16 digitálních výstupů, dva PWM vstupy, dvanáct

analogových vstupů a dva 5 V napájecí výstupy pro senzory. Conti-gVCU umožňuje komunikovat s dalšími periferiemi vozu pomocí třech samostatných CAN sběrnic a pomocí jedné LIN sběrnice. Jednotka je dodávána v plastové krabičce. Rozsah jejího napájecího napětí je 10 až 32 V. Výrobce udává maximální odběr proudu 5 A při napájecím napětí 24 V. Rozsah provozních teplot se pohybuje od -40°C do 80°C. Jednotka je plně programovatelná, všechny nastavení se provádí v prostředí Matlab a Simulink, pro které dodává výrobce vlastní programovací nadstavbu. Ovládací firmware je do Conti-gVCU nahráván pomocí CAN sběrnice, kterou lze i diagnostikovat.[17]



Obrázek 3.3: Continental VCU jednotka [17]

3.4 Ecotron

Společnost Ecotron poskytuje svoje řešení s názvem SCU (Supervisory Control unit). Jedná se o univerzální programovatelnou řídicí jednotku, určenou k použití v elektrických a hybridních vozech. Jednotka je ovládána procesorem MPC5744 běžícím na frekvenci 200 MHz. Velikost jeho Flash paměti je 2,5 MB a velikost RAM je 384 kB. Pro komunikaci s ostatními jednotkami vozu jsou k dispozici tři samostatné CAN sběrnice a jedna LIN sběrnice. SCU nabízí osm analogových vstupů s rozliše-

ním 12 bitů a rozsahem napětí 0 až 5 V, devět digitálních vstupů, dva frekvenční vstupy, 14 digitálních výstupů a dva 5 V napájecí výstupy. Rozsah vstupního napájecího napětí je 9 až 32 V. Jednotka dokáže operovat v rozsahu teplot od -40°C do 110°C a splňuje tak normu ISO26262. SCU lze uživatelsky programovat v prostředí Simulink, pro které výrobce poskytuje svoje knihovny. Ovládací firmware se následně do jednotky nahrává pomocí CAN sběrnice. Jednotka také podporuje diagnostické funkce OBD.[18]



Obrázek 3.4: Ecotron SCU jednotka [18]

3.5 Shrnutí komerčních řešení

Existuje řada firem nabízející komerční řešení samostatné řídicí jednotky a samostatné zobrazovací jednotky pro automobily. K výběru je velké množství programovatelných zobrazovacích panelů, u kterých je možné vytvořit vlastní grafické návrhy. Většina těchto panelů disponuje komunikací po CAN sběrnici a několika digitálními a analogovými vstupy/výstupy. Některé z nich jsou více pokročilé a nabízí i možnost ukládání provozních dat vozu. Na výběr je i mnoho univerzálních programovatelných řídicích jednotek. Ty obvykle disponují dvěma či třemi CAN sběrnici pro komunikaci s ostatními prvky vozu. Dále mají k dispozici několik digitálních a analogových vstupů/výstupů a většinou dva napájecí výstupy pro senzory.

Vzhledem k požadavkům na chytrý zobrazovací panel není možné použít samo-

statné komerční řešení řídicí jednotky nebo zobrazovací jednotky. Aby byly požadavky splněny, musely by být tyto jednotky použity společně, což by bylo vzhledem ke koncepci elektromobilu FIDO zbytečně složité, a navíc finančně náročné řešení, které by bylo možné uživatelsky upravovat jen v mezích určených výrobcem. Jako lepší varianta se proto jeví návrh vlastního řešení chytrého zobrazovacího panelu. Výhodou vlastního řešení je naprostá kontrola nad návrhem, jednodušší splnění všech specifických požadavků, přizpůsobení velikosti finálního produktu rozměrům vozu a možnost zakomponování případných dalších periférií.

4 Návrh elektroniky chytrého zobrazovacího panelu

Ve fázi návrhu byl proveden výběr hlavních komponent, ze kterých se chytrý zobrazovací panel skládá. Byla navržena bloková schémata, která definují, jakým způsobem jsou dílčí obvody napájeny a jak spolu navzájem komunikují.

4.1 Popis hlavních komponent

Chytrý zobrazovací panel bude provozován v elektromobilu FIDO. Bude tedy pracovat v náročném prostředí, jak z hlediska elektromagnetického rušení, tak i z hlediska pracovních teplot, ve kterých bude muset spolehlivě fungovat. Z tohoto důvodu je nutné zvolit pro konstrukci chytrého zobrazovacího panelu elektronické součástky a komponenty, které jsou vhodné do automobilového prostředí, splňující automotive standardy a teplotní limity. Součástky splňující automotive standardy AEC-Q100 se dělí do čtyř kategorií (Grade 0 až 3) podle jejich provozní teploty. Kategorie Grade 3 udává minimální požadavky na rozmezí provozních teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Součástky byly vybírány tak, aby splňovaly alespoň rozsahy teplot v této kategorii.[19]

4.1.1 Popis displeje

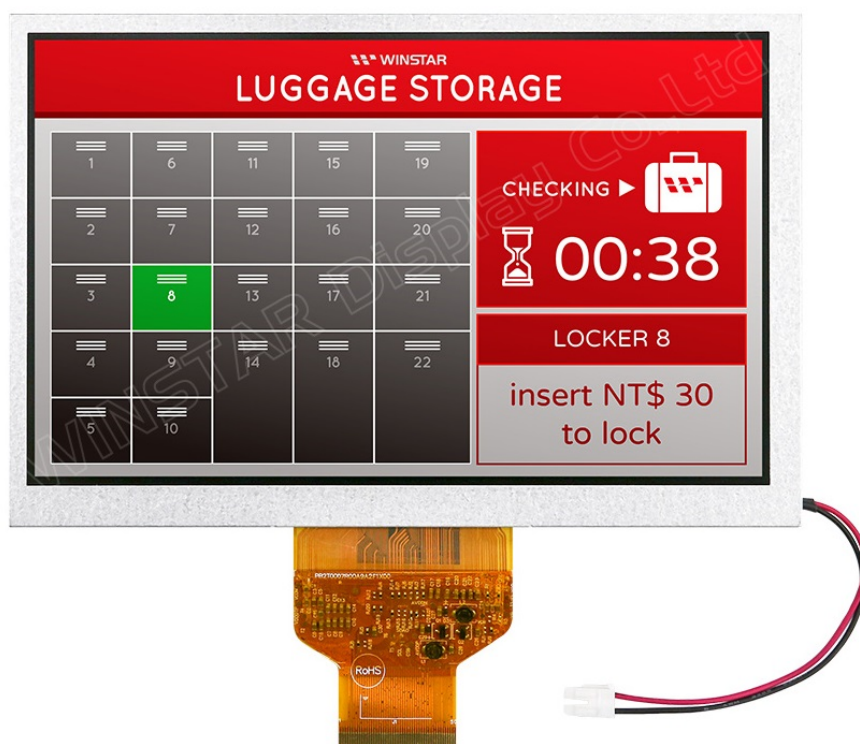
Displej byl vybírán dle několika požadavků, především podle jeho velikosti, rozlišení, svítivosti a komunikačního rozhraní. Velikost displeje je důležitá z hlediska zajištění dostatečné viditelnosti a čitelnosti zobrazovaných údajů. Vzhledem k rozměrům

vozidla a jeho požadavkům byly do výběru zahrnuty pouze displeje s úhlopříčkou 7 palců. Rozlišení je důležitým parametrem z hlediska čitelnosti displeje a ostrosti jeho obrazu. Minimální požadované rozlišení bylo stanoveno na 800×480 pixelů. Displej by měl disponovat dostatečnou svítivostí, aby zajistil dobrou čitelnost i při vysokém okolním svitu či na přímém slunečním záření. Jako minimální hodnota svítivosti se požaduje 1000 cd/m^2 . Displej by měl také umožňovat nastavení intenzity svítivosti, aby například v noci neoslňoval řidiče. Dalším z parametrů udávající kvalitu displeje jsou jeho pozorovací úhly, vertikální a horizontální. Za dostatečný pozorovací úhel se považuje alespoň 120° a více.

Displeje a zobrazovací zařízení mohou s řídicím mikroprocesorem komunikovat pomocí různých datových sběrnic, jako jsou například SPI, I2C, RGB, LVDS či MIPI DSI rozhraní. Displeje, které byly testovány v rámci této práce, disponují RGB rozhraním, což je speciální paralelní sběrnice, která přenáší až osm bitů dat jednotlivých barev (červené, zelené, modré) pro každý pixel. Počet přenášených bitů je dán nastavením a naprogramováním displeje. Každý bit se přenáší po svém datovém vodiči a lze nastavit přenos pomocí 16, 18 nebo 24 datových vodičů. Přenášená data jsou synchronizována hodinovým signálem o maximální frekvenci až 50 MHz. RGB obvykle nemá interní DDRAM paměť, data se tedy zapisují přímo do displeje přes datové vodiče. To umožňuje sběrnici RGB přenášet data velmi rychle a to až 1,2 Gb/s. Počet přenášených bitů ovlivňuje barevnou hloubku displeje. Například 16 bitové rozhraní RGB bude mít 5 červených, 6 zelených a 5 modrých datových bitů na jeden pixel. Výsledkem je barevná hloubka 65k. Je důležité si uvědomit, že počet datových vodičů není vždy úměrný barevné hloubce. RGB sběrnice využívá kromě datových vodičů také řídicí signály HSYNC, VSYNC, DCLK a DE, které určují kde a kdy mají být data na displeji zobrazena.[20]

V průběhu vývoje chytrého zobrazovacího panelu byly otestovány dva displeje. První byl displej od společnosti Orient display, konkrétně typ AFK800480A0-7.0N12NTH. Jedná se o 7 palcový TFT LCD displej disponující svítivostí až 1200 cd/m^2 a rozlišením 800×480 pixelů. Rozsah jeho provozních teplot je od -20°C do 70°C . Výrobce uvádí horizontální pozorovací úhly až do 140° a vertikální až do

120°. Tento displej potřebuje ke svému provozu několik napájecích napětí, kromě napájení pro podsvícení vyžaduje také napájecí napětí pro logické obvody, analogové obvody, VGH, VGL a společné napájení. Všechny napájecí, datové i řídicí signály jsou z displeje vyvedeny jedním plochým 50-ti žilovým kabelem.[21]



Obrázek 4.1: Použitý displej WF70A9SWAGDNN0 [22]

Druhý testovaný displej je od společnosti Winstar s výrobním označením WF70A9SWAGDNN0. Jedná se o 7 palcový IPS LCD displej se svítivostí 1000 cd/m^2 a rozlišením 800×480 pixelů. Výrobce uvádí rozsah provozních teplot od $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ do $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Jeho pozorovací úhly v horizontálním i vertikálním směru jsou až 160° . Displej ke svému provozu vyžaduje pouze jedno napájecí napětí, které je do displeje přiváděno s ostatními datovými a řídicími signály pomocí 50-ti žilového plochého kabelu. Kromě toho je do displeje přiváděno napájení pro podsvícení dvěma samostatnými vodiči.[22]

Oba vyzkoušené displeje mají několik stejných parametrů viz Tab.4.1. Pro použití ve finálním návrhu chytrého zobrazovacího panelu byl zvolen displej

WF70A9SWAGDNN0. Díky zobrazovací technologii IPS nabízí lepší pozorovací úhly, které jsou pro použití ve vozu žádané. Ke svému fungování vyžaduje pouze jedno napájecí napětí 3,3 V a napájení pro podsvícení, což výrazně sníží počet součástek na výsledné DPS. Další výhodou je jeho širší rozsah provozních teplot, který je v automobilových aplikacích zásadní.

Displej	AFK800480A0-7.0N12NTH	WF70A9SWAGDNN0
Svítivost	1200 cd/m ²	1000 cd/m ²
Rozlišení	800×480	800×480
Pozorovací úhly	140/120	160/160
Technologie	TFT	IPS
Rozsah teplot	-20°C až 70°C	-30°C až 80°C
Cena	33 USD	61,8 USD

Tabulka 4.1: Porovnání otestovaných displejů

4.1.2 Popis MCU

Mikroprocesor je hlavním řídicím prvkem celého chytrého zobrazovacího panelu. Je na něj kladeno mnoho požadavků, především na jeho komunikační rozhraní, počet digitálních vstupů/výstupů, frekvenci hodin, velikost pamětí a odolnost. Z komunikačních rozhraní musí mikroprocesor poskytovat tři samostatné CAN rozhraní pro komunikaci s jednotlivými CAN sběrnici v elektromobilu. Dále by měl mít I2C a UART rozhraní pro připojení různých periférií, například senzoru světla či Bluetooth modulu. Aby mohl komunikovat s LCD displejem, musí disponovat RGB rozhraním. Mikroprocesor musí mít dostatečný počet digitálních vstupů a výstupů, aby dokázal obsloužit všechny periferie vozu, například světla, stěrače, blinkry atd. Dalším požadavkem je i dostatečně vysoká frekvence hodin, ta je zároveň jedním z ukazatelů výpočetní rychlosti mikroprocesoru. Frekvence hodin musí být natolik vysoká, aby dokázala generovat hodinový signál 50 MHz, který je potřeba pro komunikaci po RGB rozhraní. Důležitým parametrem je i velikost Flash paměti a RAM.

Flash paměť slouží k uložení firmwaru a s ním spojených souborů, jako jsou například obrázky pro grafiku displeje. Musí být dostatečně velká pro uložení všech potřebných souborů. RAM slouží jako operační paměť, její velikost ovlivňuje prostor, který má k dispozici prováděný program, čím je tedy větší, tím rychleji může program pracovat. Jelikož bude mikroprocesor provozován v automobilu, je důležitým parametrem jeho odolnost, především tedy rozsah jeho pracovních teplot, který by měl být minimálně od -40°C do 85°C , aby splňoval požadavky standardů AEC.

Na základě zmíněných požadavků byla provedena rešerše mikroprocesorů, které by byly pro použití do chytrého zobrazovacího panelu vhodné. Byly vytipovány tři mikroprocesory od společností Texas Instruments, NXP a ST. Všechny splňují požadavek na podporu RGB rozhraní, disponují dostatečným počtem vstupů a výstupů a jejich rozsah provozních teplot je v souladu s AEC standardy. Hlavní rozdíly jsou ve velikosti Flash a RAM paměti, maximální frekvenci hodin a počtu CAN sběrnic, kterými mikroprocesory disponují. Všechny tyto parametry jsou uvedené v tabulce viz Tab.4.2.[23] [24] [25]

Mikroprocesor	TM4C129XNCZAD	LPC4357FET256	STM32F777BI
Výrobce	TI	NXP	ST
Počet CAN sběrnic	2	2	3
Podpora RGB rozhraní	ano	ano	ano
Počet GPIO	140	164	168
Počet analogových vstupů	24	8	24
Frekvence hodin	120 MHz	204 MHz	216 MHz
Velikost FLASH	1 MB	1 MB	2 MB
Velikost RAM	256 KB	136 KB	512 KB
Rozsah provozních teplot	-40°C až 105°C	-40°C až 85°C	-40°C až 105°C
Cena	24,19 USD	17,06 USD	21,47 USD

Tabulka 4.2: Porovnání mikroprocesorů

Pro realizaci chytrého zobrazovacího panelu byl zvolen mikroprocesor od společnosti ST, konkrétně typ STM32F777BI. Svými dispozicemi splňuje všechny požadavky. Jeho parametry jsou v porovnání s ostatními dvěma mikroprocesory ve všech

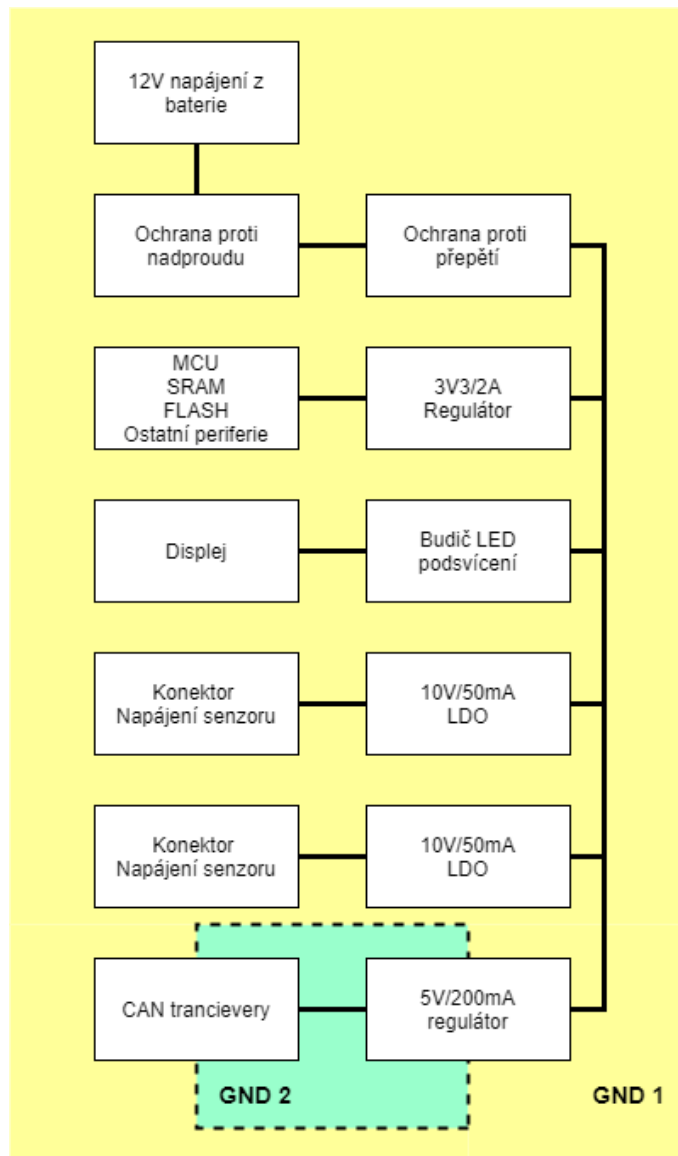
ohledech lepší, především disponuje třemi CAN sběrnici, které jsou důležité pro komunikaci s ostatními periferiemi ve vozu.

