

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

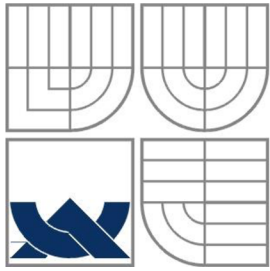
OVLÁDACÍ PANEL S DOTYKOVÝM DISPLEJEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

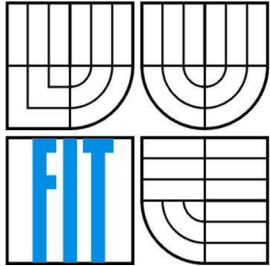
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN NEVORAL

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

OVLÁDACÍ PANEĽ S DOTYKOVÝM DISPLEJEM

CONTROL PANEL WITH TOUCHSCREEN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN NEVORAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR MUSIL

BRNO 2015

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit desku plošných spojů umožňující připojení dotykového displeje, která bude sloužit jako univerzální platforma pro ovládání různorodých zařízení, včetně průmyslových. Funkčnost desky je ukázána na ovládání plynového kotle. První část práce se věnuje v současnosti používaným a dostupným grafickým displejům, dotykovým obrazovkám, komunikačním rozhraním a mikrokontrolérům umožňujícím řízení grafického displeje. Hlavní pozornost je zaměřena na LCD TFT displeje, odporové dotykové panely a mikrokontroléry s LCD TFT kontrolérem. Druhá část popisuje výběr jednotlivých komponent systému, návrh obvodového schématu a desky plošných spojů a implementaci termostatu. Závěr práce hodnotí vyrobené zařízení a nabízí možnosti jeho dalšího rozvoje.

Abstract

The aim of this work is to design and construct a printed circuit board with touchscreen connection that will serve as a universal platform for controlling a variety of devices including industrial devices. The functionality of the board is demonstrated on control of gas boiler application. The first part attends to currently used and available graphic displays, touchscreens, communication interfaces and microcontrollers that allow control of a graphic display. The main focus is put on LCD TFT displays, resistive touch panels and microcontrollers with LCD TFT controller. The second part describes the selection of system components, design of printed circuit board and implementation of thermostat. The end of the work evaluates the produced device and discusses possible future extensions.

Klíčová slova

Ovládací panel, grafický displej, LCD TFT displej, dotykový displej, komunikační rozhraní, mikrokontrolér, LPC4357.

Keywords

Control panel, graphic display, LCD TFT display, touchscreen, communication interfaces, microcontroller, LPC4357.

Citace

Nevoral Jan: Ovládací panel s dotykovým displejem, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Ovládací panel s dotykovým displejem

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Musila. Další informace mi v průběhu školního roku poskytl Ing. Václav Šimek. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Bc. Jan Nevoral

23. 5. 2015

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Petru Musilovi za vedení diplomové práce, zpřístupnění potřebného technického vybavení a čas strávený při konzultacích, Ing. Václavu Šimkovi za cenné rady při návrhu a ožívování desky plošných spojů a Bc. Marku Miklíčkovi za výrobu desky plošných spojů.

© Jan Nevoral, 2015

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Teoretický rozbor.....	3
2.1	Displej.....	3
2.2	Dotyková obrazovka.....	9
2.3	Komunikační rozhraní	12
2.4	Mikrokontrolér.....	17
3	Vlastní realizace.....	20
3.1	Výběr displeje a mikrokontroléru	20
3.2	Výběr periférií	21
3.3	Obvodové schéma karty	22
3.4	Deska plošných spojů	30
3.5	Firmware.....	35
3.6	Zhodnocení ovládacího panelu	40
4	Závěr	43
	Literatura	44
	Seznam příloh.....	47
	Příloha 1: Přiřazení funkcí k pinům MCU	48
	Příloha 2: Obvodové schéma karty	52
	Příloha 3: Deska plošných spojů	61
	Příloha 4: Seznam použitých součástek	65

1 Úvod

Prostředníkem komunikace mezi uživatelem a elektronickým zařízením přestávají být pouze klasické vstupní prvky jako tlačítka, vypínače, potenciometry, klávesnice nebo myši. Pozornost se přesouvá k prostředkům, jako jsou dotykové displeje. Ty jsou pro člověka intuitivnější, jeho pozornost se tak může soustředit pouze na jedno místo. Dochází k redukci počtu ovládacích prvků a v důsledku toho často ke zmenšení zařízení.

Takovým zařízením, ve kterém je možné a vhodné použít dotykovou obrazovku, je i ovládací panel. Cílem této práce je navrhnout a vytvořit desku plošných spojů s mikrokontrolérem umožňující připojení dotykového displeje, která se může stát univerzální platformou pro ovládání různorodých zařízení, včetně průmyslových. Funkčnost desky bude předvedena na ukázkové aplikaci digitálního termostatu pro ovládání plynového kotle.

Práce představuje nejdůležitější komponenty pro výrobu ovládacího panelu, popisuje komunikační rozhraní, jež by šlo využít pro připojení periférií a senzorů. Pozornost je věnována výběru jednotlivých komponent systému, návrhu jeho detailního elektronického schématu a čtyřvrstvé desky plošných spojů. Součástí je také aplikace demonstrující funkčnost vyrobené karty ovládacího panelu.

První část práce se věnuje v současnosti používaným a dostupným grafickým displejům (kapitola 2.1), dotykovým obrazovkám (kapitola 2.2), komunikačním rozhraním pro připojení periférií (kapitola 2.3) a mikrokontrolérům, které umožňují řízení grafických displejů (kapitola 2.4).

Druhá část je zaměřena na praktickou realizaci. Nejprve je vybrán typ displeje, mikrokontrolér (kapitola 3.1) a periférie na kartě (kapitola 3.2). Z blokového schématu je vytvořeno detailní obvodové schéma (kapitola 3.3) a vyrobena a oživena deska plošných spojů (kapitola 3.4). Pro tu je naimplementován firmware, umožňující mj. zobrazení na displeji a práci s dotykovou vrstvou, a ukázková aplikace – termostat (kapitola 3.5). Závěr práce se věnuje zhodnocení vytvořené karty ovládacího panelu a uvádí možnosti jejího dalšího rozvoje (kapitola 3.6).

Diplomová práce navazuje na semestrální projekt, v jehož rámci byla nastudována teorie k nejdůležitějším komponentám systému a použitým rozhraním, vybrán mikrokontrolér a vytvořeno blokové schéma karty ovládacího panelu.

2 Teoretický rozbor

Tato kapitola se zabývá nejdůležitějšími částmi vyvíjeného ovládacího panelu s dotykovým displejem – grafickými displeji, dotykovými obrazovkami a mikrokontroléry. Stručně jsou také popsána komunikační rozhraní, která budou využita na jeho kartě.

Pozornost je zaměřena na displeje, které bývají osazeny dotykovou vrstvou, a mikrokontroléry, jež umožňují řízení grafických displejů. Podrobněji jsou popsány způsoby řízení LCD TFT displejů a způsoby získávání dat z rezistivního dotykového panelu.

2.1 Displej

Displej je výstupní zařízení, které slouží pro zobrazování informací v podobě, která je srozumitelná lidem. Nejčastěji je vizuální (text či grafika), může však být např. i hmatatelná (elektronické displeje pro nevidomé). V současné době se vyrábějí převážně displeje elektronické. Jsou neustále zdokonalovány, vyvíjejí se nové technologie, které zlepšují jejich vlastnosti a snižují cenu. Z hlediska principu zobrazování je dělíme na [1]:

- **Pasivní** – vyžadují cizí osvětlení. Samy nevyzařují žádné světlo, ale ovlivňují jeho odraz nebo průchod.
- **Aktivní** – generují optické záření. Pro jejich čitelnost tedy není vyžadováno okolní světlo ani podsvícení.

Podle množství současně zobrazované informace je dělíme do dvou skupin:

- S malou hustotou zobrazované informace
- S velkou hustotou zobrazované informace

Ve vestavěných systémech se nejčastěji používají dvě skupiny displejů:

- **Segmentové** displeje nejčastěji zobrazují číslice, mohou ale zobrazit i některé speciální symboly (podle segmentů konkrétního displeje). Používají se v nenáročných aplikacích, jako jsou kalkulátory, teploměry nebo budíky. Nejčastěji to jsou LCD displeje (Obrázek 2.1), displeje složené z LED diod (Obrázek 2.2) nebo VFD displeje. Mají malou hustotu zobrazované informace, jsou levné a většinou jednobarevné.
- **Grafické** displeje mají vyšší hustotu zobrazované informace, obsahují matici ovladatelných bodů (pixelů). Obecně se liší se výrobními technologiemi, rozlišením, velikostí, barevnou hloubkou, spotřebou energie, viditelností na slunci, rychlostí odezvy, životností nebo cenou. Mohou být monochromatické nebo barevné.

Dále je pozornost věnována grafickým displejům typu **LCD**, **OLED** a **E-ink**. Ty jsou v malých vestavěných systémech používány nejčastěji a mohou být navíc osazeny dotykovou vrstvou.



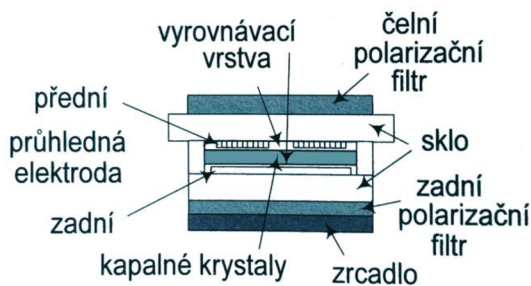
Obrázek 2.1 – Segmentový LCD displej náramkových hodinek



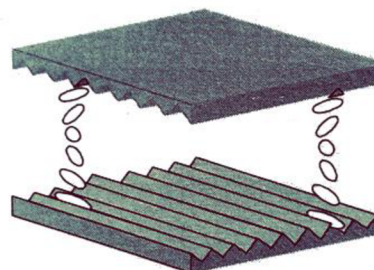
Obrázek 2.2 – Segmentové LED displeje

LCD displej

LCD displeje (angl. Liquid Crystal Display) [1] jsou pasivní zobrazovací prvky, které nevyzařují žádné světlo. Potřebují proto zdroj světla umístěný za displej nebo odrazovou plochu, která odráží dopadající okolní světlo. Základem jsou dvě skleněné desky, průhledné elektrody, dva na sebe kolmé polarizační filtry a tzv. tekuté krystaly (Obrázek 2.3), které umožňují ovlivňovat průchod světla pomocí elektrického pole.

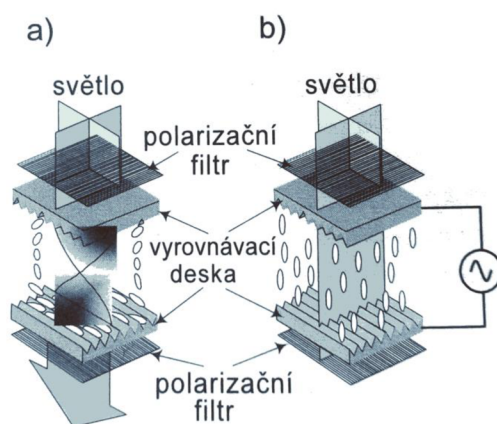


Obrázek 2.3 – Uspořádání prvků LCD [1]



Obrázek 2.4 – Princip natočení tekutých krystalů [1]

Většina kapalných krystalů jsou organické sloučeniny, jejichž molekuly mají podlouhlý tvar. Struktura kapalných displejů může být ovlivněna vnějšími poli i tvarem a vlastnostmi stěn nádoby, ve které jsou krystaly umístěny, čehož se využívá v LCD displejích.



Obrázek 2.5 – Natočení tekutých krystalů a) bez b) s připojeným napájecím napětím k elektrodám [1]

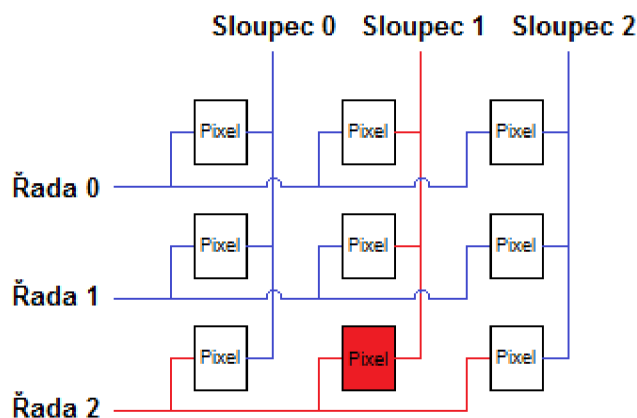
Pokud jsou tekuté krystaly mezi dvěma drážkovanými elektrodami, jejichž drážky jsou na sebe kolmé, nasměrují se krystaly poblíž drážek do jejich směru (Obrázek 2.4). Polarizované světlo, které prochází prostředím s natočenými krystaly, se také natáčí (Obrázek 2.5a). Po připojení napájecího napětí k elektrodě se krystaly stočí vertikálně (kolmo na elektrody, Obrázek 2.5b). Tím nedojde k natočení

světla polarizovaného prvním filtrem a druhý polarizační filtr, který je vůči prvnímu otočen o 90°, dopadající optické záření nepropustí. Pomocí natočení krystalů tak lze měnit množství procházejícího světla a s tím související svítivost pixelu.

LCD displeje se dělí na aktivní a pasivní:

- **Pasivní** displeje jsou jednodušší. Základem jsou dvě skupiny elektrod, přičemž jedna tvoří sloupce a druhá řady. Elektrický náboj je přiváděn přímo do segmentu v daném sloupci a řadě (Obrázek 2.6).

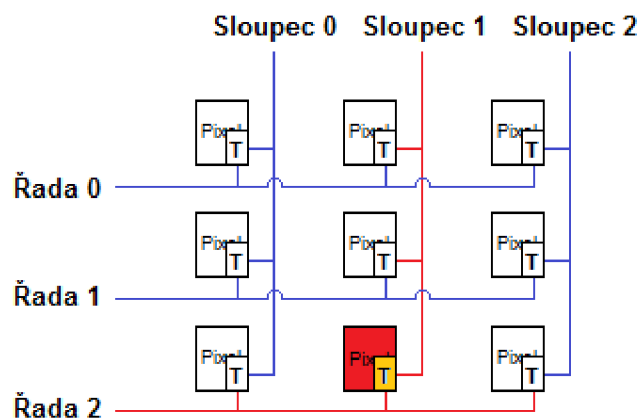
Existuje několik typů pasivních LCD displejů – HTN, STN, DSTN, TSTN, FSTN. Všechny jsou založeny na principu popsaném výše (TN), ale liší se úhlem natočení krystalů (drážek v elektrodách), počtem vrstev nebo přidáním zpožďovacích fólií, čímž zlepšují kontrast a další optické vlastnosti. Pasivní displeje neumožňují zobrazení rychle se měnícího obrazu.



Obrázek 2.6 – Struktura pasivního LCD displeje [2]

- **Aktivní** displeje mají navíc ke každé buňce displeje připojen tranzistor (TFT) popř. diodu. Tranzistor pracuje ve funkci spínače, přivádí elektrický náboj pouze na cílenou buňku. Její kapacita má schopnost tento náboj udržet dobu, než dojde k jeho obnově.

TFT displeje jsou kvůli vrstvě tranzistorů složitější na výrobu, potřebují silnější podsvícení, ale mají lepší zobrazovací schopnosti a odezvu. Tranzistory umožňují přesněji ovládat napětí na krystalech a tím i jas displeje.



Obrázek 2.7 – Struktura LCD TFT displeje [2]

Řízení LCD TFT displejů

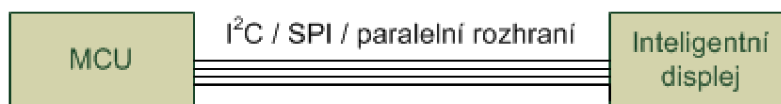
Dostupné LCD TFT displeje se liší velikostí, rozlišením, kontrastem, cenou a v neposlední řadě množstvím přidané elektroniky k displeji. Samotný displej by bylo nutné řídit stovkami či tisíci vodičů, proto obsahuje každý displej alespoň základní kontrolér. Podle dalších přidaných komponent se LCD TFT displeje liší svým řízením a použitím [3]:

- **Inteligentní displeje** (Smart LCD TFT panels) obsahují kartu s LCD kontrolérem (např. SSD1963, RA8875) a paměti pro „frame buffer“, který uchovává barvy všech pixelů displeje s danou bitovou hloubkou. Karta může obsahovat i uživatelskou flash paměť či paměť s fonty písem [4]. LCD kontrolér pravidelně obnovuje displej daty z frame bufferu.

Displej může být přirovnán k statické RAM paměti, neboť je ovládán pouze v případě potřeby překreslení nějaké jeho části. Některé kontroléry podporují i instrukce jako vykreslení úsečky, trojúhelníku, obdélníku, kružnice nebo kruhu či zrcadlení nebo invertování barev v určité části displeje [5].

Nejčastěji se k připojení displeje využívá paralelní rozhraní, rozhraní I²C nebo SPI. Inteligentní displej nevyžaduje oproti tomu bez frame bufferu velkou propustnost sběrnice CPU, a k jeho řízení tak stačí i obyčejný osmibitový mikrokontrolér.

Systém s inteligentním displejem je jednodušší a jeho návrh rychlejší. Mikrokontrolér nepotřebuje externí paměť pro frame buffer, cena systému bez displeje je tak většinou velmi nízká (pozn. samotný displej je pochopitelně dražší než ten bez frame bufferu). Rychlost překreslení celého displeje daty z mikrokontroléru je ovlivněna propustností komunikačního rozhraní. Tím je omezeno i zobrazení animací na displeji. Většinou se proto používají inteligentní displeje malé, do rozlišení 320 x 240 pixelů.



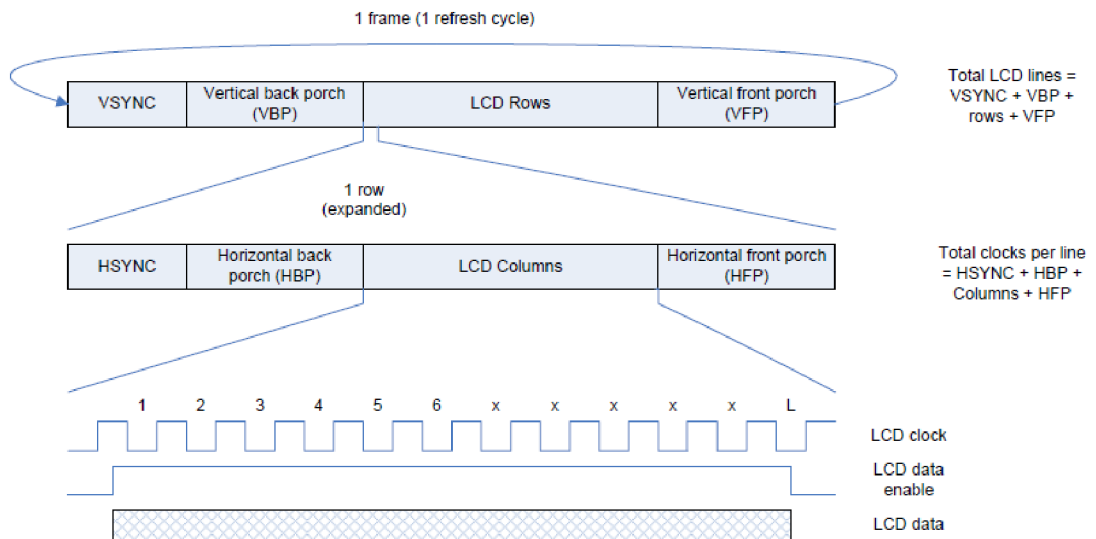
Obrázek 2.8 – Schéma systému s inteligentním displejem [3]

- **Displeje bez frame bufferu** (Dumb LCD TFT panels, dále jen *displej bez FB*) mají většinou jen základní kontrolér (např. OTA7001A) a je do nich třeba neustále odesílat hodnoty všech pixelů. To se děje nejčastěji pomocí signálů [2]:
 - VSYNC – vertikální synchronizace
 - HSYNC – horizontální synchronizace
 - D0 až DXY – nejčastěji 18 nebo 24 datových signálů kódujících barvu odesílaného pixelu, tedy 6 nebo 8 bitů na červenou, zelenou i modrou barevnou složku
 - LCDCLK (hodinový signál)

Často jsou využívány další signály typu data enable nebo signály pro zapnutí displeje a jeho podsvícení.

