

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh hardwaru pro CAN simulátor

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na stručný popis základních informací o CAN a LIN sběrnících a návrh hardwaru CAN simulátoru, který by měl být nasazen v praxi pro diagnostiku CAN a LIN komunikace v automotive.

Klíčová slova

CAN, LIN, protokol, automotive, sběrnice, rozhraní, základní deska, simulátor, diagnostika, hardware koncepce, návrh, výpočetní modul.

Abstract

The presented bachelor thesis is focused on a brief description of basic information about CAN and LIN buses and mainly hardware design of CAN simulator, which will be used in practice for diagnostics of CAN and LIN communication in automotive.

Key words

CAN, LIN, protocol, automotive, bus, interface, carrier board, simulator, diagnostics, hardware, concept, computational module.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 9.7.2020

Jan Blaško

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Kropíkovi, Ph.D. a Ing. Zdeňkovi Vršeckému za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 CAN SBĚRNICE	10
1.1 VRSTVY.....	10
1.2 TYP ZPRÁVY.....	11
1.2.1 Data frame.....	12
1.2.2 Remote frame.....	12
1.2.3 Error frame.....	13
1.2.4 Overload frame.....	13
1.2.5 Interframe space.....	13
1.3 PRINCIP PŘENOSU ZPRÁV.....	14
1.4 ARBITRÁŽ SBĚRNICE.....	14
1.5 VYUŽITÍ V PRAXI.....	15
1.6 PROTOKOLY VYŠŠÍCH VRSTEV.....	15
2 LIN SBĚRNICE	16
2.1 PRINCIP ČINNOSTI SBĚRNICE.....	16
2.2 RÁMEC ZPRÁVY.....	17
2.3 TYPY RÁMCŮ.....	18
2.4 SPECIÁLNÍ FUNKCE LIN VYSÍLAČŮ.....	18
2.5 VYUŽITÍ V PRAXI.....	19
3 VÝBĚR KOMPONENTŮ	19
3.1 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	20
3.1.1 NXP i.MX7.....	22
3.2 ZÁKLADNÍ DESKA.....	23
3.3 DISPLEJ.....	23
3.4 CAN ROZHRANÍ.....	24
3.5 LIN ROZHRANÍ.....	26
3.6 DALŠÍ KOMPONENTY.....	26
3.7 NÁKUPNÍ SEZNAM.....	27
4 HARDWAROVÁ KONCEPCE	28
4.1 PIN DIAGRAM ZAŘÍZENÍ.....	28
4.2 NAVRŽENÉ DESKY.....	30
4.3 NÁVRH PŘÍSTROJOVÉHO KRYTU.....	33
4.4 TEORETICKÝ POSTUP OŽIVENÍ A MONTÁŽE.....	37
4.4.1 Instalace operačního systému.....	37
4.4.2 Montáž.....	37
ZÁVĚR	42
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	43
PŘÍLOHY	44

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na stručný popis protokolu CAN a LIN a návrh hardwaru funkčního CAN simulátoru.

Tuto bakalářskou práci jsem si vybral z důvodu zájmu o zlepšení svých schopností při návrhu funkčního celku, a protože se v dnešní době CAN a LIN objevuje v mnoha odvětvích průmyslu.

V první části této bakalářské práce objasním, co tyto jednotlivé komunikační protokoly charakterizuje, proč jsou využívány v těchto odvětvích a jejich stručný popis funkce.

V druhé části jsem provedl výběr komponent doporučených zadavatelem práce, následně jsem vytvořil jejich stručný popis a srovnání jejich vlastností, na jejichž základě jsem vybral vhodné komponenty pro realizaci našeho zařízení.

Ve třetí části se pak věnuji návrhu desek plošných spojů pro propojení všech vybraných komponent. Dále zde představuji návrh 3D modelu přístrojového krytu (dále jen kryt), který byl vytvořen dle kritérií, mezi něž patří rozměry jednotlivých částí CAN simulátoru, zvolení vyhovujícího rozmístění desek z důvodu jednodušší montáže a proudění vzduchu pro dostatečné chlazení elektroniky.

V poslední části se zabývám popisem instalace jednotlivých komponent, a jejich vzájemném propojení včetně instalace základního operačního systému.

Seznam symbolů a zkratek

CAN.....	Controller Area Network
ECU	Electronic Control Unit
LIN	Local Interconnect Network
SPI	Seriál Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
V	Volt
RTR	Remote Transmission Request
DLC	Data Length Code
SD.....	Secure Digital
mm.....	milimetr
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
VGA	Video Graphics Array
I2C	Inter-Integrated Circuit

1 CAN sběrnice

Controller Area Network je sériová komunikace s vlastním protokolem. Dosahuje velmi efektivní komunikace mezi řídicími jednotkami v reálném čase s velmi dobrým zabezpečením sběrnice [3]. CAN síťový protokol byl definován pro poskytování deterministické komunikace v komplexně distribuovaných systémech s následujícími funkcemi a schopnostmi:

- *přiřazení priority zpráv a maximální zaručená latence,*
 - *víceměřová komunikace s bitově orientovanou synchronizací,*
 - *flexibilita konfigurace,*
 - *konzistence dat v celém systému,*
 - *vícebodový přístup na sběrnici,*
 - *detekce chyb a signalizace s automatickým opakovaným přenosem poškozených zpráv,*
 - *detekce trvalých poruch v uzlech a automatické vypnutí, které izoluje vadný uzel.*
- [1]

Maximální přenosová rychlost CAN sítě je 1 Mbit/s. Díky kombinaci velmi krátkých zpráv, velmi efektivnímu způsobu vyhýbání se kolizím, detekování chyb a jejich vyřešení, je CAN mnohem víc vhodný pro aplikace v reálném čase. [2], [3]

1.1 Vrstvy

CAN protokol lze rozdělit na základní následující vrstvy:

- ***Aplikační vrstva***

Operační systém nebo aplikace CAN zařízení. [2]

- ***Objektová vrstva***

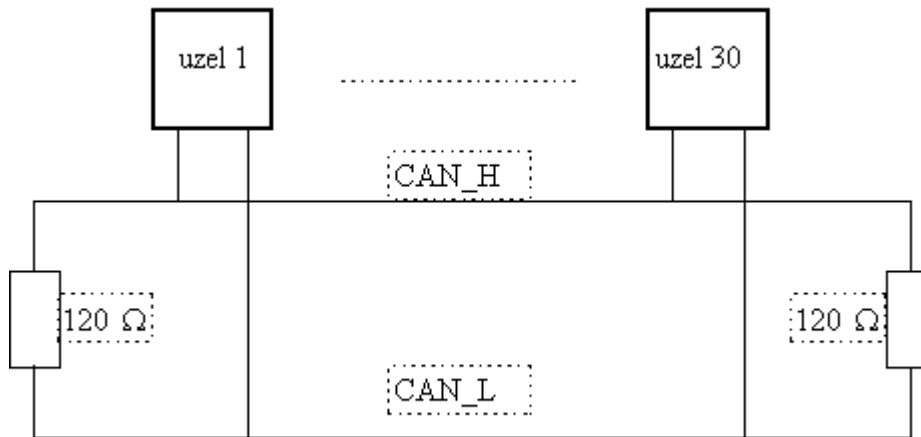
Zabývá se filtrováním a zpracováním stavu zpráv. [3]

- ***Přenosová vrstva***

Reprezentuje kernel CAN protokolu. Představuje přenos zprávy, která přijde z fyzické vrstvy, následně je zpracována a propouštěna dál do objektové vrstvy. Je zodpovědná za načasování a synchronizaci bitů, rámování zpráv, arbitráž, potvrzení, detekci a signalizaci chyb a omezení chyb. [3]

- **Fyzická vrstva**

Popisuje hardwarovou složku CAN sběrnice tj. fyzické spojení mezi uzly (viz. Obr.1.1) a elektrické vlastnosti v normě ISO 11898-2. [1], [2]



Obr.1.1 Fyzická vrstva CAN Busu [10]

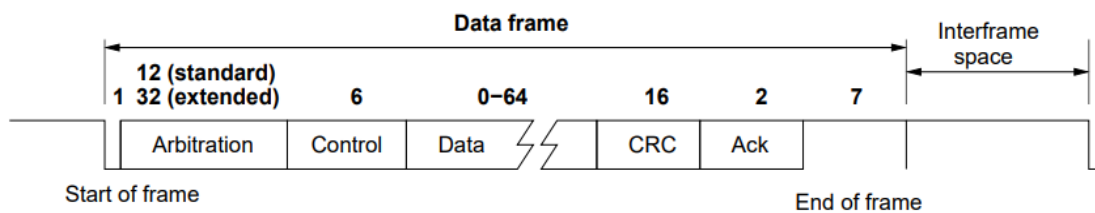
Další vrstvy jsou definovány v protokolech vyšších vrstev.

1.2 Typ zprávy

V CAN existují 4 různé typy zpráv, v závislosti na jejich obsahu a funkci.

- *DATA FRAME* se používá k přenosu informace mezi dvěma nebo více uzly.
- *REMOTE FRAME* se používá k vyžádání přenosu datové zprávy.
- *ERROR FRAME* je vysílán vždy, když je v síti detekována chyba.
- *OVERLOAD FRAME* vyžádá další zpoždění před vysláním datové nebo vyžadovací zprávy. [1]
- *INTERFRAME SPACE* reprezentuje minimální prostor mezi rámci všech typů a dalších dat. [2]

1.2.1 Data frame



Obr.1.2.1 CAN data frame formát [1]

CAN zprávy nepoužívají přímé adresování, každý uzel definuje v identifikačním poli informační obsah, na jehož základě bude zpráva přijata jedním nebo více uzly. Datová zpráva má formát obrázku 1.2.1. Každá zpráva začíná dominantním bitem. Následuje pole identifikátoru, který v sobě má informaci pro arbitráž. Existují dva rámce datové zprávy. Standartní rámec má identifikační pole o velikosti 11 bitů a rozšířený o velikosti 29 bitů. Ty mohou sdílet stejnou sběrnici. [1]

Ostatní pole jsou:

- *Ovládací pole obsahující informace o typu zprávy.*
- *Datové pole obsahující skutečná data, která mají být přenesena až do maxima 8 bytů.*
- *Kontrolní součet používaný ke kontrole správnosti bitů zpráv.*
- *Potvrzení přijetí. (ACK)*
- *Koncový oddělovač (ED) používaný k signalizaci konce zprávy a nečinný prostor (IS) nebo bitové rámce (IF) používané k oddělení jednoho rámce od následujícího. [1]*

1.2.2 Remote frame

Používá se tehdy, kdy jeden uzel vyšle zprávu o vyžádání dat konkrétnímu uzlu. Poté, požadovaná datová zpráva odeslána jedním uzlem, může být přijata libovolným počtem uzlů na stejné sběrnici. Datová a vyžadovací zpráva jsou skoro stejné, až na datové pole, které vyžadovací zpráva nemá. Oba mají RTR bit. Datová zpráva používá dominantní RTR bit a proto má přednost před vyžadovací zprávou, která používá bit recesivní. Vzdálené rámce mohou být vysílány pouze s DLC identickým s DLC odpovídajícího datového rámce, kdyby ne, došlo by k nevyřešitelným kolizím. [2]

1.2.3 Error frame

Slouží k signalizaci chyb na sběrnici. Řídí ukončení datové nebo vyžadovací zprávy při detekci chyby. Zpráva o chybě se skládá ze dvou různých polí. První pole je dáno chybovým příznakem (Error Flag), který je buď aktivní nebo pasivní. To rozeznáme tak, že při aktivní chybě uzel posílá 6 až 12 dominantních bitů a v druhém případě 6 až 12 recesivních. Druhé následující pole je oddělovač chyb (Error Delimiter), ten vysílá dalších 7 recesivních bitů poté, co při sledování stavu sběrnice najde první recesivní bit. Zpráva o chybě může být signalizována přijímacím nebo vysílacím uzlem. Zamýšlené porušení normy CAN zaručuje zničení vadného datového nebo vzdáleného rámce. [2]