Mikroprocesor STM32F777BI je založen na 32-bitové architektuře ARM Cortex M7. Jedná se o RISC architekturu běžící na frekvenci až 216 MHz. Velikost jeho Flash paměti je 2 MB a RAM 512 KB, navíc lze jejich velikost rozšířit, protože mikroprocesor disponuje rozhraními pro připojení externích pamětí. STM32F777BI má k dispozici několik komunikačních sběrnic UART, I2C, SPI, CAN atd. pro komunikaci s různými periferiemi. Mikroprocesor disponuje grafickým akcelerátorem DMA2D, který umožňuje aplikovat vylepšené grafické funkce. Více informací lze nalézt v dokumentaci viz [25]

4.2 Blokový návrh

Návrh elektroniky pro chytrý zobrazovací panel je rozdělen do dvou samostatných blokových schémat. První blokové schéma znázorňuje strukturu napájecí sítě všech dílčích komponent včetně její ochrany viz Obr. 4.2.

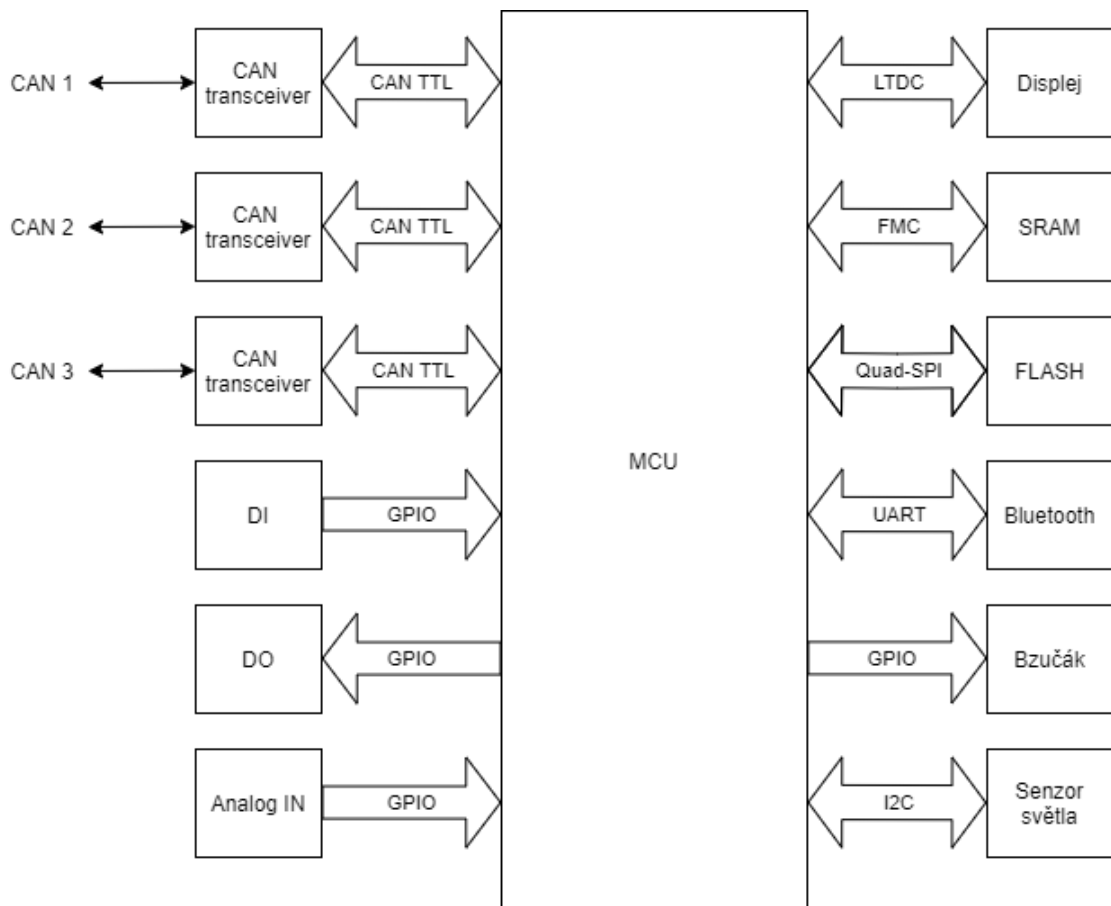
Chytrý zobrazovací panel je napájen 12 V z baterie vozu. Napájení je do panelu přivedeno přes automobilový konektor, který zároveň slouží pro připojení digitálních vstupů/výstupů, CAN sběrnic a dalších periferií. Hlavní napájecí 12 V větev je ochráněna proti nadproudu a přepětí. Za ochranou se napájení dělí do jednotlivých větví. První je 3,3 V větev sloužící pro napájení mikroprocesoru, SRAM, Flash paměti, Bluetooth modulu a dalších integrovaných obvodů. Druhou větví je budič LED pro napájení podsvícení displeje, jedná se o zdroj proudu, který lze ovládat pomocí PWM. Následují dvě 10 V větve pro napájení senzorů vozidla. Poslední je galvanicky oddělená 5 V větev sloužící pro napájení CAN vysílačů, které jsou také galvanicky oddělené, tím je chytrý zobrazovací panel chráněn proti nežádoucím přepětím či jiným poruchám na CAN sběrnících.



Obrázek 4.2: Blokové schéma napájení

Druhé blokové schéma viz Obr. 4.3 znázorňuje všechny periferie připojené k mikroprocesoru a specifikuje typy sběrnic, pomocí kterých periferie s mikroprocesorem komunikují. Chytrý zobrazovací panel je řízen mikroprocesorem STM32F777BI. Pomocí třech CAN sběrnic komunikuje panel s kontroléry motorů, BMS, nabíječkou a poskytuje diagnostické funkce díky OBD II. Digitální vstupy/výstupy, analogové vstupy a zvuková signalizace jsou k mikroprocesoru připojené pomocí GPIO pinů. Komunikace s displejem probíhá přes LTDC zobrazovací řadič, který mají pouze mikroprocesory od společnosti ST, a který zaštiťuje komunikaci pomocí paralelní-

ho RGB 24-bit rozhraní. Operační paměť je rozšířena pomocí externí SRAM paměti připojené přes FMC (Flexible Memory Controller) sběrnici. Pro ukládání provozních dat slouží externí Flash paměť připojená pomocí Quad-SPI sběrnice. Provozní data lze také odesílat pomocí Bluetooth bezdrátového modulu, který je k mikroprocesoru připojen přes UART sběrnici. Senzor světla snímající intenzitu světla v kabině vozu komunikuje přes sběrnici I2C. Detailní popis jednotlivých periférií a funkčních bloků je uveden v kapitole viz [Realizace chytrého zobrazovacího panelu](#).



Obrázek 4.3: Blokové schéma periférií MCU

5 Realizace chytrého zobrazovacího panelu

Chytrý zobrazovací panel byl realizován dle blokových schémat. Realizace je rozdělena do dvou fází. V první testovací fázi bylo realizováno pouze základní řešení, které bylo rozděleno do několika modulů, aby mohla být otestována funkčnost mikroprocesoru, displeje a základních obvodů. V druhé finální fázi byly zpracovány poznatky z první testovací verze. Následně na jejich základě a dle blokových schémat bylo realizováno finální řešení chytrého zobrazovacího panelu.

5.1 Testovací verze

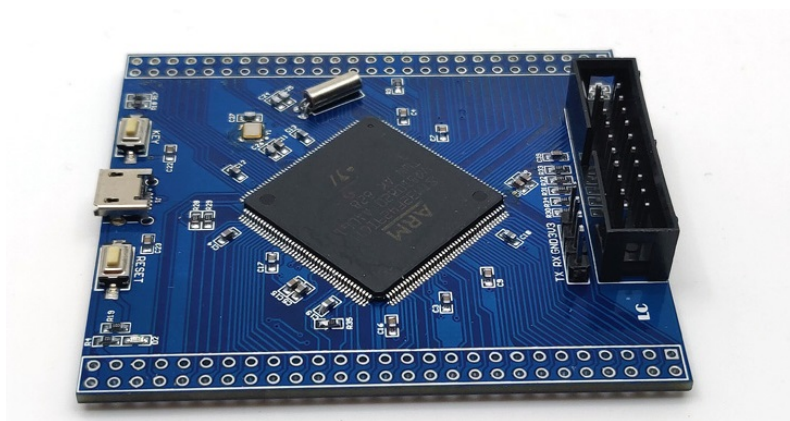
Před realizací finální verze elektroniky pro chytrý zobrazovací panel bylo zapotřebí nejprve ověřit funkčnost hlavních částí obvodu. Tyto obvody by bylo velmi složité testovat na nepájivém poli, protože se skládají především z SMD součástek, které nemají žádnou THT náhradu. Navíc z displeje vede plochý kabel, který lze připojit pouze do speciálního konektoru. Z těchto důvodů byla zavržena varianta, že by byly obvody sestavovány a ověřovány na nepájivém poli. Místo toho bylo navrženo modulární řešení, pomocí kterého bylo možné ověřit funkci dílčích obvodů. Modulární řešení se skládá z několika desek plošných spojů, na kterých jsou jednotlivé obvody. Všechny desky jsou vzájemně propojeny pomocí dvou lišt s piny.

Nejprve byla zakoupena komerční deska s mikroprocesorem STM32F46, který patří do stejné rodiny procesorů jako zvolený mikrokontrolér STM32F777BI. Tato deska byla zakoupena proto, aby bylo možné otestovat komunikaci procesoru STM32 s displejem přes rozhraní RGB. Následně byla navržena displejová deska, jejíž úkol je zajistit propojení displeje s ostatními deskami a také zajistit obvod pro

podsvícení displeje. Dále byla navržena shield deska pro otestování obvodů s digitálními vstupy/výstupy, analogovými vstupy a CAN obvody. Ta zároveň zajišťuje napájení všech ostatních desek. Jako poslední testovací modul byla navržena vlastní deska s mikroprocesorem a pamětmi, která nahrazuje komerční MCU desku. Všechny desky použité v testovací verzi jsou krátce popsány v následujících podkapitolách. Nejsou zde podrobně popsány dílčí obvody, protože jejich detailní popis je k dispozici v kapitole viz **Finální verze**. Schémata všech navržených desek jsou k dispozici na příloženém DVD.

Komerční MCU deska

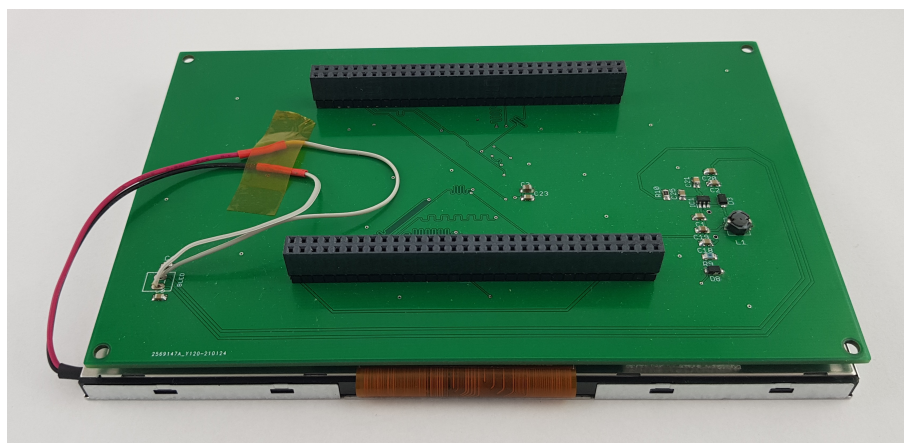
Komerční MCU deska je osazena mikroprocesorem STM32F746, SDRAM pamětí a Flash pamětí. Téměř všechny piny mikroprocesoru jsou vyvedeny do dvou lišt, ke kterým lze připojit další desky. Napájení všech periférií desky je řešeno pomocí LDO regulátoru, který snižuje napětí z 5 V na 3,3 V potřebných pro mikroprocesor a paměti. Napájecí napětí lze na desku přivést pomocí micro USB konektoru nebo přes piny na liště. Kompletní schéma zapojení lze nalézt v dokumentaci viz [26]. Tato deska umožňuje díky vyvedeným pinům mikroprocesoru otestovat všechny periférie, které mikroprocesor ovládá, například displej pomocí RGB rozhraní, obvody digitálních vstupů/výstupů atd. Díky tomu, že obsahuje externí paměti, lze s její pomocí na displeji zobrazit i více náročnou grafiku.



Obrázek 5.1: Komerční MCU deska [26]

Displejová deska

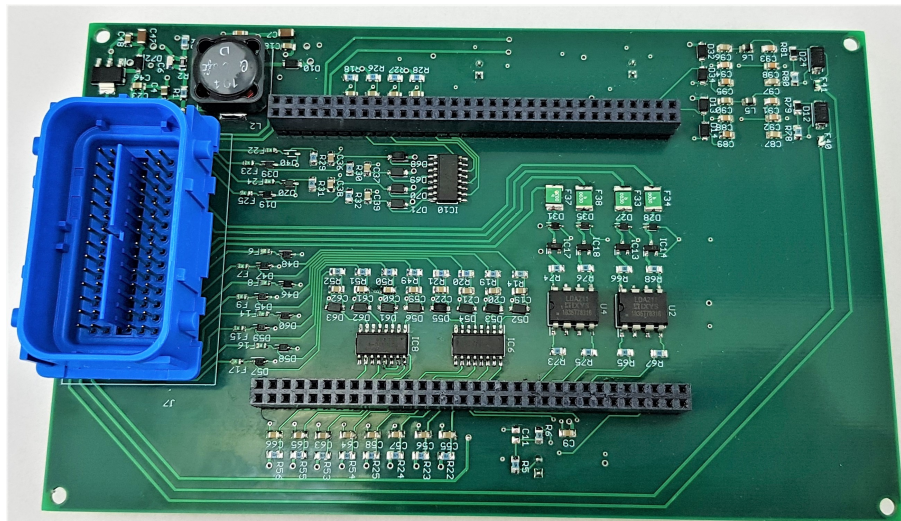
Displejová deska obsahuje obvod pro napájení podsvícení displeje, konektor pro plochý kabel a dvě lišty pinů pro propojení s dalšími moduly. Účelem této desky je propojit datové a řídicí signály RGB sběrnice ze dvou lišt pinů do konektoru na plochý kabel. Dále je zapotřebí do konektoru přivést napájení pro podsvícení z obvodu LED budiče a další napájecí napětí, které displej vyžaduje.



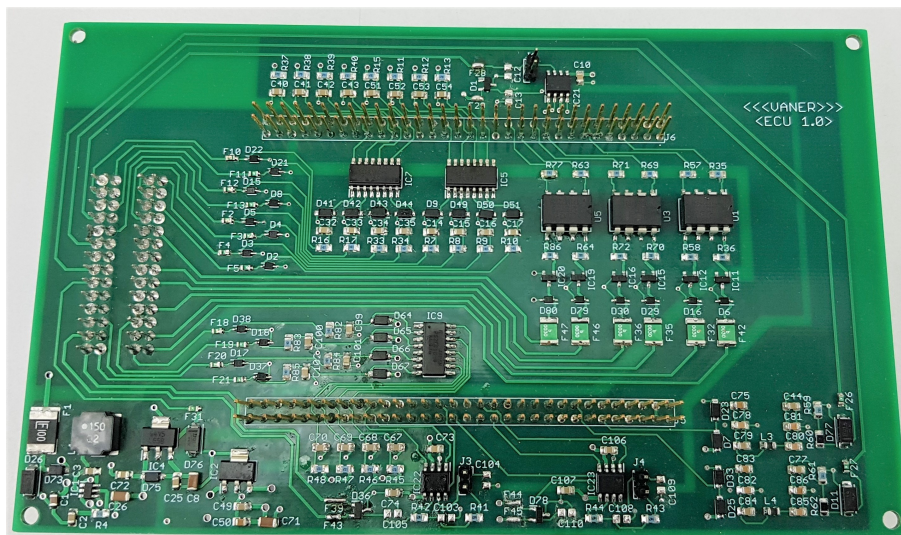
Obrázek 5.2: Displejová deska

Shield deska

Shield deska se skládá z napájecích obvodů, obvodu digitálních ošetřených vstupů/výstupů, obvodů pro CAN sběrnice a obvodů pro analogové vstupy. Napájecích obvodů je na desce několik. První reguluje vstupní napětí z baterie 12 V na 5 V, kterými je napájena MCU deska. Další obvod reguluje napětí 5 V na 3,3 V. Poslední dva napájecí obvody jsou LDO regulátory regulující napětí z 12 V na 10 V určené pro senzory vozu. Obvody digitálních vstupů/výstupů jsou chráněny optočleny. Shield deska obsahuje dvě lišty pro připojení dalších modulů. Dále je osazena automotive konektorem, jež je určený k připojení kabelu vedoucího dále do vozidla. Účelem této desky je zajistit napájení pro ostatní připojené moduly a ověřit funkčnost všech osazených obvodů.