Displej bývá přirovnáván k dynamické RAM paměti, jejíž buňky také potřebují neustále obnovovat hodnotu. V případě displeje bez FB se o to musí starat LCD kontrolér umístěný mimo displej. Kontrolér využívá výše zmíněné signály k odesílání několika desítek snímků obrazovky za vteřinu po jednotlivých pixelech podle diagramu na obrázku 2.9. Během VBS, VFS, HBP a HFP se neodesílá barva žádného pixelu. Jsou to prázdné intervaly, jejichž

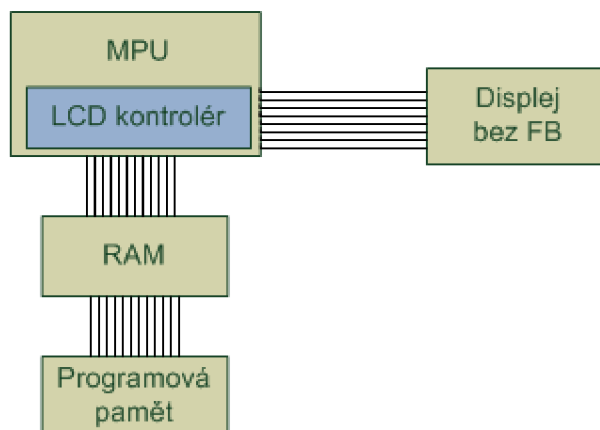
minimální délka v počtech hodinových taktů se liší displej od displeje. Stejně je to i s délkami intervalů HSYNC a VSYNC, během nichž jsou nastaveny stejnojmenné signály, značící konec řádku či snímku, na aktivní logickou úroveň.



Obrázek 2.9 – Schéma řízení LCD TFT displejů bez FB [2]

Systémy s displejem bez FB musí obsahovat LCD kontrolér, dostatečně rychlou a velkou paměť pro frame buffer a procesní jednotku (s případnou externí pamětí na programový kód). V dnešní době již mají některé mikrokontroléry integrovaný LCD kontrolér i flash paměť s kapacitou v řádu stovek kilobytů nebo jednotek megabytů, takže lze ušetřit čas při návrhu modulu, zmenšit jeho velikost i cenu. Ta je oproti systémům s inteligentním displejem větší, ale limitace animací či přehrávání videa je již přenesena na výkonnost procesní jednotky.

Velikost paměti v mikrokontrolérech, kterou by bylo možno využít jako frame buffer, je naopak ve většině případů nedostatečná, zvláště pro větší displeje. S 16b barevnou hloubkou je pro rozlišení 480 x 272 pixelů potřeba 255 kB, pro rozlišení 800 x 480 pixelů dokonce 750 kB paměti na jednu vrstvu, proto se využívají externí SRAM či SDRAM. Mají dostatečnou kapacitu a datovou propustnost.

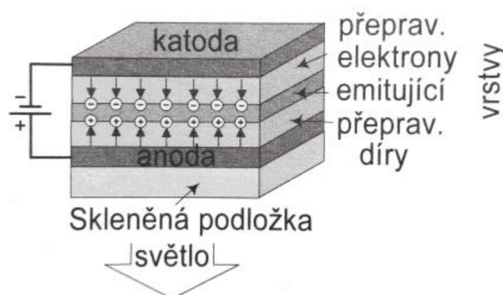


Obrázek 2.10 – Schéma systému s displejem bez FB [3]

LCD TFT displeje je možné řídit i pomocí jiných rozhraní. Lze koupit např. displeje s kartami podporujícími CVBS, VGA nebo HDMI. Jejich pořizovací cena je však ještě vyšší než u inteligentních displejů [4].

OLED displej

OLED (Organic Light Emitting Diodes) displeje [1] patří v posledních letech mezi nejvýznamnější novinky zobrazovací techniky. Fungují na principu elektroluminiscence, základem je umístění tří organických vrstev (vrstvy nesoucí díry, emitující vrstvy a vrstvy přenášející elektrony) mezi anodu a katodu (Obrázek 2.11). Připojením napětí mezi elektrody dochází v emitující vrstvě k rekombinaci děr a elektronů a nadbytek energie je vyzářen jako optické záření, jehož barvu ovlivňují použité organické vrstvy.



Obrázek 2.11 – Princip OLED displeje [1]

Na rozdíl od LCD displejů tedy nepotřebují žádný světelný zdroj ani odrazovou fólii, displeje tak mohou být výrazně tenčí a lehčí. Při zobrazování černé barvy není k segmentům připojeno žádné napětí, což způsobuje její věrnější zobrazení.

OLED displeje mají vysoký kontrast, svítivost, velký pozorovací úhel, rychlý reakční čas a nízkou spotřebu energie. S použitím flexibilní podložky se vyrábějí OLED displeje i ohebné. Podobně jako LCD mají i OLED displeje svoji pasivní (PMOLED) a aktivní variantu (AMOLED):

- **PMOLED displeje** jsou jednodušší, tvořeny maticí překřížených vodičů, které jsou v místě křížení napojeny na elektrody OLED struktury. Jejich buzení je stejné s buzením LCD displeje. Displeje mají malou rozlišitelnost a není možné je vyrábět ve větších provedeních. Jsou tedy používány jako displeje s menším množstvím zobrazované informace.
- **AMOLED displeje** mají stejně jako TFT LCD displeje navíc každou buňku řízenou vlastním tranzistorem, což umožňuje zvýšení zobrazovací frekvence. Tranzistor řídí proud buňkou, a může tak sloužit k nastavení jejího jasu. Displeje mají ostřejší obraz, nižší spotřebu a díky složitější struktuře displeje i vyšší cenu.

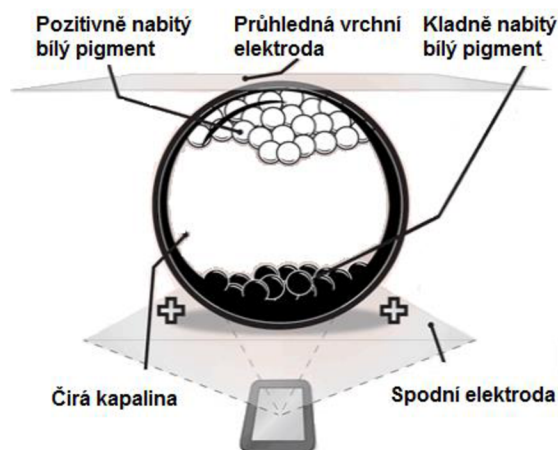
Kromě PMOLED a AMOLED displejů existují i další varianty OLED displejů: TOLED, SOLED nebo FOLED.

E-ink displej

Jako E-ink displeje [6] bývají označovány displeje na bázi elektronického papíru, které vyrábí stejnojmenná firma. Jsou to zobrazovací jednotky, které k zobrazování používají milióny mikrokapslí

průměru lidského vlasu obsahující částice černé a bílé barvy nabitě opačným elektrickým nábojem (Obrázek 2.12). Po přivedení impulsu napětí na elektrody tak může docházet k jejich přeskupení.

E-ink displej odráží světlo podobně jako papír, nepotřebuje tedy žádné podsvícení a je dobře čitelný i na slunci. Na překreslení obrazovky stačí velmi malé množství energie, přeskupení částic ale trvá řádově desetiny sekundy, proto se využívá především v zařízeních, u kterých není vyžadováno časté překreslení obrazovky (hodinky, čtečky elektronických knih).



Obrázek 2.12 – Mikrokapsle E-ink displeje [6]

2.2 Dotyková obrazovka

Dotyková obrazovka [7] je označení pro displej vybavený dotykovou vrstvou, která slouží k rozpoznání dotyku a určení jeho pozice uvnitř zobrazované oblasti, čímž se displej stává současně i vstupním zařízením. Dotyková vrstva může nahradit tlačítka, myš nebo klávesnici a zlepšit uživatelský komfort při používání zařízení. Dotykové obrazovky dělíme podle technologie snímání, mezi nejvýznamnější patří:

- Odporová
- Kapacitní
- Povrchová akustická vlna
- Infračervená

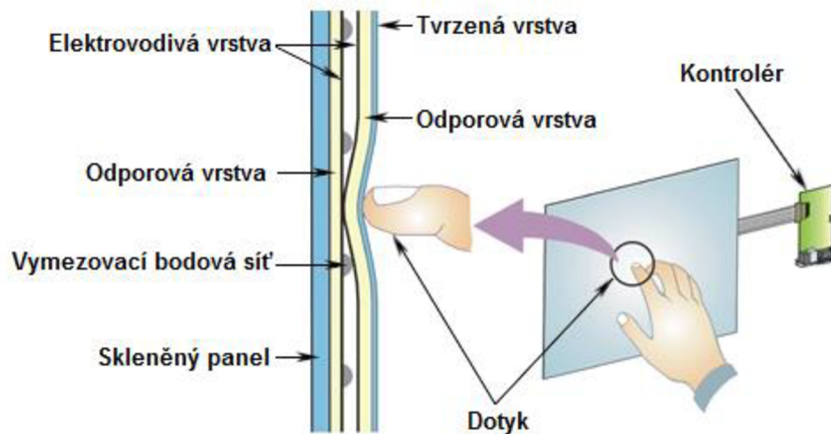
Odporová technologie

Odporová (též rezistivní) dotyková technologie [7] se skládá z několika vrstev. Nejdůležitější jsou dvě tenké, elektricky vodivé odporové vrstvy, které jsou od sebe odděleny úzkou mezerou vymezenou sítí pro oko neviditelných bodů. Při dotyku obrazovky dojde v tomto místě k elektrickému spojení vrstev a řídicí obvod je schopen určit místo dotyku. Odporové dotykové panely jsou velmi levné, mají velkou přesnost a mohou být ovládány jakýmkoliv předmětem. Díky více vrstvám mají menší světelnou propustnost a mohou být poničeny ostrými předměty.

Čtyřvodičová technologie

Čtyřvodičová odporová dotyková technologie [9] má přivedeny dva vodiče ke každé z vodivých vrstev. Dva pokovené kontakty pro měření pozice dotyku v ose x ($X+$, $X-$) se táhnou na krajích jedné odporové

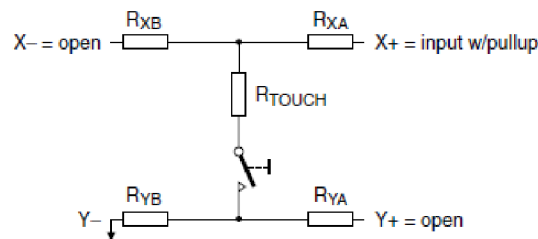
vrstvy podél osy y, pokovené kontakty pro měření pozice dotyku v ose y (Y+, Y-) na krajích druhé odporové vrstvy podél osy x obrazovky.



Obrázek 2.13 – Rezistivní dotykový panel [8]

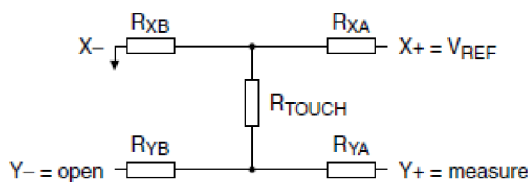
Pro získávání dat z dotykového panelu je možné použít speciální kontrolér nebo lze využít přímo mikrokontrolér s A/D převodníkem. Vývody X- a Y- je pak možné připojit k libovolným GPIO pinům, vývody X+ a Y+ k takovým, které mohou být navíc použity jako vstup A/D převodníku. Rozpoznání dotyku i určení jeho pozice v obou osách musí být provedeno zvlášť, pokaždé je navíc potřeba jinak nakonfigurovat piny mikrokontroléru:

- Pro **rozpoznání dotyku** se vývody X- a Y+ nechávají „volné“, lze použít digitální vstupy bez pull-up rezistorů, které mají dostatečně velký vstupní odpor. Y- je zapojen na zem (logická nula digitálního výstupu) a X+ jako digitální vstup s pull-up rezistorem (Obrázek 2.14). Odpor dotykového panelu je výrazně menší než odpor pull-up rezistoru, proto dojde při dotyku k poklesu napětí na X+ téměř na nulu.

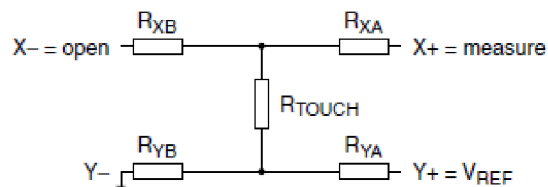


Obrázek 2.14 – Rozpoznání dotyku u čtyřvodičové odporové dotykové technologie [9]

- Pro **zjištění pozice dotyku v ose x** dotykového displeje se připojí X+ na referenční napětí (logická jednička digitálního výstupu), X- na zem (logická nula digitálního výstupu), Y- na vstup s dostatečně velkým vnitřním odporem bez pull-up rezistoru. Pozici bodu dotyku v ose y lze měřit jako napětí na Y+ (Obrázek 2.15).
- **Pozice dotyku v ose y** se zjišťuje podobně jako v ose x, jsou ale vyměněny funkce pinů, ke kterým jsou připojeny vodiče X+ a Y+ a vodiče X- a Y- (Obrázek 2.16).



Obrázek 2.15 – Měření pozice bodu dotyku na ose x u čtyřvodičové odporové technologie [9]



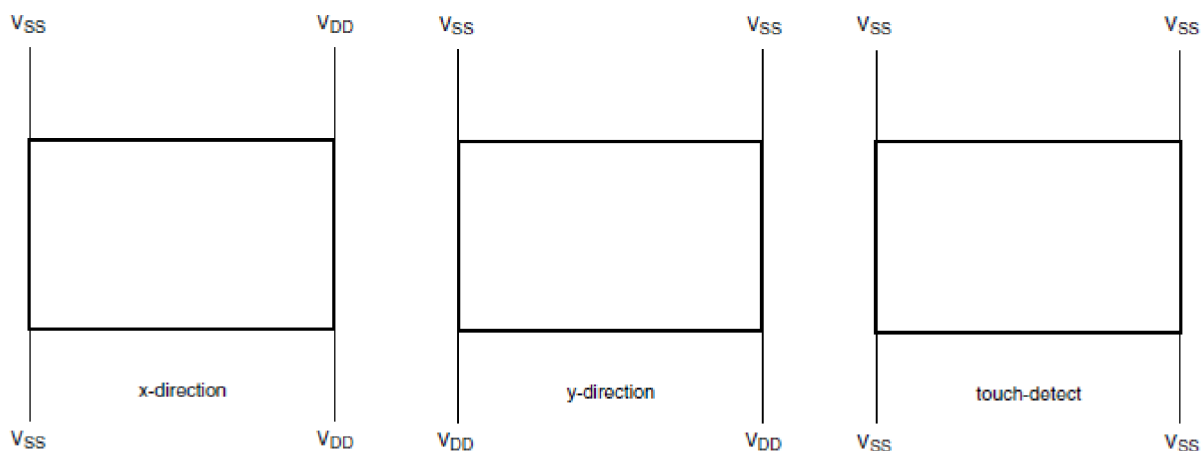
Obrázek 2.16 – Měření pozice bodu dotyku na ose Y u čtyřvodičové odporové technologie [9]

Funkce	X+	Y+	X-	Y-
Rozpoznání dotyku	dig. vstup s pull-up res.	nezapojen	nezapojen	V_{SS}
Zjištění pozice v ose x	V_{REF}	A/D převodník	V_{SS}	nezapojen
Zjištění pozice v ose y	A/D převodník	V_{REF}	nezapojen	V_{SS}

Tabulka 2.1 – Zapojení čtyřvodičového odporového displeje [9]

Pětivodičová technologie

Pětivodičové dotykové panely [9] mají vývody ze všech čtyř rohů spodní odporové vrstvy, pátý je přiveden na vrstvu vrchní. Pro měření bodu dotyku stačí jeden kanál A/D převodníku připojený právě k horní vrstvě. Měření probíhá zvlášť pro obě osy, k jedné dvojici sousedních vrcholů je přivedeno referenční napětí (logická jednička digitálního výstupu), zbylá dvojice je připojena na zem (viz Obrázek 2.17). Pokud zapojíme všechny rohy na zem a horní vrstvu na digitální vstup s pull-up rezistorem, můžeme obdobně jako u čtyřvodičové technologie rozpoznat dotyk na panelu poklesem napětí na hodnotu blízkou 0 V.



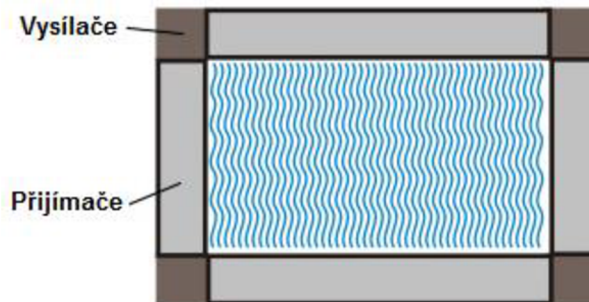
Obrázek 2.17 – Zapojení pětivodičového odporového dotykového panelu [9]

Kapacitní technologie

Kapacitní dotykový panel [7] využívá vodivosti lidského těla. Skládá se z izolantu (např. skla) pokrytého tenkou transparentní vodivou vrstvou, jako je slitina oxidu inditého a cínitého. Jakmile se panelu dotkneme, narušíme jeho elektrostatické pole, které je možné měřit jako změnu v kapacitním odporu. Kapacitní technologie je velice přesná, vysoce odolná a má lepší propustnost světla než odporová. Může však být ovládána jen prstem či speciálními kapacitními stylusy.

Technologie SAW

Displeje založené na povrchové akustické vlně (SAW) [7] vysílají neslyšitelné ultrazvukové vlny po povrchu obrazovky. Při dotyku je absorbována část vlny, což je zaregistrováno senzory umístěnými v osách x a y. Podle míry útlumu lze určit místo dotyku. Technologie povrchové akustické vlny má vysokou průhlednost, neboť celoskleněný panel neobsahuje další (např. vodivé) vrstvy. Ty tak nemohou být ani manuálně poškozeny.