1.2.4 Overload frame

Tato zpráva má za účel vynutit čekací dobu pro odesílající uzel, který chce zahájit nový přenos dat pro přijímací uzel v době, kdy není schopný přijímat další data. Tato zpráva je podobná chybové zprávě. Ta ale na rozdíl od chybové zprávy, zprávu nezničí, ale jen vynutí zpoždění před odesláním další zprávy. Je to proto, že zpráva o chybě je odeslána hned při její detekci, ale zpráva o přetížení se vkládá až na konec přenosu. Zpráva o přetížení se stejně jako chybová skládá z 6 dominantních bitů. Jeho přenos se spustí během prvních dvou bitů v mezirámcovém prostoru, který uzavírá přenos předchozího rámce. U novějších radičů už to není potřeba, ale podle standardu musí umět reagovat. [1], [2]

1.2.5 Interframe space

Je to 3bitový prostor mezi jednotlivými zprávami, které odděluje. Až teprve po těchto 3 bitech může jakýkoliv uzel začít přenos datové nebo vyžadovací zprávy. V tomto prostoru také začíná přenos zprávy o přetečení. V každé CAN síti by měl tento prostor vždy následovat jakoukoliv zprávu. [2]

1.3 Princip přenosu zpráv

Přenos zprávy funguje v CAN síti tak, že uzel, který posílá zprávu, je vysílač. Tuto zprávu obdrží všechny uzly na sběrnici ve stejný čas, tyto uzly se chovají jako přijímače. [2]

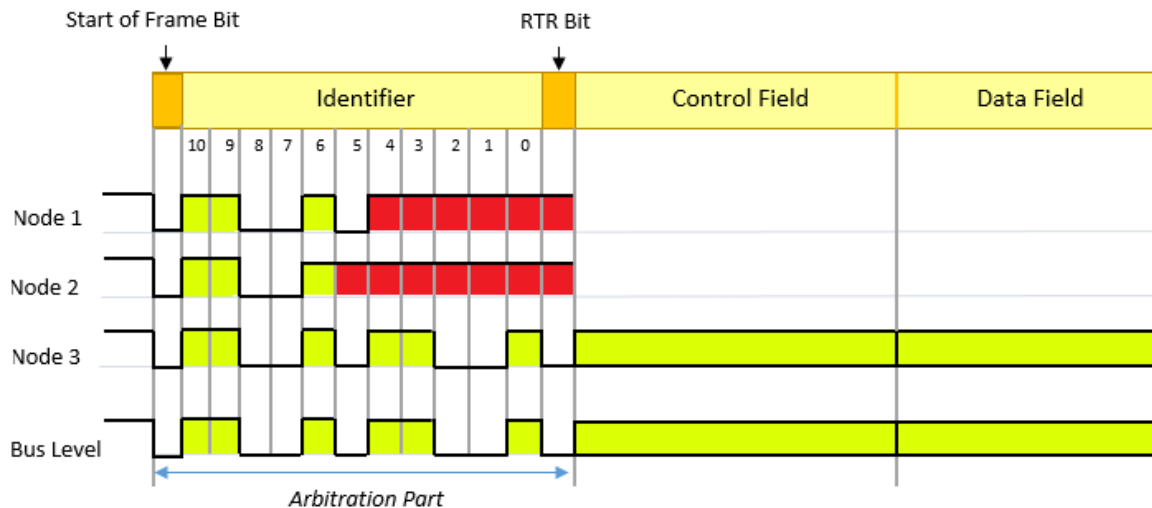
Jde o multi-master síť, kde mohou uzly přenášet data kdykoliv. Díky podpoře filtrování, každý uzel reaguje jen na zprávu, která je jemu určena. [2]

Do sběrnice vyšleme zprávu, která by měla být v pořádku doručena všem uzlům v síti. Pokud není rozpoznána alespoň jedním nebo více uzly, vysílač pošle zprávu o chybě do sběrnice, kterou by měly být všechny uzly schopny dekodovat. Chyba může nastat vnitřní poruchou uzlu, který není schopen zprávu přečíst nebo chybou vysílacího uzlu, který odesílá chybná data. V obou případech má sběrnice informaci o chybě. CAN standard to řeší tak, že poruchové uzly odpojí od sběrnice a obnoví tak správný chod sítě. [2]

Existují dvě metody přenosu zpráv. Zasláním datové zprávy do sběrnice nebo uzel vyše vyžadovací zprávu, na kterou by měl konkrétní uzel reagovat a odpovědět požadovanou datovou zprávou. [2]

1.4 Arbitráž sběrnice

V CAN síti je jsou všechny uzly na jedné fyzické komunikační sběrnici. (viz. Obr. 1.1) Tam je důležité vyhnout se kolizi dat. Vždy, když je sběrnice volná, jakýkoliv uzel může začít přenášet zprávu. Pokud 2 nebo více uzlů začne přenášet zprávu ve stejný čas, konflikt na sběrnici je řešen bitovou arbitráží identifikátoru. Během arbitráže je v každém vysílacím uzlu porovnávána úroveň zasílaných bitů s úrovní monitorovanou na sběrnici. Pokud jsou tyto úrovně shodné, uzel může pokračovat s posíláním. Když je recesivní úroveň bitu zaslána a na sběrnici je monitorována dominantní úroveň bitu, tak tento uzel ztratil arbitráž a musí se stáhnout zpět, aniž by posílal další bity a čeká, až bude v pořadí. [2]



Obr.1.4 CAN bus Arbitration [4]

Tento mechanismus arbitráže zaručuje, že žádná informace nebude ztracena. [3]

1.5 Využití v praxi

CAN byl uveden do praxe v roce 1986 a najdeme ho v mnoha oblastech aplikací, kde mikroprocesory potřebují komunikovat mezi sebou [2]. V dnešní době lze nalézt CAN sítě téměř v každé průmyslové automatizaci, a především v automobilovém průmyslu, do čehož spadají osobní a nákladní vozy, autobusy, trolejbusy, průmyslová vozidla, ale také lodě a letadla. Moderní auto může mít až 70 ECUs, díky jeho malé zátěži řídicí jednotky. Zajišťuje komunikaci například s airbagy, s brzdovým systémem, motorovou kontrolní jednotkou nebo dokonce i s audio systémem. V podstatě s každou aplikací v autě, kterou je potřeba řídit. [5]

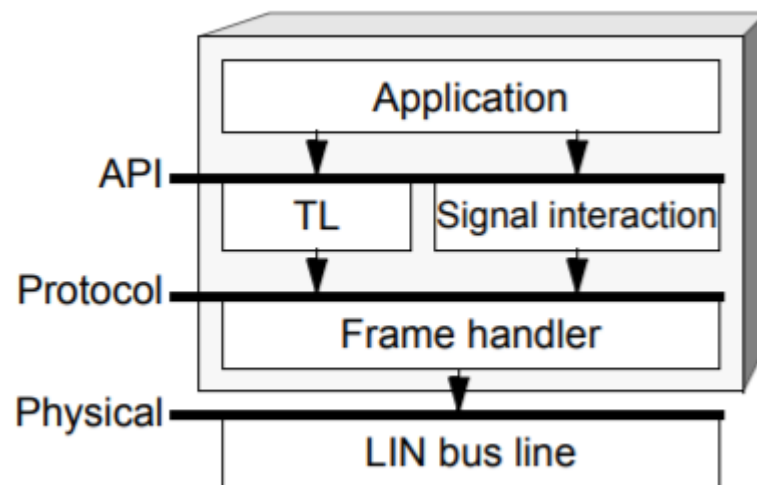
1.6 Protokoly vyšších vrstev

CAN standard definuje dvě nižší vrstvy, často to není dost pro praktické využití sítě a zařízení připojené na ní. Jde o přidání protokolu, který upravuje a standardizuje další vrstvy CAN sběrnice. Tím můžeme změnit např. možnost přenést více než 8 bajtů v jedné zprávě. Poskytují specifikace délky sběrnice a bitové rychlosti, stejně tak konektory a typy kabelů. Mezi protokoly vyšších vrstev patří např. CANopen, DeviceNet, SAE J1939, CCP. [1], [2]

2 LIN sběrnice

Local Interconnect Network je sériový komunikační protokol vytvořený jako levnější varianta pro CAN aplikace, kde náklady a rychlost CAN sběrnice byla nadměrná. Maximální rychlost LIN sběrnice je 20 kb/s s maximální délkou vodiče 40 m [9]. Podporuje řízení mechatronických zařízení v automobilových sítích. Mezi hlavní vlastnosti sběrnice patří:

- *master-Slave koncepce,*
- *vlastní synchronizace,*
- *nízkonákladová implementace jedním vodičem,*
- *interakce aplikací na základě signálu,*
- *předvídatelné chování,*
- *transportní vrstva a podpora diagnostiky. [6]*



Obr.2 Hierarchický diagram LIN uzlu [7]

Fyzická vrstva LIN je založena na ISO 9141 standardu. Může být pozměněna pro některé automobilové aplikace. [7]

2.1 Princip činnosti sběrnice

Je založený na Master-Slave principu. Jeden řídicí uzel (master) ovládá komunikaci na sběrnici s až šestnácti podřízenými uzly. Podřízené uzly nemohou komunikovat mezi

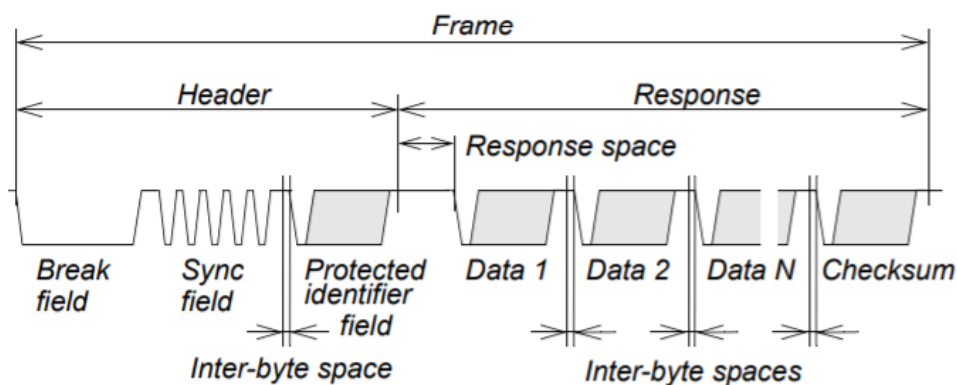
sebou, mohou pouze odpovědět řídicímu uzlu, pokud na ně zpráva směřuje. Požadavek je odeslán označenému uzlu a ten reaguje, což je vlastně celý rámeček jedné zprávy. Setkáme se i s případem, ve kterém podřízený uzel pouze poslouchá a nepošle žádnou odpověď. [7]

Předvídáme obě možnosti, takže není ohrožen sběrnice provoz a nedochází ke kolizím, díky řídicímu uzlu, který vždy začíná komunikaci. Díky tomuto řízení není nutná arbitráž jako v CAN síti [7]. LIN sběrnice má vždy jeden ze dvou stavů. Když je aktivní, všechny uzly na sběrnici jsou v provozním stavu a poslouchají pokyny. Uzly mohou přejít do režimu spánku buď příkazem řídicího uzlu, nebo pro dlouhodobou neaktivitu. Zpět do provozního módu se dostanou jakýmkoliv uzlem, který zažádá o probuzení celé sběrnice nebo řídicím uzlem, který začne vysílat. [8]