Obrázek 5.3: Shield deska - vrchní strana

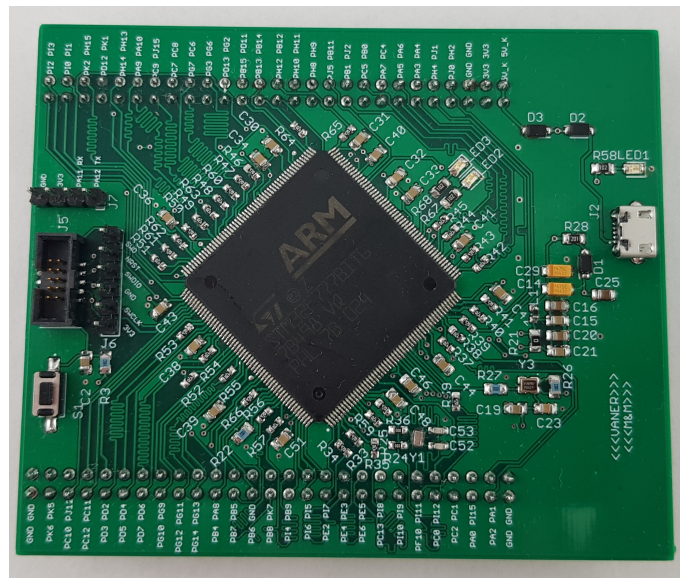


Obrázek 5.4: Shield deska - spodní strana

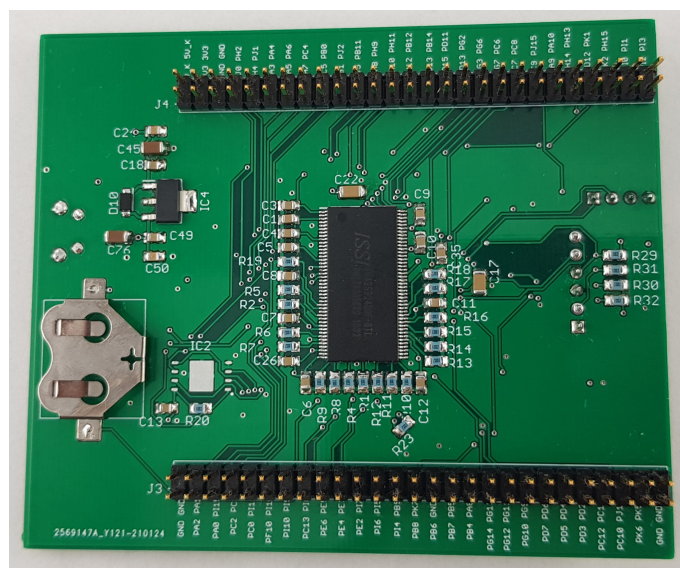
Vlastní MCU deska

Vlastní MCU deska byla navržena jako náhrada komerční MCU desky. Deska je osazena vybraným mikroprocesorem STM32F777BI, který oproti mikroprocesoru na komerční desce STM32F746G splňuje všechny požadavky pro použití v chytrém zobrazovacím panelu. Deska dále obsahuje externí SDRAM paměť a Flash paměť. Napájení je řešeno pomocí LDO regulátoru, který snižuje napětí z 5 V na 3,3 V po-

třebných pro mikroprocesor a paměti. Napájecí napětí je na MCU desce přiváděno přes piny na liště nebo pomocí micro USB konektoru. Pro programování mikroprocesoru je deska osazena 10 pinovým konektorem JLINK. Dále obsahuje resetovací tlačítko a dvě indikační LED diody. Účelem této desky bylo ověřit funkčnost zvoleného mikroprocesoru STM32F777BI. Především vyzkoušet komunikaci se všemi připojenými perifériemi, jako je displej či CAN sběrnice.

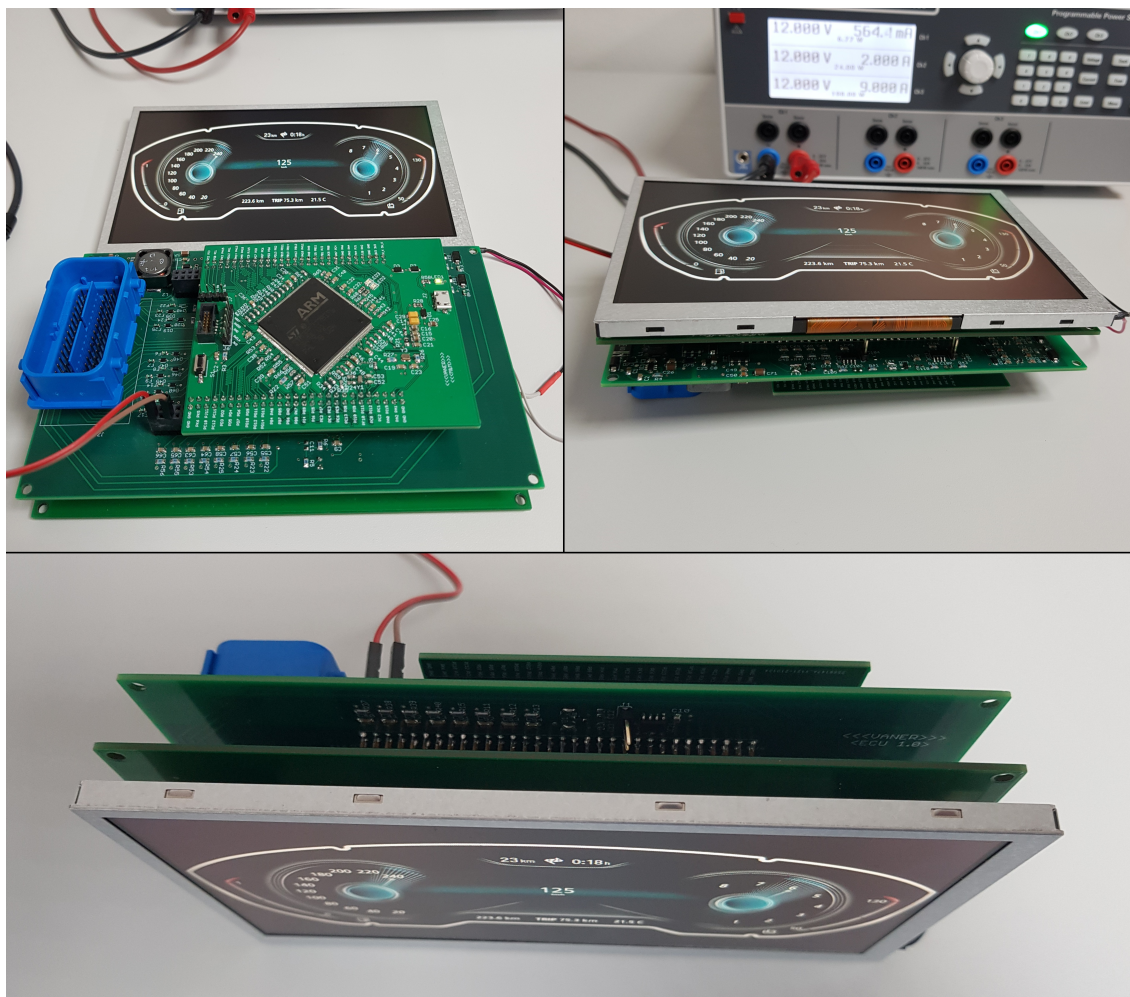


Obrázek 5.5: Vlastní MCU deska - vrchní strana



Obrázek 5.6: Vlastní MCU deska - spodní strana

Všechny navržené moduly byly otestovány, tím byla ověřena i funkce obvodů, které obsahují. Po tomto ověření funkčnosti bylo možné začít realizovat finální verzi desky plošných spojů pro chytrý zobrazovací panel.



Obrázek 5.7: Kompletní modulární řešení

5.2 Finální verze

Finální verze desky pro chytrý zobrazovací panel byla realizována na základě blokového schématu a obvodů, které byly ověřeny modulárním řešením. Pro návrh desky byl zvolen software EAGLE ve verzi 9 od společnosti Autodesk. Návrh byl uzpůsoben rozměrům, které elektromobil FIDO poskytuje a velikosti použitého displeje. Z toho vzešly pevné rozměry DPS 166×107 mm, které bylo potřeba dodržet. DPS byla navržena jako čtyřvrstvá, přičemž se skládá z vrstev top, GND layer, VCC layer a bottom. Při návrhu čtyřvrstvé desky je důležité dodržet dané pořadí jednotlivých vrstev, aby byla výsledná deska co nejvíce robustní vůči elektromagnetickému rušení. Součástky jsou umístěny na obou krajních vrstvách top a bottom. Na vrstvě top by měly být vedeny vysokofrekvenční signály, kvůli lepšímu stínění. Pokud to není možné, lze je vést i na vrstvě bottom. GND layer je druhá vrstva, jsou zde polygony země. VCC layer je třetí vrstva, která je určena pro distribuci napájení, jsou zde polygony napětí 12 V a 3,3 V. Součástky jsou na desce uspořádány do logických bloků, jejich rozmístění na top a bottom vrstvě je patrné na obrázcích viz Obr.5.8 a Obr.5.9. [27]

Tloušťka měděných vrstev na DPS byla zvolena 1 OZ ($35 \mu\text{m}$). Šířka signálových cest, které vedou od mikroprocesoru a pracují na 3,3 V logice, je 0,25 mm. Signály vstupních a výstupních obvodů jsou mezi hlavním konektorem a ochrannými prvky taženy šířkou cesty 0,5 mm, protože zde při poruše může téct vyšší proud. Napájení 12 V z baterie je vedeno ve vrstvě VCC layer, k potřebným obvodům je vyvedeno prokovy a následně taženo cestou o šířce 0,8 mm. Touto šířkou jsou vedeny cesty obvodu regulátoru napětí z 12 V na 3,3 V, jelikož zde mohou téct až 2 A.

Zemní potenciál je řešený pomocí polygonu rozlité mědi ve vrstvě GND layer, navíc jsou polygony mědi s GND rozlité i ve vrstvách top a bottom. Polygony zemního potenciálu jsou navzájem propojeny pomocí prokovů a vývodů THT součástek. Na desce se nachází i druhý zemní potenciál, který je od prvního oddělen a je určen pro obvod galvanicky oddělených CAN budičů.

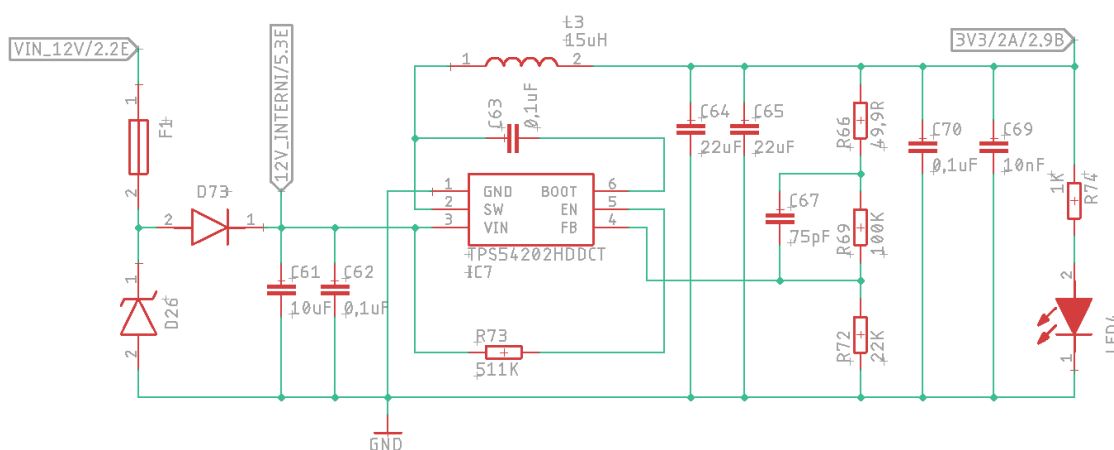
a hlavní automobilový konektor jsou umístěny na vrstvě bottom. K desce se pomocí pinů s roztečí 2,54 mm připojuje bluetooth modul a modul pro snímání intenzity světla. DPS byla stejně jako všechny desky navržené v modulárním řešení ručně osazena a zapájena.

5.2.1 Popis schématu

V této kapitole jsou popsány jednotlivé obvody finální verze chytrého zobrazovacího panelu. Kompletní schéma je k dispozici v příloze viz příloha 7.2.

Hlavní napájení

Primárním napájecím zdrojem pro chytrý zobrazovací panel je 12 V dodávaných z baterie vozu. Toto napájení musí být před jeho distribucí dál do obvodu ochráněno, aby při poruše nemohlo poškodit celý obvod.



Obrázek 5.10: Napájecí obvod z 12 V na 3,3 V

K ochraně proti nadproudu byla použita vratná pojistka F1, která je připojena do série k hlavnímu napájecímu napětí. Její vypínací proud je 2,2 A a maximální napětí 60 V. Jako ochrana proti přepětí je mezi vstupním napětím 12 V a GND umístěn transil D26, jehož průrazné napětí je 26,7 V. Do série zapojená schottkyho

dioda D73 slouží jako ochrana proti přepólování napájení. Takto ochráněné napětí je distribuováno do dalších obvodů jako 12 V - interní. Ochranné prvky byly dimenzovány na základě parametrů chráněných obvodů a maximálního odběru proudu všech periférií. Maximální odběry proudu jednotlivých periférií byly nalezeny v datových listech výrobců daných součástek, jejich přehled je v tabulce viz Tab. 5.1, kde je zároveň popsáno, jakým napětím jsou dílčí periferie napájeny.

Napájecí napětí	Periferie	Maximální odebíraný proud [mA]
napájení 3,3 V	Mikroprocesor	420
	SDRAM	150
	FLASH	35
	Bluetooth modul	150
	Display	150
	CAN budiče	9
	Senzor světla	7
napájení 12 V - baterie	Podsvícení displeje	450
napájení 12 V - interní	Napájení senzorů	180
	DC/DC pro CAN	200
	Bzučák	40

Tabulka 5.1: Odběr proudu jednotlivých periférií

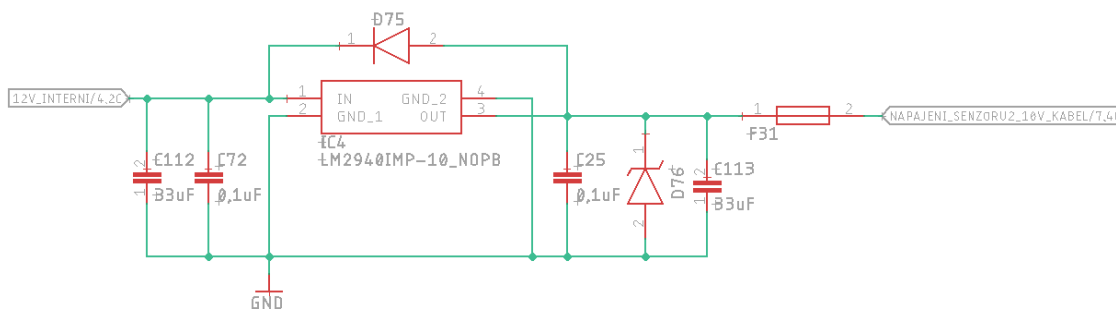
Již ochráněné napětí 12 V - interní je potřeba snížit na napětí 3,3 V, které je požadováno k napájení mikroprocesoru STM32F777BI a většiny ostatních periférií. Ke snížení napětí je použit obvod se synchronním snižujícím regulátorem TPS54202HDDCT, který je schopen při výstupním napětí 3,3 V dodat proud až 2 A. Regulátor je zapojen dle doporučeného schématu uvedeného v dokumentaci viz [28]. Obvod je navržen tak, že rozsah vstupního napětí regulátoru je 6 V až 26 V. Velikost výstupního napětí lze nastavit pomocí odporového děliče (rezistory R69 a R72), k výpočtu viz rovnice 5.1 je potřeba znát ještě velikost vnitřního

referenčního napětí $V_{ref} = 0,596 \text{ V}$ regulátoru TPS54202HDDCT.

$$V_{out} = V_{ref} + \left(\frac{R_{69}}{R_{72}} + 1 \right) \quad (5.1)$$

Rezistor R66 slouží k přerušení ovládací smyčky pro testování stability. Kondenzátor C61 je keramický oddělovací kondenzátor, který udržuje stabilní napětí na vstupu regulátoru. Co nejbližší vstupu a výstupu jsou blokovací kondenzátory (C62, C70, C69), které filtrují vysoké rušivé frekvence. Kondenzátor C63 musí být zapojen mezi piny BOOT a SW pro správnou funkci regulátoru. K tomu, aby mohl regulátor fungovat, musí být mezi vstupním napětím a pinem EN zapojen rezistor R73 o doporučené hodnotě 511K. Cívka L3 a kondenzátory C64 a C65 společně tvoří výstupní filtr dolní propust. Jejich hodnoty byly zvoleny dle doporučených hodnot uvedených v datovém listu viz [28]. Pro indikaci připojeného napájení slouží LED dioda LED4, která je zapojena do série s výstupem regulátoru. Pro regulaci proudu procházejícího LED diodou slouží předřadný rezistor R74.

Napájení senzoru



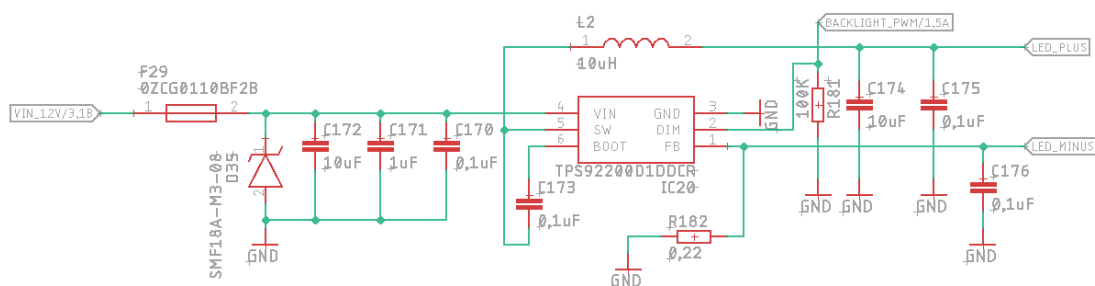
Obrázek 5.11: Obvod napájení senzoru 10 V

Pro napájení externích senzorů jsou požadovány dva napájecí výstupy s napětím 10 V a možností odebírat až 50 mA. Pro tyto účely byl zvolen obvod s LDO regulátorem LM2940IMP, který je napájen 12 V - interní a na svém výstupu udržuje

napětí 10 V bez dalších přídavných součástek a je schopen dodat proud až 1 A, což dostatečně splňuje požadavky. Co nejbližší vstupu a výstupu jsou umístěny blokovací kondenzátory C72, C25. Výstupní kondenzátor C113 zajišťuje konstantní průběh výstupního napětí. Vyšší hodnoty kapacity poskytují lepší přechodovou odezvu napětí. Kondenzátor C112 udržuje konstantní vstupní napětí. Mezi vstupem a výstupem LDO je v závěrném směru zapojena schottkyho dioda D75, která slouží jako ochrana stabilizátoru v případech, kdy se na výstupu objeví větší napětí než na vstupu. Tato situace může nastat při odpojení napájecího napětí, pokud by na vstupu LDO došlo k rychlejšímu poklesu napětí než na výstupu, mohlo by dojít ke zničení LDO, čemuž dioda zabrání. Napájecí výstup je chráněn proti přepětí transilem D76 s průrazným napětím 11,1 V. Vůči nadproudu je výstup chráněn vratnou pojistkou F31 s vypínacím proudem 90 mA.