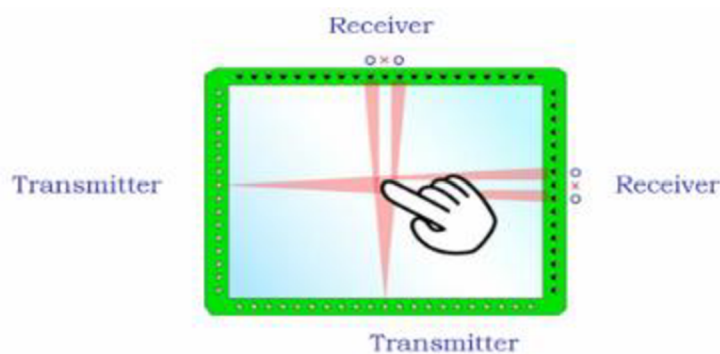


Obrázek 2.18 – Displej založený na povrchové akustické vlně [8]

Infračervená technologie

Infračervené dotykové obrazovky [7] jsou založeny na přerušení infračervené světelné mřížky. Do rámečku displeje jsou umístěny řady LED diod a fototranzistorů na opačné strany displeje, aby vytvořily mřížku neviditelných světelných paprsků. Kontrolér rozsvěcí LED diody postupně, pokud vstoupí do mřížky nějaký předmět, zastíní světlo, což je detekováno jeho absencí na fototranzistorech.

Hlavní výhodou je detekce libovolného předmětu (prst, stylus, tužka), panel navíc neobsahuje žádné vrstvy, které by snižovaly jeho světelnou propustnost. Infračervené dotykové obrazovky mají o něco menší rozlišení a mohou detekovat dotyk dříve, než ve skutečnosti nastane.



Obrázek 2.19 – Infračervený dotykový panel [7]

2.3 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní slouží ke komunikaci mezi dvěma a více elektronickými zařízeními. Zajišťuje přenos dat a řídicích povelů. Přenos dat se řídí protokolem daného rozhraní či sběrnice.

V této podkapitole jsou představena komunikační rozhraní, která mohou sloužit pro připojení senzorů a periférií a budou využita při návrhu karty ovládacího panelu s dotykovým displejem (kapitola 3.2).

Analogové rozhraní

Přenos dat nemusí být realizován nutně přes digitální rozhraní, informace je možné přenášet i pomocí analogových signálů. Pro jejich zpracování se v mikrokontrolérech využívají A/D a D/A převodníky.

Typickým příkladem analogového rozhraní je přenos elektroakustického signálu, analogový výstup však mají i některé senzory. Mezi takové patří např. čidla teploty, vlhkosti, fotosenzory (fotorezistor, fototranzistor) nebo dotykové displeje (viz kapitola 2.2). Některá čidla jsou pasivní, změnou měřené veličiny se mění jejich vlastnosti (kapacita, odpor, aj.) a je tedy nutné je nejprve nějakým způsobem elektricky zapojit – odporové senzory např. do napěťového odporového děliče.

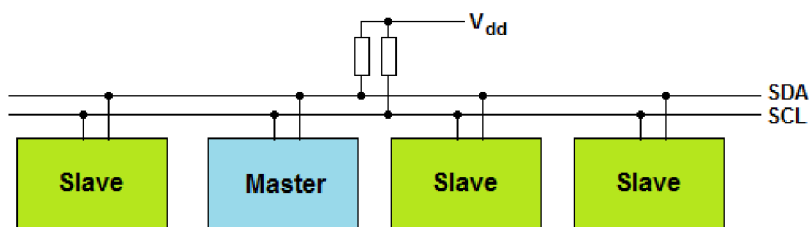
I²C

I²C [10] je sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips (nyní NXP), která slouží k propojení dvou a více integrovaných obvodů. Je implementována do tisíců obvodů včetně mikrokontrolérů, EEPROM pamětí, LCD a LED kontrolérů, A/D a D/A převodníků, teplotních senzorů nebo hodin reálného času.

Zařízení na sběrnici se dělí na *řídící* (master) a *řízená* (slave). Řídící zařízení vždy zahajují komunikaci. Ke sběrnici jich může být připojeno více. V případě, že jich začne vysílat více současně, je arbitráží určit to, které může v komunikaci pokračovat.

Zařízení jsou identifikována pomocí sedmibitové nebo desetibitové I²C adresy, přičemž desetibitové nejsou moc rozšířeny. Při sedmibitovém adresování může být na sběrnici připojeno až 112 zařízení s různými adresami, 16 adres je rezervovaných. V praxi to bývá často mnohem méně, protože z I²C adresy integrovaného obvodu lze často nastavit jen některé bity nebo je výrobcem čipu adresa pevně dána. Pro připojení více zařízení se stejnými adresami se pak používají I²C multiplexory.

Sběrnice využívá pouze dva vodiče – hodinový signál SCL (Synchronous Clock) a datový SDA (Synchronous Data), které musí být připojeny pull-up rezistory k referenčnímu napětí. Přes tyto dva vodiče lze komunikovat rychlostí až 3,4 Mb/s¹.



Obrázek 2.20 – Schéma připojení zařízení na sběrnici I²C [10]

Pokud je sběrnice volná, mají SDA i SCL vysokou logickou úroveň. Komunikaci zahajuje master nastavením nízké úrovně na vodiči SDA, což se označuje jako podmínka START. Od této chvíle se smí měnit úroveň datového vodiče pouze v případě, že má SCL nízkou úroveň. Komunikace končí podmínkou STOP, během níž dojde k porušení tohoto pravidla a změně úrovně SDA na vysokou. Data jsou ze sběrnice čtena při vysoké úrovni hodinového signálu.

Každý odvíslaný byte musí mít osm bitů, počet bytů během jednoho přenosu není omezen. Za každým bytem následuje ACK bit, kterým příjemce potvrdí úspěšně přijatý byte. Po odvíslání podmínky START začne master vysílat hodinový signál. První přenesený byte se skládá ze sedmibitové adresy příjemce a R/W bitu, který určuje operaci (čtení/zápis). Poté jsou již přenášena data ve směru určeném tímto bitem.

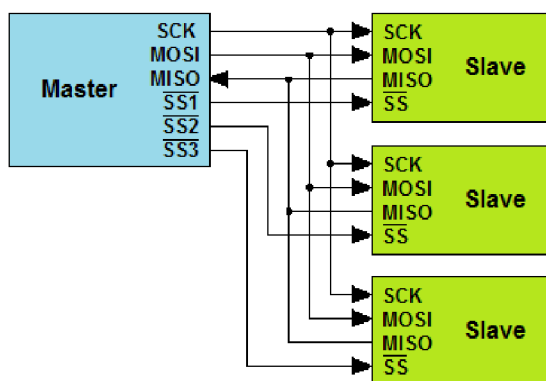
¹ Sběrnice definuje i Ultra Fast mód s přenosovou rychlostí až 5 Mb/s. Ten však není s předchozími zpětně kompatibilní, protože umožňuje pouze jednosměrný přenos.

SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) [11] je sériové rozhraní, které slouží k propojení dvou a více komunikujících prvků. Oproti I²C je pouze jeden typu master, ostatní se chovají jako slave.

Rozhraní využívá ke komunikaci čtyř vodičů, z nichž tři jsou sdíleny mezi všemi zařízeními připojenými na sběrnici. Master, který řídí komunikaci, vysílá všem uzlům hodinový signál SCK. Pomocí signálů SS (Slave Select), které jsou od něho vedeny zvlášť ke každému slave zařízení, vybírá zařízení, se kterým chce komunikovat. Přenos dat probíhá plně duplexně, k čemuž jsou využity vodiče MISO (Master In, Slave Out) a MOSI (Master Out, Slave In).

Největší výhodou sběrnice SPI je její jednoduchost. Všechny čtyři vodiče vystačí s jednosměrnými porty, pro nejjednodušší implementaci rozhraní stačí jeden obyčejný a jeden posuvný registr, jehož posun je řízen hodinovým signálem sběrnice. Rozhraní SPI je tak využito v mnoha integrovaných obvodech včetně mikrokontrolérů, A/D a D/A převodníků, LCD kontrolérů nebo různých senzorů a pamětí. Lze ho použít i ke komunikaci s SD kartou [12]. Nevýhodou SPI je například absence signálu typu ACK, pomocí kterého by mohl master upravit rychlost přenosu v případě pomalejšího slave zařízení. Rozhraní také nemá jednotnou synchronizaci dat hodinovým signálem – je možné použít obě polarity hodin a synchronizovat na náběžnou či sestupnou hranu.



Obrázek 2.21 – Schéma připojení zařízení na sběrnici SPI [11]

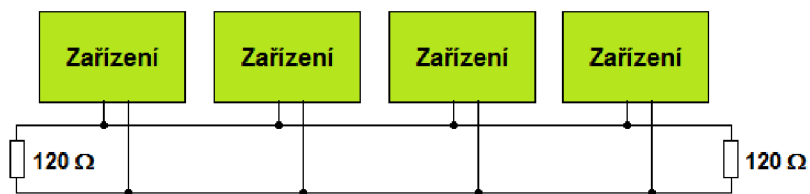
CAN

Controller Area Network (CAN) [13] je sériový komunikační protokol s velkou úrovní zabezpečení proti chybám. Byl vytvořen firmou Bosch pro komunikaci řídicích jednotek, senzorů a dalších prvků v automobilech. Díky své spolehlivosti, vysoké přenosové rychlosti, snadnému nasazení a nízké ceně se začaly CAN kontroléry začleňovat do mnoha integrovaných obvodů, čímž došlo k jeho rozšíření i do dalších oblastí, např. průmyslové automatizace.

CAN neomezuje stejně jako sběrnice I²C počet zařízení typu master. Každé zařízení tak může komunikovat s každým. Pro řízení přístupu k médiu je použita sběrnice s náhodným přístupem. Kolize jsou řešeny na základě prioritního rozhodování. Komunikace probíhá pomocí zpráv, které neobsahují žádnou informaci o jejich adresátovi, takže je přijímají všechna zařízení připojená ke sběrnici a záleží na každém z nich, jestli přijatou zprávu potřebuje, nebo ne. CAN kontroléry tedy mají často filtrační techniky implementovány hardwarově.

CAN je velmi flexibilní komunikační síť, která definuje pouze části linkové a fyzické vrstvy. Může být implementován různými přenosovými médii fyzické vrstvy – kroucenou dvoulinkou, optickým kabelem, atd. Nejčastěji se využívají pro přenos jednotlivých bitů dva vodiče (označované

CAN_H a CAN_L) zakončené na obou koncích 120Ω rezistory. Úroveň na sběrnici je definována rozdílovým napětím na vodičích.



Obrázek 2.22 – Schéma připojení zařízení na sběrnici CAN

USB

USB [14] je asynchronní sériové rozhraní, které je postavené na architektuře master-slaves (host-zařízení). Díky rozbočovačům je možné k masteru připojit až 127 různorodých periférií, které od něho mohou být vzdáleny až 25 metrů.

Využívá 4 vodičů – datových D+ a D-, napájecího napětí a země. Pomocí posledních dvou je možné zařízení napájet ze sběrnice. Lze řídit i jejich spotřebu energie. Data se přenášejí v paketech pomocí kódování NRZI. Vestavěné prostředky zajišťují integritu dat.

Ke sběrnici USB je možné připojit zařízení již za chodu. Host řídí veškerou komunikaci s připojenými zařízeními, řeší jejich připojování, odpojování a počáteční konfiguraci. Při té odpovídá zařízení na adresu 0, čímž master zjistí jeho existenci na sběrnici. Během konfigurace se host mj. dozví informace o nově připojeném zařízení, z nichž pro něj může vybrat ovladač, a přidělí mu adresu z rozsahu 1 až 127.

USB zařízení má několik koncových bodů (endpoints), s nimiž host vyměňuje informace. Každý je v rámci zařízení identifikován číslem 0 až 15 a směrem komunikace – IN (přenos z hosta do zařízení) a OUT (přenos ze zařízení do hosta). Zařízení má většinou více koncových bodů, každé ale musí implementovat obousměrný endpoint 0 pro počáteční konfiguraci, řídicí a stavové přenosy.

Na sběrnici USB rozlišujeme 4 typy přenosů. Každý používaný koncový bod zařízení provádí přenos některého z následujících typů:

- **Řídicí přenos** slouží k počáteční konfiguraci zařízení a jejich následnému řízení. Je využíván na endpointu 0 a protokol garantuje doručení dat.
- **Přerušeni** – přenos s minimálním zpožděním. Používá se především pro přenos stavových informací jako stisk klávesy na klávesnici nebo změna polohy myši. Přerušeni však může sloužit i k včasnému přenosu dat do zařízení. Je u něj garantováno doručení dat.
- **Dávkový přenos** se využívá především pro přenosy velkého množství dat. Doručení je garantováno a v případě chyby se přenáší paket znovu. Mají nejnižší prioritu, proto se realizují tehdy, když není potřeba vykonávat přenosy jiného typu.
- **Isochronní přenos** slouží nejčastěji k přenosu proudových dat (audio, video). Má vyhrazenou šířku pásma sběrnice, ale nezaručuje jejich bezchybný přenos. Poškozené pakety se znovu nepřenášejí.

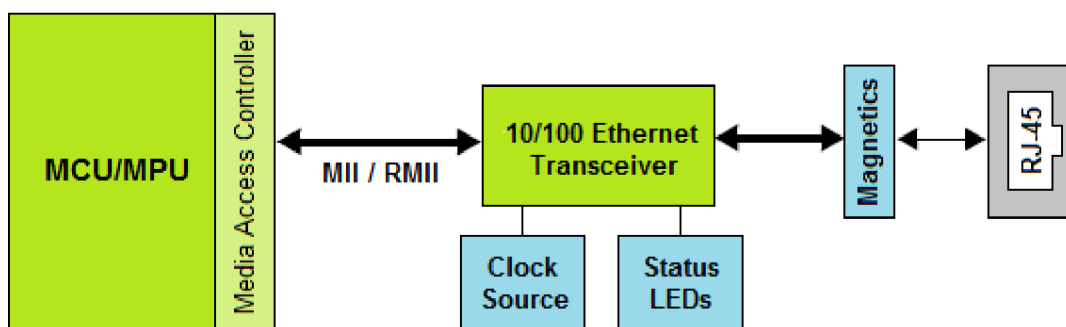
Ethernet

Ethernet [15] je soubor technologií určených pro počítačové sítě. Ethernetové sítě představují fyzickou a linkovou vrstvu referenčního ISO/OSI modelu, a umožňují tedy implementaci libovolných protokolů síťové vrstvy.

Komunikace probíhá na úrovni ethernetových rámců, které jsou definované dvěma velmi podobnými formáty. První, označovaný jako *Ethernet frame*, obsahuje preambuli, cílovou a zdrojovou MAC adresu, typ protokolu vyšší vrstvy, datovou část a kontrolní sekvenci. Rámec definovaný podle *IEEE 802.3* se liší záměnou délky rámce za typ protokolu vyšší vrstvy a výměnou osmibytové preambule za sedmibytovou, doplněnou jednobytovým označením začátku rámce.

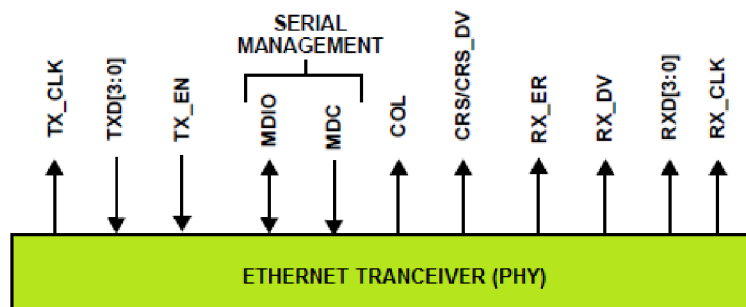
Ethernetové sítě používají jako přenosové médium optické kabely a kabely s kroucenou dvoulinkou, pomocí kterých lze propojit pouze dvě zařízení. Pro vytvoření větších sítí je třeba využít aktivní prvky typu hub, bridge, switch nebo router. K ethernetové komunikaci mohou sloužit i koaxiální kabely, které umožňují připojení několika počítačů bez jakéhokoliv aktivního prvku. V současné době se však již téměř nepoužívají.

Mikrokontroléry mají často jen Media Access Control (MAC) blok s výstupním rozhraním **MII** nebo **RMII**. To musí být připojeno k ethernetovému vysilači na úrovni fyzické vrstvy označovanému PHY nebo PHYTER (Obrázek 2.23).



Obrázek 2.23 – typické zapojení mikrokontroléru a ethernetového vysilače [16]

Media Independent Interface (MII) [16] se skládá ze 17 signálů (Obrázek 2.24). Dvě čtveřice, TXD[3:0] a RXD[3:0], jsou datové (full duplex), TX_CLK a RX_CLK představují jejich synchronizační hodinové signály. MDIO a MDC slouží k řízení PHYTERu pomocí sériového rozhraní. Ostatní signály slouží k indikaci platnosti dat, chyb či aktivity nebo zjištění kolize při half-duplex komunikaci. Komunikace na datových vodičích probíhá na frekvenci 2,5 MHz nebo 25 MHz, což odpovídá přenosovým rychlostem 10 Mb/s a 100 Mb/s.



Obrázek 2.24 – Signály rozhraní MII [16]

Reduced MII (RMII) rozhraní je podobné, došlo však k redukci počtu signálů na deset. Datové představují jen dva páry vodičů, hodinový signál o frekvenci 50 MHz je společný pro odesílaná i přijímaná data. Jeho frekvence není měněna ani při přenosové rychlosti 10 Mb/s, kdy jsou data umísťována na sběrnici a vzorkována jednou za 10 taktů.

2.4 Mikrokontrolér

Jednočipový mikropočítač neboli mikrokontrolér (zkr. MCU) [17] je elektronická součástka, která sdružuje mikroprocesor, operační paměť RAM pro uložení proměnných a zásobníku, programovou paměť a obvody rozhraní do jediného integrovaného obvodu. Většinou obsahuje bloky pro analogové a digitální vstupy a výstupy a periferní obvody jako čítač, komparátor, pulzně-šířkový modulátor nebo A/D a D/A převodníky. Součástí mohou být i moduly pro podporu rozhraní SPI, I²C, USB, Ethernet a mnoha dalších. Používá se nejčastěji pro řízení vestavěných systémů.

Mikrokontroléry řídí i širokou škálu vestavěných systémů s LCD displeji. Jak je uvedeno v kapitole 2.1, k ovládání inteligentních displejů stačí např. rozhraní I²C nebo SPI. Tato rozhraní jsou v dnešní době tak rozšířená, že je jimi vybaven již nespočet mikrokontrolérů, a nemá tedy smysl představovat rodiny a modelové řady výrobců, které je mají. Kapitola je zaměřena na mikrokontroléry, které mohou ovládat displeje bez frame bufferu, přesněji řečeno na ty, které již mají integrovaný kontrolér na řízení grafických LCD displejů. Pro úplnost jsou doplněna i dostupnými mikroprocesory (MPU) s týmž kontrolérem, které se liší především absencí flash paměti. Vzhledem k počtu jejich periférií a modulů je ale hranice mezi MCU a MPU velmi tenká.