Problém se systémem master-slave je ten, že řídicí uzel ovládá veškerou komunikaci, pokud selže, selže celá sběrnice. [7]

2.2 Rámeček zprávy

Struktura LIN zprávy je rozdělena na dva rámečky (viz. Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Struktura LIN zprávy [6]

První rámeček je hlavička rámečku zprávy. Tuto část posílá vždy nadřazený uzel a je rozdělen na synchronizační impuls (Break field), synchronizační pole (Sync field) a identifikátor (PID field). První a druhé pole jsou jakousi synchronizací mezi podřízenými uzly a časováním řídicího uzlu. Přenos začíná padající hranou synchronizačního impulsu. Třetí pole je identifikační prostor, jímž volíme uzel, kterému je tato zpráva určena, obsahuje deset identifikačních bitů. Tím končí přenos z řídicího uzlu do sběrnice. Vnitřní bajtové místo (Inter-byte space) je čas mezi koncem stop bitu předchozího pole a počátečním bitem následujícího bajtu. [6]

Druhým rámcem je odpověď. Jde o data, která buď může vysílat řídicí uzel podřízenému, nebo jde o vyžádanou odpověď od konkrétního podřízeného uzlu k jakémukoliv uzlu na sběrnici. Odpověď se skládá z datových bajtů a kontrolního součtu. LIN přenáší až osm datových bajtů. Jednotlivé bajty jsou odděleny počátečním bitem a ukončeny stop bitem. Kontrolní součet obsahuje invertovanou hodnotu osmi bitů, což je suma všech datových bajtů nebo všech datových bajtů a identifikátoru. To, jaký způsob se zvolí řídicí jednotka, a to záleží na verzi LIN protokolu v podřízených uzlech. Od 2.0 verze se sčítá i identifikátor. [6]

2.3 Typy rámců

Typ rámce označuje předběžné podmínky platné pro přenos, kde některé typy rámců se používají pouze pro specifické účely. Uzel nemusí podporovat všechny typy. Význam identifikátoru se skládá z:

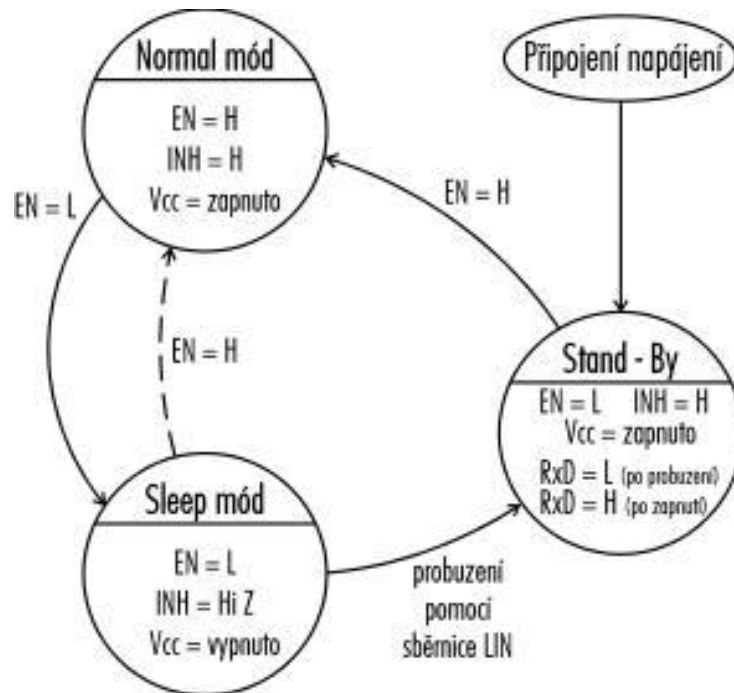
- *Bezpodmínečný rámeček, kam patří i sporadický a rámeček spouštěné události. Tento rámeček se přenese vždy a je hlavním nositelem informací, a proto je v datové komunikaci nejběžnější.*
- *Diagnostický rámeček je použit pro přenos 8 bajtů konfiguračních a diagnostických dat.*
- *Rámeček definován uživatelem, pokud je zpracován určený slot pro tento rámeček, může nést jakoukoliv informaci.*
- *Rezervovaný rámeček není využit podle standardu LIN 2.1. [6]*

Tab.2.3 – hodnoty identifikátoru pro jednotlivé rámce [9]

Hodnota identifikátoru	Název rámce
0x00 – 0x3B	Nepodmíněný rámeček
0x3C – 0x3D	Diagnostický rámeček
0x3E	Uživatelský rámeček
0x3F	Rezervovaný rámeček

2.4 Speciální funkce LIN vysílačů

Většina moderních vysílačů má speciální funkce, které se většinou zaměřují na nízkou spotřebu energie. Lze je zobecnit pro všechny vysílače. Názvy módů a funkce se mohou lišit pro zařízení od různých společností. Jde například o funkce pro úsporu energie, kdy přijímač je v režimu spánku nebo v pohotovostním režimu. [7]



Obr. 2.2 Stavy LIN přijímače [9]

2.5 Využití v praxi

Sběrnice byla navržena pro automobilový průmysl a poprvé byla použita v roce 2001. Používá se jako součást sběrnice CAN, kdy CAN sběrnice komunikuje s řídicí jednotkou LIN sběrnice. Jedná se o propojení čidel, akčních členů a indikátorů, takže se používá především o jednodušší ovládání jako je polohování zrcátek, stahování oken, ovládání zámku. [9]

3 Výběr komponentů

Cílem této kapitoly je vyhledání dostupných komponentů, jejich prostudování a výběr pro naši aplikaci. Jedná se o výběr procesoru a jím řízené komponenty. Pro zařízení bude požadován procesor nebo počítačový modul, který bude schopný řídit 4x CAN 2.0, 2x LIN 2.1, USB, Ethernet rozhraní a několik ovládacích prvků jako tlačítka, přepínače a analogové ovládání (potenciometry). Prvním krokem bylo provést rešerši dostupných vývojových desek.

3.1 řídicí jednotka

Počáteční kritéria na řídicí jednotku byla:

- *industrial standard,*
- *deska s vícejádrovými procesory*
- *podpora pro MATLAB/Simulink,*
- *čím větší paměť, tím lepší,*
- *SD karta pro data, nikoli pro systém,*
- *na desce budou vyvedeny všechny piny (univerzální headery).*

Na základě doporučení od zadavatele práce, jsem se vydal cestou prostudování vývojových desek společnosti NXP, která se zabývá řadou aplikací v automobilovém průmyslu, zahrnující i naši problematiku, již přes 60 let. Jedná se o desky, které společnost přímo doporučuje pro vykonávání těchto druhů aplikací (CAN, SPI, UART). První mnou navrhovanou variantou byla vývojová deska S32K144EVB a počítačové moduly Apalis iMX8X, Colibri iMX8X a Tizeps VII s iMX6. Dohodli jsme se na výběru jednoho z Apalis nebo Colibri modulu. Tyto moduly splňují industrial standard, mají vícejádrové procesory a podporují Simulink. Jde o modul v podobě zasouvacího modulu do základní desky, ty má výrobce dělané přímo na tyto desky, je tedy jistota, že jsou kompatibilní a všechny piny mají vyvedené dle zadání. Volba vhodné základní desky nám vyřešila problém s dalšími periferiemi jako je ethernet, USB nebo SD karta. Dále jsou na základní desce připraveny možnosti pro budoucí rozšíření funkcí celého zařízení. Na základě tohoto výběru jsem sestavil tabulku všech nabízených Apalis a Colibri modulů pro další porovnání a výběr (viz. Tab. 3.1.).

Dalším kritériem výběru bylo, aby moduly měly podporu FreeRTOSu pro operace v reálném čase. Tuto podporu měly pouze moduly s Mikrokontrolérem Arm Cortex™-M4.

Tab. 3.1 Porovnání Apalis a Colibri modulů

Apalis ARM Family	CPU Name	CPU Type	Microcontroller	RAM	I2C/SPI/UART	GPIO/Analog	CAN
Apalis iMX8	NXP® i.MX 8QuadMax / NXP® i.MX 8QuadPlus	2x Arm Cortex™-A72 4x Arm Cortex™-A53 / 1x Arm Cortex™-A72 4x Arm Cortex™-A53	2x Arm Cortex™-M4F	4GB LPDDR4 (64 Bit) / 2GB LPDDR4 (64 Bit)	7x/4x/7x	87/21x	3x
Apalis TK1	NVIDIA® Tegra™ K1 NXP® Kinetis™ K20 Companion MCU	4x Arm Cortex™-A15	1x Arm Cortex™-M4	2GB DDR3L (64 Bit)	6x/5x/10x	90/4x	2x
Apalis iMX8X	NXP® i.MX 8QuadXPlus / NXP® i.MX 8DualXPlus	4x Arm Cortex™-A35 / 2x Arm Cortex™-A35	1x Arm Cortex™-M4F	2GB DDR3L (32 Bit) / 2GB DDR3L (32 Bit) with ECC / 1GB DDR3L (32 Bit)	7x/3x/4x	129/4x	3x
Apalis T30	NVIDIA® Tegra™ 3	4x Arm Cortex™-A9 / Arm Cortex™-A9	-	2GB DDR3L (32 Bit) / 1GB DDR3L (32 Bit)	4x/4x/5x	135/4x	2x
Apalis iMX6	NXP® i.MX 6Quad / NXP® i.MX 6Dual	4x Arm Cortex™-A9 / 2x Arm Cortex™-A9	-	2GB DDR3 (64 Bit) / 1GB DDR3 (64 Bit) / 512MB DDR3 (64 Bit)	3x/3x/5x	135/4x	2x
Colibri ARM Family	CPU Name	CPU Type	Microcontroller	RAM	I2C/SPI/UART	GPIO/Analog Input	CAN
Colibri iMX8X	NXP® i.MX 8QuadXPlus / NXP® i.MX 8DualX	4x Arm Cortex™-A35 / 2x Arm Cortex™-A35	1x Arm Cortex™-M4F	2GB LPDDR4 (32 Bit) / 1GB LPDDR4 (16 Bit)	8x/3x/5x	94/4x	3x
Colibri T30	NVIDIA® Tegra™ 3	4x Arm Cortex™-A9	-	1GB DDR3L (32 Bit)	3x+DCC/6x/5x	158/4x	-
Colibri T20	NVIDIA® Tegra™ 2	2x Arm Cortex™-A9	-	512MB DDR2 (32 Bit) / 256MB DDR2 (32 Bit)	3x+DCC/5x/5x	153/4x	-
Colibri iMX6	NXP® i.MX 6DualLite / NXP® i.MX 6Solo	2x Arm Cortex™-A9 / 1x Arm Cortex™-A9	-	512MB DDR3 (64 Bit) / 256MB DDR3 (32 Bit)	3x/4x/5x	154/4x	2x
Colibri iMX7	NXP® i.MX 7Dual / NXP® i.MX 7Solo	2x Arm Cortex™-A7 / 1x Arm Cortex™-A7	1x Arm Cortex™-M4F	1GB DDR3 (32 Bit) / 512MB DDR3 (32 Bit) / 256MB DDR3 (32 Bit)	3x/4x/7x	126/4x	2x
Colibri iMX6ULL	NXP® i.MX 6ULL	1x Arm Cortex™-A7	-	512MB DDR3L (16 Bit) / 256MB DDR3L (16 Bit)	3x/3x/8x	94/8x	2x
Colibri VF61	NXP® Vybrid™ VF6XX	1x Arm Cortex™-A5	1x Arm Cortex™-M4F	256MB DDR3 (16 Bit) (or 128MB with ECC)	4x/4x/5x	99/12x	2x
Colibri VF50	NXP® Vybrid™ VF5XX	Arm Cortex™-A5	-	128MB DDR3 (16 Bit)	4x/4x+2xQSPI/5x	103/16x	2x

Pro další užší výběr bylo zapotřebí vyřešit, jaká rodina modulů bude pro projekt nejpříjemnější. Apalis moduly jsou vhodnější pro aplikace, kde jsou zapotřebí pokročilé výpočty, vysokorychlostní připojení, pokročilá multimédia a vysoké nároky na grafiku. Colibri moduly jsou optimální pro naše zařízení. Mají nákladově optimalizované návrhy, různá průmyslová a propojovací rozhraní. Z této rodiny modulů byly vybrány moduly Colibri VF61, iMX7a výše zmíněná iMX8X. Nakonec byl zvolen modul Colibri iMX7 Dual 512 MB. Velikost RAM, počet GPIO, SPI a UART je dostačující pro naši aplikaci zařízení. Colibri VF61 byla vyřazena z důvodu menší RAM paměti a iMX8X nebyla ještě uvedena na trh.