Obvod podsvícení

Zvolený IPS LCD displej vyžaduje pro napájení LED podsvícení zdroj konstantního proudu, který dokáže dodávat proud 450 mA při napětí 9,3 V. Pro tento účel slouží obvod, jehož hlavním prvkem je LED budič TPS92200 pracující jako synchronní snižující měnič, který dokáže dodat proud až 1,5 A.



Obrázek 5.12: Obvod s budičem LED podsvícení

Obvod pro podsvícení je napájen 12 V přímo z baterie vozu. Proti nadproudu je ochráněn pojistkou F29 s vypínacím proudem 2,2 A. Transil D35 slouží jako ochrana proti přepětí, jeho průrazné napětí je 20 V. Tyto ochrany byly zvoleny dle vstupních

parametrů budiče TPS92200. Keramický kondenzátor C172 snižuje rázový odebíraný proud a udržuje konstantní vstupní napětí. Co nejbližší vstupu a výstupu jsou umístěny blokovací kondenzátory C171, C170, C175, C176. Dle datového listu musí být pro správnou funkci regulátoru mezi piny SW a BOOT zapojen kondenzátor C173 s kapacitou 0,1 μF . Cívka L2 byla vybrána dle velikosti indukčnosti, jmenovitého proudu a saturačního proudu, tyto parametry byly vypočítány pomocí vztahů uvedených v dokumentaci LED budiče viz [29]. Výstupní keramický kondenzátor C174 snižuje vysokofrekvenční zvlnění proudu tekoucího do LED diod podsvícení. Velikost výstupního proudu je nastavena pomocí rezistoru R182. Napětí na tomto rezistoru je porovnáváno s vnitřní napětovou referencí LED budiče V_{fb_ref} o fixní velikosti 99 mV. Hodnota odporu R182 lze následně vypočítat dle vztahu viz rovnice 5.2.

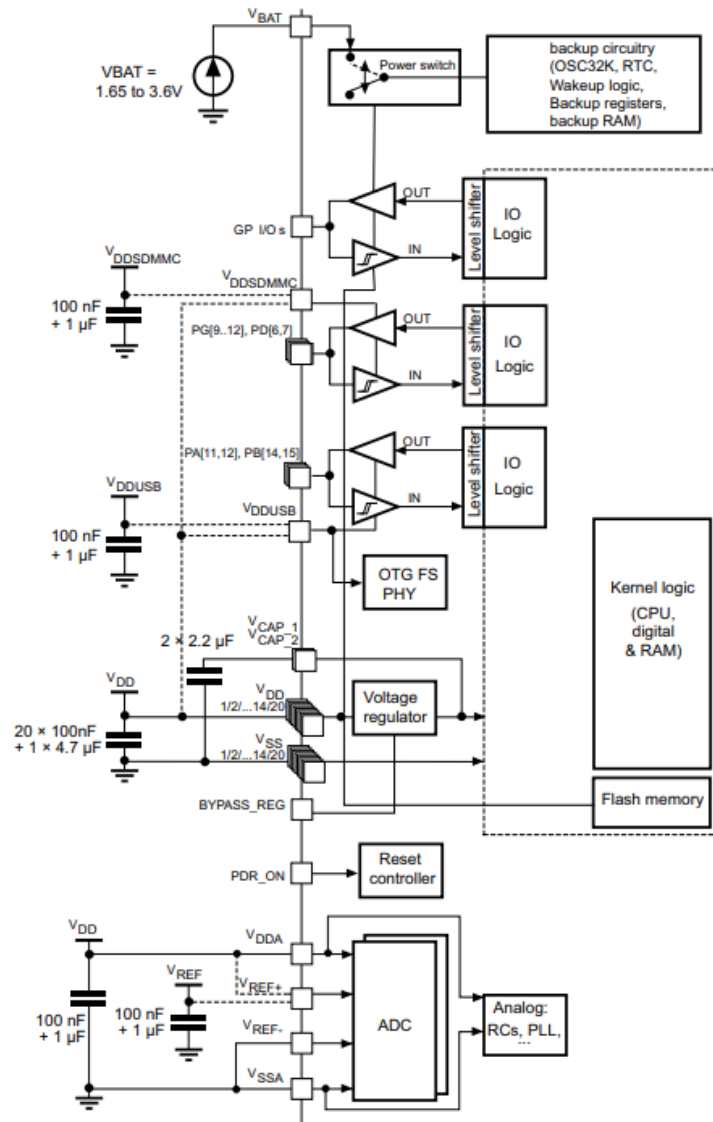
$$R_{SENSE} = \frac{V_{fb_ref}}{I_{LED}} \quad (5.2)$$

LED budič je ovládán pomocí vstupu DIM, který je přiveden k mikroprocesoru. Přivedením logické jedničky na DIM je obvod spuštěn a podsvícení displeje je na maximální úrovni. Intenzitu podsvícení je možné ovládat pomocí PWM signálu. Pull-down rezistor R181 zajišťuje, že je LED budič ve výchozím vypnutém stavu.

Mikrokontrolér

Mikrokontrolér STM32F777BI disponuje 208 piny, z toho jsou čtyři desítky napájecích. Pro zajištění správné funkce MCU je potřeba ke každému napájecímu pinu umístit co nejbližší blokovací kondenzátor. Napájení je rozděleno na analogovou a digitální větev, mezi těmito dvěma částmi je umístěn filtr tvořený tlumivkou L1 viz schéma v příloze 7.2. Tlumivka potlačuje proudové špičky v digitální větvi, které by mohly rušit analogové obvody. Napájecí schéma mikrokontroléru a jeho vnitřních periférií popisuje obrázek viz Obr. 5.13. Pro správnou funkci napětového regulátoru musí být k pinům V_{cap1} , V_{cap2} připojeny keramické kondenzátory s kapacitou 2,2 μF . Na pin V_{bat} je připojena baterie, pomocí které jsou napájeny záložní obvody, přede-

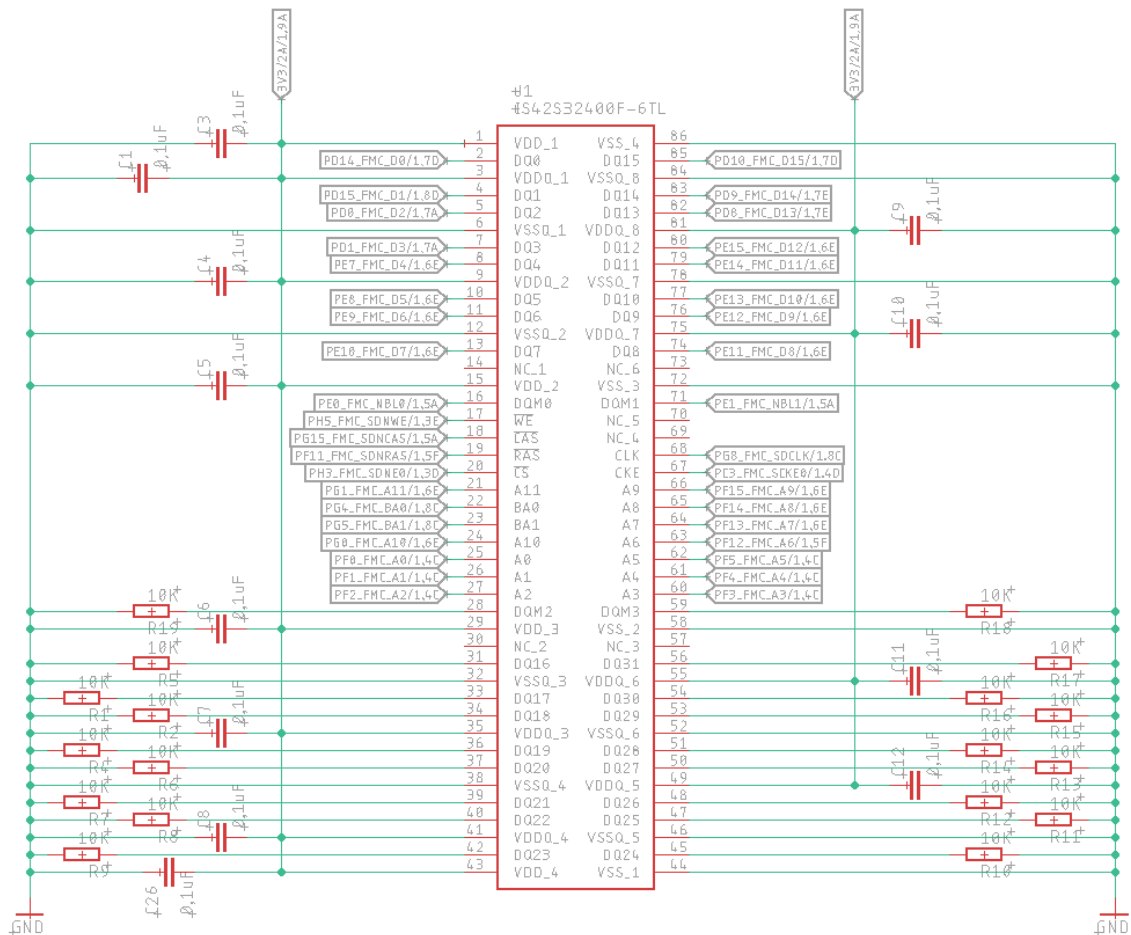
vším RTC, v případě, že není k dispozici hlavní napájení 3,3 V. K mikroprocesoru jsou připojeny dva externí zdroje hodinového signálu Y1, Y2 viz schéma v příloze 7.2. Krystal s kmitočtem 32,768 kHz může být nastaven jako zdroj hodin pro RTC obvod. Hodinový oscilátor s frekvencí 25 MHz může být použit jako zdroj hodin pro celé jádro a všechny periferie mikrokontroléru kromě RTC.



Obrázek 5.13: Napájení mikrokontroléru STM32F777BI [25]

RAM paměť

Vykreslování grafiky na displej je výpočetně náročné a je k tomu vyžadováno velké množství operační paměti. Z tohoto důvodu je k mikroprocesoru připojena externí operační paměť SDRAM (Synchronous Dynamic RAM) IS42S32400F, která dostatečně rozšiřuje celkovou paměť chytrého zobrazovacího panelu.



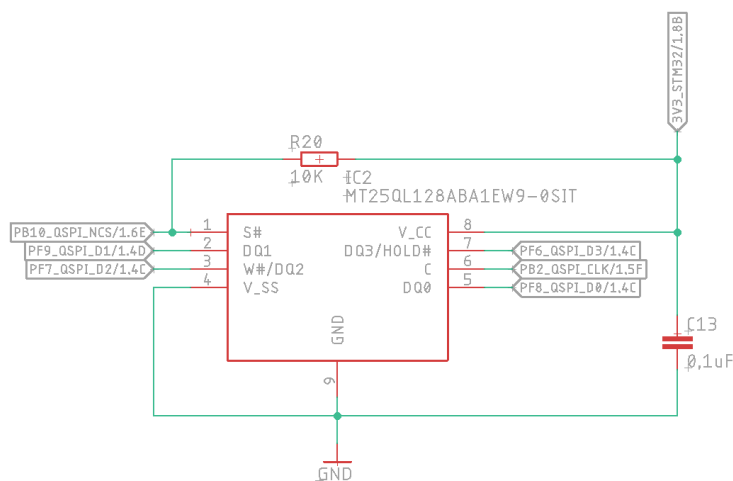
Obrázek 5.14: RAM paměť

Velikost IS42S32400F je 128 Mbit rozdělených do čtyř paměťových bank po 32 Mbit. SDRAM je napájena 3,3 V a její maximální odběr proudu je až 150 mA. Co nejbližše všem napájecím vstupům jsou umístěny blokovací kondenzátory s kapacitou 0,1 μ F. Paměť s mikroprocesorem komunikuje pomocí FMC sběrnice. Šířka této datové sběrnice je nastavována piny DQM0 až DMQ3, kterými SDRAM dis-

ponuje. Pro úsporu použitých pinů je šířka sběrnice nastavena na 16 bitů čili do mikroprocesoru jsou zapojeny pouze datové piny DQ0 až DQ15. Zbytek nevyužitých pinů paměti je přes pull-down odpory 10K přiveden na GND.[30]

Flash paměť

Pro uložení firmwaru a dalších programových dat, jako jsou například obrázky pro grafiku displeje, slouží Flash paměť. Aby bylo možné uložit více grafických prvků, které jsou zobrazovány na displeji, je k mikroprocesoru připojena externí Flash paměť MT25QL256ABA. Ta disponuje velikostí 256 Mbit rozdělených do osmi paměťových bank po 32 Mbit. Paměť při napájení napětím 3,3 V odebírá maximálně proud 35 mA. Co nejbližše napájecímu vstupu je umístěn blokovací kondenzátor s kapacitou 0,1 μ F.

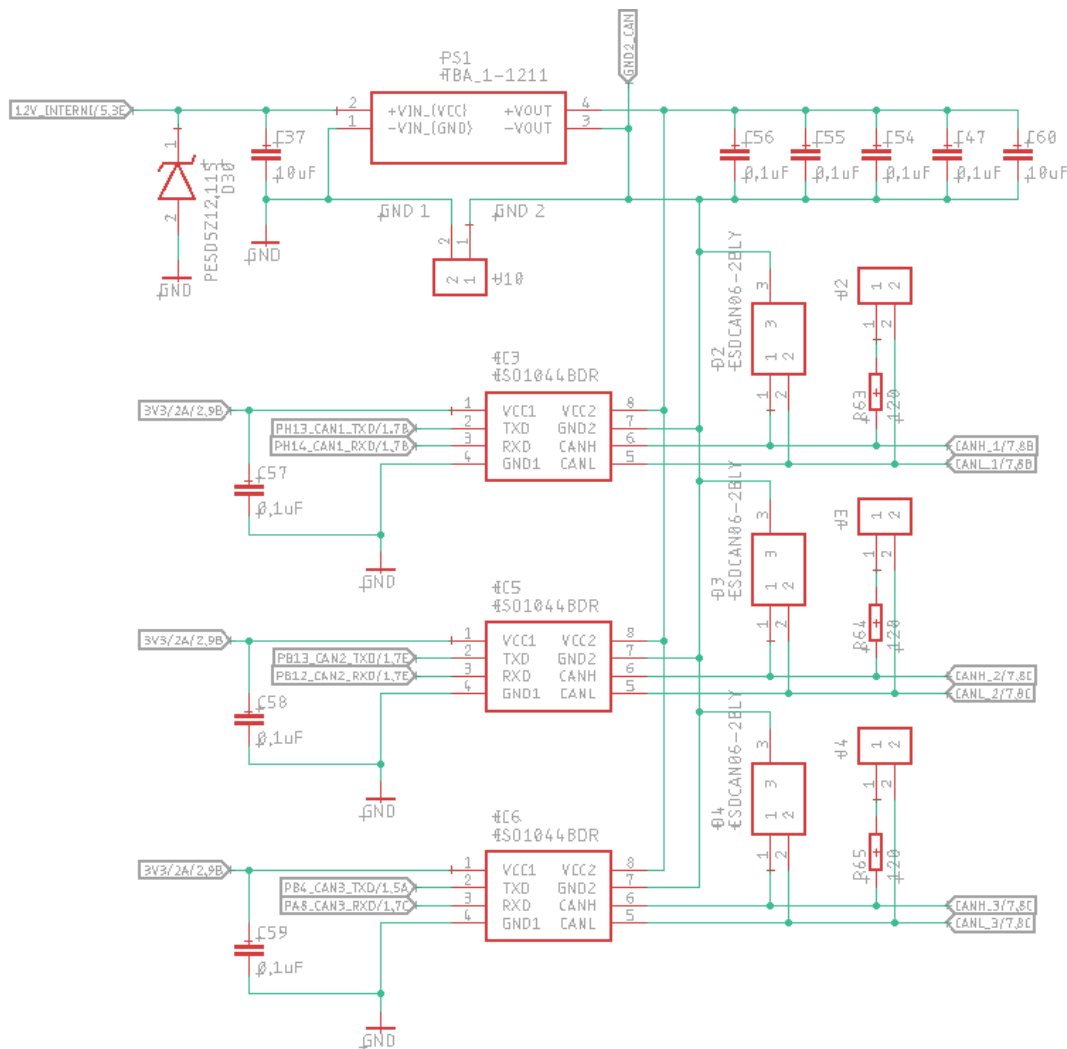


Obrázek 5.15: Flash paměť

Flash paměť je k mikroprocesoru připojena pomocí speciální sériové sběrnice Quad SPI, která má na rozdíl od klasické SPI sběrnice čtyři datové vodiče. Data mohou být přijímána a vysílána současně všemi datovými vodiči. Pull-up rezistor na vstupu chip select slouží k tomu, aby byla Flash paměť ve výchozím standby režimu, dokud nebude aktivována logikou 0 přivedenou z mikroprocesoru.[31]

CAN obvody

Mikroprocesor STM32F777BI podporuje komunikaci po CAN sběrnici, má ovšem implementovanou pouze datovou vrstvu. Jako fyzická vrstva proto musí být použit integrovaný obvod CAN vysílače, přes který může mikroprocesor přijímat a odesílat CAN zprávy. Pro všechny tři nezávislé CAN sběrnice, kterými chytrý zobrazovací panel disponuje, byly použity galvanicky oddělené CAN vysílače ISO1044BDR. Tyto vysílače podporují rychlost přenosu dat až 5 Mb/s. S mikroprocesorem komunikují pomocí TTL signálů TXD a RXD. Vysílače vyžadují pro své dvě galvanicky oddělené části rozdílná napájecí napětí a to 3,3 V a 5 V.