Na světě je mnoho výrobců mikrokontrolérů, proto bylo pro tuto práci vybráno jen několik významných. V následujících podkapitolách budou představeny produkty firem *Atmel Corporation*, *Freescale Semiconductor*, *Microchip Technology* a *NXP Semiconductor*. Pozornost je zaměřena především na velikost jejich flash a SRAM paměti, pouzdro a periférie jednotlivých MCU, což jsou parametry, které nejvíce ovlivňují návrh systému a samotné karty ovládacího panelu.

Atmel Corporation

Firma Atmel Corporation [18] nabízí v tuto chvíli jediný produkt vybavený kontrolérem grafického LCD displeje - AT91SAM9RL64. Je založený na architektuře ARM926, umí řídit displeje s rozlišením do 1280 x 860 pixelů a 24bitovou barevnou hloubkou. 10bitový A/D převodník podporuje práci s čtyřvodičovým odporovým dotykovým panelem. Obvod je vybaven rozhraními USB, SDIO/SD/MMC, AC97, UART, SPI, I²S a I²C.

Produkt	Flash	SRAM	Pouzdro	Rozhraní
AT91SAM9RL64	0 kB	64kB	BGA	USB, SPI, I ² C, SD, I ² S, UART

Tabulka 2.2 – Mikrokontrolér s LCD kontrolérem firmy Atmel [18]

Freescale Semiconductor

Freescale Semiconductor [19] vyrábí řadu produktů vybavených kontrolérem grafického LCD displeje (viz Tabulka 2.3, kde rozhraní v závorkách nejsou dostupná na všech MCU příslušné řady). Jsou založeny na architekturách **ColdFire** (MCF5x), **Power Architecture** (MPC5x) a **ARM** (Cortex M4 - Kinetis K7x, ARM9/ARM11/Cortex A8 – iMX a Cortex A5 (+ Cortex M4) - VFX). Za zmínku stojí především velká SRAM paměť aplikačních procesorů Vybrid (VFX), grafická paměť u mikrokontrolérů

MPC56x a maximální rozlišení LCD displeje pouhých 400 x 240 pixelů u MPC560xS. MCF5227x mají navíc kontrolér pro odporové dotykové obrazovky.

Produkt / řada	Flash	SRAM	Pouzdro	Rozhraní
i.MX25, i.MX35, i.MX51	0 kB	128 kB	BGA	(Eth.), USB, (SPI), I ² C, (SD, CAN), SSI, UART
Kinetis K7x	až 1 MB	128 kB	BGA	Eth., USB, SPI, I ² C, CAN, I ² S, UART
MCF5227x	0 kB	128 kB	QFP, BGA	USB, SPI, I ² C, CAN, SSI, UART
MCF532x	0 kB	32 kB	BGA	(Eth.), USB, SPIFI, I ² C, (CAN), SSI, UART
MPC5121e, MPC5123	0 kB	128 kB	BGA	Eth., USB, SPI, I ² C, SD, CAN, I ² S, UART, PCI, SATA
MPC5125	0 kB	32 kB	BGA	Eth., USB, I ² C, SD, CAN
MPC560xS	až 1 MB	48 kB + 160 kB grafická	QFP, BGA	SPIFI, I ² C, CAN, LIN, SCI
MPC564xS	až 2 MB	64 kB + 1 MB grafická	QFP, BGA	SPIFI, I ² C, CAN, LIN
VF3xx, VF5xx, VF6xx	0 kB	1,5 MB	QFP, BGA	Eth., USB, SPIFI, I ² C, SD, CAN, UART

Tabulka 2.3 – Mikrokontroléry s LCD kontrolérem firmy Freescale Semiconductor [19]

Microchip Technology

Microchip technology [20] nabízí jedinou produktovou řadu mikrokontrolérů s LCD kontrolérem. Rozlišení displeje připojeného k šestnáctibitovému mikrokontroléru řady PIC24F "DA" je omezeno na 640 x 480 pixelů při obnovovací frekvenci 30 Hz a 480 x 272 pixelů při 60 Hz a barevné hloubce 16 bitů. 24 kanálový A/D převodník podporuje kapacitní dotykové displeje.

Produkt / řada	Flash	SRAM	Pouzdro	Rozhraní
PIC24F "DA"	až 256 kB	až 96 kB	QFN, QFP, BGA	USB, SPI, I ² C, UART

Tabulka 2.4 - Mikrokontroléry s LCD kontrolérem firmy Microchip Technology [20]

NXP Semiconductor

Firma NXP Semiconductor [21] vyrábí 8 řad mikrokontrolérů s LCD kontrolérem (viz Tabulka 2.5, rozhraní v závorkách nejsou dostupná na všech MCU příslušné řady). Všechny jsou založeny na architektuře ARM – LPC1x na Cortex M3, LPC4x na Cortex M4, LPC247x a LH7 na ARM7 a LPC3250 a LH7A na ARM9. Naprostá většina se vyrábí v provedení BGA i QFP a je vybavena rozhraními Ethernet a USB. LPC3250 má integrovaný kontrolér pro rezistivní dotykové panel.

Produkt / řada	Flash	SRAM	Pouzdro	Rozhraní
LH7	0 kB	až 32 kB	QFP, BGA	(Eth.), USB, SPI, (I ² C, CAN), UART
LH7A	0 kB	až 80 kB	BGA	USB, SPI, UART
LPC178x	až 512 kB	96 kB	QFP, BGA	(Eth.), USB, SPI, I ² C, SD, CAN, I ² S, UART, SSP
LPC185x	až 1MB	136 kB	QFP, BGA	Eth., USB, SPI, SPIFI, I ² C, SD, CAN, I ² S, UART, SSP
LPC247x	až 512 kB	98 kB	QFP, BGA	Eth., USB, SPI, I ² C, CAN, UART

LPC3250	0 kB	až 256 kB	BGA	Eth., USB, SPI, I ² C, UART
LPC4088	512 kB	96 kB	QFP, BGA	Eth., USB, SPI, SPIFI, I ² C, SD, CAN, I ² S, UART, SSP
LPC435x	až 1 MB	136 kB	QFP, BGA	Eth., USB, SPI, SPIFI, I ² C, SD, CAN, I ² S, UART, SSP

Tabulka 2.5 – Mikrokontroléry s LCD kontrolérem firmy NXP Semiconductor [21]

3 Vlastní realizace

Cílem této kapitoly je popsat návrh a realizaci ovládacího panelu, který by se mohl stát univerzální platformou pro ovládání různorodých zařízení, včetně průmyslových. Funkčnost zařízení bude předvedena na ukázkové aplikaci digitálního termostatu pro ovládání plynového kotle, karta ovládacího panelu však může sloužit jako centrální prvek např. pro celý inteligentní dům – ovládat rolety, ventilaci, osvětlení, zavlažování záhonů, garážová vrata nebo se podílet na jeho zabezpečení.

3.1 Výběr displeje a mikrokontroléru

Návrh každého systému ovlivňuje jeho výkonnost, složitost, rozšiřitelnost, cenu a možné využití. Chtěl bych vytvořit ovládací panel, jehož karta umožní řídit i 7[“] dotykové displeje a bude dostatečně výkonná, aby byl panel schopný zobrazit i případné drobné animace. Pokud to vybraný mikrokontrolér umožní, bude jeho karta připravena i na připojení ethernetu, což umožní další vývoj ovladače a rozšíří možnosti jeho využití. Jelikož je snahou vytvořit ovládací panel univerzální, nikoliv optimalizovaný pro jednu konkrétní aplikaci, bude mít navíc konektor s velkým množstvím nevyužitých pinů mikrokontroléru včetně různých jinak nezpřístupněných rozhraní. Během návrhu systému a výběru komponent bude brán ohled i na minimální složitost systému a jeho cenu.

Podle výše zmíněných kritérií byl vybrán barevný LCD TFT displej bez FB s čtyřvodičovým odporovým dotykovým panelem. LCD TFT displeje jsou v dnešní době hojně využívány, jsou tak oproti E-ink běžně dostupné. Oproti OLED displejům pak běžně dostupné nabízejí výrazně větší velikost i rozlišení a nižší cenu – viz [4], [22] a [23]. Ta se na čínských internetových obchodech pohybuje včetně odporového panelu přibližně okolo 300 Kč (4,3", 480 x 272 px) a 550 Kč (7", 800 x 480 px), u inteligentních displejů je přibližně o 200 Kč vyšší [4].

Použití LCD TFT displeje bez FB vyžaduje LCD kontrolér, který ho bude řídit. Využitím mikrokontroléru, který má tento kontrolér integrovaný, se zjednoduší celý systém včetně návrhu DPS, ušetří místo na kartě a sníží náklady za externí součástky. Využití flash paměti na čipu pro programový kód má stejný efekt. Paměť na čipu je sice omezená, ale pro mnoho aplikací včetně ovládacího panelu dostatečná, její levné rozšíření může představovat např. SPIFI flash paměť nebo SD karta.

Při výběru mikrokontroléru je třeba myslet také na jeho osazení. Na fakultě FIT bohužel není možná montáž pouzdra BGA s její následnou kontrolou a osazení jedné součástky externí firmou by bylo drahé. Rozhodování bylo tedy zúženo na mikrokontroléry s LCD kontrolérem, flash pamětí a QFP pouzdrem. Z představených v kapitole 2.4 tak zbyly mikrokontroléry a mikrokontrolérové řady:

- **Freescale:** MPC560xS, MPC564xS
- **Microchip:** PIC24F "DA"
- **NXP:** LPC178x, LPC185x, LPC247x, LPC4088, LPC435x

Jediným mikrokontrolérem, který má dostatečně velkou SRAM paměť pro umístění frame bufferu a nevyžaduje tedy připojení žádné externí paměti, je SPC5645S (MPC564xS). Stojí však přes třináct set korun [22] a neobsahuje ani moduly pro rozhraní USB či Ethernet. Řady MPC560xS a PIC24F "DA" nepodporují rozlišením 7" LCD displeje, proto byla pozornost zaměřena na nabídku produktů firmy NXP Semiconductor. Z té byl vybrán LPC4357JBD208E, LQFP208 varianta mikrokontroléru LPC4357, na kterém je založen nejlevnější z dostupných vývojových kitů s LCD displejem a NXP

mikrokontrolérem (LPC4357-EVB) a který i se započtením ceny externí SDRAM paměti vychází cenově výrazně levněji než SPC5645S [22].

LPC4357

LPC4357 [24] je 32bitový mikrokontrolér firmy NXP Semiconductor určený pro vestavěné aplikace. Je založený na procesorových jádrech ARM Cortex-M4 a ARM Cortex-M0. Obě mohou být taktovány až na 204 MHz a k jejich debugování může sloužit např. rozhraní JTAG.

Mikrokontrolér disponuje 1 MB flash, 136 kB SRAM a 16 kB EEPROM paměti. Je osazen 64 kB ROM paměti obsahující bootovací kód a ovladače a 320 B OTP (One-Time Programmable) paměti. Další může být připojena na rozhraní SPIFI (Quad SPI Flash Interface) s rychlostí až 52 MB/s.

Mezi hlavní přednosti MCU patří dvě high-speed USB 2.0 rozhraní a 10/100T Ethernet MAC s podporou DMA přenosů. LPC4357 může dále komunikovat přes UART, USART, CAN, SSP, SPI, I²C nebo I²S.

Integrovaný LCD kontrolér umí řídit STN a TFT LCD displeje s rozlišením až 1024 x 768 bodů. Pro úsporu paměťového prostoru mohou být pixely ve frame bufferu reprezentovány 1/2/4/8b indexem do tabulky barev nebo lze barvu uložit do 16/24 bitů ve formě RGB.

MCU je dále vybaven kontrolérem pro řízení externích SRAM, ROM, NOR flash a SDRAM pamětí (EMC), rozhraním pro připojení SD a MMC karet, pulzně šířkovým modulátorem pro řízení třífázových motorů, 10b A/D a D/A převodníky a hodinami reálného času, které mohou být napájeny vlastním napájecím zdrojem (např. knoflíkovou baterií).

3.2 Výběr periférií

LQFP208 varianta mikrokontroléru LPC4357 [24] má omezenou šířku datové sběrnice externí paměti na 16 bitů a oproti LBGA256 také méně vývodů, s čímž souvisí i menší počet digitálních pinů. Ty jsou rozděleny do 16 portů pojmenovaných P0 až P9 a PA až PF, každý může mít až 8 funkcí. Při návrhu obvodu je nutné připojit komunikační vývody periférií k pinům, jejichž některá funkce je na daný účel připravená – např. šestý adresový vodič externí paměti může být připojen pouze k pinům s funkcí EMC_A6.

Přidělení funkcí k jednotlivým pinům se realizuje programově zápisem do příslušných SCU (System Configuration Unit) registrů, funkce pinů lze tedy v průběhu činnosti mikrokontroléru měnit. Využití více funkcí jednoho pinu pro komunikaci s několika perifériemi však není vhodné, neboť s nimi nelze komunikovat současně, řízení jednoho může ovlivnit druhé a navíc může docházet k odrazům na vedení, což způsobí nespolehlivou komunikaci.

V LPC4357JBD208E nelze současně využívat EMC pro externí paměť a rozhraní SD/MMC pro komunikaci s SD kartou, neboť neexistuje přiřazení funkcí k pinům tak, aby mohly být obě periférie připojeny k různým pinům. Funkce EMC_WE a SD_CMD je možné využít jen na pinu P1_6, funkce EMC_D6 a SD_CD jen na pinu P1_13. Ze stejného důvodu nelze současně využívat ani rozhraní SPI a SPIFI.

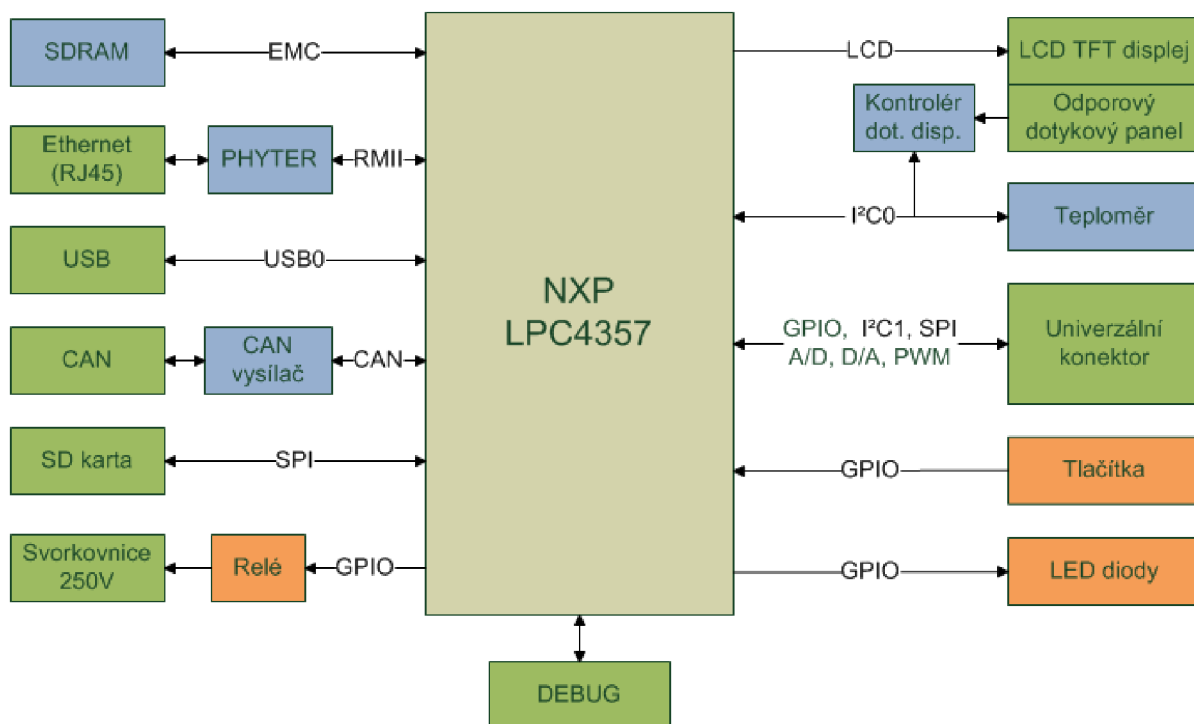
Karta ovládacího panelu musí kromě mikrokontroléru obsahovat konektor na LCD TFT displej, jeho dotykovou vrstvu (někdy bývají sloučeny do jednoho) a externí paměť. Bude využita paralelní paměť typu SDRAM. Další možností je paměť SRAM nebo paměť se sériovým rozhraním, nicméně cena paměti typu SRAM je při stejné kapacitě i několikanásobně vyšší [22] a přenosová rychlost sériového rozhraní by nemusela být pro 7" displeje s rozlišením 800 x 480 pixelů dostatečná. S dotykovou vrstvou bude pracovat externí kontrolér, jenž má oproti mikrokontroléru vícebitový A/D

převodník. Díky speciálním funkcím ušetří mikrokontroléru čas se zpracováváním naměřených hodnot, které bude možné získat přes sběrnici I²C. Další uživatelské rozhraní budou představovat tlačítka a různobarevné LED diody.

Ovládací panely řídí připojená zařízení nejčastěji podle času a dat ze senzorů. Hodiny reálného času jsou již v LPC4357 integrovány, proto bude karta osazena ještě jedním z nejdostupnějších senzorů – teploměrem. Další senzory, periferie či ovládané prvky bude možné připojit pomocí univerzálního konektoru, na který budou vyvedeny některé nevyužité piny mikrokontroléru. Mezi nimi nebudou chybět GPIO piny, vstupy A/D převodníku, výstupy PWM modulu a D/A převodníku nebo rozhraní I²C a SPI. K ovládání zařízení napájených 230 V bude možné využít relé, k připojení dalších periferií pak konektory USB (typ A), DE-9 (CAN) či RJ45 (Ethernet).

Na kartu bude dále osazen slot na mikro SD kartu, kterou lze k mikrokontroléru připojit i přes rozhraní SPI. Obslužný program ji může využívat jako zdroj větších dat, např. obrázků, které se nemusí vejít do interní flash paměti, nebo může obsahovat konfigurační soubor určený pouze pro čtení a ovlivňující GUI a chování ovládacího panelu.

Blokové schéma celé karty je na obrázku 3.1, kde jsou zeleně označeny konektory, modře integrované obvody a oranžově další elektrické součástky. Směr šipek označuje směr toku informací, do kterých je zahrnuta i konfigurace registrů integrovaných obvodů s rozhraním I²C. Kvůli omezenému počtu jeho adres budou využity oba I²C kontroléry LPC4357, což umožní připojit přes univerzální konektor zařízení se stejnými adresami, jako bude mít teploměr a kontrolér dotykové vrstvy.



Obrázek 3.1 – Blokové schéma karty ovládacího panelu

3.3 Obvodové schéma karty

Návrh každého zařízení včetně karty ovládacího panelu je komplexní činnost, která zahrnuje mj. návrh schématu, přiřazení funkcí k jednotlivým pinům mikrokontroléru a návrh desky plošných spojů. Ačkoliv předchází vývoj schématu rozmísťování součástek na desce a plánování vodivých cest, často

získá svoji finální podobu až před dokončením návrhu celé DPS. K úpravám schématu i přiřazených funkcí k pinům mikrokontroléru může docházet např. ve snaze minimalizace velikosti desky, počtu jejích vrstev, prokovených děr či zvýšení odolnosti vůči elektromagnetickému rušení.