3.1.1 NXP i.MX7

Jedná se o počítačový modul se dvěma procesory Arm CortexTM-A7, které zařizují především běh operačního systému a softwarových aplikací a mikrokontrolér Arm CortexTM-M4F pro úkoly v reálném čase s nízkou latencí. Na oficiálních stránkách Toradexu [11] lze stáhnout operační systém pro námi vybraný počítačový modul, který obsahuje zdrojové kódy a knihovny podporovaných rozhraní. Lze stáhnout operační systémy Linux nebo Windows CE. Pro Arm CortexTM-M4F může být použit FreeRTOS.

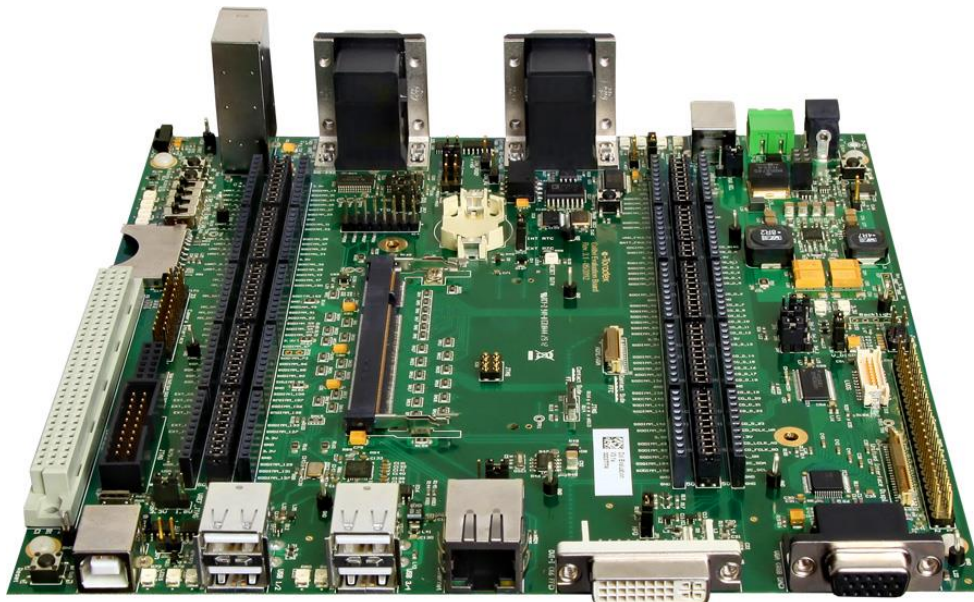


Obr. 3.1.1 NXP i.MX7 COM [11]

Tento modul poté zapojíme do vybrané základní desky. V kapitole 4.1 bude navržena Pin mapa, která určí, jaké SODIMM piny z tohoto modulu budou použité a k jakému účelu.

3.2 Základní deska

Colibri moduly měly výrobcem připravené čtyři základní desky. Byla zapotřebí více než jedna SPI komunikace na základní desce. Toto kritérium splnila pouze Colibri Evaluation Board.



Obr. 3.2.1 Colibri evaluation board [11]

Velikost základní desky je 200 mm x 200 mm. Námi používané rozhraní se vyskytuje na třech stranách základní desky. Vyrobený kryt musí splňovat tyto rozměry a tvar uzpůsobený pro snadný přístup k těmto rozhráním. K nim lze poté snadno přistupovat pomocí fyzických konektorů a standardních pin hlaviček. Na desce jsou vyvedeny propojky, které umožňují snadné ladění a přesměrování signálů mezi rozhraními podle potřeby. To z desky činí velmi užitečnou platformu v průběhu vývoje. Další výhodou této desky je CAN rozhraní, které je přímo použitelné z desky, stejně jako Ethernet, USB a čtení SD karet. Dále i běžné hardwarové rozhraní JTAG, které poskytuje počítači přímou komunikaci s čipy na desce. Deska umožňuje přímé připojení multimediálních zařízení jako analogový zvuk, HDMI, VGA a TFT LCD. Proto bylo jednoduché vybrat kompatibilní displej pro tuto desku. [11]

3.3 Displej

Byl vybrán sedmi palcový dotykový displej s rozlišením 800 x 480 pixelů s vysokým jasnem a kapacitním dotykovým TFT modulem. TFT se používá v LCD displejích, ve kterém je každý pixel řízen jedním tranzistorem. To umožňuje proud, který osvětluje

displej, rychlejší zapínání a vypínání, a tím je displej jasnější. [12] K displeji je zapotřebí připojení adaptéru pro detekci dotyku na displeji přes I2C protokol.



Obr. 3.3 Kapacitní dotykový displej [11]

3.4 CAN rozhraní

CAN rozhraní má jasná kritéria. Připojení přes SPI, terminátor na desce (zakončovací odpor) a napěťová kompatibilita. Prvním výstupem této rešerše byl CAN Interface CPC-104P, který je řešený jako rozšíření připojení přes PCI-104 sběrnici. Tím ale zvolená základní deska nedisponuje.

Později jsem od zadavatele dostal doporučení na čip MCP2515 a přijímač MCP2551. Toto řešení jsem našel realizované výrobcem MICROE v 5 V i 3,3 V provedení, které se připojuje přes SPI sběrnici. Bylo zapotřebí ověřit napěťovou kompatibilitu. Prvním krokem bylo zjištění, odkud vede vstup na toto rozhraní ze základní desky. Výstupy byly připojeny na napětí 3,3V. Pokud by bylo zvoleno 5V provedení, nebylo by možné toto rozhraní dostatečně napájet ze základní desky (viz. Obr.3.3).

DC Characteristics			Industrial (I): T _{AMB} = -40°C to +85°C		V _{DD} = 2.7V to 5.5V	
			Extended (E): T _{AMB} = -40°C to +125°C		V _{DD} = 4.5V to 5.5V	
Param. No.	Sym	Characteristic	Min	Max	Units	Conditions
	V _{DD}	Supply Voltage	2.7	5.5	V	
	V _{RET}	Register Retention Voltage	2.4	—	V	
	V _{IH}	High-Level Input Voltage				
		RXCAN	2	V _{DD} + 1	V	
		SCK, $\overline{\text{CS}}$, SI, $\overline{\text{TXnRTS}}$ Pins	0.7 V _{DD}	V _{DD} + 1	V	
		OSC1	0.85 V _{DD}	V _{DD}	V	
		RESET	0.85 V _{DD}	V _{DD}	V	
	V _{IL}	Low-Level Input Voltage				
		RXCAN, $\overline{\text{TXnRTS}}$ Pins	-0.3	.15 V _{DD}	V	
		SCK, $\overline{\text{CS}}$, SI	-0.3	0.4	V	
		OSC1	V _{SS}	.3 V _{DD}	V	
		RESET	V _{SS}	.15 V _{DD}	V	

Obr.3.3 Napěťové vstupy a výstupy z datasheetu MCP2515

Jednou z možností bylo rozhraní CAN SPI click 3,3V desku od MICROE, která má řešení i terminátor pomocí propojky. Od toho samého výrobce jsem našel provedení s konektorem DB-9 MCP25625 click. U tohoto provedení byla možnost využít i desky s podporou CAN FD a to desku MCP2517FD.

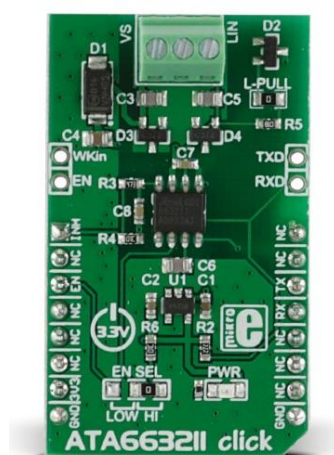


Obr. 3.4 MCP25625 click [13]

Toto provedení nám usnadní práci při návrhu krytu pro naše zařízení a možnost využít i CAN FD protokol. Zařízení tedy bude mít dvě desky s CAN FD protokolem a jednu s běžným CAN 2.0 protokolem s tím, že jedno CAN rozhraní má základní deska na sobě. Tato rozhraní jsou použitelné pro 5V i pro 3,3V logiku, kde volbu provádíme pomocí propojek. Pro nás bude 3,3V napájení kvůli výše popsané napěťové kompatibilitě.

3.5 LIN rozhraní

Připojení přes SPI sběrnici a napěťová kompatibilita se základní deskou, byly hlavními požadavky na LIN rozhraní. Prvnímu požadavku ale nebylo možné vyhovět. LIN sběrnice je založena na UART sériové komunikaci a vzhledem k rychlosti LIN sběrnice se jedná o nadměrný standard. Z tohoto důvodu jsme vybírali pouze z desek, které komunikují pouze pomocí UART rozhraní. Příhodné desky byli Isolated LIN Bus breakout od Copperhill technologies a ATA663211 CLICK od MICROE. Napěťovou kompatibilitu jsem ověřil stejně jako u předešlého výběru CAN rozhraní. Tímto způsobem jsme došli k obdobnému závěru a vybrali jsme opět čip s 3,3V logikou ATA663211.



Obr. 3.5 ATA663211 click [13]

3.6 Další komponenty

Posledním krokem výběru byla jednotlivá tlačítka. Důležitým kritériem bylo, aby k sobě rozměrově pasovali, z důvodu blízkého umístění. Bylo zapotřebí tedy dvanáct monostabilních tlačítek, z toho čtyři jsou určeny pro ovládání displeje. Vybral jsem tlačítka 1415NC, čtvercového tvaru o velikosti 18 mm x 18 mm. Dále bylo potřeba vybrat osm bistabilních tlačítek. Vybral jsem kolébkový přepínač H8600VBAAA obdélníkového tvaru o velikosti 15 mm x 21 mm. Jako analogové ovládací prvky jsem zvolil čtyři rotační potenciometry PDB181-K420K-502B s průměrem hřídele 6 mm. Pro ty byly následně vybrány knoflíky potenciometru. V poslední řadě byl zvolen ventilátor pro chlazení celého zařízení a to NOCTUA NF-A4x10 o velikosti 40 mm x 40 mm x 10 mm s tří-pinovým konektorem. Tento ventilátor byl zvolen hlavně kvůli napájecímu napětí 5 V, při vyšším

napájecím napětí by bylo potřeba realizovat napájecí obvod s vyšším napětím, protože naše základní deska má výstup maximálně pro 5 V.