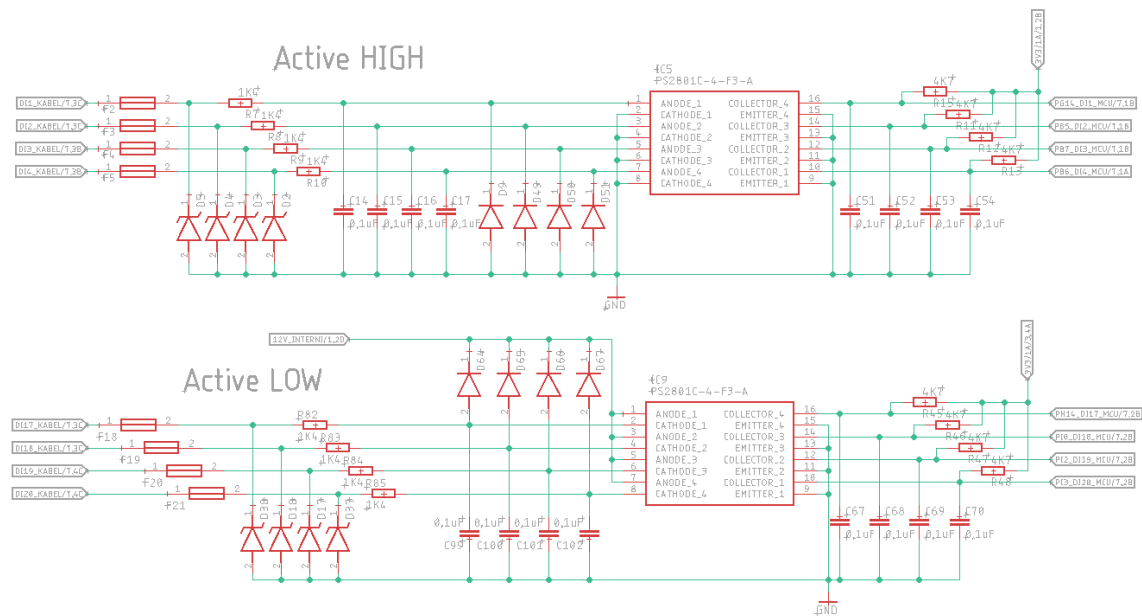


Obrázek 5.16: Galvanicky oddělené CAN vysílače

Obvod nabízí velké množství ochranných funkcí proti přepólování napětí a zkratu. Dále jsou k dispozici diagnostické funkce, pomocí kterých je možné identifikovat chyby na výstupu. Čip je zapojen dle doporučeného schématu v datovém listu viz [32]. Na výstupech jsou zapojeny blokovací kondenzátory C152 a C153 k pohlcení případného rušení. Oba kanály jsou spínány samostatně pomocí pinů EN1, EN2, které jsou zapojeny přes odpor 15K ke GPIO mikroprocesoru. Pro indikaci chyb slouží piny FLT1, FLT2, které jsou rovněž zapojeny přes odpor 15K ke GPIO mikroprocesoru. Kvůli nedostatku volných pinů MCU jsou některé diagnostické funkce deaktivovány, a tudíž jsou piny SNS, LATCH, SEL1, SEL2, DIA_EN zapojeny na GND přes pull-down rezistory.

Digitální vstupy

Chytrý zobrazovací panel disponuje celkem dvaceti čtyřmi digitálními vstupy. Z toho šestnáct je aktivních na logickou jedničku a osm na logickou nulu. Vstupy mají definovaný napěťový rozsah pro logickou jedničku od 3,3 V do 26 V. Pro větší ochranu mikroprocesoru jsou digitální vstupy odděleny pomocí optočlenů PS2801C.

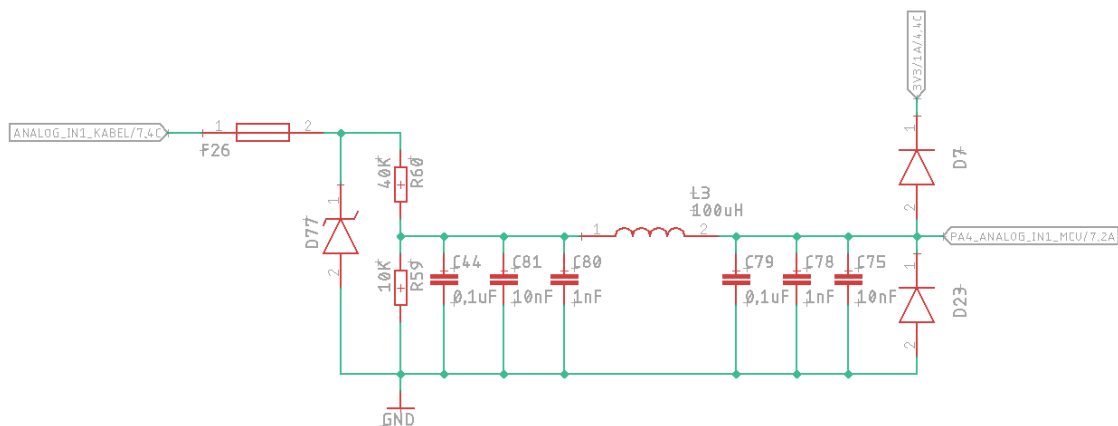


Obrázek 5.18: Digitální vstupy (12 V na 3,3 V) active HIGH/LOW

Každý vstup je ochráněn pojistkou s vypínacím proudem 90 mA a transilem s průrazným napětím 26 V, které určuje horní hranici napětového rozsahu. Sériově zapojené rezistory s odporem $1400\ \Omega$ nastavují pracovní proud pro LED diody uvnitř optočlenů. Schottkyho diody slouží jako ochrana proti přepólování. Co nejbližše vstupům a výstupům optočlenů jsou umístěny blokovací kondenzátory k pohlcení případného rušení. Tranzistorové výstupy optočlenů spínají přes pull-up rezistory signál do logických vstupů mikroprocesoru. Obvod digitálních vstupů je díky optočlenům připraven na případnou modifikaci, která by umožňovala mít oddělené GND pro jednotlivé vstupy. [33]

Analogové vstupy

Analogové vstupy s rozsahem vstupního napětí 0 až 10 V jsou řešeny pomocí jednoduchého odporového děliče a několika ochrannými prvky.



Obrázek 5.19: Analogové vstupy 0 - 10 V

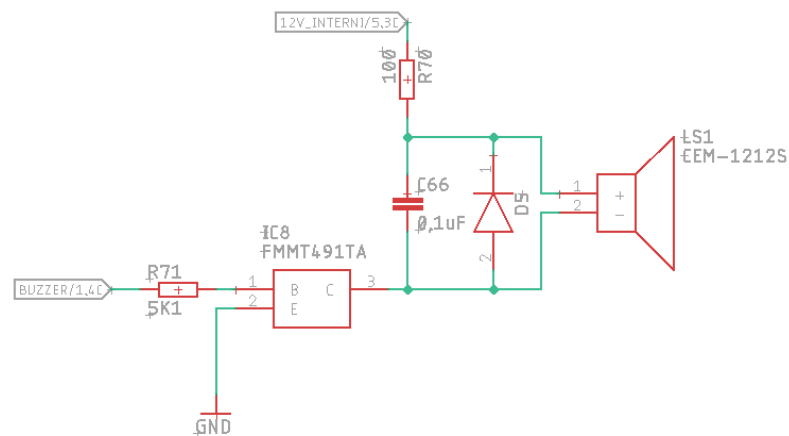
Rezistory R59 (10K) a R60 (40K) tvoří odporový dělič, jejich hodnoty jsou navrženy tak, aby dělič snižoval vstupní snímané napětí pětkrát. Díky tomu je možné zpracovávat takto snižené napětí analogovým vstupem mikroprocesoru, který dokáže zpracovat napětí v rozsahu 0 až 3,3 V. Keramické kondenzátory C44, C81, C80, C79, C78, C75 slouží k pohlcení vysokofrekvenčního rušení. Společně s tlumivkou L3 tvoří Pi filtr nastavený jako dolní propust. Mezní frekvence filtru lze vypočítat

dle vztahu viz rovnice 5.3. C v rovnici nahrazuje paralelní kombinaci kondenzátorů C44, C81 a C80. Mezní frekvence filtru je pro uvedené hodnoty zhruba 48 kHz. Analogový vstup je chráněn proti nadproudu pojistkou F26. Proti přepětí je paralelně ke vstupu zapojen transil D77 s průrazným napětím 11,1 V. Vstup mikroprocesoru je chráněn proti zápornému napětí a napětí vyššímu než 3,3 V dvěma schottkyho diodami D23 a D7.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5.3)$$

Zvuková signalizace

Zvuková signalizace slouží pro akustické upozornění na chybové stavy či závady v elektromobilu. Pro její realizaci je použit magnetický bzučák s frekvencí 2,4 kHz a hladinou akustického tlaku 85 dB. Bzučák je napájen napětím 12 V - interní a vyžaduje proud až 40 mA. Ovládán je pomocí PWM signálu, který je přiváděn na bázi bipolárního tranzistoru.



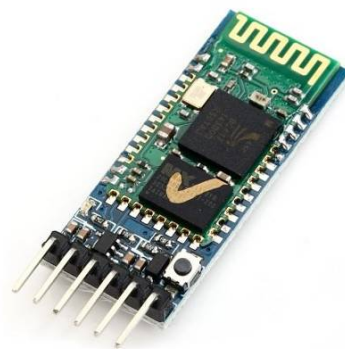
Obrázek 5.20: Zvuková signalizace - magnetický bzučák

Rezistor R71 nastavuje pracovní proud tekoucí do báze, při kterém se tranzistor otevře. Magnetický bzučák je v podstatě induktivní zátěží, proto je nutné použít schottkyho diodu D5, která upíná indukované napětí vznikající rychlým uzavřením

tranzistoru. Rezistor R70 s kondenzátorem C66 tvoří dolní propust, která filtruje vysoké frekvence.

Bluetooth modul

Pro bezdrátovou komunikaci je použit komerčně dostupný Bluetooth modul HC-05. Tento modul je k finální DPS připojen externě pomocí šesti pinů. S mikroprocesorem komunikuje pomocí UART sběrnice (vodiče RXD, TXD). Dále jsou k MCU připojeny piny ENABLE a STATE. ENABLE slouží pro nastavení datového módu (logickou 0) nebo příkazového módu (logickou 1), defaultní je datový mód. STATE je výstupní vodič, který je připojen k LED diodě na desce modulu a signalizuje stavy, ve kterých se modul právě nachází.

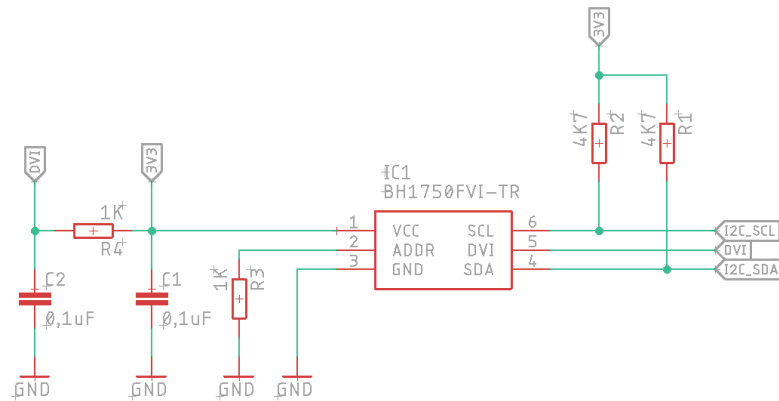


Obrázek 5.21: Bluetooth modul [34]

Modul je z výroby navržen pro napájecí napětí 5 V. Na finální DPS se nenachází 5 V napájecí větev, proto byl Bluetooth modul upraven tak, aby mohl být použit s napájecím napětím 3,3 V. Této úpravy bylo dosaženo odpájením LDO regulátoru, který se na desce modulu nachází a snižuje vstupní napětí 5 V na 3,3 V, kterým je napájen Bluetooth čip.[34]

Senzor světla

Senzor světla je použit, aby mohlo být automaticky upravováno podsvícení displeje vzhledem k světelným podmínkám v kabině vozu. Vybráno bylo čidlo BH1750FVI, jehož provozní napájecí napětí je 3 V. Disponuje rozlišením 16 bit a s mikroprocesorem komunikuje pomocí I2C sběrnice. R1, R2 slouží jako pull-up rezistory, které na svých vodičích pro správnou funkci vyžaduje I2C sběrnice. Keramické blokovací kondenzátory C1, C2 filtrují případné rušení na napájecím napětí. Pull down rezistor přivedený na pin ADDR nastavuje I2C adresu čidla na 0×23 . Pokud by byla na pin ADDR přivedena logická 1, byla by adresa nastavena na $0 \times 5A$. Funkci resetu zastává pin DVI, který je přes pull-up přiveden na 3,3 V, aby bylo čidlo stále v aktivním stavu.



Obrázek 5.22: Senzor světla

6 Testování a firmware

Po osazení finální DPS ji bylo potřeba oživit a ověřit její funkčnost. Následně byl pro mikroprocesor vytvořen firmware, který ovládá jednotlivé periferie chytrého zobrazovacího panelu.

6.1 Testování

Testování finální DPS pro chytrý zobrazovací panel proběhlo v laboratorních podmínkách. Za účelem otestování jednotlivých periférií bylo vytvořeno několik programů, které ověřují jejich funkci. Tyto programy byly napsány ve vývojovém prostředí STM32CubeIDE, které poskytuje nástroje pro konfiguraci jednotlivých pinů procesoru, nastavování sběrnic či frekvence hodin. To jakým způsobem byly dílčí obvody ověřovány je popsáno v následujících bodech.

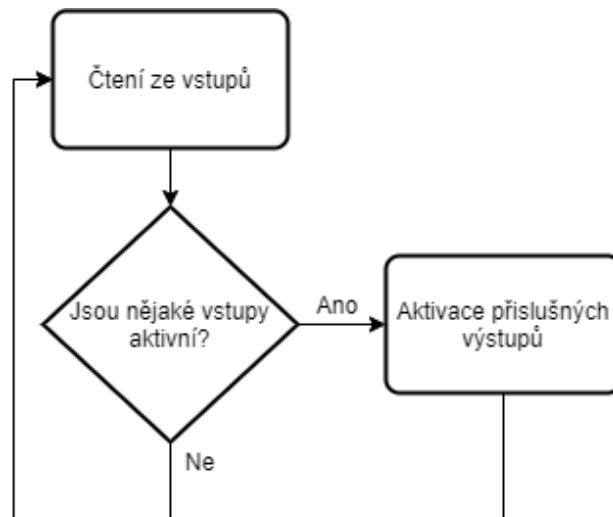
Napájecí obvody

Pro ověření napájecích obvodů byl použit laboratorní zdroj, pomocí kterého byla DPS napájena napětím 12 V. Na výstupu regulátoru, který snižuje napájecí napětí z 12 V na 3,3 V bylo pomocí multimetru naměřeno stabilních 3,288 V. Na dvou výstupech pro napájení senzorů bylo pomocí multimetru naměřeno stabilních 10 V a 9,96 V.

Digitální vstupy/výstupy

Digitální vstupy a výstupy byly ověřeny pomocí jednoduchého programu viz Obr. 6.1, který v nekonečné smyčce čte aktuální stav všech digitálních vstupů. V případě,

že je některý ze vstupů v aktivním stavu, sepne se do aktivního stavu i příslušný digitální výstup. Vstupy byly aktivovány napětím z laboratorního zdroje. Díky tomu mohl být ověřen rozsah napětí 3,3 V až 26 V, při kterém jsou vstupy v logické 1. Funkčnost výstupů byla ověřena tak, že v aktivním stavu spínaly výkonová relé.



Obrázek 6.1: Testování digitálních vstupů/výstupů

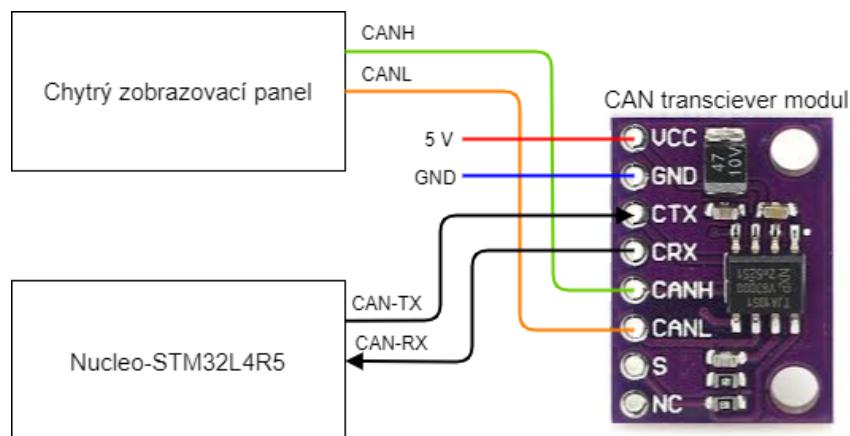
Analogové vstupy

Funkce analogových vstupů byla ověřena v jejich plném rozsahu 0 až 10 V. Napětí přiváděné na jednotlivé vstupy bylo regulováno pomocí potenciometru. Příslušné piny mikroprocesoru byly nastaveny jako ADC s rozlišením 12 bitů. Odporový dělič snižuje vstupní napětí pětkrát, tudíž při maximálním napětí 10 V je na pinu mikroprocesoru napětí 2 V. Toto napětí při ADC rozlišení 12 bitů odpovídá hodnotě 2482, která je vyčítána v programu.

CAN sběrnice

K testování jednotlivých CAN sběrnic, kterými finální DPS disponuje, bylo potřeba další zařízení, se kterým by mohl chytrý zobrazovací panel po sběrnici CAN komunikovat. Pro tento účel byla použita vývojová deska NUCLEO-STM32L4R5 v kombinaci s modulem CAN vysílače. Tímto způsobem viz Obr.6.2 lze simulo-

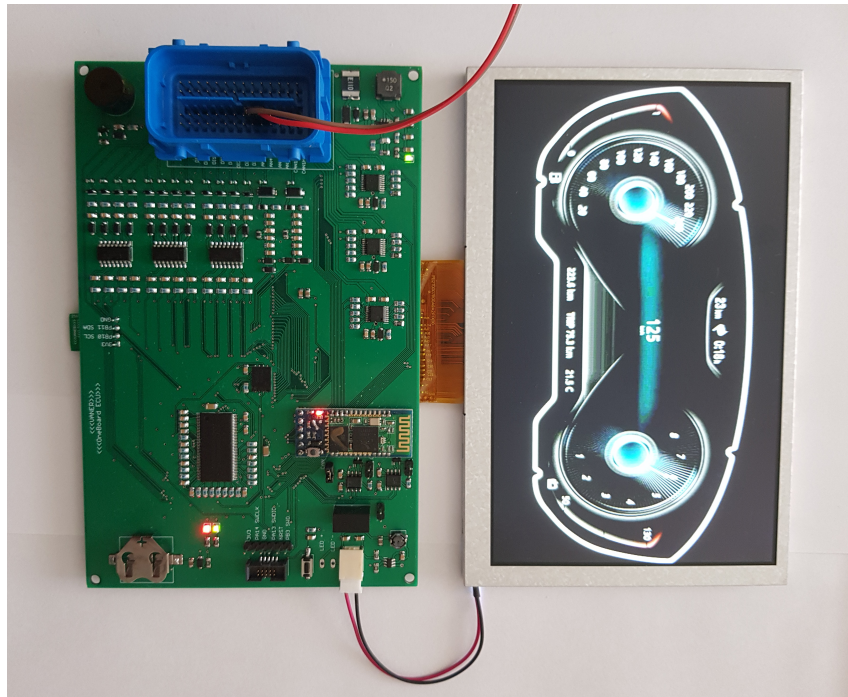
vat CAN komunikaci v laboratorních podmínkách. Pro obě desky byly vytvořeny programy, které umožňují jejich vzájemnou komunikaci po CAN sběrnici. Důležité bylo nastavit v obou programech stejné parametry sběrnice. Program obsluhující NUCLEO desku posílá CAN zprávy se specifickým ID. Chytrý zobrazovací panel tyto zprávy přijímá pomocí přerušení a díky správně nastavenému CAN filtru je následně zpracovává a čte.