Schéma karty ovládacího panelu vychází z jeho blokového schématu a přidělení funkcí k pinům mikrokontroléru (Příloha 1). V této podkapitole je popsáno zapojení jednotlivých částí systému a výběr nejdůležitějších součástek, které byly voleny s ohledem na dostupnost v obchodech *Premier Farnell* [22], *Mouser Electronics* [23], *GM electronic* [25] a *GES-ELECTRONICS* [26]. Kompletní obvodové schéma je umístěno v příloze č. 2 a seznam použitých součástek v příloze č. 4.

SDRAM

Dynamická externí paměť má sloužit v ovládacím panelu primárně jako frame buffer. Její minimální kapacita závisí na rozlišení LCD displeje, barevné hloubce a počtu uložených snímků či vrstev. Je-li karta připravována až na 7“ LCD displej s rozlišením 800 x 480 pixelů, je na každých 8 bitů barevné hloubky jednoho snímku potřeba 375 kB paměti. Při použití true color (24 bpp) připadá na celý snímek dokonce 1,5 MB paměťového prostoru, neboť musí být barva jednoho pixelu uložena na 32 bitech [27]. Pro přepínání mezi obrazovkami je vhodné mít prostor pro více snímků.

Na kartu byla vybrána paměť MT48LC16M16A2P-6A firmy Micron, která maximální frekvencí hodinového signálu (167 MHz) a kapacitou (32 MB) pro účely ovládacího panelu s rezervou dostává. Paměť bude řízena hodinovým signálem CLK0 mikrokontroléru. Pro výběr paměti EMC kontrolérem byla použita funkce DYCS0 (SDRAM chip select 0). Paměť tak bude mapována do adresového prostoru mikrokontroléru počínaje adresou 0x28000000h [24].

Do blízkosti každého napájecího pinu je umístěn 100nF blokující kondenzátor, k paměti byl dále přidán keramický kondenzátor s kapacitou 10 μ F. Všechny její datové vývody jsou připojeny přímo k pinům mikrokontroléru (viz příloha 2). Jedinou výjimku tvoří pin P2_7 (devátý adresový vodič paměti), jehož hodnota je po startu mikrokontroléru zjišťována [24]. Při logické jedničce je vykonáván program z interní flash paměti, při nule je zdroj programového kódu určen z OTP paměti MCU nebo z logických hodnot pinů P2_9, P2_8, P1_2 a P1_1. Jelikož bude programový kód na kartě uložen přímo v jeho flash paměti, byl k pinu P2_7 na desku plošných spojů připraven pull-up rezistor. Později bylo z [24] zjištěno, že některé mikrokontroléry řady LPC43xx, a to včetně LPC4357, mají tento rezistor již integrovaný, takže nemusel být na desku osazen.

LCD

Deska ovládacího panelu bude připravena na LCD TFT displeje K430WQA-V4-F (Kentec Electronics, 4,3“, 480x272 px) [28] a ER-TFT070-4 (EastRising, 7“, 800x480 px) [29]. Jejich 40 pinové paralelní rozhraní je shodné s mnoha dalšími displeji různých velikostí a parametrů, mj. s většinou sortimentu displejů firmy EastRising [4], jejichž LCD displeje jsou velmi levné v porovnání s běžně dostupnými v obchodech [22] a [23].

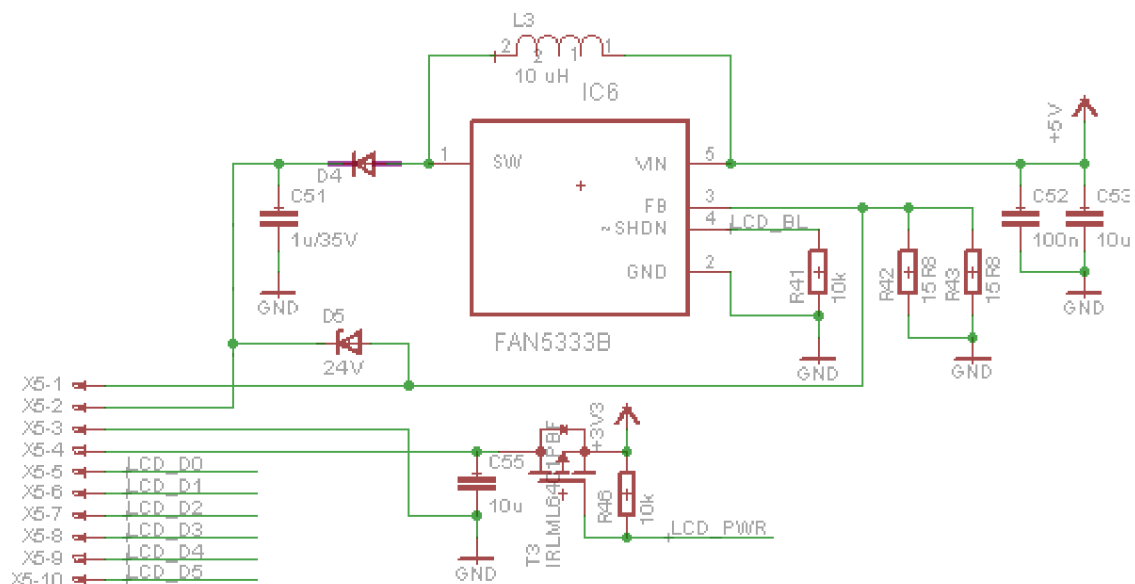
Rozhraní obsahuje kromě 24 vodičů určených pro červenou, zelenou a modrou barevnou složku obrazu hodinový signál LCD_DCLK, horizontální synchronizaci LCD_HSYNC, vertikální synchronizaci LCD_VSYNC, data enable signál LCD_DE a vodič LCD_DISP, který zapíná nebo vypíná displej. Všechny jsou připojeny k pinům mikrokontroléru, které umožňují přiřazení příslušné funkce LCD kontroléru (viz příloha č. 1 a detailní schéma karty – příloha č. 2). Pro ovládání signálu DISP je použit GPIO pin.

Oba displeje disponují pro přenos dat 40 pinovými FPC (Flexible Printed Circuit) kabely s roztečí vývodů 0,5 mm, které se zasouvají do ZIF (Zero Insertion Force) konektorů. Piny 3, 29 a 36 jsou uzemněny, na čtvrtý je přivedeno napájecí napětí 3,3 V blokované 100nF a 10 μ F keramickým

kondenzátorem. Aby byl mikrokontrolér schopný napájení displeje ovládat pomocí signálu LCD_PWR (funkce LCD_PWR nebo GPIO pin), bylo zapojeno přes unipolární tranzistor (Obrázek 3.2).

Napájení LED diod k podsvícení displeje je zaleženo na proudovém zdroji s FAN5333B, který je zapojen podle referenčního schématu [30]. Hodnoty odporů R42 a R43 byly zvoleny tak, aby při osazení jednoho z nich dodával zdroj proud 20 mA (K430WQA-V4-F), při osazení obou 40 mA (ER-TFT070-4). Zapínání a vypínání tohoto zdroje zajišťuje signál LCD_BL přivedený k GPIO pinu mikrokontroléru. Na výstup zdroje byla přidána 24V Zenerova dioda v závěrném směru jako ochrana zdroje v případě, že nebude displej připojen nebo bude některá z LED diod poškozená.

O zpracování dat z rezistivního dotykového panelu se bude starat integrovaný obvod STMPE811. Byl vybrán především díky 12bitovému A/D převodníku, možnosti průměrování hodnot několika měření a FIFO bufferu, který může uchovávat až 128 naměřených souřadnic, díky čemuž lze jednoduše zjišťovat i dráha prstu po displeji. Pro komunikaci SMTPE811 s MCU je využito I²C rozhraní, které je zvoleno zapojením odporu R68. Pull-down rezistorem třetího vývodu IO byla zvolena I²C adresa 0x41h, která již není na kartě použita. Odporů R66 a R67 zajišťují podle specifikace sběrnice I²C vysokou logickou úroveň na jejích vodičích v klidovém stavu. ER-TFT070-4 má pro vývody dotykové vrstvy speciální čtyřvodičový FFC kabel, k jeho zapojení slouží konektor X7 (viz příloha č. 2).



Obrázek 3.2 – Zapojení LCD displeje (část)

Ethernet

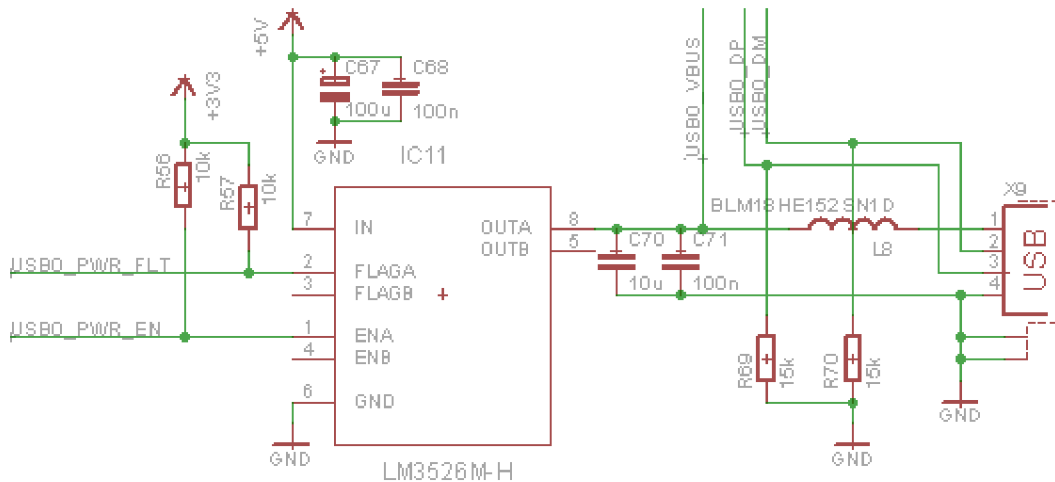
LPC4357 obsahuje Ethernet MAC blok s MII a RMII rozhraním, který musí být připojen k ethernetovému vysílači na úrovni fyzické vrstvy. Kvůli menšímu počtu vodičů bylo vybráno rozhraní RMII, kvůli snadnému pájení integrovaný obvod DP83848C.

DP83848C [16] je 10/100 Mb/s ethernetový vysílač v LQFP pouzdře. Byl zapojen podle popisu pinů a návrhových rad v katalogového listu, kde je kladen důraz na umístění 10μF a 100nF kondenzátorů blízko pinu 23 (FBOUT) a 100nF kondenzátorů poblíž pinů 18 a 37 (FBIN1, FBIN2).

Zvolené rozhraní pro komunikaci s mikrokontrolérem je dáno dvojicí rezistorů R11 a R28 (viz příloha č. 2). LED diody konektoru RJ45 s integrovanou magnetikou (oddělovacím transformátorem) jsou připojeny k LED_LINK a LED_ACT vývodům. Podle nastavení konfiguračních registrů integrovaného obvodu mohou indikovat připojení, aktivitu, kolizi nebo half/full duplex komunikaci. Ke generování hodinového signálu RMII rozhraní slouží 50MHz oscilátor Q1.

USB

LPC4357 obsahuje dva USB 2.0 kontroléry. Pro kartu ovládacího panelu byl vybrán USB0, který podporuje režimy host, device i OTG. USB1 zůstane nevyužit. Kontrolér vyžaduje kromě USB konektoru pouze obvod řídicí napájení zařízení připojených ke sběrnici (IC11, Obrázek 3.3). Ten přivádí na výstup (pin 8) 5 V, pokud je signál USB0_PWR_EN v aktivní logické úrovni. V případě, že procházející proud překročí 1 A, napájecí napětí obvodu klesne pod 1,8 V nebo stoupne teplota obvodu na 145 °C, odpojí výstup a nastaví signál USB_PWR_FLT [31].

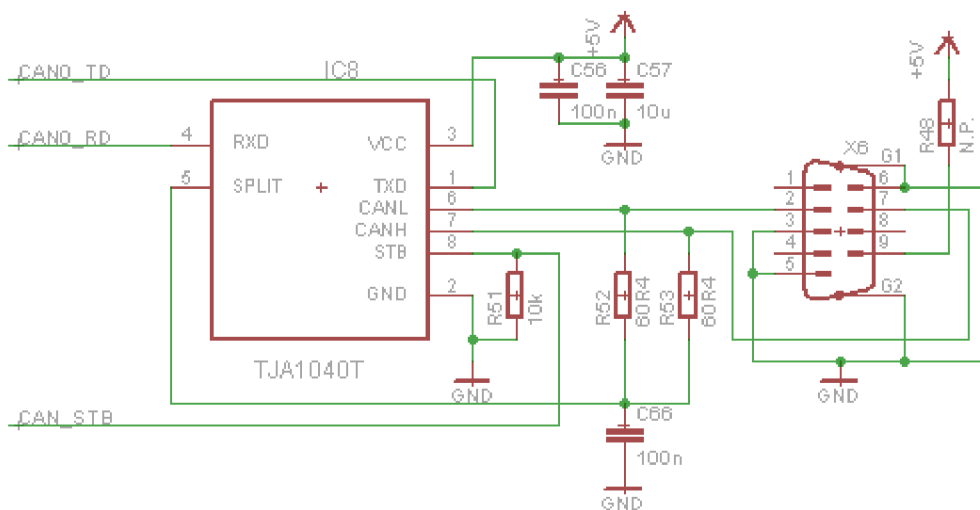


Obrázek 3.3 – Zapojení USB rozhraní

CAN

Použitý mikrokontrolér disponuje dvěma C_CAN 2.0B moduly. Ovládací panel využívá pouze C_CAN0. CAN vyžaduje rozhraní mezi CAN kontrolérem a fyzickou sběrnici, CAN vysílač, který na kartě představuje IC8 (Obrázek 3.4). Vzhledem k dostupnosti a nízké ceně byl vybrán TJA1040T.

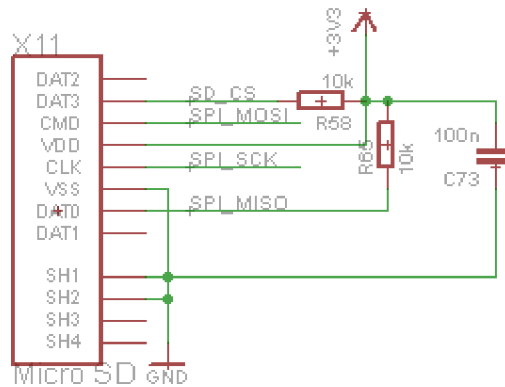
Vysílač je zapojen podle datasheetu [32], výstup je vyveden do samce devítipinového D-Sub konektoru podle [13]. Hodnoty rezistorů R52 a R53 byly zvýšeny o 0,4 Ω kvůli jejich lepší dostupnosti. Napájecí napětí 5 V je blokováno keramickými kondenzátory 100 nF a 10 µF. Signál CAN_STB může sloužit k přechodu vysílače do standby módu.



Obrázek 3.4 – Zapojení rozhraní CAN

Mikro SD karta

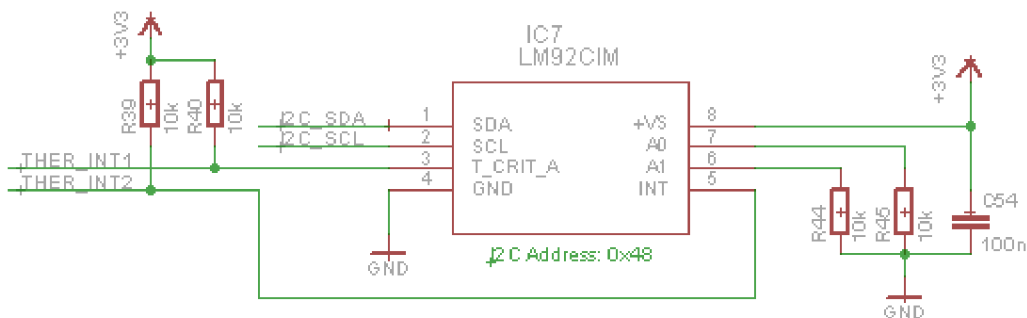
Současné využití SD/MMC kontroléru a EMC pro připojení SDRAM paměti není na mikrokontroléru LPC4357JBD208E možné (viz kapitola 3.2), bylo tedy využito rozhraní SPI. Jednotlivé piny mikro SD karty jsou zapojeny podle [12]. Pull-up rezistor R58 zajišťuje neaktivní logickou úroveň cable select signálu po přivedení napájecího napětí ke kartě.



Obrázek 3.5 – Zapojení mikro SD karty

Teploměr

Do ovládacího panelu byl zakomponován jeden z nejběžnějších a nejdostupnějších senzorů – teploměr. LPC4357 žádný teploměr neobsahuje. Pokud by nějakým disponoval, měřil by spíše teplotu čipu než okolního prostředí. Na kartu ovládacího panelu byl proto umístěn teplotní senzor LM92 (IC7, Obrázek 3.6). Byl vybrán na základě malého pouzdra a velké rozlišitelnosti (0,0625 °C) [33]. Vyžaduje pouze minimum externích součástek, prostřednictvím sběrnice I²C lze číst přímo naměřenou teplotu ve stupních Celsia. I²C adresa teploměru (0x48h) je určena zapojením jeho šestého a sedmého pinu. LM92 může sloužit i jako komparátor vůči zadaným teplotám. Při jejich překročení lze vyvolat přerušení mikrokontroléru signály THER_INT1 nebo THER_INT2 připojenými k GPIO pinům.



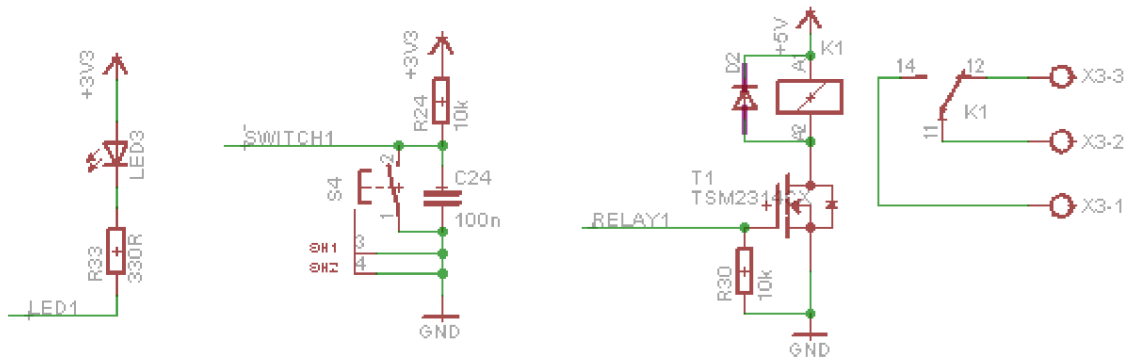
Obrázek 3.6 – Zapojení teploměru

LED diody, mikrospínače, relé

Jako uživatelské rozhraní karty mohou sloužit i čtyři LED diody a čtyři mikrospínače. LED diody jsou zapojeny podle obrázku 3.7 vlevo a přivedeny k GPIO pinům PA_2, PE_7, PE_9 a PE_10. Každým z nich může bez velké výchylky výstupního napětí procházet proud až 6 mA [24]. Hodnoty odporů byly vypočteny tak, aby diodami tekla proud přibližně 5 mA.