3.7 Nákupní seznam

Na základě předešlého výběru všech základních komponent jsem sestavil nákupní seznam v podobě tabulky. Po domluvě se zadavatelem jsem přidal do nákupního seznamu USB WiFi modul a Carrier Board Accesory Kit, kde je ethernet kabel, DVI na VGA adapter, HDMI na DVI kabel, USB mikro A na A kabel, sériový port adapter, napájecí adapter a další. Tyto dvě položky jsem našel mezi doporučeným zbožím k základní desce na oficiálních stránkách Toradexu. [11]

Tab 3.7 Nákupní seznam vybraných komponentů

Položka	Kusů	Jednotková cena Kč	Cena Kč s DPH	Odkaz
Colibri iMX7 Dual 512MB	1	1 600,00	1 936,00	https://www.toradex.com/computer-on-modules/colibri-arm-family/nxp-freescale-imx7
Colibri evaluation board	1	4 567,00	5 526,07	https://www.toradex.com/products/carrier-board/colibri-evaluation-board
Carrier Board Accessory Kit	1	637,00	770,77	https://www.toradex.com/accessories/carrier-board-accessory-kit
LM816 USB WiFi	1	433,00	523,93	https://www.toradex.com/accessories/lm816-usb-wifi
Capacitive Touch Display 7" Paralel	1	2 271,00	2 747,91	https://www.toradex.com/accessories/capacitive-touch-display-7-inch-parallel
CAN MCP25625	1	593,00	717,53	https://www.mikroe.com/mcp25625-click
CAN MCP2517FD click	2	618,27	1 496,21	https://www.mikroe.com/mcp2517fd-click
ATA663211 CLICK	2	386,48	935,28	https://www.mikroe.com/ata663211-click
Monostabilní tlačítka	12	84,63	1 228,83	https://cz.farnell.com/apem/1415nc-black/switch-spdt-black/dp/1082275#
Bistabilní tlačítka	8	54,19	524,56	https://cz.farnell.com/arcoelectric/h8600vbaaa/switch-spst-10a-250vac-black/dp/151133?st=p%C5%99ep%C3%ADna%C4%8D%20kolebkovy
rotační potenciometr	4	30,70	148,59	https://cz.farnell.com/bourns/pdb181-k420k-502b/rotary-potentiometer-5kohm-17mm/dp/1823549?MER=AT-MER-PDP-BT-CUST-ALL-0
Knoflík potenciometru	5	13,27	80,28	https://cz.rs-online.com/web/p/knofliky-potenciometru/7777344/
Capacitive Touch Adapter	1	453,85	549,16	https://www.toradex.com/accessories/capacitive-touch-adapter#buy_now
Ventilátor NOCTUA NF-A4x10	1	264	319,44	https://www.alza.cz/noctua-nf-a4x10-5v-d5443140.htm?kampan=adw1_komponenty_dsa_all_obecna_chlazení-do-skrini-product_c_9062897_b_426679490537_~91875493345-&qclid=Ci0KCCQjwl4v4BRDaARIsAFjATPk5_bC-OrvvpCAiDPXtAbnAn4f3fkeYa-gwy5QPxKbmThPrk3ZNf7caAthMEALw_wcB
Celkem Kč:				17 504,56

V tomto nákupním seznamu nejsou další komponenty, jako jsou kabely, konektory, kondenzátory, rezistory a další komponenty, které byly vybrány pro výrobu desek plošných spojů a praktické realizace. Jsou to takové součástky, které se dají běžně pořídit v kamenných obchodech.

4 Hardwarová koncepce

Tato kapitola se zabývá návrhem celého zařízení. To obsahuje návrh pin mapy, návrh napájení všech rozhraní a komponentů, návrh desek pro konektory a pro rozhraní, návrh krytu.

4.1 PIN diagram zařízení

Jde o první krok realizace hardwarové koncepce. Jedná se o nezbytnou součást návrhu, kdy se musíme ujistit, že použité piny nebudou mezi sebou kolidovat. Každý SODIMM pin může mít více funkcí. Prvním krokem proto bylo projít datasheet základní desky a vybrat SODIMM piny, které nebudeme moci použít, protože na nich jsou připojené interní funkce k ethernetu, čtečce SD karet, CAN, analogovému rozhraní a připojenému adaptéru pro dotykový displej. Dále bylo třeba určit SPI a UART piny pro komunikaci s CAN a LIN rozhraní.

Notes	Pin					Pin	Notes
Standby control IP	STBY	1	AN	PWM	16	CLKO	Clock OP
	NC	2	RST	INT	15	INT	Interrupt OP
Chip select	CS	3	CS	TX	14	INT0	Int/GPIO 0 / ATA6563 StdBy
SPI Clock	SCK	4	SCK	RX	13	INT1	Int/GPIO 1
SPI data OP	MISO	5	MISO	SCL	12	NC	
SPI data IP	MOSI	6	MOSI	SDA	11	NC	
Power supply	+3.3V	7	3.3V	5V	10	+5V	Power supply
Ground	GND	8	GND	GND	9	GND	Ground

Obr. 4.1.1 MCP2517FD click pinout [13]

Tento pinout (Obr. 4.1.1) je stejný i pro MCP25625. Ten bude připojen na SPI3, který zvládne pouze jedno zařízení. Zbylé dvě desky MCP2517FD připojíme na SPI4, kde je

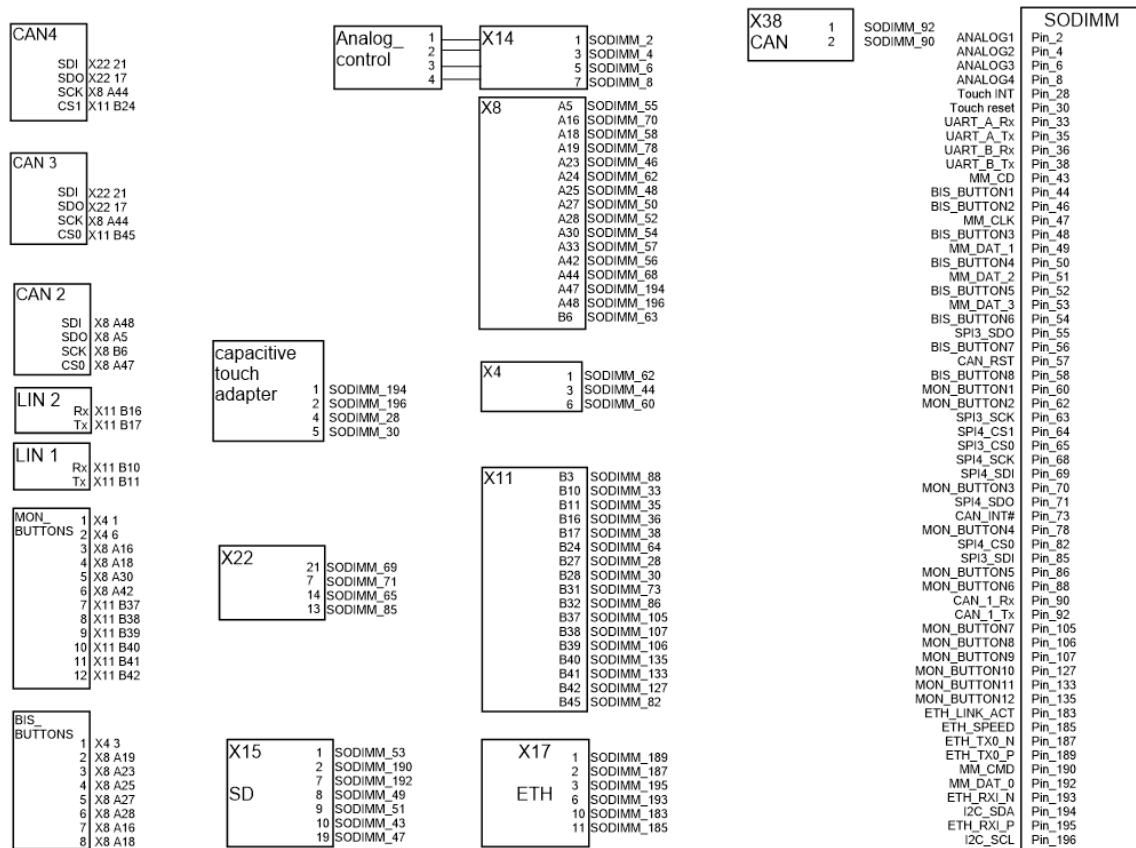
možné volit mezi více rozhraními pomocí CS pinu. Všechny tři desky budou připojeny na společnou zem a napájeny 3,3 V. Při návrhu DPS pro toto rozhraní budeme počítat se všemi piny pro budoucí rozšíření funkcí celého systému.

Notes	Pin	mikro™ BUS				Pin	Notes
controls an external voltage regulator	INH	1	AN	PWM	16	NC	
	NC	2	RST	INT	15	NC	
controls the operating mode of the device	EN	3	CS	TX	14	RX	UART Transmit
	NC	4	SCK	RX	13	TX	UART Receive
	NC	5	MISO	SCL	12	NC	
	NC	6	MOSI	SDA	11	NC	
+3.3V power input	+3.3V	7	3.3V	5V	10	NC	
Ground	GND	8	GND	GND	9	GND	Ground

Obr. 4.1.2 ATA663211 pinout [13]

LIN rozhraní je propojeno pomocí UART A a UART B. Obě desky budou mít společnou zem a napájení 3,3 V. Každá deska bude mít připojený EN pin, který přepíná mezi módy zařízení.

Poté se vybíralo ze zbylých volných pinů pro dvanáct tlačítek a osm přepínačů. Finální pin diagram můžeme vidět na obrázku 4.1.3, kde je vyznačeno zapojení od SODIMM pinu skrze pinové matice na základní desce až k jednotlivým připojeným rozhraním a tlačítkům.



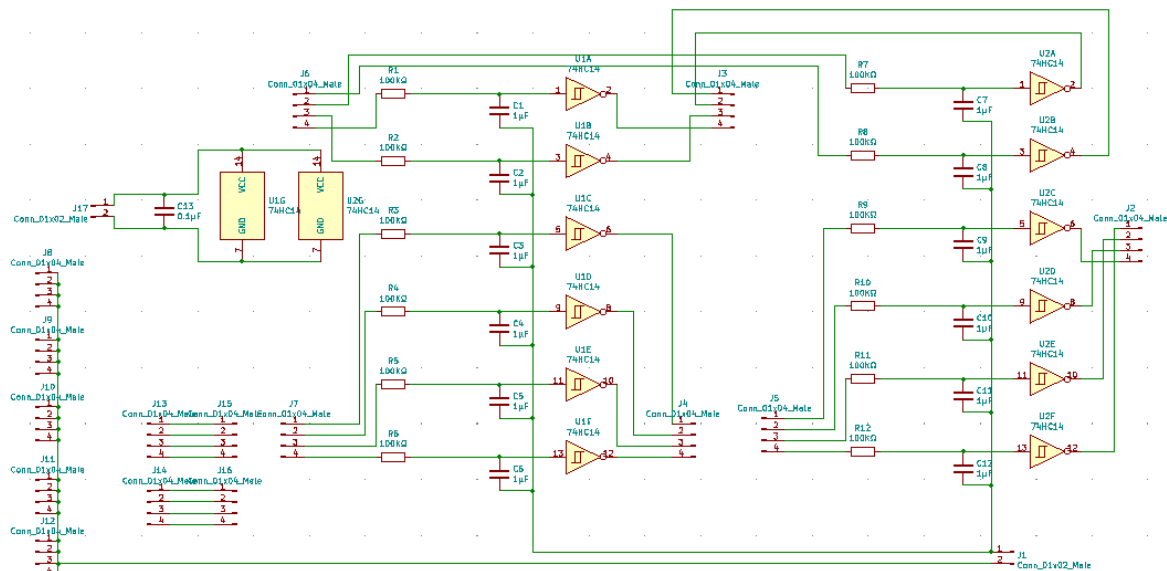
Obr 4.1.3 Pin diagram

4.2 Navržené desky

Pro uchycení CAN a LIN rozhraní, konektorů a ovládání tlačítek jsem musel navrhnout desky plošných spojů. Navrhl jsem tedy 3 různé desky. Pro návrh jsem na doporučení použil KiCAD. Jedná se o bezplatnou softwarovou sadu pro automatizaci elektronického designu.