Obrázek 6.2: Zapojení při testování CAN sběrnice

Displej

Zároveň s displejem byl otestován obvod pro napájení jeho podsvícení. Intenzita podsvícení lze měnit pomocí PWM signálu, který je v programu generován časovačem. Displej přijímá data pomocí RGB sběrnice. Pro obsluhu této sběrnice disponují mikroprocesory od společnosti ST periferií LTDC. V nastavení LTDC je potřeba definovat rozlišení displeje, frekvenci hodin sběrnice a počet vertikálních a horizontálních synchronizačních pulsů. Tyto parametry jsou uvedeny v dokumentaci displeje viz [22]. V LTDC periférii je dále definován typ RGB sběrnice, v testovacím programu byl použit 16 bitový formát, lze ovšem nastavit i 24 bitů. Pro lepší vykreslování grafiky na displeji byl aktivován DMA2D grafický akcelerátor. Jedná se o speciální periférii, kterou mikroprocesor STM32F777BI disponuje pro rychlejší manipulaci s obrázkem. Funkčnost displeje byla ověřena programem, který na obrazovce vykresluje statický obrázek viz Obr. 6.3



Obrázek 6.3: Test displeje statickým obrázkem

Ostatní periferie

Funkčnost zvukové signalizace byla ověřena programem generující PWM signál. Ten je přiváděn na bázi tranzistoru, který spíná/rozepíná napájení magnetického bzučáku, čímž je produkován zvuk.

Pro otestování Bluetooth modulu bylo potřeba správně nakonfigurovat sběrnici UART, pomocí které modul komunikuje s mikroprocesorem a také nastavit pin EN na logickou 1 pro aktivaci modulu. Funkčnost byla ověřena pomocí programu, který z Bluetooth modulu přijímá zprávy s klíčovými slovy. Na jejich základě ovládá mikroprocesor dvě LED diody, kterými finální DPS disponuje. Pro odesílání bluetooth zpráv z mobilního telefonu byla použita aplikace Serial Bluetooth Terminal.

6.2 Firmware

Po dostatečném ověření všech funkcí chytrého zobrazovacího panelu byl na základě testovacích programů vytvořen firmware, který ovládá jeho jednotlivé periferie.

Nastavuje konfiguraci všem použitým pinům mikroprocesoru. Ovládá digitální vstupy/výstupy, čte analogové vstupy, specifikuje chování CAN sběrnic a RGB rozhraní. Tento firmware, který nastavuje hardwarovou konfiguraci a obsluhuje ji, byl předán externímu programátorovi. Ten na daný firmware navázal vyšší abstraktní vrstvy, které si z vytvořeného programu berou potřebné informace. Tyto informace jsou následně zobrazovány na displej. Vytvoření grafického designu a abstraktní vrstvy, která s grafickou knihovnou komunikuje, nebylo součástí zadání této diplomové práce, protože se jedná o velmi obsáhlou problematiku. Pro ucelení celkového pohledu na chytrý zobrazovací panel je v následující kapitole popsána funkčnost kompletního firmwaru použitého pro elektromobil FIDO, včetně abstraktní vrstvy a grafické knihovny.

Popis výsledného firmwaru

V automobilových aplikacích je zásadní, aby elektronické systémy pracovaly v reálném čase. Z tohoto důvodu je výsledný firmware založen na koncepci operačního systému pracujícího v reálném čase. Mikroprocesory od společnosti ST pro tyto účely využívají operační systém FREERTOS. K vytvoření grafického designu byla využita open source grafická knihovna LVGL.

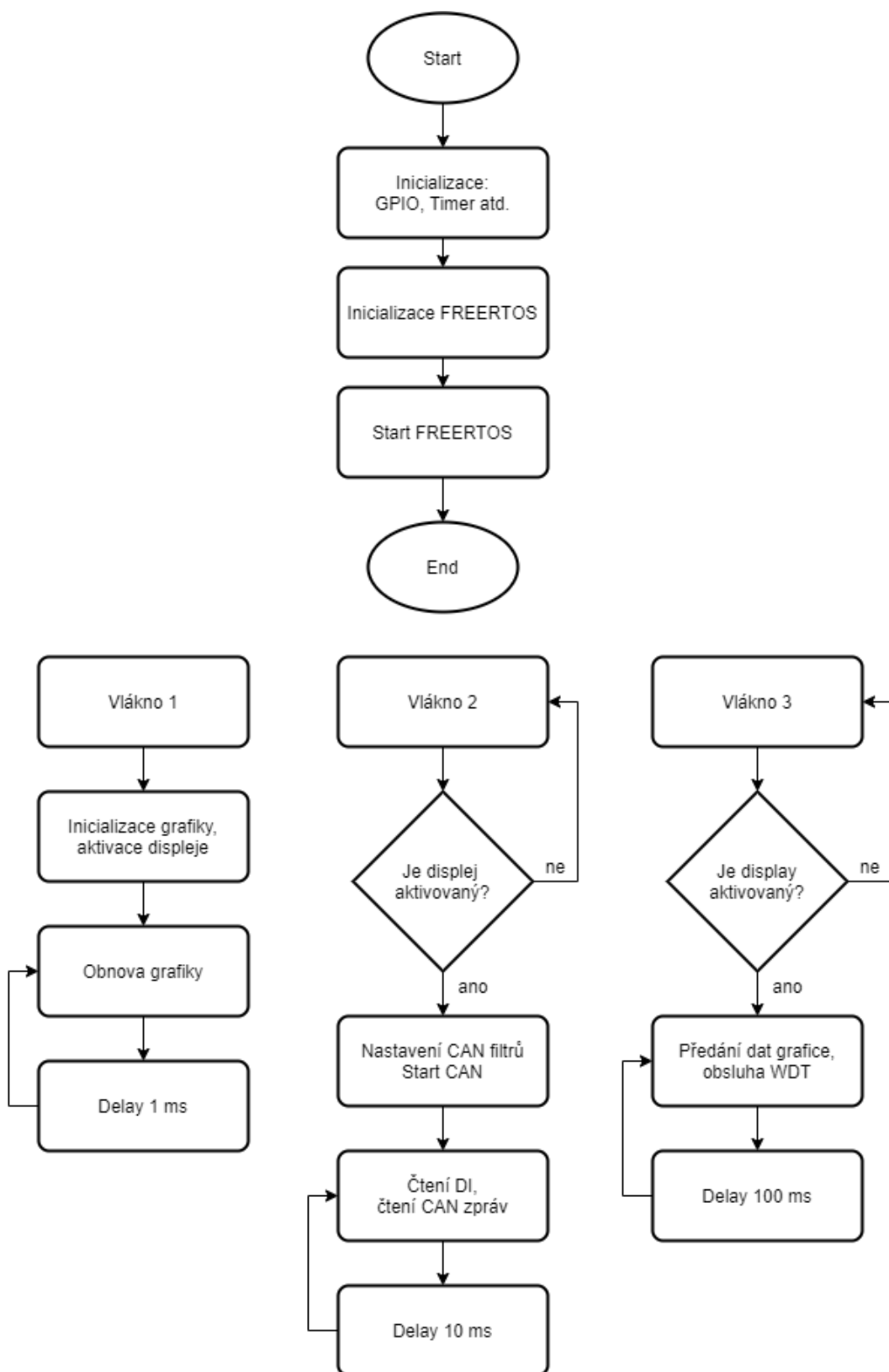
Struktura firmwaru je popsána vývojovým diagramem viz Obr.6.4. Po spuštění mikroprocesoru se nejprve inicializují všechny nakonfigurované periferie, jako jsou vstupní/výstupní piny, časovače, RTC, LTDC a další prvky. Následně je inicializován také operační systém FREERTOS a je spuštěn takzvaný scheduler, který je zodpovědný za rozhodování, které vlákno se v určité chvíli bude vykonávat. FREERTOS je nakonfigurován tak, že na něm souběžně operují tři vlákna se stejnou prioritou.

První vlákno běží každou 1 ms. Nejprve se v něm inicializuje grafická knihovna a piny, které ovládají displej, se nastaví do výchozích stavů tak, aby byl displej v normálním režimu s aktivovaným podsvícením. Následně je v cyklu obnovována grafická knihovna, která potřebuje pro svou činnost přesné časování. Tímto způsobem je zajištěno vykreslování grafiky zobrazované na displeji čili obnovování nebo

změna grafických prvků a animace se vykonávají v tomto vlákne.

Druhé vlákno běží každých 10 ms. Při spuštění nejprve čeká na splnění podmínky, zda již byl displej aktivován a je na něm zobrazena grafika. Po splnění této podmínky jsou nastaveny parametry jednotlivých CAN sběrnic včetně jejich filtrů pro čtení specifických zpráv z BMS, kontrolérů motorů a dalších jednotek vozu. Poté jsou všechny CAN sběrnice aktivovány. Následně jsou v cyklu vyčítány hodnoty z digitálních vstupů, ke kterým jsou připojeny například světla, blinkry, ruční brzda atd. Zároveň v cyklu probíhá i čtení a dekódování CAN zpráv z jednotlivých sběrnic. Ze zpráv od BMS jsou vyčítány informace o stavu nabití baterie a aktuálním odběru proudu a napětí. Z nabíječky je zjišťována informace, zda se vůz aktuálně dobíjí. Kontroléry motoru posílají zprávy o rychlosti vozu a jízdním režimu. Všechny přečtené údaje, jak z digitálních vstupů, tak i z CAN zpráv jsou ukládány do jedné hlavní datové struktury.

Třetí vlákno běží každých 100 ms. Při spuštění nejprve čeká na splnění podmínky, zda již byl displej aktivován a je na něm zobrazena grafika. Pokud je tato podmínka splněna, vstoupí vlákno do nekonečného cyklu. V tomto cyklu jsou periodicky předávány hodnoty z hlavní datové struktury do grafické knihovny. V podstatě se zde grafické knihovně říká, jaké prvky má vykreslit. V neposlední řadě je v tomto cyklu také obsluhován WatchDog časovač, který hlídá plynulý běh programu.



Obrázek 6.4: Firmware použitý pro elektromobil FIDO

7 Výsledné zařízení a zhodnocení výsledků

7.1 Výsledné zařízení

Chytrý zobrazovací panel se skládá z desky plošných spojů a sedmi palcového displeje, který je k desce připojen plochým kabelem. Aby bylo možné umístit celé zařízení do elektromobilu FIDO, byla pro něj navržena vlastní krabička. Ta byla vytvořena v programu Fusion 360 od společnosti Autodesk. Rozměry krabičky byly přizpůsobeny rozměrům DPS, displeje a elektromobilu FIDO. Krabička se skládá ze dvou částí, a to hlavního těla a rámečku displeje. Obě části byly vytisknuty na 3D tiskárně. Následně byla finální deska plošných spojů společně s displejem instalována do vytvořené krabičky viz Obr. 7.1.



Obrázek 7.1: Výsledný chytrý zobrazovací panel v navržené krabičce

7.2 Zhodnocení výsledků

Shrnutí dosažených výsledků

Během práce bylo navrženo hned několik desek plošných spojů. Nejprve bylo vytvořeno modulární řešení chytrého zobrazovacího panelu skládající se z MCU desky, shield desky, displejové desky a displeje. Pomocí modulárního řešení byly ověřeny funkce navržených obvodů a byl otestován zvolený mikroprocesor STM32F777BI. Následně byl realizován finální návrh desky plošných spojů, který se skládá z mírně modifikovaných ověřených obvodů v modulárním řešení a dalších přidaných periferií, jako jsou bluetooth modul, senzor světla a zvuková signalizace. Finální DPS byla otestována v laboratorních podmínkách několika programy ověřující funkci CAN sběrnic, digitálních vstupů/výstupů, analogových vstupů, napájecích obvodů, displeje, zvukové signalizace atd. Následně byl pro chytrý zobrazovací panel vytvořen firmware, který definuje hardwarovou konfiguraci a obsluhuje jeho jednotlivé periferie. Finální deska s displejem byla zabudována do vytvořené krabičky. Chytrý zobrazovací panel je tedy v dokončeném stavu a je připraven pro implementaci do elektromobilu FIDO. Aktuálně je v elektromobilu nainstalována modulární verze chytrého zobrazovacího panelu viz příloha 7.2, která bude nahrazena finálním zařízením.

Možnosti dalšího vývoje

Během testování finální DPS bylo zjištěno několik nedokonalostí, které by bylo možné v případě dalšího vývoje chytrého zobrazovacího panelu vylepšit. Ovládací pin zvukové signalizace, který ji řídí pomocí PWM signálu, je přiveden na obyčejný GPIO pin mikroprocesoru. Pro snazší generování PWM signálu by bylo vhodnější ho zapojit na pin, který disponuje výstupem z časovače, jenž je pro generování PWM signálu designován. Obvody digitálních vstupů jsou díky optočlenům připraveny na případnou modifikaci, která by umožňovala mít oddělené GND pro jednotlivé vstupy pracující s napětím až 26 V a logické obvody operující na napětí 3,3 V. Toto galvanicky oddělené řešení by přispělo k lepší ochraně logických obvodů.

Dalším krokem ve vývoji chytrého zobrazovacího panelu by mohlo být podrobení EMC zkoušce. Otestována by měla být odolnost vůči elektromagnetickému

rušení a změřeno by mělo být i vyzařování elektromagnetických vln. Splněním EMC zkoušky, případně i dalších například teplotních testů, by chytrý zobrazovací panel vyhověl požadavkům automotive standardů.

Vytvořený chytrý zobrazovací panel disponuje mnoha periferiemi. Jednou z nich je i bluetooth modul. Ten by mohl být využit pro komunikaci s mobilní aplikací, kterou by bylo možné vytvořit v návaznosti na tuto práci. Aplikace by například mohla disponovat diagnostickými funkcemi, nastavením vzhledu zobrazovaného grafického uživatelského rozhraní na displeji či odemkat vůz na dálku.

Chytrý zobrazovací panel využívá IPS LCD displej, protože bylo požadováno data pouze zobrazovat a nebyla vyžadována interakce s uživatelem vozu. Navržená schémata by bylo možné lehce modifikovat pro použití displeje s dotykovou vrstvou a bylo by tak možné na základě této práce vyvinout podobné řešení pro další specifické aplikace, ve kterých by se uplatnil dotykový displej.

Cenová kalkulace

Vyvinutý chytrý zobrazovací panel je zařízení sloužící pro specifické účely, které byly vyžadovány pro elektromobil FIDO. Je proto složité porovnávat ho s komerčně dostupnými řešeními, která nedisponují všemi požadovanými vlastnostmi. Naopak mají některé prvky navíc, čímž jejich cena roste. Pro představu je ovšem v tabulce viz Tab. 7.1 uvedena orientační cena vyvinutého zobrazovacího panelu a komerčně dostupných zobrazovacích jednotek, které byly zmíněny v kapitole viz [Rešerše komerčních řešení na trhu](#).

Zobrazovací panel	Cena [Kč]
Ecumaster ADU 7	34 400
Bosch DDU 10	150 000
Vyvinutý chytrý zobrazovací panel	4 500

Tabulka 7.1: Orientační porovnání cen s dostupnými komerčními řešeními

Orientační cena nákladů na výrobu jednoho chytrého zobrazovacího panelu činí 4500 Kč. Tato cena zahrnuje displej za 1305 Kč, výrobu DPS za 250 Kč, mikroprocesor STM32F777BI za 453 Kč a další integrované obvody a pasivní součástky, ze kterých se panel skládá. Do orientační ceny nejsou započítány náklady na vývoj a čas nad ním strávený.

Závěr

Diplomová práce se zabývala realizací elektroniky chytrého zobrazovacího panelu pro elektromobil FIDO. Výsledkem je vytvořené komplexní zařízení skládající se z desky plošných spojů a displeje zabudovaného v navržené krabici. Tím jsou splněny všechny body definované v zadání práce.

V práci byla nastíněna vnitřní struktura elektromobilu FIDO, ze které vzešly požadavky na hardware a software chytrého zobrazovacího panelu. Byla provedena rešerše dostupných komerčních řešení, jejímž účelem bylo zjistit, zda již existuje hotové řešení, které by vyhovovalo specifickým nárokům elektromobilu FIDO. Závěrem rešerše bylo zjištěno, že pro takto konkrétní aplikaci je výhodnější realizovat vlastní řešení.

Ve fázi návrhu byly vybrány klíčové komponenty s ohledem na automotive standardy. Následně byla na základě požadavků vytvořena bloková schémata chytrého zobrazovacího panelu. Při realizaci bylo nejprve vytvořeno modulární řešení skládající se z několika desek plošných spojů pro ověření základních obvodů a zvoleného mikroprocesoru STM32F777BI. Následně byla vytvořena finální deska plošných spojů se všemi požadovanými periferiemi. Pro mikroprocesor byl vytvořen firmware, který definuje hardwarovou konfiguraci a ovládá potřebné periferie chytrého zobrazovacího panelu. Funkčnost výsledného zařízení byla dostatečně ověřena v laboratorních podmínkách. Chytrý zobrazovací panel je tedy připraven k implementaci do elektromobilu FIDO.