Tlačítka jsou zapojena podle obrázku 3.7 uprostřed. Paralelní kondenzátory redukuje vliv přechodového děje – zakmitávání kontaktu při sepnutí a rozepnutí mikrospínačů, čímž je přechod z jedné logické úrovně do druhé na pinech PA_1, PA_3, PA_4 a PE_8 plynulejší.

K ovládání zařízení napájených 230 V~ slouží dvě relé s maximálním proudem 5 A. Byly vybrány takové, které mají napájení cívky 5 V, neboť bude karta ovládacího panelu obsahovat pětivoltový zdroj. Cívkou relé prochází při tomto napětí proud 40 mA, proto jsou relé spínaná přes unipolární tranzistory. Při sepnutí a rozepnutí je na cívkách generováno napětí opačné polarity, proto byly k ochraně tranzistorů umístěny paralelně k relé diody. Spínané kontakty relé jsou přivedeny do šroubovacích svorkovnic X3 a X4 (viz příloha č. 2).



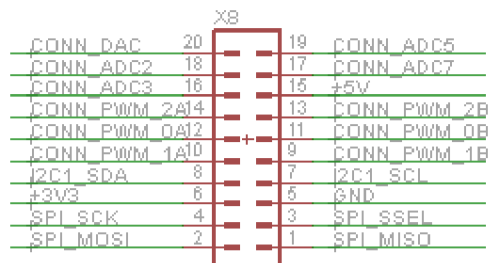
Obrázek 3.7 – Zapojení LED diod (vlevo), tlačítek (uprostřed) a relé (vpravo)

Univerzální konektor

Mikrokontrolér obsahuje mnoho dalších nevyužitých pinů a rozhraní. Deska plošných spojů ovládacího panelu proto obsahuje univerzální 20pinový konektor pro ploché kabely s roztečí vývodů 2,54 mm, na který jsou podle blokového schématu přivedeny:

- vstupy A/D převodníku
- výstup D/A převodníku
- rozhraní I²C1
- rozhraní SPI (sdílené s SD kartou)
- výstupy pulzně-šířkového modulátoru

Tyto PWM výstupy mohou sloužit i k řízení třífázového motoru. K dispozici jsou také napájecí napětí 3,3 V a 5 V a zem (Obrázek 3.8). Všechny signálové vývody kromě výstupu D/A převodníku mohou být použity i jako obecné vstupy a výstupy (GPIO) mikrokontroléru.



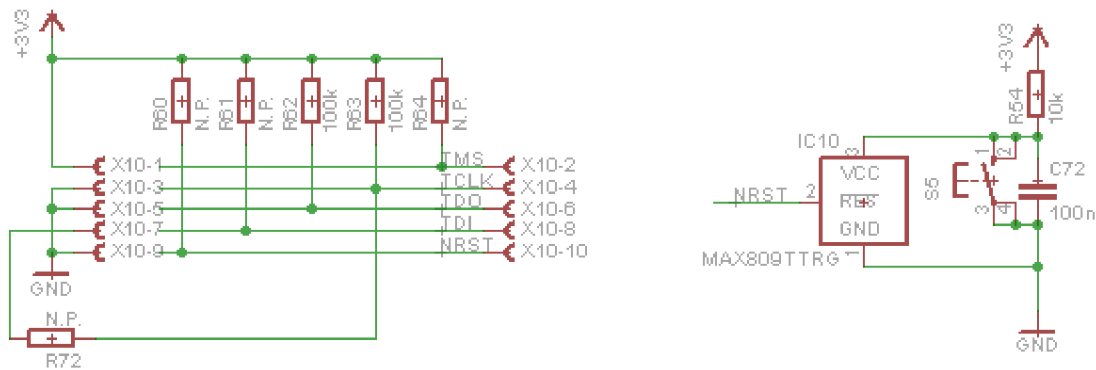
Obrázek 3.8 – Zapojení univerzálního konektoru

Debug rozhraní

Konektory mezi debuggery a laděnými kartami se různí. K ladění programového kódu bude sloužit zakoupená karta LPC-LINK2, která je vybavena 10pinovým konektorem s roztečí vývodů 1,27 mm. Ten je současně nejmenší z používaných, proto byl vybrán na kartu ovládacího panelu. Konektor byl

zapojen a osazen podle [27], byl však připraven i na zapojení podle vývojové karty LPC4357-EVB [34], která byla s LPC-LINK2 úspěšně odzkoušena (Obrázek 3.9 vlevo). Obě varianty se liší pouze použitím pull-up rezistorů na jiných vodičích rozhraní.

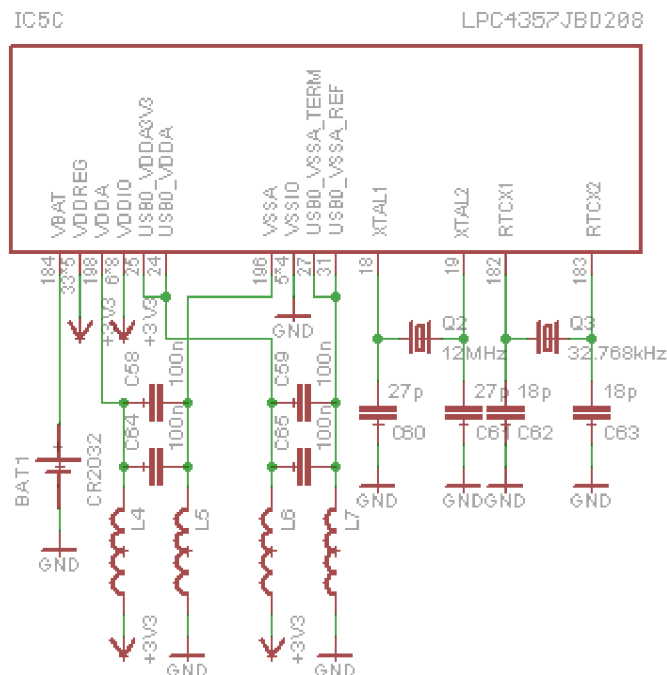
Podle vývojové karty byl zapojen i obvod s resetovacím tlačítkem mikrokontroléru (Obrázek 3.9 vpravo) a obvodem MAX809TTRG. Ten nastaví signál NRST na logickou nulu, pokud je výstup 3,3V napájecího zdroje karty pod hranicí 3,08 V [35].



Obrázek 3.9 – Zapojení debug konektoru (vlevo) a tlačítka resetu (vpravo)

Napájení a oscilátory mikrokontroléru

LPC4357 obsahuje interní 12MHz RC oscilátor, jehož frekvence se může lišit až o 2% v závislosti na napájecím napětí a teplotě. Pro větší přesnost je k mikrokontroléru vhodné připojit externí krystal nebo oscilátor [27]. Na kartu ovládacího panelu byl proto umístěn externí 12MHz krystal, pro využití RTC periferie mikrokontroléru byl navíc přidán ještě 32768Hz krystal (Obrázek 3.10). Jejich zatěžovací kondenzátory byly voleny podle zatěžovací kapacity vybraných krystalů (18 resp. 12,5 pF) a doporučených hodnot z datasheetu mikrokontroléru [24].



Obrázek 3.10 – Zapojení napájení mikrokontroléru a krystalů

Napájení mikrokontroléru je zapojeno podle LPC4357-EVB [34], analogová i digitální část je blokována dvěma 100nF keramickými kondenzátory a přes feritová jádra připojena ke 3,3V zdroji ovládacího panelu. Pro napájení hodin reálného času byla přidána 3V knoflíková baterie, která umožní s minimální proudovou spotřebou mikrokontroléru čítání hodin i při odpojení napájecího zdroje karty.

Napájení karty

K napájení celého systému jsou potřeba tři napájecí zdroje. Proudový zdroj pro podsvícení displeje byl popsán výše. Spolu s relé, obvody USB a CANu potřebuje napětí 5 V, ostatní části karty vyžadují 3,3 V.

V tabulce 3.1 jsou uvedeny maximální odebírané proudy jednotlivých částí karty, které jsou podle katalogových listů použitých součástek alespoň v řádu desítek miliampér. Pro napájecí napětí 3,3 V činí dohromady přibližně 750 mA, pro 5 V přibližně 1400 mA.

	3,3 V	5 V
MCU (LPC4357)	120 mA ²	
SDRAM (MT48LC16M16A2P-6A)	285 mA	
LCD (ER-TFT070-4)	³	230 mA
Kontrolér dotykové vrstvy (STMPE811)	50 mA	
Ethernet (DP83848C, 50MHz oscilátor, RJ45 LED)	140 mA	
USB (LM3526)		1000 mA
CAN (TJA1040)		70 mA
Mikro SD karta	100 mA ⁴	
LED diody	20 mA	
Relé		80 mA

Tabulka 3.1 – Maximální spotřeba jednotlivých částí karty ovládacího panelu

Pro napájecí zdroje byly vybírány napěťové regulátory, které mají velký rozsah vstupního napětí, malé pouzdro a co nejmenší výkyv napětí na výstupu po jeho filtraci. Pro oba se stal vítězem obvod TPS563209DDCR s maximálním vstupním napětím 17V, který dokáže s minimálním počtem externích součástek dodávat proud až 3 A. Zapojení těchto integrovaných obvodů (Obrázek 3.11) bylo získáno z webové aplikace WEBENCH Designer⁵ jejich výrobce. Byly k němu přidány tantalové 100μF kondenzátory filtrující výstupní napětí a SMD LED diody indikující zapnuté zdroje.

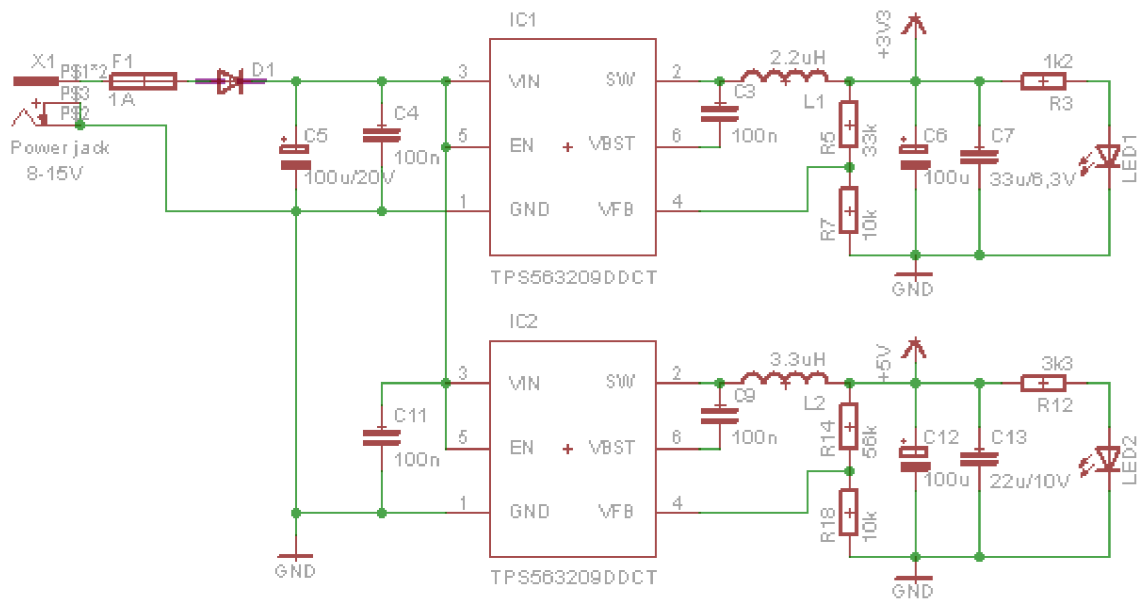
Vzhledem k velké variabilitě vstupního napětí lze použít pro napájení karty běžně dostupné 9V, 12V a 15V napájecí zdroje. Na kartu byla umístěna i dioda jako ochrana proti přepólování a pojistka. Její hodnota byla volena podle maximální očekávané proudové spotřeby panelu a minimálního povoleného napájecího napětí karty. V případě napájení energeticky náročných zařízení přes USB nebo univerzální konektor bude potřeba pojistku změnit.

² Maximální proud při frekvenci 204 MHz a zapnutých všech na kartě využitelných periferií.

³ Proudová spotřeba není v [AB4] uvedena.

⁴ Závisí na použité mikro SD kartě.

⁵ Dostupná z: <http://webench.ti.com/>.



Obrázek 3.11 – Zapojení 3,3V a 5V napájecího zdroje

3.4 Deska plošných spojů

Mezi základní požadavky na desku plošných spojů patří mimo správné obvodové funkce i vyrobiteľnosť a snadné osazování, jednoduchá opraviteľnosť, estetický design, nízká cena nebo shoda s platnou legislatívou (elektromagnetická kompatibilita, bezpečnosť, aj.). Mezi základní pravidla jejího návrhu z hlediska elektromagnetické kompatibility (EMC) patří především [36]:

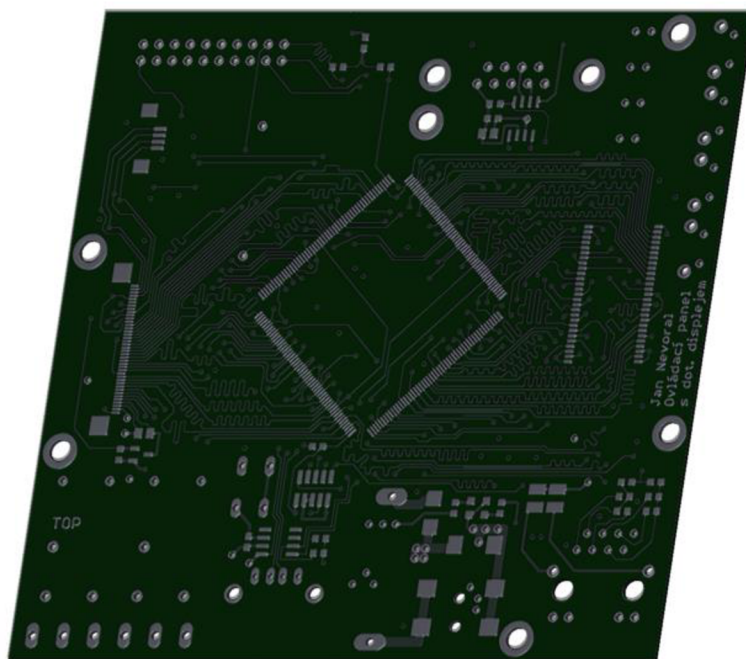
- **Minimalizace hodnot proudů** – volba vhodných typů obvodů, správné kombinace vstupních a výstupních impedancí nebo např. volba pull-up a pull-down rezistorů.
- **Minimalizace proudových smyček** – minimalizace délek spojů, vhodné rozmístění součástek a vedení spojů, blokování napájení pomocí kondenzátorů.
- **Minimalizace kmitočtového spektra** – vyvarování se používání zbytečně rychlých obvodů a rychlé datové komunikaci.

Tato pravidla jednak snižují vyzařování vodičů a celé desky, současně však zvyšují odolnost zařízení i jednotlivých vodičů před elektromagnetickým rušením. Návrh schématu i desky plošných spojů probíhal v programu *Cadsoft Eagle 7.0*, jenž se k těmto účelům běžně používá. Při návrhu DPS ovládacího panelu (Obrázek 3.12), byly dodrženy i další pravidla a doporučení z [36]. Některá z nich jsou se vztahem k desce navržené v rámci této práce stručně popsána v následujících podkapitolách.

Rozmístění součástek a výběr jejich pouzder

Při návrhu DPS je vhodné fyzicky separovat jednotlivé funkční bloky obvodu (analogové, číslicové, oscilátory či napájení) a maximalizovat využití SMD součástek. Parazitní indukčnost jejich přívodů je oproti vývodovým součástkám nižší až o 50%. Menší rozměry SMD součástek je umožňují umístit blíže k sobě, čímž dochází ke zmenšení proudových smyček a vytváření menších desek plošných spojů.

Aby mohla být deska ovládacího panelu oživována postupně (zdroj → mikrokontrolér → paměť → LCD, periferie, atd.) a tím kontrolováno správné obvodové zapojení jednotlivých funkčních bloků, bylo pro osazování zvoleno ruční pájení. S tím souvisí i výběr pouzder jednotlivých součástek. O pouzdru BGA již bylo psáno v kapitole 3.1, QFN má na desce pouze integrovaný obvod STMPE811, který se v jiném pouzdrě nevyrábí. Jeho ruční osazení však není v laboratoři vzhledem k jeho velikosti problém.



Obrázek 3.12 – Model desky plošných spojů ovládacího panelu

Kromě relé, mikrospínačů, pojistky, některých LED diod a držáku baterie, kde vliv delších vodičů nebude hrát na desce žádnou zásadní roli, jsou vývodové technologie (THT, through-hole technology) jen některé konektory. Nejmenší pouzdro použitých odporů a kondenzátorů, 0603, bylo vybráno jako kompromis mezi malou velikostí a relativně snadným osazením pomocí pinzety a mikropáčky.

Konektory byly umístěny po stranách karty ovládacího panelu stejně jako svorkovnice, slot na mikro SD kartu nebo tlačítka pro interakci s uživatelem. Pozice teploměru byla zvolena tak, aby byl co nejméně ovlivňován tepelným vyzařováním okolních součástek. LED diody připojené k mikrokontroléru byly vybrány vývodové, aby mohly být umístěny skrz případnou krabičku ovládacího panelu. Rozteč konektorů LCD displeje a dotykové části byla dána displejem ER-TFT070-4 [29].

S rozmístěním součástek a dalšími vlastnostmi DPS souvisí i použitá konstrukční třída přesnosti. Rozteč vývodů mikrokontroléru, PHYTERu a konektoru LCD displeje (0,5 mm) určuje minimálně použití třídy 5, která u většiny výrobců desek plošných spojů znamená minimální šířku spoje i izolační mezery 0,2 mm a nejmenší průměr vrtáku 0,5 mm. Tato třída byla nakonec ve snaze snížení ceny výroby jednoho kusu DPS zvolena.

Vrstvy plošného spoje

Při návrhu desek plošných spojů se používají tři druhy vrstev:

- **Vnější signálové vrstvy** mají nižší parazitní kapacitu, a tedy i nižší přenosové zpoždění a nižší odolnost vůči rušení.

- **Vnitřní signálové vrstvy sousedící s vodivými plochami** mají vyšší přenosové zpoždění, ale současně vyšší odolnost vůči rušení. Nezpůsobují vyzařování.
- **Vodivé plochy** zajišťují nízkoimpedanční rozvod napájení.

Pro řazení vrstev pak platí pravidlo: „*Každá signálová vrstva musí sousedit s vodivou plochou, nejlépe se společným vodičem.*“ Pro desku ovládacího panelu, kde by mohla komunikace mikrokontroléru s pamětí dosahovat teoreticky frekvence až 167 MHz, je nutné použít alespoň čtyřvrstvou DPS. Vzhledem k tomu, že nelze vodiče na této sběrnici umístit do jedné vrstvy (kříží se), je pro ně třeba vyhradit alespoň dvě signálové vrstvy. Ideální by bylo použití šestivrstvé DPS, která umožňuje využít 2 nebo 3 vrstvy pro kritické signály. Čtyřvrstvá deska, které sousedí obě krajní signálové vrstvy s vodivými plochami, by mohla stačit také - v nejhorším případě bude nutné snížit rychlost komunikace s SDRAM pamětí.