První desku jsem navrhl pro tlačítka. U této desky jsem musel vyřešit zákmity tlačítek, které lze řešit dvěma způsoby. Buď hardwarem, nebo softwarem. Zadavatel se rozhodl pro hardwarové řešení zákmitů. To lze realizovat pomocí dolní propusti RC článku se Schmittovým klopným obvodem pro každé tlačítko zvlášť. Pro realizaci dolní propusti, je zapotřebí vzít v úvahu dobu, po kterou bude tlačítko stisknuté. Jde o kompromis, mezi odolnějším systémem bez detekce krátkého stisku a systémem, který detekuje krátký stisk ovšem na úkor možnosti chybné detekce dvou stisků během dvou momentů následované krátce po sobě. Pro hodnoty při 3,3 V, byl vybrán odpor o velikosti 100 kΩ a kondenzátor o velikosti 1 μF, tomu odpovídá časová konstanta 100 ms. Uvážíme-li, že se klopný obvod překlopí při napájecím napětí 3,3 V, při vstupním napětí 3,3 V v 2,5 V, tak to vychází na 1

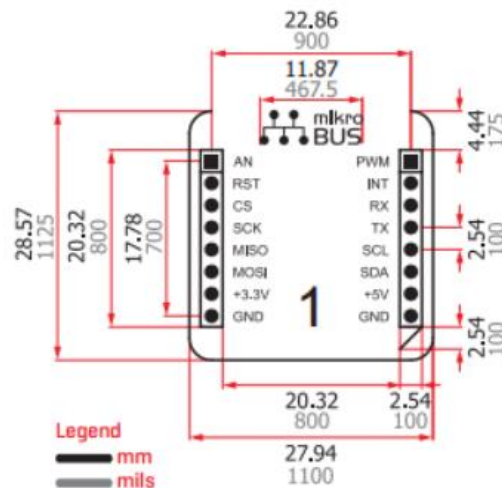
až 2 časové konstanty, tedy 100-200 ms. Před napájecím napětí klopných obvodů, jsem použil vyrovnávací keramický kondenzátor o velikosti 0,1 μF . Použil jsem JST XH 2,54 mm konektory pro přívod vstupního napětí, napájecího napětí a pro GPIO signály, které jsou propojeny přes desku od základní desky k tlačítkům.



Obr. 4.2.1 schéma zapojení DPS pro tlačítka

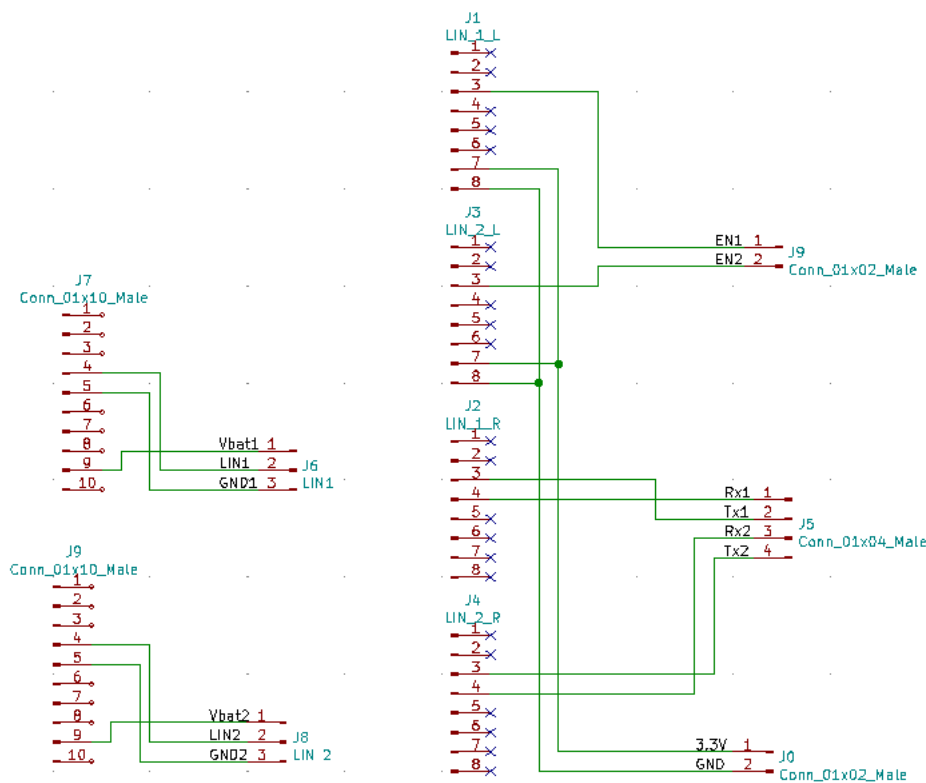
Na každé bistabilní a monostabilní tlačítko bude přivedeno napětí o velikosti 3,3 V. Bude použita inverzní logika, což znamená, že bude kladný signál na výstupu každého monostabilního tlačítka a při stisku se přeruší. Z tlačítek to dále vede přes dolní propust do klopného obvodu a nakonec do základní desky pomocí JST XH konektorů (viz. 4.2.1).

Další navrženou deskou je deska pro LIN rozhraní. Tu jsem navrhl v podobě patice pro mnou zvolené LIN rozhraní. Jde o vytvoření děr na desce, které budou sedět s rozměry na LIN rozhraní propojené klasickými pinovými hlavičkami se vzdáleností 2,54 mm mezi propojovacími otvory. Rozhraní LIN a CAN mají stejné rozměry pro vytvoření patice na desku plošného spoje. Jediné v čem se liší, je celková délka desek.



Obr. 4.2.2 rozměry patice pro LIN a CAN rozhraní [13]

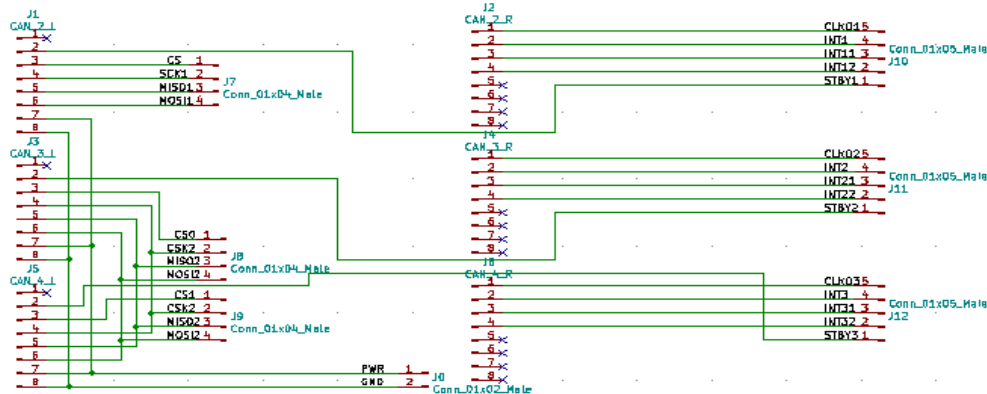
Pro signálové vstupy, napájení a zem jsem zvolil stejné konektory jako na předešlé desce JST XH 2,54 mm. LIN deska nedisponuje zabudovaným DB-9 konektorem. Byl zvolen konektor MLW10G, který bude připájený na desku. Jedná se o konektor, do kterého se připojuje plochý kabel o 10 signálech za pomoci samořezného konektoru PFL10.



Obr. 4.2.3 Schéma zapojení DPS pro LIN rozhraní

Poslední navrženou deskou je deska pro CAN rozhraní. Je navržena na stejném principu jako LIN deska. S rozdílem, že CAN rozhraní má na sobě zabudovaný DB-9 konektor. To znamená, že nepotřebují další konektory pro vývod signálů, ale řeším

rozměry obou CAN rozhraní, aby byli rozměrově kompatibilní do navrženého krytu. Pomocí JST XH konektorů jsem připojil SPI sběrnici a napájení rozhraní. Pro budoucí rozšíření funkčnosti zařízení jsou vyvedeny všechny zbylé použité piny. Ty už jsou vyvedeny pouze pomocí klasických pinových hlaviček.

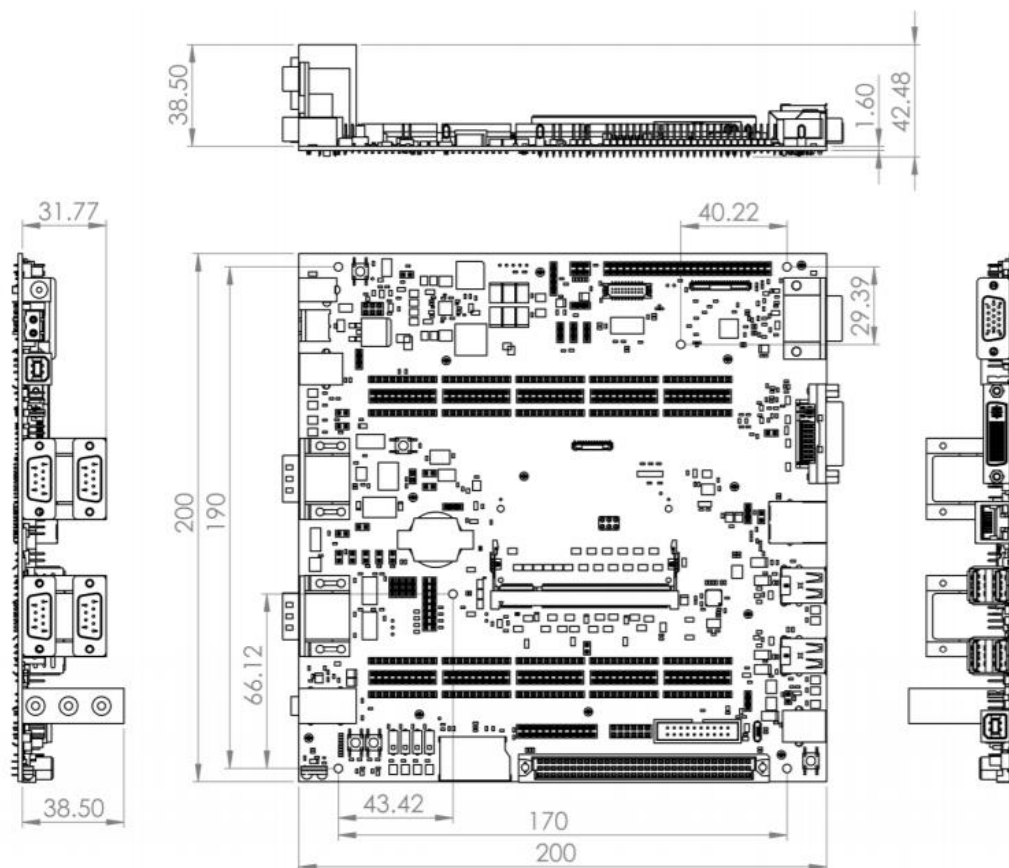


Obr. 4.2.4 Schéma zapojení DPS pro CAN rozhraní

4.3 Návrh přístrojového krytu

Pro naše zařízení je potřeba i speciální kryt, který je třeba navrhnout přesně pro požadovanou aplikaci. K návrhu jsem použil software od Autodesku Fusion 360, který je zdarma pro studenty. Kryt bude tisknut na západočeské univerzitě pomocí 3D tiskárny. Její velikost je omezena tiskárnou a to na maximálně 230 mm x 230 mm x 230 mm. Domluvená tloušťka stěn jsou 2 mm. Vzhledem k velikosti krytu a pružnosti plastu, nemohla být zvolena menší.