Literatura

- [1] KOČÁRKOVÁ, Jaroslava. *Malý elektromobil FIDO* [online]. 2020 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.fm.tul.cz/fakulta/napsali-o-nas/maly-elektromobil-fido>.
- [2] COMBATRA SPOL. S.R.O. *Malý městský elektromobil FIDO* [online] [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.combatra.cz/elektromobily.htm>.
- [3] STEPHEN ST. MICHAEL. *Introduction to CAN (Controller Area Network)* [online]. 2019 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-can-controller-area-network/>.
- [4] SRI HARI KARTHIK. *Types of Motors used in Electric Vehicles* [online]. 2019 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev>.
- [5] QS MOTOR. *12inch 5000W 260Model E-Scooter Hub Motor (45H) V4 Type* [online] [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://www.qs-motor.com/product/12inch-5000w-260-e-scooter-hub-motor-v3-type/>.
- [6] SEVCON. *Gen4 DC* [online] [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://www.sevcon.com/products/low-voltage-controllers/gen4-dc/>.
- [7] EVREPORTER. *Why is Battery Management System needed in Electric Vehicles?* [Online] [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://evreporter.com/battery-management-system-for-electric-vehicles/>.
- [8] *Taking charge of electric vehicles – both in the vehicle and on the grid* [online]. 2020 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/wp/szzy007a/szzy007a.pdf?ts=1615631319375>.
- [9] EMADI, Ali. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-138-07285-5.
- [10] CSS ELECTRONICS. *OBD2 Explained - A Simple Intro* [online] [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-obd2-explained/language/en>.
- [11] *Protection of automotive electronics from electrical hazards, guidelines for design and component selection* [online]. 2012 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.st.com/resource/en/application_note/cd00181783-protection-of-automotive-electronics-from-electrical-hazards-guidelines-for-design-and-component-selection-stmicroelectronics.pdf. Rev 3.

- [12] ZAMAN, Najamuz. *Automotive electronics design fundamentals*. Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-17583-6.
- [13] RUTRONIK. *A well-equipped protection force: Overvoltage and overcurrent protection components* [online]. 2020 [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.rutronik.com/article/a-well-equipped-protection-force-overvoltage-and-overcurrent-protection-components/?campaign=newsletter%5C%2Ffrutronik%5C%2Fkw31%5C%2FEN-NL%5C%2Fknowledge%5C%20artikel%5C%20bild>.
- [14] *Fundamentals of Resettable Functionality in PPTC Devices* [online]. 2016 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: https://m.littelfuse.com/~media/electronics/technical_papers/resettable_ptcs/littelfuse_fundamentals_of_resettable_functionality_in_pptc_devices_technical_paper.pdf.
- [15] ECUMASTER. *Advanced Display Unit* [online] [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.ecumaster.com/products/adu/>.
- [16] BOSCH ENGINEERING GMBH. *Display DDU 10* [online] [cit. 2021-01-26]. Dostupné z: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/54977931229645195.html#/Tabs=54982923/>.
- [17] CONTINENTAL AG. *Generic Vehicle Control Unit* [online] [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.continental-automotive.com/en-gl/Trucks-Buses/Vehicle-Chassis-Body/Vehicle-Control/Generic-Vehicle-Control-Unit>.
- [18] ECOTRON LLC. *SCU-Supervisory Control unit* [online] [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.ecotrons.com/scu/>.
- [19] *FAILURE MECHANISM BASED STRESS TEST QUALIFICATION FOR INTEGRATED CIRCUITS* [online]. 2014 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: http://www.aecouncil.com/Documents/AEC_Q100_Rev_H_Base_Document.pdf. Rev. H.
- [20] *Parallel Interfaces MCU vs. RGB* [online]. [N.d.] [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://focuslcds.com/content/Parallel%5C%20Interfaces%5C%20MCU%5C%20vs.%5C%20RGB.pdf>.
- [21] *SPECIFICATION FOR LCD MODULE* [online]. [N.d.] [cit. 2021-02-09]. Č. AFK800480A0-7.0N12NTH. Dostupné z: <https://www.orientdisplay.com/pdf/AFK800480A0-7.0N12NTH.pdf>. Rev. V01.
- [22] WINSTAR. *7" 800x480 High Brightness, Wide Temperature IPS TFT LCD Panel* [online] [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.winstar.com.tw/products/tft-lcd/ips-tft/ips-800x480.html>.
- [23] *Tiva™ TM4C129XNCZAD Microcontroller* [online]. 2014 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c129xnczad.pdf?ts=1617889740324&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fwww.ti.com%5C%252Fproduct%5C%252FTM4C129XNCZAD.
- [24] *LPC435x/3x/2x/1x* [online]. 2020 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/LPC435X_3X_2X_1X.pdf. Rev. 5.4.

- [25] *STM32F777xx STM32F778Ax STM32F779xx* [online]. 2017 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f777bi.pdf>. Rev. 6.
- [26] SCHENZEN LC TECHNOLOGY. *STM32F429IGT6 Development board Cortex-M4 core board* [online] [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://www.chinalctech.com/cpzx/2/444.html>.
- [27] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. BEN-technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-181-0.
- [28] *TPS54202H 4.5-V to 28-V Input, 2-A Output, SWIFT™ Synchronous Step Down Voltage Converter* [online]. 2016 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54202h.pdf?HQS=dis-mous-null-mousermode-dsf-pf-null-ww&ts=1618759934230&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fcz.mouser.com%5C%252F.
- [29] *TPS92200 4-V to 30-V Input Voltage, 1.5-A Output Current, Synchronous Buck LED Driver With Flexible Dimming Options* [online]. 2020 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps92200.pdf?ts=1618861556393&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fcz.mouser.com%5C%252FProductDetail%5C%252FTexas-Instruments%5C%252FTPS92200D1DDCR%5C%253Fqs%5C%253DsPbYRqrBIV17ewj3B%5C%252FaQMA%5C%253D%5C%253D.
- [30] *IS42S32400F* [online]. 2015 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/198/42-45S32400F-258273.pdf>. Rev. D.
- [31] *Micron Serial NOR Flash Memory* [online]. 2014 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/671/mict_s_a0004480417_1-2290851.pdf.
- [32] *TPS2HB16-Q1 40-V, 16-mΩ Dual-Channel Smart High-Side Switch* [online]. 2020 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2hb16-q1.pdf?HQS=dis-mous-null-mousermode-dsf-pf-null-ww&ts=1619273483320&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fcz.mouser.com%5C%252F.
- [33] BOYLESTAD, Robert L a Louis NASHELSKY. *Electronic Devices and Circuit Theory* 11th ed. 2018. ISBN 978-0132622264.
- [34] COMPONENTS101. *HC-05 - Bluetooth Module* [online] [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://components101.com/wireless/hc-05-bluetooth-module>.

A Obsah přiloženého DVD

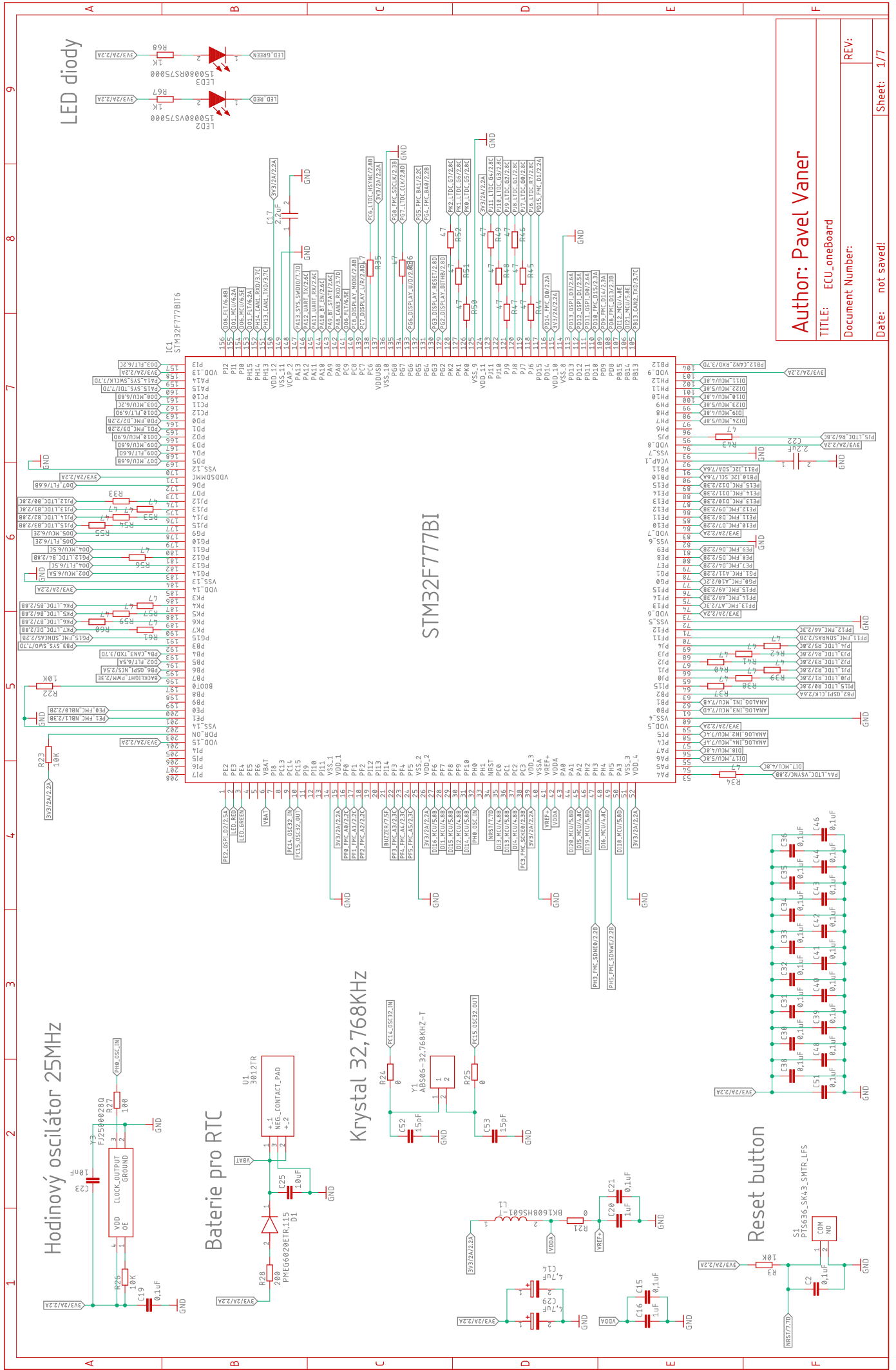
- Diplomová práce - ve formátu .pdf
- Schéma DPS pro chytrý zobrazovací panel - ve formátu .pdf
- Schémata všech vytvořených DPS - ve formátu .sch a .brd
- Projekt s firmwarem - ve formátu .c
- Fotografie
- Vývojové diagramy a bloková schémata
- Model navržené krabičky - ve formátu .stl

B Modulární verze chytrého zobrazovacího panelu v elektromobilu FIDO

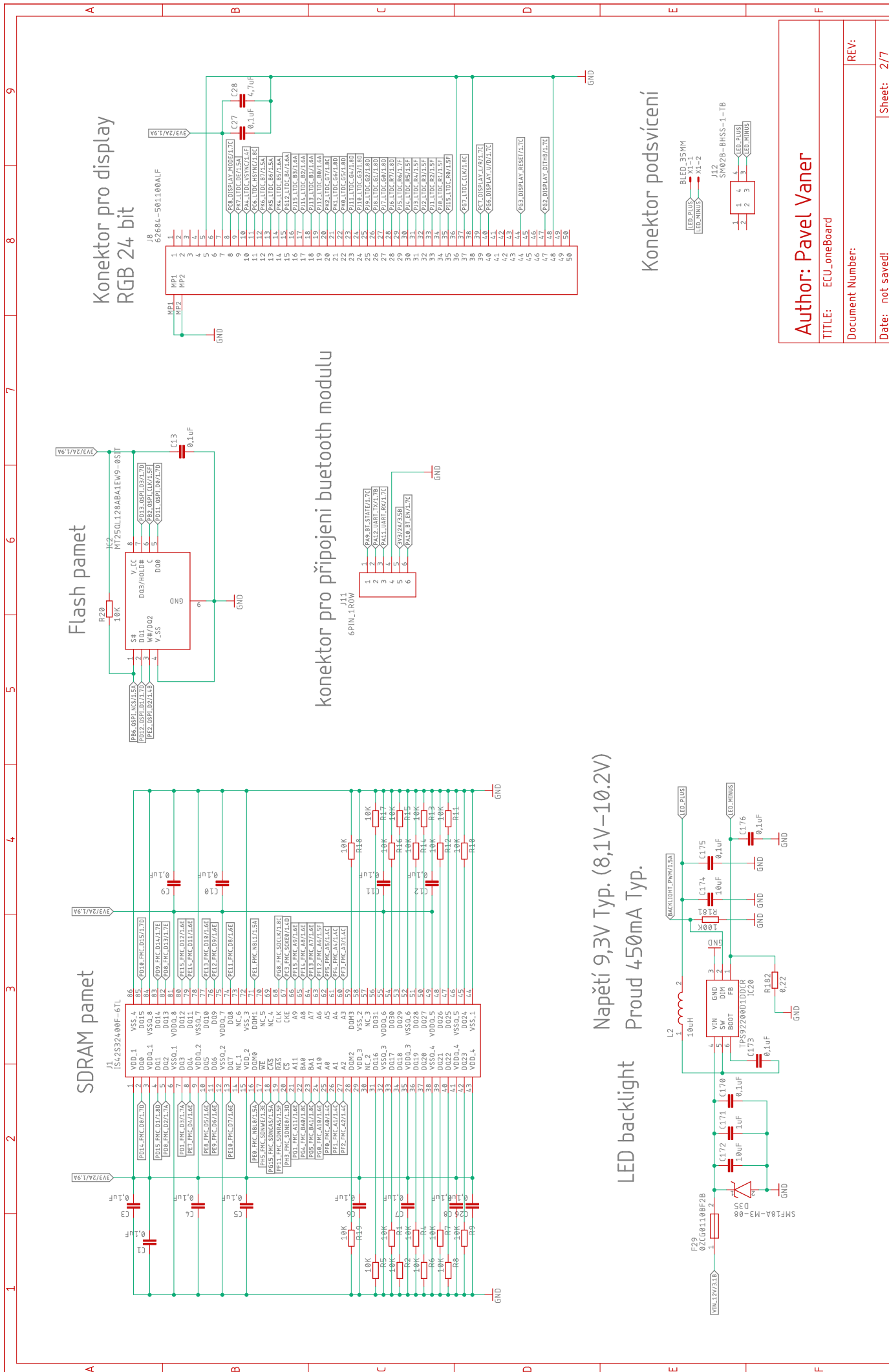


Obrázek 7.2: Modulární verze chytrého zobrazovacího panelu v elektromobilu FIDO

C Schéma DPS pro chytrý zobrazovací panel

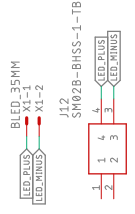


Author: Pavel Vaner
 TITLE: ECU_oneBoard
 Document Number:
 Date: not saved!
 Sheet: 1/7
 REV:



Napětí 9,3V Typ. (8,1V-10,2V)
Proud 450mA Typ.

Konektor podsvícení



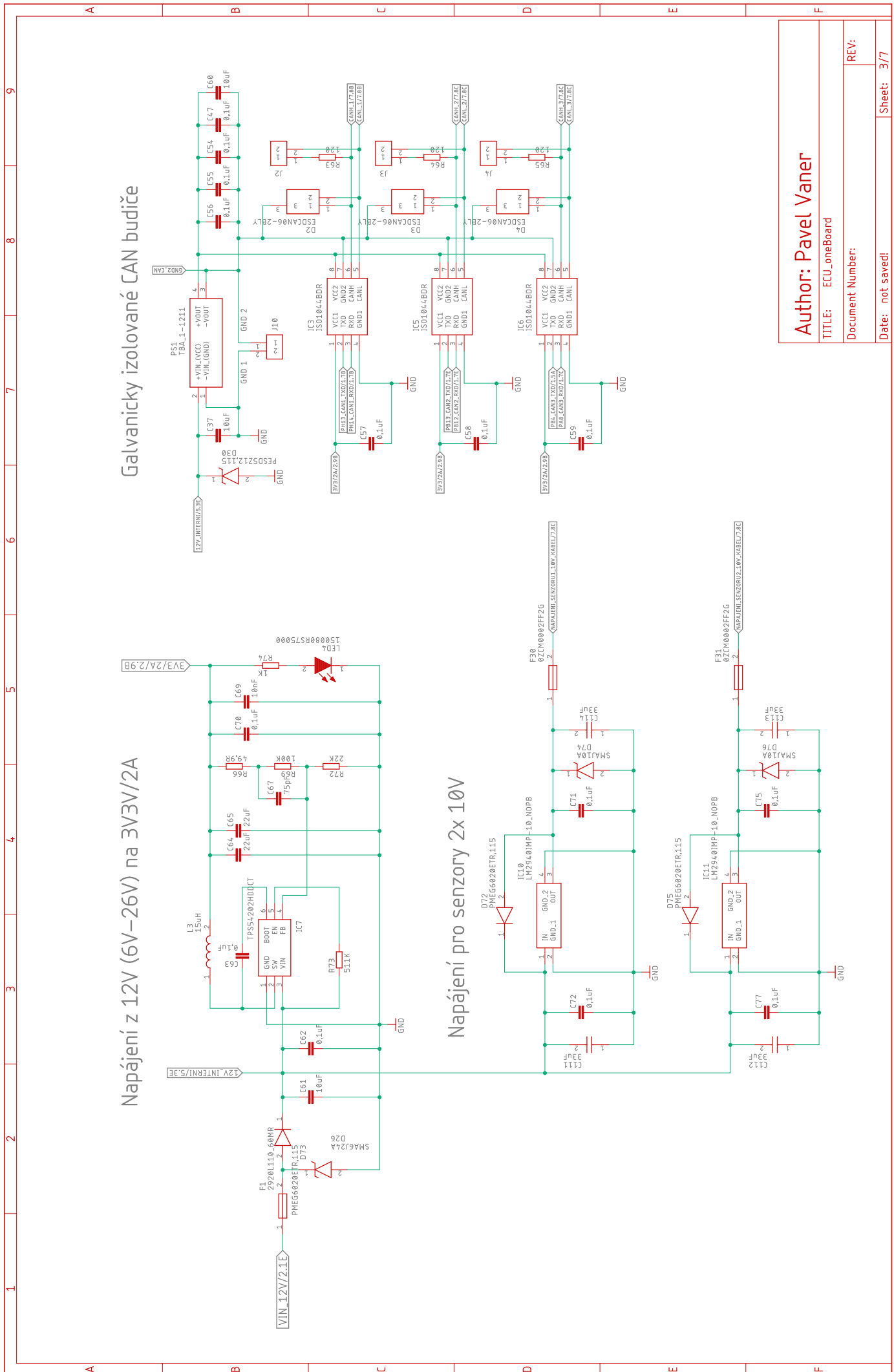
Author: Pavel Vaner

TITLE: ECU_oneBoard

Document Number:

Date: not saved.