Kvůli nižší ceně byla zvolena čtyřvrstvá DPS. Vrchní vrstva (TOP, příloha č. 3) je podložena vrstvou s rozlitou mědí připojenou na zem (GND). Většina kritických signálů tedy byla umístěna do vrstvy TOP. Třetí vrstva (PWR) byla ponechána pro napájecí napětí. Obsahuje jednu vodivou cestu podél části kraje karty pro rozvod 5 V, na zbytku je rozlita měď spojená s napájecím napětím 3,3 V. Poslední (BOTTOM), čtvrtá, vrstva je opět signálová.

Blokování napájení

Se správným návrhem DPS souvisí i správný výběr blokovacích kondenzátorů popř. filtračních tlumivek. Blokovací kondenzátory se používají, protože „*každý jiný napájecí zdroj se nachází elektricky příliš daleko od spotřebiče*“, a je tedy nutné součástkám poskytnout napájení ze zdrojů blízkých, kterými jsou právě blokovací kondenzátory. Používají se tři druhy těchto kondenzátorů:

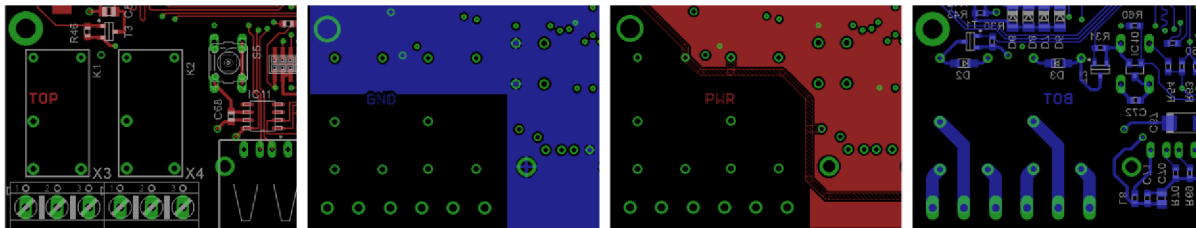
- **Filtrační** – slouží jako širokopásmový filtr pro napájení desky. Mohou redukovat indukčnost vodičů od napájecího zdroje. Na kartě ovládacího panelu jsou především 100 μ F tantalové kondenzátory. K filtraci u zdrojů slouží i 22 μ F a 33 μ F keramické kondenzátory.
- **Lokální** – redukují impulzní proudy, které by tekly celou deskou. Slouží jako lokální zdroje energie součástek, a musí u nich být tedy umístěny co nejbližší. Na desce to jsou 100nF keramické kondenzátory, které se nacházejí u každého integrovaného obvodu na kartě.
- **Skupinový** – slouží jako zdroj energie pro současné nabíjení několika kapacitních zátěží.

Zemnění

Pro desku plošných spojů karty ovládacího panelu bylo zvoleno vícebodové zemnění, které je vhodné pro vysokofrekvenční, a tedy i číslicové obvody. Každá součástka je co nejkratším přívodem spojena s GND vrstvou desky plošného spoje. Současně byl minimalizován počet prokovených děr deskou, které porušují souvislou vrstvu mědi a navyšují tak parazitní indukčnost.

Rozlita měď ve vrstvách GND a PWR byla odebrána v místě, kde má být na desku osazeno relé a svorkovnice s jeho vývody, kam by mohlo být přivedeno i napětí 230 V \sim . Tím vznikl velký izolační příkop (Obrázek 3.13). Mezi relé a svorkovnicí byly voleny šířky vodičů a izolačních mezer

tak, aby byly dostatečné pro trvalý proud 4 A a napětí 230 V~. Tloušťky ostatních vodičů na kartě jsou podle předpokládaného maximálního proudu od 0,25 mm do 1,5 mm.



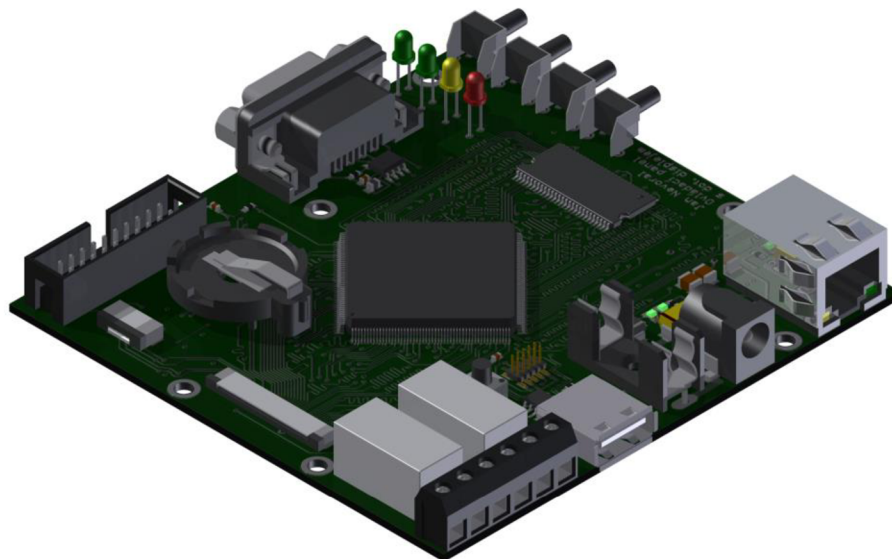
Obrázek 3.13 – Izolační příkop pod relé

Vytvořením meandrů byly srovnány délky vodičů diferenciálního páru USB, vodičů rozhraní RMII a SPI a paralelních sběrnic mikrokontroléru s paměti a konektorem LCD displeje, aby nedocházelo ke zpoždění či předbíhání dat na datových vodičích vůči hodinovému signálu. Kontrola délek vodičů a parametrů konstrukční třídy přesnosti probíhala přímo v prostředí programu Eagle. Ten však při měření délek vodivých cest nezohledňuje použité prokovené díry, proto byla za každý průchod skrz deskou přičtena délka 1,5 mm, která přibližně odpovídá tloušťce DPS.

Před odesláním desky do výroby bylo ještě přidáno pět otvorů na šrouby M3 pro uchycení desky a zmenšen počet různých průměrů vrtaných děr na sedm. Projekt programu Eagle odesílaný výrobcí DPS je na příloženém CD, v příloze č. 5.

Oživení desky

Osazování a oživování karty ovládacího panelu probíhalo postupně, aby mohla být ověřena správná funkce jednotlivých částí systému. Při současném osazení všech součástek by mohl být problém nalézt některé závady nebo by mohlo dojít při špatném návrhu dokonce k poškození některých elektronických součástek.



Obrázek 3.14 – Model osazené desky plošných spojů ovládacího panelu

Na desce byl nejprve zprovozněn 3,3V a 5V napájecí zdroj. Poté byl osazen obvod resetu, LED diody, mikrokontrolér s krystalu a lokálními blokovacími kondenzátory a rozhraní pro ladění programového kódu. Mikrokontrolér bylo možné naprogramovat, jeho základní funkce byly ověřeny programem, který rozsvěcel a zhasínal LED diody jádrem Cortex-M4 a to i při jeho maximální taktovací frekvenci

– 204 MHz. Následovalo tedy oživení SDRAM paměti, zdroje pro podsvícení LCD displeje a kontroléru dotykové vrstvy. Po ověření správného obvodového zapojení těchto částí karty byl osazen zbytek součástek.

Zprovoznování karty znepříjemňovala skutečnost, že byla ožívována kvůli ceně součástek pouze jediná karta. Odstraňovaná závada totiž mohla spočívat v návrhu desky (či jejím obvodovém schématu), ve špatné DPS (z výroby, nebo poničené osazováním), vadných součástkách nebo obslužném firmwaru mikrokontroléru.

Během ožívování bylo nutné nahradit obvod monitorující vstupní napětí (MAX809TTRG), který držel signál resetu v aktivní logické úrovni i v případě, kdy bylo napájecí napětí 3,3 V správné hodnotou napětí i jeho odchylkami. Problém vyřešilo propojení neuzemněného pólu resetujícího tlačítka přímo se signálem NRST a po zakoupení nového obvodu i jeho výměna. Nefunkčnost tedy byla způsobena vadným integrovaným obvodem.

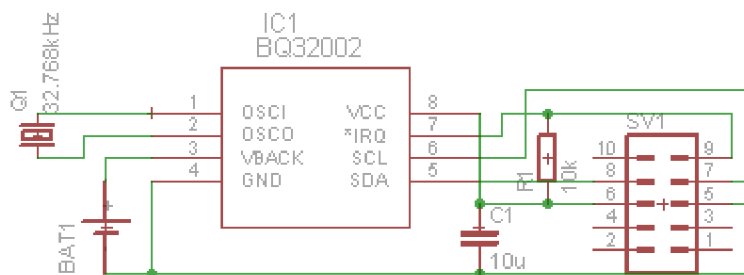
Další komplikace se ukázala s hodinami reálného času. Ty využívají pouze externí 32768Hz krystal se zatěžovacími kondenzátory, pomocí něhož je v mikrokontroléru vytvářen hodinový signál stejné frekvence. Jeho dělením vzniká 1Hz signál, kterým jsou aktualizovány hodnoty RTC registrů [27]. Krystal byl zapojen stejně jako na vývojovém kitu LPC4357-EVB [34], kde hodiny reálného času s programovým kódem zkušenským na kartě ovládacího panelu fungují.

Problém spočívá nejspíše ve špatném návrhu desky plošných spojů. Hodiny reálného času na kartě totiž fungují pouze za určitých podmínek. Po vyvedení 32768Hz hodinového signálu na vývod CLK0, který je na kartě možné měřit osciloskopem, bylo zjištěno, že není správně generován, často není dokonce generován vůbec.

Bylo odzkoušeno 5 různých krystalů z nabídky obchodů *Premier Farnell* [22] a *GM electronic* [25], které vyhovují požadavkům mikrokontroléru [24], a zatěžovací kondenzátory v rozmezí 12 pF a 27 pF pro každý krystal. Správného průběhu bylo dosaženo pouze pro krystal *Q 32.768KHZM* (GM electronic) s 18pF zatěžovacími kondenzátory, když byl v MCU vypnut LCD kontrolér nebo generoval pro všechny pixely displeje černou barvu.

Okolo zmíněného krystalu jsou na desce právě datové vodiče rozhraní LCD. Při generování černé barvy je na nich nulové napětí, takže v ostatních případech jimi mohou být vodiče RTCX1 a RTCX2 rušeny. To by potvrdzovalo domněnku, že byla pro RTC špatně navržena deska plošných spojů. Tipy na její úpravy jsou uvedeny v kapitole 3.6.

Jelikož je vhodné pro vývoj termostatu hodiny reálného času použít, byla vytvořena malá deska plošných spojů osazená integrovaným obvodem BQ32002 [37] podle jeho datasheetu. Ta může být připojena přes univerzální konektor ovládacího panelu a komunikovat pomocí rozhraní I²C1 s mikrokontrolérem.

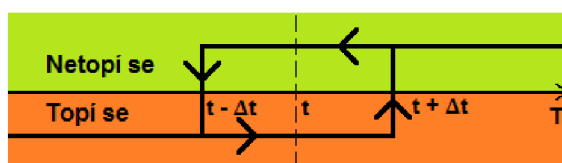


Obrázek 3.15 – Zapojení DPS s RTC obvodem BQ32002

3.5 Firmware

Pro demonstraci funkčnosti vyrobené karty ovládacího panelu byla vybrána implementace digitálního termostatu, který bude řídit plynový kotel *Immergas Avio 24 Maior*. Jeho ovládání je podobné jako u mnoha dalších kotlů – zapínání a vypínání spočívá ve spínání a rozepínání dvou vodičů, mezi nimiž je v rozepnutém stavu síťové napětí 230 V~. Pro vybraný kotel musí být kontakt dimenzován minimálně na proud 0,8 A a musí být nezávislý na síťovém napětí [39]. Na kartě ovládacího panelu ho tak lze ovládat přímo pomocí jednoho relé.

Běžně dostupné termostaty mají nejčastěji manuální a automatický režim. V manuálním udržují stejnou teplotu nezávisle na čase, v automatickém se tato teplota mění podle dne v týdnu a času. Kotle jsou ovládány s hysterezí – často 0,5°C, kdy plynový kotel topí, dokud teplota v místě měřicího zařízení nepřesáhne o půl stupně nastavenou teplotu, zapíná se naopak, když teplota klesne o danou hysterezi pod ideální teplotu. Toto chování je znázorněno na obrázku 3.16, kde osa T představuje naměřenou teplotu, ideální teplota je označena t a hystereze Δt .



Obrázek 3.16 – Regulace termostatem s hysterezí

V této kapitole je popsán obslužný program pro mikrokontrolér LPC4357, s nímž se bude ovládací panel chovat jako termostat. K veškerému ovládání bude sloužit dotyková vrstva displeje K430WQA-V4-F, jehož rozlišení vzhledem k minimálnímu množství zobrazovaných informací bohatě stačí. Termostat podporuje automatický i manuální režim, lze nastavit hysterezi a pro automatický režim na každý den čtyři teploty a čtyři časy. Ty určují, kdy se má na přiřazené teploty začít topit. Bude také umožněna kalibrace dotykového displeje nebo vypnutí displeje při neaktivitě.

Pro implementaci byl zvolen *MDK-ARM Lite* s vývojovým prostředím *μVision V5.12.0.0*, který je volně dostupný s 32kB omezením na přeložený binární soubor, což pro implementaci termostatu bez použití grafických knihoven stačí. Projekt, který je dostupný na příloženém CD, vychází z demoaplikace *Touch Screen*⁶ pro vývojový kit LPC4357-EVB, na němž byl termostat implementován před oživením karty ovládacího panelu.

Z původního projektu zůstaly zachovány adresáře *Core* a *Drivers_Chip*. První obsahuje start-up kód v assembleru a definice a struktury pro přístup k registrům mikrokontrolérové řady LPC43xx. Druhý adresář obsahuje drivery vyvíjené přímo firmou NXP, jenž jsou v současné době volně dostupné jako součást *LPCOpen*⁷. Představují je knihovny funkcí pracující s LPC4357 na jeho nejnižší úrovni, které umožňují inicializaci a ovládání periférií.

Další úroveň je zastoupena soubory v adresáři *Drivers_Card*. Ty byly již implementovány v rámci diplomové práce a kromě dvou dále popsaných výjimek nevycházejí ze zmíněné demoaplikace. Nabízejí sadu funkcí pro zobrazení na LCD displeji, práci s dotykovou vrstvou a především funkce specifické pro kartu ovládacího panelu, které souvisí s jejím obvodovým zapojením a použitými perifériemi. Do souborů jsou rozděleny právě podle ovládaných periférií:

⁶ Volně dostupná na: <http://www.element14.com/lpcmm>.

⁷ Viz <http://www.lpcware.com/lpcopen>.

- **GPIO** – inicializace pinů použitých pro relé, LED diody a tlačítka, funkce pro jejich ovládání.
- **LCD** – inicializace LCD kontroléru podle použitého LCD displeje, nastavení frame bufferu do paměťového prostoru SDRAM paměti, funkce pro ovládání displeje a vykreslování:
 - bodů
 - úseček
 - obdélníků
 - kružnic a kruhů
 - šipek
 - dvoubarevných obrázků
 - obrázků s plynulou změnou barvy v ose y

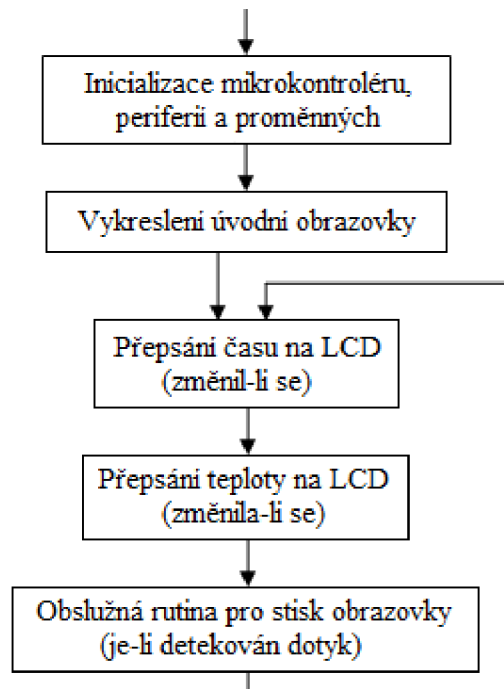
Kvůli optimalizaci na rychlost vykreslování nevyužívá žádná z nich operace s plovoucí řádovou čárkou. Vzhledem k omezené velikosti přeloženého programu nebylo možné importovat písma několika velikostí, proto jsou použité znaky v libovolné velikosti vykreslovány pomocí úseček. Jsou připraveny i funkce pro vypisování čísel, řetězců, teplot a času.

- **LM92** – inicializace teploměru přes rozhraní I²C a funkce pro získávání naměřené teploty z jejího registru. Ta je reprezentována dvojkovým doplňkem na 13 bitech, kde nejméně významný bit představuje 0,0625 °C.
- **RTC** – inicializace hodin reálného času, získávání a nastavování času. Před překladem lze pomocí direktiv #define vybrat použité hodiny:
 - **LPC4357 RTC** – integrovaná periferie mikrokontroléru
 - **BQ32002** – RTC stejnojmenného obvodu připojeného přes rozhraní I²C1
 - **Softwarové RTC** – hodiny implementované programově
- **SDRAM** – inicializace EMC pro použití SDRAM paměti. Vychází z původního projektu, bylo však nutné upravit údaje spojené s časováním MT48LC16M16A2P-6A podle datasheetu, protože byla použita jiná paměť než na vývojovém kitu LPC4357-EVB.
- **STMPE811** - inicializace kontroléru dotykového panelu, čtyřbodová kalibrace dotykové vrstvy, získávání naměřených hodnot v souřadnicích displeje, aj. Z původního projektu byla převzata inicializace, funkce pro získání poslední souřadnice z FIFO fronty a přenos bitu určující aktuální detekci dotyku z kontroléru.

Zbylé soubory projektu, umístěné v adresáři *Thermometer*, implementují samotný termostat. Po startu mikrokontroléru a provedení tzv. start-up kódu, který je z výroby uložen v Boot ROM paměti, je volána funkce *main*. Její chování je zachyceno vývojovým diagramem na obrázku 3.17.

Nejprve je inicializován mikrokontrolér, použité periferie (CGU, GPIO, EMC, EEPROM, I²C0, I²C1, LCD kontrolér) a externí obvody na kartě (LM92, STMPE811). Poté je zapnut displej, kde se při prvním spuštění ovládací panelu zobrazí úvodní zpráva. Po ní následuje inicializace hodin reálného času (BQ32002), jež trvala při použití interních hodin přibližně 10 sekund a při níž už uživatel mohl

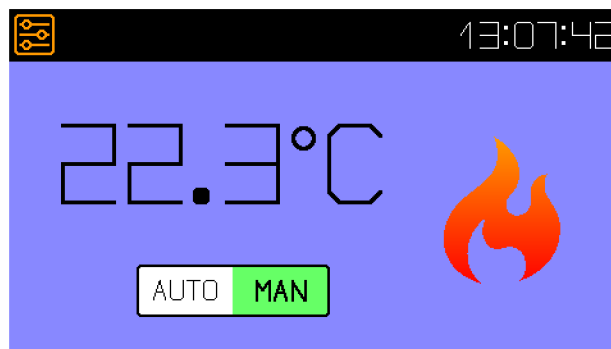
vědět, co systém dělá. Na závěr je vykreslena výchozí obrazovka termostatu a programový kód MCU přechází do nekonečné smyčky.