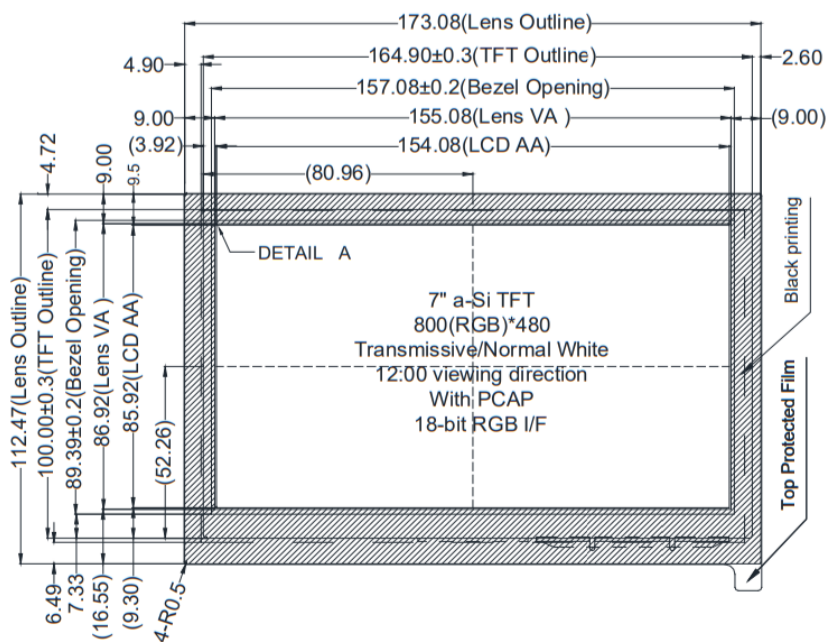
Pro bezproblémový přístup k použitým konektorům na základní desce byla zvolena šířka krytu 204 mm. Z důvodu jednoduché montáže součástek a místa pro manipulaci s deskami byla zvolena délka krytu 230 mm.



Obr. 4.3.1 Rozměry základní desky [11]

Na oficiálních stránkách Toradexu [11] je k dispozici step file základní desky. Je možné ho otevřít právě v Autodesku Fusion 360. Díky tomu jsem zjistil přesné rozměry základní desky a následně pomocí měření přenesl všechny potřebné rozměry pro výřez na krytu. Z levé strany bude výřez pro napájení, USB sériový výstup, CAN, RS422, dvakrát RS232 a třikrát 3,5 mm audio jack. Zepředu pouze výřez na SD kartu. Z pravé strany bude výřez na čtyři USB otvory, ethernet, HDMI a VGA. Pro uchycení základní desky jsem navrhl umístění otvorů pro M3 šrouby na spodní straně krytu (viz Obr. 4.3.1).

Dále bylo zapotřebí navrhnout umístění vybraného dotykového displeje na krytu. Byl umístěn na přední straně krytu spolu se čtyřmi ovládacími monostabilními tlačítky. Uchycení displeje jsem zvolil tak, aby strana krytu s displejem, byla zkosena pod úhlem 45 stupňů. Rozměry otvoru pro displej jsou znázorněny na obrázku 4.3.2. Pro uchycení displeje v krytu jsem zvolil kombinaci dvou obdélníkových výřezů, kdy spodní výřez, který slouží jako zářezka, má menší obvod, ale stejný poměr stran jako vrchní výřez. Zapuštění displeje na okrajích je 1,9 mm. Jako horní zářezku proti vypadnutí jsem navrhl rámeček upevněný pomocí M3 šroubů do zkosené strany krytu.



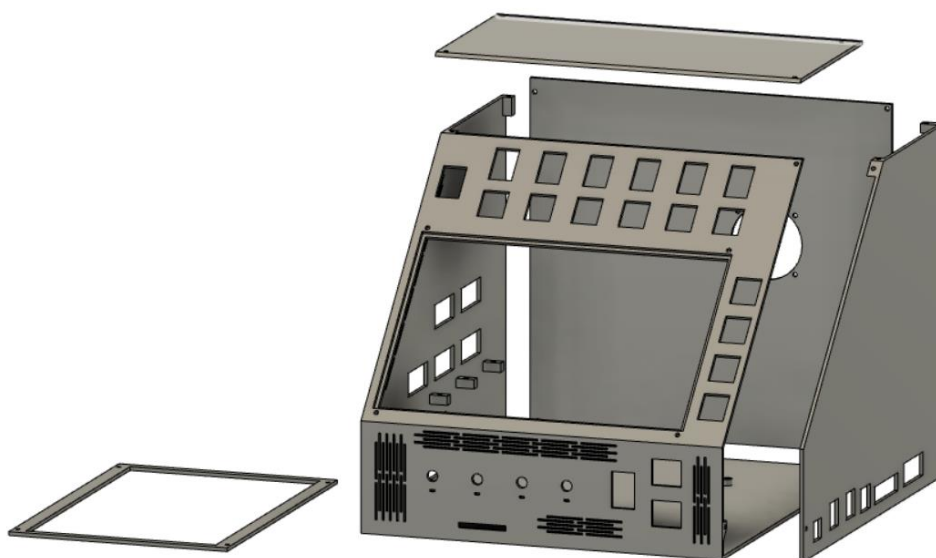
Obr. 4.3.2 Rozměry dotykového displeje[11]

Dále bylo zapotřebí do krytu umístit tlačítka, přepínače a analogové ovládací prvky. Po domluvě se zadavatelem jsem umístil všechny ovládací prvky na přední stranu krytu stejně jako displej. Toto zhotovení je znázorněno na Obr. 4.3.3. Na zbylé místo nad displejem byly vyřezané otvory obdélníkového tvaru pro šest monostabilních a pro sedm bistabilních tlačítek. Pro bistabilní tlačítko je výřez v panelu 19,8 mm x 13 mm, zatímco pro monostabilní tlačítko je 16,5 mm x 14,3 mm. Místo pod displejem bylo využito pro uložení čtyř rotačních potenciometrů. Bylo potřeba je navrhnout v takové dostatečné vzdálenosti, ve které se nebudou protínat knoflíky potenciometrů.

Bylo potřeba rozmyslet i chlazení celého systému. Na zadní straně zařízení bude umístěn vybraný ventilátor. Pro uchycení má kryt ventilátoru v jeho rozích díry. Tyto díry jsou umístěny po obvodu čtverce 32 mm x 32 mm. Z tohoto důvodu se musí na celém krytu vymyslet větrací otvory, přes které bude ventilátor vzduch nasávat dovnitř krytu a skrze sebe vyvádět horký vzduch z krytu ven. Otvory pro nasávání vzduchu jsou na přední straně krytu. Na zadní straně je umístěn otvor včetně ventilátoru pro odsávání ohřátého vzduchu. Do těchto otvorů určených pro chlazení se později dají sítky kvůli prachu a jiným tělesům, který by mohli mít negativní účinek na chod celého zařízení.

Poté bylo řešeno umístění konektorů CAN a LIN na krytu. Byla zvolena levá strana krytu, kde je vyveden jeden již použitý CAN ze základní desky. Pro výřez v krytu bylo potřeba zjistit velikost použitých DB-9 konektorů a zamyslet se na jejich uchycení. U tohoto návrhu bylo potřeba promyslet umístění jednotlivých desek v krytu tak, aby byla zachována jejich snadná dostupnost při montáži a navzájem se nekryli. Navržená CAN deska má na sobě rozhraní s DB-9 konektory, proto bude zasazena kolmo ke stěně. Na rozdíl od CAN desky bude deska pro tlačítka a LIN upevněná k pravé straně krytu. Rozměry desky pro LIN rozhraní jsou 107 mm x 43 mm s montážními dírami v každém rohu s odstupem 4 mm od každé strany. Rozměr desky pro tlačítka je 100 mm x 67 mm a montážní díry jsou řešené stejně jako u LIN rozhraní. Deska pro CAN rozhraní má rozměry 70,8 mm x 137 mm. Díry má řešené jinak než zbylé dvě desky, jelikož bude zasazena kolmo do stěny. Bylo zapotřebí vymyslet takové řešení, kde bude deska velmi pevně připevněna ke stěně krytu. Proto byly zvoleny pod navrženou desku čtyři úchyty pro M3 šrouby a konektor bude přišroubován ke krytu.

Celý kryt bude rozdělen na čtyři části, pro snadnou přístupnost, následné úpravy a montáž. Rozebíratelné budou levá, horní a zadní část krytu, které se k sobě přimontují pomocí M3 šroubů. Čtvrtou částí je rámeček na uchycení displeje. Pro úchyt zmíněných M3 šroubů se navrhuje díry o průměru 2,5 mm s 3,6 mm hloubkou.



Obr. 4.3.3 Návrh krytu

4.4 Teoretický postup oživení a montáže

Tato kapitola se bude věnovat stručnému teoretickému postupu oživení a montáže celého zařízení. V závěru bude vysvětlen důvod zpracování jen teoretickou formou.

4.4.1 Instalace operačního systému

Prvním krokem realizace navrhovaného zařízení bude oživení řídicí jednotky. Toradex na svých oficiálních stránkách nabízí jednoduchý instalační balíček, který umožňuje uživatelům instalovat výběr obrazů operačního systému do interní flash paměti modulu jednoduchým způsobem. K tomu potřebujeme připojit vybraný procesorový modul k základní desce. Pro nahrání operačního systému můžeme volit mezi čtyřmi postupy. Preferovaný postup je použití externího počítače používající USB/OTG port při přepnutí řídicí jednotky do recovery módu. [11]

Po nahrání operačního systému se můžeme přesvědčit o jeho funkčnosti připojením dotykového displeje a následným zobrazením uživatelského rozhraní. Mezi instalované operační systémy v instalačním balíčku patří Embedded Linux a Windows Embedded Compact. Pro komunikaci mezi Cortex-M4 a Cortex-A7 je potřeba nainstalovat FreeRTOS. Detailnější postup celého procesu lze najít na oficiálních stránkách Toradexu. [11]

4.4.2 Montáž

Prvním krokem montáže je umístění základní desky s již připojeným procesorovým modulem do krytu. V krytu jsou navrženy díry pro uchycení desky pomocí M3 šroubů. Dále umístíme displej do navrženého otvoru na přední straně krytu. Po jeho usazení přišroubujeme navržený rámeček. Do budoucna je možné se zamyslet nad pružným uložením displeje, kvůli těsnění kolem a tlumení nárazů. Displej rovnou připojíme k základní desce pomocí 40 pinového plochého kabelu. Následně připojíme 10 pinový plochý kabel k adaptéru pro detekci dotyku.

Dále umístíme do krytu všechny přepínače, tlačítka, potenciometry, konektory a ventilátor. Pro bezproblémové připojení všech ovládacích prvků k desce je zapotřebí splnit následující postup. Nejdříve připojíme adaptér pro dotykový displej k základní desce podle Tab. 4.4.2.1. Následně propojíme analogové ovládací prvky se základní deskou podle

Tab. 4.4.2.2. Poté propojíme navrženou LIN desku se základní deskou podle Tab. 4.4.2.3. Předposlední propojenou deskou je deska pro tlačítka a přepínače. Tu zapojíme podle Tab. 4.4.2.4. Poslední zapojenou deskou bude deska s CAN rozhraním podle Tab. 4.4.2.5.