Sheet: 2/7

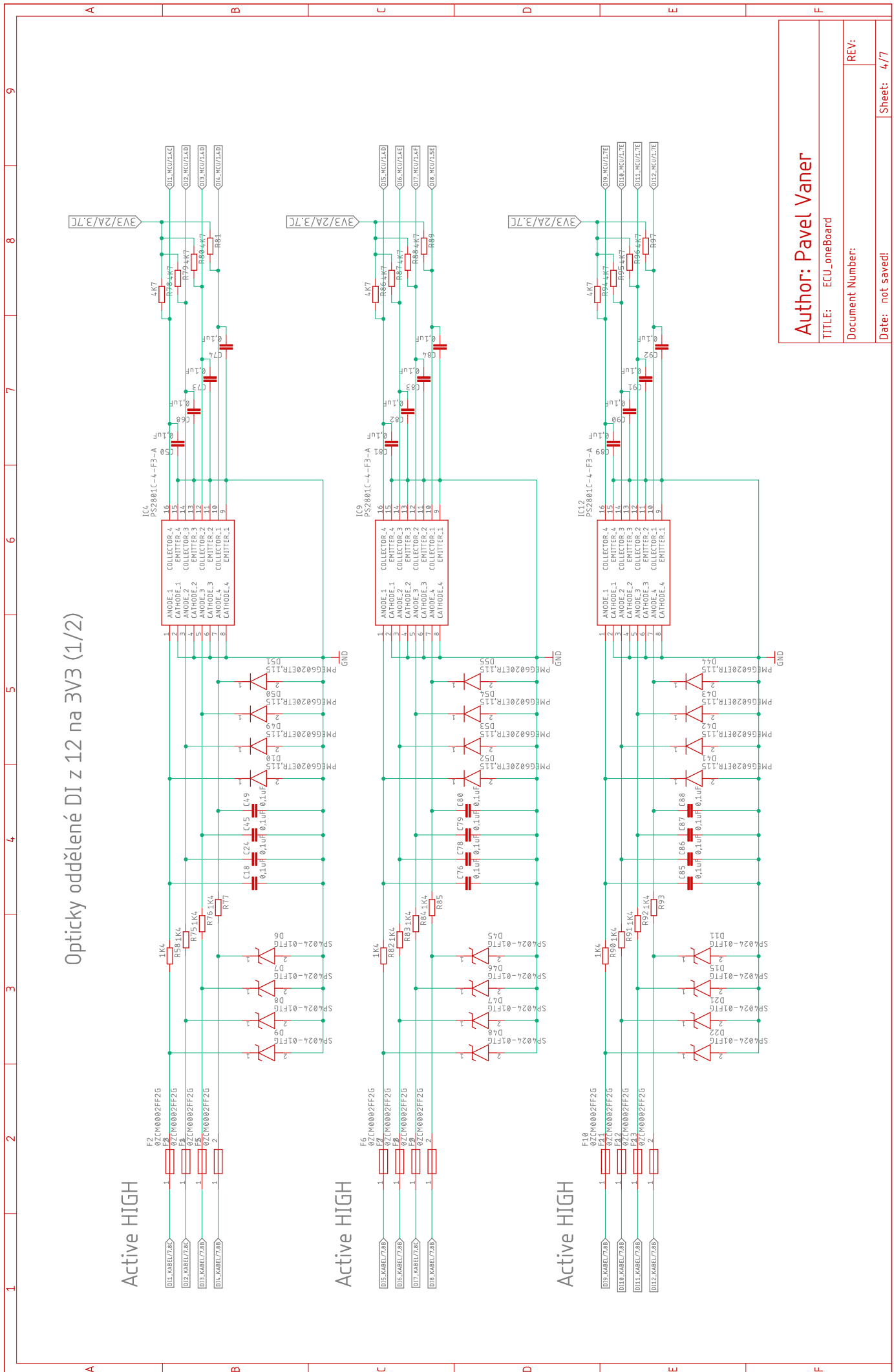


Napájení z 12V (6V–26V) na 3V3V/2A

Galvanicky izolované CAN buďiče

Napájení pro senzory 2x 10V

Author: Pavel Vaner	
TITLE: ECU_oneBoard	
Document Number:	REV:
Date: not saved!	Sheet: 3/7



Opticky oddělené DI z 12 na 3V3 (1/2)

Active HIGH

Active HIGH

Active HIGH

Author: Pavel Vaner

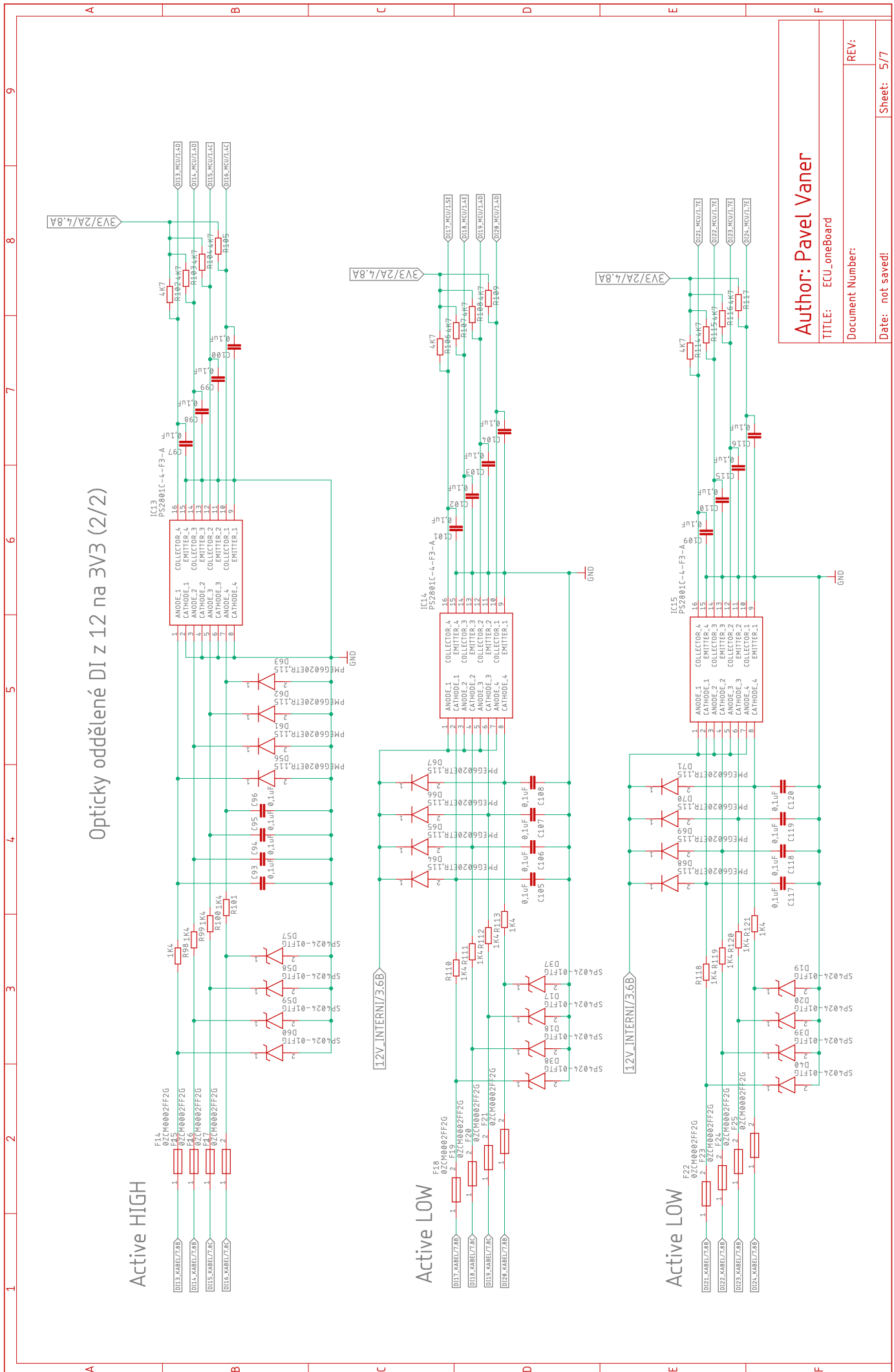
TITLE: ECU_oneBoard

Document Number:

Date: not saved!

REV:

Sheet: 4/7



Opticky oddělené DI z 12 na 3V3 (2/2)

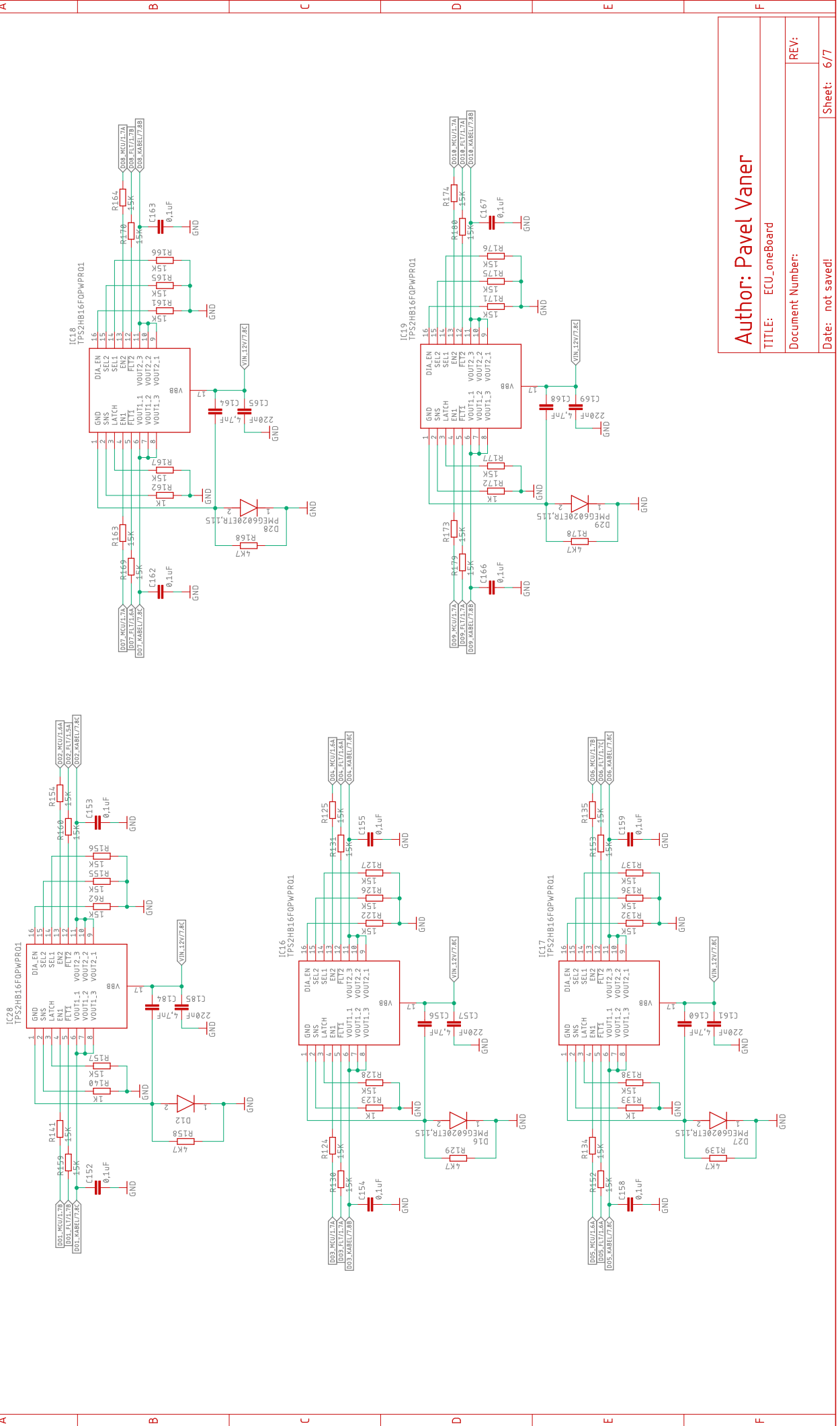
Active HIGH

Active LOW

Active LOW

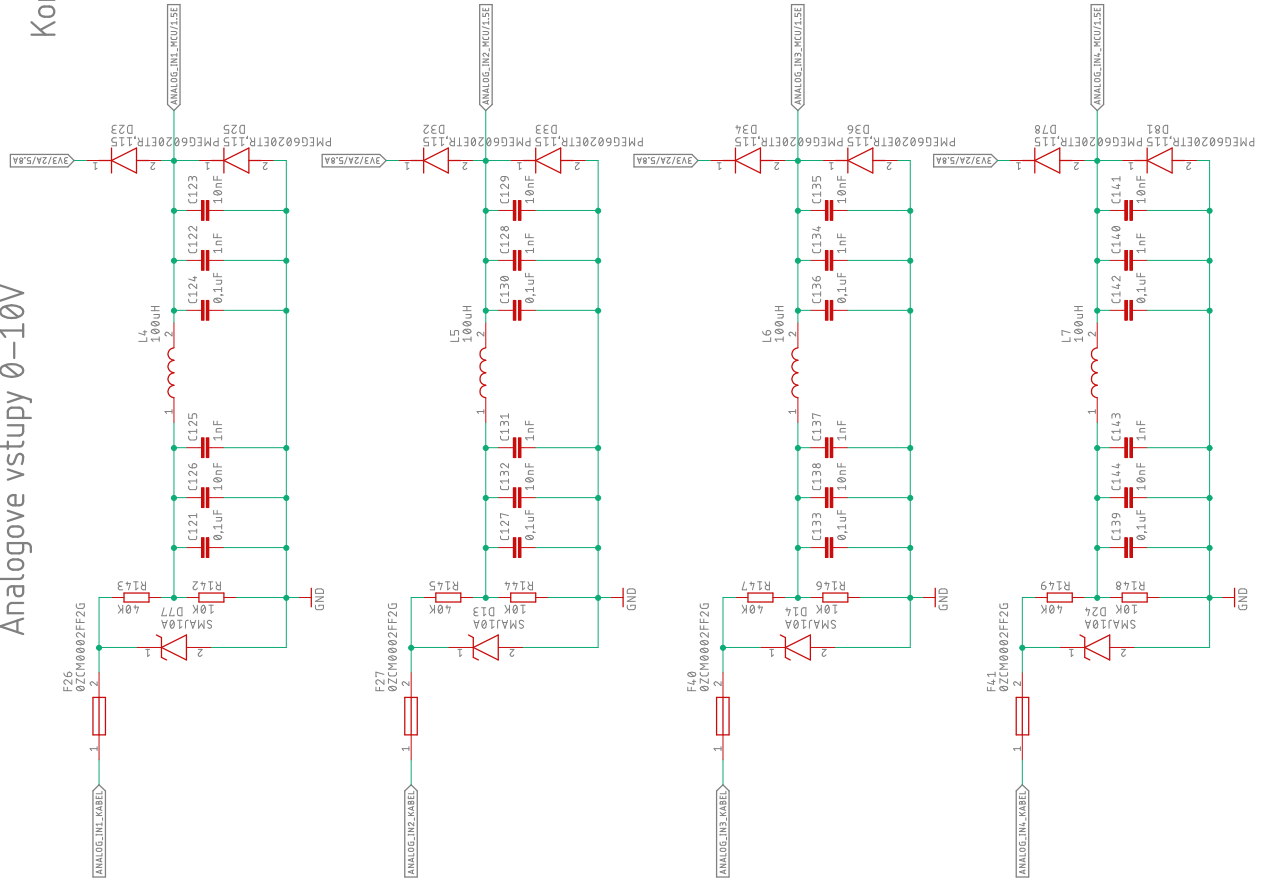
Author: Pavel Vaner
 TITLE: ECU_oneBoard
 Document Number:
 Date: not saved
 REV:
 Sheet: 5/7

D0 z 3V3 na 12V, inteligentni mosfety

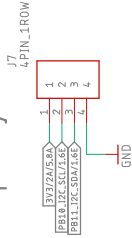


Author: Pavel Vaner
 TITLE: ECU_oneBoard
 Document Number:
 Date: not saved.
 REV:
 Sheet: 6/7

Analogové vstupy 0-10V



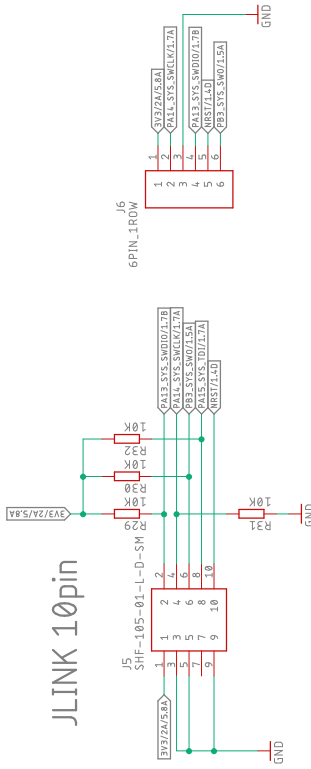
Konektor pro optický senzor pro stmívání



Konektor pro kabel (dál do vozidla)



JLINK 10pin



Buzzer