Po celkovém propojení se základní deskou uchytkáme CAN rozhraní k levé straně krytu, následně uchytkáme ostatní desky k pravé straně krytu. Pravou stranu poté přichytkáme k hlavní části krytu a přišroubujeme k sobě. Z LIN rozhraní vedou 3 kabely, které jsem připojil zpět na desku do konektorů J6 a J8. Jedná se o konektory pro ploché kabely. Před připojením těchto konektorů je potřeba získat fyzicky tyto komponenty a zkontrolovat, zda odpovídá navržené zapojení. Následně zasazené ploché kabely z LIN desky propojíme s konektory v levé straně krytu.

Tab. 4.4.2.1 Tabulková PIN mapa kapacitního dotykového adaptéru

Pin na adaptéru	Funkce	PIN na carrier boardu
X1 1	I2C_SCL	X8 A48
X1 2	I2C_SDA	X8 A47
X1 3	GND	X11 B36
X1 4	touch int	X11 B27
X1 5	touch reset	X11 B28
X1 6	PWR	X11 B29

Tab. 4.4.2.2 Tabulková PIN mapa potenciometrů

Připojený komponent	Funkce	PIN na carrier boardu
Analogové ovládání 1	ANALOG_IN	X14 7
Analogové ovládání 2	ANALOG_IN	X14 5
Analogové ovládání 3	ANALOG_IN	X14 3
Analogové ovládání 4	ANALOG_IN	X14 1
Analogové ovládání 1	ANALOG_OUT	X14 10
Analogové ovládání 2	ANALOG_OUT	X14 12
Analogové ovládání 3	ANALOG_OUT	X14 14
Analogové ovládání 4	ANALOG_OUT	X14 16

Tab. 4.4.2.3 Tabulková PIN mapa LIN desky

konektor na desce	Funkce	PIN na carrier desce nebo komponentě
J5 1	Rx1	X11 B16
J5 2	Tx1	X11 B17
J5 3	Rx2	X11 B10
J5 4	Tx2	X11 B11
J9 1	EN1	X8 A38
J9 2	EN2	X8 A17
J0 1	PWR	X8 B15
J0 2	GND	X8 B22
J6 1	Vbat1	LIN interface 1
J6 2	LIN1	LIN interface 1
J6 3	GND1	LIN interface 1
J8 1	Vbat2	LIN interface 2
J8 2	LIN2	LIN interface 2
J8 3	GND2	LIN interface 2

Tab. 4.4.2.5 Tabulková PIN mapa desky pro tlačítka

PIN konektoru na desce	Funkce	PIN na carrier desce nebo komponentě
J1 1	GND	X8 B45
J1 2	PWR	X8 B46
J2 1	GPIO_OUT_MON_1	X4 1
J2 2	GPIO_OUT_MON_2	X4 6
J2 3	GPIO_OUT_MON_3	X8 A30
J2 4	GPIO_OUT_MON_4	X8 A42
J3 1	GPIO_OUT_MON_5	X11 B32
J3 2	GPIO_OUT_MON_6	X11 B3
J3 3	GPIO_OUT_MON_7	X11 B37
J3 4	GPIO_OUT_MON_8	X11 B38
J4 1	GPIO_OUT_MON_9	X11 B39
J4 2	GPIO_OUT_MON_10	X11 B40
J4 3	GPIO_OUT_MON_11	X11 B41
J4 4	GPIO_OUT_MON_12	X11 B42
J5 1	MON_OUT_1	výstup monostabilního tlačítka 1
J5 2	MON_OUT_2	výstup monostabilního tlačítka 2
J5 3	MON_OUT_3	výstup monostabilního tlačítka 3
J5 4	MON_OUT_4	výstup monostabilního tlačítka 4
J6 1	MON_OUT_5	výstup monostabilního tlačítka 5
J6 2	MON_OUT_6	výstup monostabilního tlačítka 6
J6 3	MON_OUT_7	výstup monostabilního tlačítka 7
J6 4	MON_OUT_8	výstup monostabilního tlačítka 8
J7 1	MON_OUT_9	výstup monostabilního tlačítka 9
J7 2	MON_OUT_10	výstup monostabilního tlačítka 10
J7 3	MON_OUT_11	výstup monostabilního tlačítka 11
J7 4	MON_OUT_12	výstup monostabilního tlačítka 12
J8 1	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J8 2	BUTTON_IN	vstup do tlačítka

J8 3	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J8 4	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J9 1	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J9 2	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J9 3	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J9 4	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J10 1	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J10 2	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J10 3	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J10 4	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J11 1	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J11 2	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J11 3	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J11 4	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J12 1	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J12 2	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J12 3	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J12 4	BUTTON_IN	vstup do tlačítka
J13 1	BIS_OUT_1	výstup bistabilního tlačítka 1
J13 2	BIS_OUT_2	výstup bistabilního tlačítka 2
J13 3	BIS_OUT_3	výstup bistabilního tlačítka 3
J13 4	BIS_OUT_4	výstup bistabilního tlačítka 4
J14 1	BIS_OUT_5	výstup bistabilního tlačítka 5
J14 2	BIS_OUT_6	výstup bistabilního tlačítka 6
J14 3	BIS_OUT_7	výstup bistabilního tlačítka 7
J14 4	BIS_OUT_8	výstup bistabilního tlačítka 8
J15 1	GPIO_OUT_BIS_1	X4 3
J15 2	GPIO_OUT_BIS_2	X8 A19
J15 3	GPIO_OUT_BIS_3	X8 A23
J15 4	GPIO_OUT_BIS_4	X8 A25
J16 1	GPIO_OUT_BIS_5	X8 A27
J16 2	GPIO_OUT_BIS_6	X8 A28
J16 3	GPIO_OUT_BIS_7	X8 A16
J16 4	GPIO_OUT_BIS_8	X8 A18
J17 1	PWR	X8 B43
J17 2	GND	X8 B44
J18 1	ADC_IN	Vstup na potenciometr
J18 2	ADC_IN	Vstup na potenciometr
J18 3	ADC_IN	Vstup na potenciometr
J18 4	ADC_IN	Vstup na potenciometr

Tab. 4.4.2.5 Tabulková PIN mapa CAN desky

konektor na desce	Funkce	PIN na carrier desce
J7 1	CS	X22 14
J7 2	SCK1	X8 B6
J7 3	MISO1	X22 13
J7 4	MOSI1	X8 A5
J8 1	CS0	X11 B45
J8 2	SCK2	X8 A44
J8 3	MISO2	X22 21
J8 4	MOSI2	X22 17
J9 1	CS1	X11 B24
J9 2	SCK2	X8 44
J9 3	MISO2	X22 21
J9 4	MOSI2	X22 17
J0 1	PWR	X11 B1
J0 2	GND	X11 B8

V tabulce jsou připojeny pouze potřebné funkce rozhraní pro oživení zařízení. Na CAN desce jsou vyvedeny všechny použitelné piny pro budoucí rozšíření funkce.

Posledním připojeným komponentem bude ventilátor, kterému připojíme na vstupní napětí 5 V a zem. V tomto bodě by měli být propojeny všechny desky a komponenty se základní deskou, takže už jen stačí přišroubovat zadní a horní stranu krytu.

Závěr

V první části bakalářské práce jsem popsal základní princip fungování protokolů CAN a LIN. To zahrnuje popis využití CAN komunikace v praxi, její základní typy zpráv, princip přenosu zpráv, arbitráž a protokoly vyšších vrstev. Dále princip činnosti LIN sběrnice, její využití v praxi, typy zpráv, rámců a speciálních funkcí LIN vysílačů.

V druhé části jsem porovnal doporučené komponenty a následně z nich vybral ty, které vyhovují předpokládané funkci navrhovaného zařízení. Nejdříve jsem vybral procesorový modul. K němu vyhovující základní desku a kompatibilní kapacitní dotykový displej. Dále bylo potřeba vybrat vyhovující CAN a LIN rozhraní, u kterých jsem musel řešit napěťovou kompatibilitu a typ komunikace s vybranou carrier deskou. V poslední řadě šlo o výběr menších komponent, mezi něž patří tlačítka, přepínače a potenciometry pro analogové ovládání.

Ve třetí části jsem se zabýval vytvořením pin diagramu, návrhem desek plošných spojů pro jednotlivé komponenty a vyhovujícího řešení krytu. Pro pin diagram bylo zapotřebí zohlednit využití piny základní desky pro ethernet, USB, čtečku SD karet, CAN a analogové ovládání. Dále SPI a UART komunikaci pro vybrané rozhraní a následně využít zbylé volné SODIMM piny pro tlačítka, přepínače a jiné funkce CAN a LIN rozhraní. Poté bylo zapotřebí vytvořit jednotlivé desky pro CAN, LIN rozhraní a tlačítka. U tlačítek bylo potřeba vyřešit jejich zákmitý napětí při stisku. Tuto problematiku jsem vyřešil pomocí dolní propusti se Schmittovým klopným obvodem. V poslední řadě jsem vytvořil návrh 3D modelu krytu pro uložení všech komponent a desek.

Posledním zadáním bakalářské práce byla praktická realizace navrhovaného CAN simulátoru. Tuto část jsem popsal pouze teoreticky z důvodu dlouhodobého výběru komponent. S tímto faktem, dále s pozdním objednáním a s problémovou dopravou při epidemii Covidu-19 nepřišly komponenty včas.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DI NATALE, Marco. Understanding and using the controller area network communication protocol: Theory and practice. New York: Springer, 2012. ISBN 978-1461403135.
- [2] VOSS, Wilifried. *A comprehensible guide to controller area network*. Greenfield: Cooperhill Technologies Corporation, 2005. ISBN 978-0976511601.
- [3] Bosch, R. (1991). CAN Specification Version 2.0. *Rober Bousch GmbH, Postfach, 300240, 72*. Dostupné z: <http://esd.cs.ucr.edu/webres/can20.pdf>
- [4] Arbitration [online]. -: Omid Avatefipour, 2017 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Arbitration-condition-in-CAN-Bus-protocol_fig1_321474822
- [5] *CAN bus Explained* [online]. -: csselectronics, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-to-can-bus/language/en?fbclid=IwAR3tmHgvybimTiTCuHR23Y4ZdHKE8M77qDgJ4sz91nbWoCoPZw6l7pLqhOQ>
- [6] *LIN specification package* [online]. Německo: LIN Consortium, 2006 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.lin-cia.org/fileadmin/microsites/lin-cia.org/resources/documents/LIN-Spec_Pac2_1.pdf
- [7] *LIN Protocol and ...* [online]. Texas: Texas Instruments, 2018 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slla383/slla383.pdf?ts=1587947906185>
- [8] *Debugging CAN, LIN...* [online]. USA: Tektronix, 2018 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.multivu.com/players/English/7990951-tektronix-5-series-mso-mixed-signal-oscilloscope/docs/debugging-1495769535785-1802266230.pdf>
- [9] *LIN* [online]. Brno: Ing. Tomáš Sutory, 2004 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04012/index.html?fbclid=IwAR0684WR5UFMZWSObTXbfBz03GTbBokDaifc9JtVG0TRkHisxfqSBh6yso8>
- [10] *Měřicí a řídicí...* [online]. Ostrava: Petr Janda, 2015 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z: <http://akce.fs.vsb.cz/1998/asr98/Sbornik/janda/janda.htm>
- [11] *Toradex* [online]. Švédsko: Toradex, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.toradex.com/>
- [12] *TFT Definition* [online]. USA: Christensson, P., 2006 [2020-06-17]. Dostupné z: <https://techterms.com/definition/tft>
- [13] *Microe* [online]. Srbsko: Microe, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.mikroe.com>

Přílohy