Obrázek 3.17 – Vývojový diagram programu mikrokontroléru

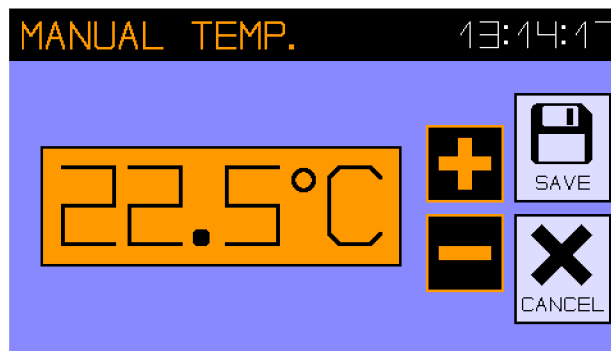
Jednou za sekundu dochází k nastavení příznaku, který v hlavní smyčce zjišťuje, jestli došlo ke změně teploty. Při změně času nebo teploty je nová hodnota překreslena na displeji a podle nastaveného režimu termostatu je určeno, jestli se má začít/přestat topit. Pokud dojde ke stisku obrazovky, je vyvolána obslužná funkce s jeho souřadnicemi. V aplikaci je použito sedm různých snímků obrazovky:

- **Výchozí obrazovka.** Zobrazuje čas, teplotu, a pokud je sepnuto relé řídicí plynový kotel, tak i barevný plamínek. Stiskem lze přejít do nastavení, měnit režim termostatu a v manuálním módu optimální teplotu.



Obrázek 3.18 – Výchozí obrazovka termostatu

- **Nastavení teploty pro manuální režim.** Je vykresleno i při vyvolání přechodu do manuálního režimu, aby mohl uživatel rovnou zadat žádanou ideální teplotu. Při vykreslení se zobrazuje ta naposledy zadaná.



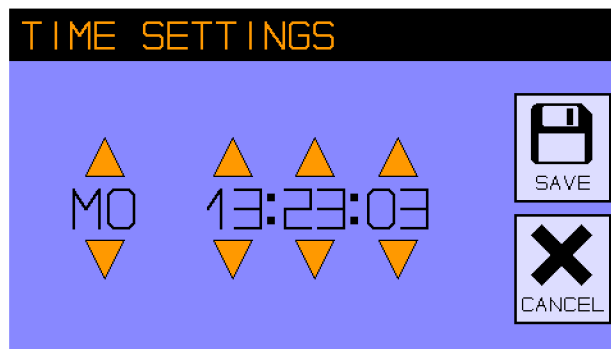
Obrázek 3.19 – Nastavení teploty v manuálním režimu

- **Rozcestník nastavení** ovládacího panelu.



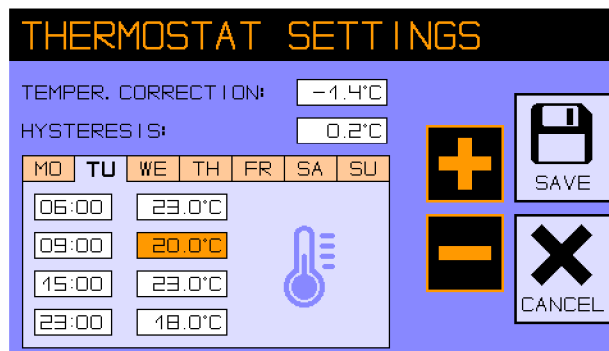
Obrázek 3.20 – Nastavení (rozcestník)

- **Nastavení dne v týdnu a času.** Datum není pro chování termostatu rozhodující.



Obrázek 3.21 – Nastavení času

- **Nastavení teploměru a termostatu.** Lze lineárně korigovat teplotu naměřenou teploměrem, měnit hysterezi termostatu i časy s teplotami každého dne pro automatický režim. Po stisku na nastavovaný údaj se aktivují tlačítka plus a mínus, která umožňují po krocích měnit veličinu v programem daných intervalech.



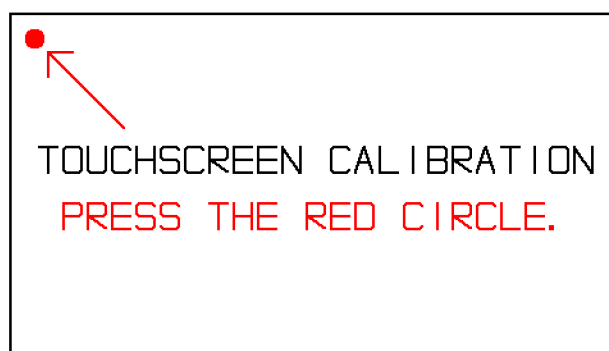
Obrázek 3.22 – Nastavení teploměru a termostatu

- **Nastavení displeje.** Jeho podsvícení je v této aplikaci největším spotřebitelem elektrické energie, proto je umožněno jeho vypnutí po zadané době neaktivity.



Obrázek 3.23 – Nastavení displeje

- **Kalibrace displeje.** Během ní jsou přiřazeny rohovým pixelům displeje hodnoty z A/D převodníku kontroléru, podle nichž se při dotyku obrazovky odvozují souřadnice pixelu, nad kterým byl zaznamenán střed dotyku.



Obrázek 3.24 – Kalibrace dotykové vrstvy

Uživatelské nastavení termostatu je při změně ukládáno do EEPROM paměti mikrokontroléru, takže není při výpadku napájení ovládacího panelu ztraceno. V programu je použito i několik obrázků. Všechny byly získány ze serverů s databázemi volně dostupných ikon⁸. Kvůli omezené velikosti přeloženého kódu z nich byly vytvořeny ikony dvoubarevné, které byly programem *The Dot Factory*⁹ transformovány do programového kódu.

⁸ <https://www.iconfinder.com/> a <http://www.iconsdb.com/>.

⁹ Viz <http://www.eran.io/the-dot-factory-an-lcd-font-and-image-generator/>.

3.6 Zhodnocení ovládacího panelu

V přechozích kapitolách byl popsán návrh karty, která po připojení dotykového displeje slouží jako ovládací panel. Podle tohoto návrhu vznikl i reálný produkt (Obrázek 3.25) – byla vyrobena deska plošných spojů, ručně osazena a odzkoušena.

Během ožívování byly vyhledány příčiny nesprávně fungujících částí karty a opraveny. Jedinou nefungující periferií zůstaly hodiny reálného času mikrokontroléru. Protože byl však na desku umístěn konektor s nevyužitými rozhraními, byly nahrazeny externími, které fungují bez problémů. Karta ovládacího panelu byla úspěšně otestována se 7“ LCD displejem TFT070-4, komunikace mikrokontroléru s SDRAM pamětí probíhá správně i na frekvenci 144 MHz.

Touto prací jsem si poprvé vyzkoušel návrh a realizaci rozsáhlého vestavěného systému včetně návrhu čtyřvrstvé desky plošných spojů a implementace programového kódu. Ukázalo se, že byl tento návrh kromě zmíněné chyby správný.

Ovládací panel s implementovaným termostatem byl po dobu 20 dnů úspěšně testován pro ovládání plynového kotle Immergas Avio 24 Maior v prostředí rodinného domu. Po tuto dobu byl kvůli bezpečnosti opatřen provizorním ochranným obalem, neboť bylo spínáno napětí 230 V~. Zahříváním desky plošných spojů a elektronických součástek v okolí teploměru bylo sice jeho měření ovlivňováno, při teplotě prostředí od 8 °C do 25 °C se však ukázala odchylka po ustálení teploty (pár minut po spuštění panelu) přibližně lineární. Ta tak mohla být zadána do GUI termostatu, čímž bylo na měřeném rozsahu dosaženo přesnosti cca $\pm 0,2$ °C.



Obrázek 3.25 – Karta ovládacího panelu s externími hodinami reálného času a dotykovým displejem

Pro demonstraci univerzality karty byla vytvořena ještě jedna ukázková aplikace založená na čítači impulzů z GPIO pinu (v příloze č. 5 v adresáři *Firmware/Anemometer*), který může po vynásobení

vhodnou konstantou sloužit např. k zjišťování rychlosti větru z připojeného anemometru. Pro účely testování byl anemometr emulován stiskem tlačítka na kartě.



Obrázek 3.26 – Aplikace založená na čítači impulzů

Ovládací panel může být nadále využíván jako termostat. Je možné pro něj ale připravit firmware, díky němuž se z něj může stát centrální prvek pro celý inteligentní dům. Přes internet, SMS zprávy mobilního telefonu nebo dotykový displej by pak bylo možné ovládat osvětlení, ventilaci, rolety, zavlažování záhonů nebo garážová vrata, mohl by se také podílet na zabezpečení domu.

Možnosti dalšího rozvoje

Vzhledem k potenciálu vyvíjené karty by ji bylo možné použít např. jako univerzální ovládací platformu i pro komerční účely. K tomu je však nutné investovat čas a peníze do jejího dalšího rozvoje – vytvoření dalších prototypů desky plošných spojů založených na návrhu z předchozích kapitol, vývoje softwaru obsluhující mikrokontrolér a testování celého systému.

Jediným problémem se při ožívování karty ukázaly nefunkční hodiny reálného času. Pro další iteraci jejího vývoje je nutné umístit krystal co nejbližší MCU, na stejnou stranu desky jako MCU. Tím dojde k minimalizaci proudových smyček. Současně je vhodné mezi vývody krystalu a okolo nich táhnout zemnicí vodič, který bude na několika místech připojen pomocí prokovených děr do vrstvy GND. V oblasti, kde se součástky hodin nacházejí, je možné vytvořit i vodivou plochu. Tím se sníží riziko přeslechu a úroveň vyzařování [36], což je zřejmě důvod nefunkčních hodin (viz kapitola 3.4).

Ve snaze snížení ceny výroby desky plošných spojů byla použita konstrukční třída přesnosti pět. Při úpravě desky lze použít třídu vyšší, součástky a vodiče umístit blíže k sobě, čímž může vzniknout menší deska. Pro úsporu elektrické energie mohou být použita bistabilní relé, která odebírají energii pouze při změně svého stavu. Jsou ale také dražší. Lze provést přesné měření odchylky teploměru pro jeho kalibraci, nebo použít teplotní čidlo externí.

Při komercializaci produktu je po zjištění nároků na celý systém možné provést záměnu mikrokontroléru nebo použité SDRAM paměti kvůli snížení ceny systému. Lze vybrat ze stejné řady např. levnější mikrokontrolér s menší kapacitou flash paměti. Mikrokontroléry řady lpc43xx mají navíc stejně uspořádané vývody pouzder jako mikrokontroléry řady lpc18xx. Na trhu jsou také dostupné paměti s různou kapacitou a stejnými vývody v pouzdrě TSOP-II jako použitá SDRAM paměť.

Implementace univerzální platformy může být založena na načtení konfigurace ovládacího panelu z SD karty po jeho zapnutí. Ta by definovala jak samotné grafické uživatelské rozhraní, tak i chování celého systému. Pro vývoj takového softwaru, který by mohl být založen na operačním systému a grafické knihovně, musí být vybráno vývojové prostředí, které neomezuje velikost programového kódu, nebo je tato velikost dostatečně velká. Použití jiného vývojového prostředí umožní využití kompletní platformy *LPCOpen*¹⁰, která kromě driverů a ukázkových programů nabízí zdarma

¹⁰ Viz <http://www.lpcware.com/lpcopen>.

i knihovny pro DSP mikrokontroléru, grafickou knihovnu *emWin*, real-time operační systém *FreeRTOS* nebo knihovny *LWIP* (LightWeight IP networking stack) a *LPCUSBlib*.

Pro další vývoj lze využít např. IDE *LPCXpresso*¹¹ od NXP, které je bezplatně nabízeno s 256kB omezením. V počátcích implementace firmwaru pro ovládací panel bylo zvoleno právě toto vývojové prostředí včetně platformy *LPCOpen*. Díky několika chybám při transformaci funkcí její základní knihovny specifických pro každý použitý systém, které se mi během několika dní nepodařilo objevit, pokračoval vývoj v prostředí *μVision*. V tuto chvíli jsou již chyby opravené a nic tak nebrání použití této platformy včetně zmíněných knihoven.

¹¹ Viz <http://www.lpcware.com/lpcxpresso>.

4 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit desku plošných spojů s mikrokontrolérem, která může po připojení dotykového displeje sloužit jako ovládací panel. Deska byla skutečně vytvořena a oživena, její funkčnost byla ukázána implementací digitálního termostatu pro ovládání plynového kotle. Byly diskutovány i možnosti jejího dalšího rozvoje. Všechny cíle práce tedy byly splněny.

Návrhu karty ovládacího panelu předcházelo seznámení s typy grafických displejů a jejich řízením, technologiemi dotykových panelů, komunikačními rozhraními pro připojení periférií a senzorů a s mikrokontroléry, které umožňují připojení displeje a jsou v současné době na trhu. Po získání potřebných vědomostí jsem vybral typ displeje, dotykové vrstvy a konkrétní mikrokontrolér. Důkladně jsem ho prostudoval, vybral periférie na kartu ovládacího panelu a navrhl její blokové schéma.

Na základě blokového schématu bylo vytvořeno detailní obvodové schéma a navržena a vyrobena deska plošných spojů, která byla ručně osazena a oživena. Během ožívání byly vyhledány příčiny nesprávně fungujících částí karty a úspěšně opraveny. Jedinou nefungující periferií zůstaly hodiny reálného času mikrokontroléru. Protože byl však na desku umístěn konektor s nevyužitými rozhraními, byly hodiny nahrazeny externími, které fungují bez problémů. Karta ovládacího panelu byla úspěšně otestována i se 7“ LCD TFT displejem s rozlišením 800 x 480 px, komunikace mikrokontroléru s SDRAM pamětí probíhá správně až do frekvence 144 MHz.

Ke kartě byl naimplementován firmware, umožňující mj. zobrazení na displeji a práci s dotykovou vrstvou. Ovládací panel s implementovaným termostatem byl 20 dní úspěšně testován pro ovládání plynového kotle v rodinném domě. Pro demonstraci univerzálnosti karty byla ještě vytvořena jednoduchá aplikace, která po připojení anemometru zobrazuje rychlost větru.

Touto prací jsem si poprvé vyzkoušel návrh a realizaci rozsáhlého vestavěného systému včetně návrhu čtyřvrstvé desky plošných spojů. Ukázalo se, že byl tento návrh kromě hodin reálného času správný. V práci je uvedena nejpravděpodobnější příčina a úprava desky plošných spojů, která by měla tuto chybu odstranit.

Ovládací panel může být nadále využíván jako termostat. Lze pro něj ale implementovat firmware, díky němuž se z něj může stát centrální prvek pro celý inteligentní dům. Vzhledem k vlastnostem karty a myšlence univerzální platformy pro ovládání však není vyloučeno ani využití pro komerční účely.

Literatura

- [1] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky: Optoelektronika a optoelektronické prvky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 154 s. ISBN 80-730-0184-5.
- [2] Introduction to graphics and LCD technologies. NXP. *NXP* [online]. 2009 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://www.nxp.com/wcm_documents/techzones/microcontrollers-techzone/Presentations/graphics.lcd.technologies.pdf
- [3] LEE, Nathan. Industrial Human Interfaces: LCD (Segment and Graphical) Basics and Roadmap Overview. *Freescale* [online]. 2009 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/training_pdf/VFTF09_AZ137.pdf
- [4] China LCD Module Manufacturer for Graphic, OLED, TFT LCD Module Display. *EastRising Technology Co., Limited* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.buydisplay.com/>
- [5] RA8875: Character/Graphic TFT LCD Controller Specification. *RAiO Technology Inc.* [online]. 2013 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.buydisplay.com/download/ic/RA8875.pdf>
- [6] Ink Technology. *E ink* [online]. 2012 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: <http://www.eink.com/technology.html>
- [7] JAIN, Anjul, Diksha BHARGAVA a Anjani RAJPUT. TOUCH-SCREEN TECHNOLOGY. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering, Vol 2, Iss 1, Pp 74-78 (2013)* [online]. 2013 [cit. 2015-05-17]. ISSN 2277-9043. Dostupné z: <http://ijarcsee.org/index.php/IJARCSEE/article/view/309/275>
- [8] Popis dotykových technologií. *Vekobs s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.vekobs.cz/dotykove-technologie>
- [9] AN10675: Interfacing 4-wire and 5-wire resistive touchscreens to the LPC247x. *NXP* [online]. 2008 [cit. 2015-01-01]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10675.pdf
- [10] UM10204: I²C-bus specification and user manual. *NXP* [online]. 2014 [cit. 2015-01-12]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf
- [11] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Externí sériové sběrnice SPI a I²C. *Root.cz, informace nejen ze světa linuxu* [online]. 2008. 2008(12) [cit. 2015-01-07]. ISSN 1212-8309. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/>
- [12] SD Specifications, Part 1, Physical Layer, Simplified Specification, Version 4.10. *SD Association* [online]. 2013 [cit. 2015-01-10]. Dostupné z: https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/part1_410.pdf

- [13] PFEIFFER, Olaf, Andrew AYRE a Christian KEYDEL. *Embedded Networking with CAN and CANopen*. 1st ed., rev. Greenfield: Copperhill Technologies Corporation, c2008, xvii, 535 s. ISBN 978-0-9765116-2-5.
- [14] GOOK, Michael. *Hardwarová rozhraní: průvodce programátora*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 463 s. ISBN 80-251-1019-2.
- [15] HELD, Gilbert. *Ethernet networks: design, implementation, operation, management*. 4th ed. London: Wiley, 2003, xix, 589 s. ISBN 04-708-4476-0
- [16] DP83848C: DP83848C PHYTER Commercial Temperature Single Port 10/100 Mb/s Ethernet Physical Layer Transceiver. *Texas Instruments* [online]. 2008 [cit. 2015-01-12].
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dp83848c.pdf>
- [17] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-730-0110-1.
- [18] ATMEL CORPORATION. *Atmel Corporation - Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions* [online]. 2014 [cit. 2015-01-02].
Dostupné z: <http://www.atmel.com/>
- [19] FREESCALE SEMICONDUCTOR, Inc. *Freescale Semiconductor | Embedded Processing Solutions* [online]. 2014 [cit. 2015-01-02].
Dostupné z: <http://www.freescale.com/>
- [20] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *Microchip Technology Inc* [online]. 2014 [cit. 2015-01-02].
Dostupné z: <http://www.microchip.com/>
- [21] NXP SEMICONDUCTORS. *NXP Semiconductors* [online]. 2014 [cit. 2015-01-02].
Dostupné z: <http://www.nxp.com/>
- [22] PREMIER FARNELL. *Farnell element14* [online]. 2015 [cit. 2015-01-09].
Dostupné z: <http://cz.farnell.com/>
- [23] MOUSER ELECTRONICS. *MOUSER ELECTRONICS* [online]. 2015 [cit. 2015-01-09].
Dostupné z: <http://cz.mouser.com/>
- [24] LPC435x/3x/2x/1x: 32-bit ARM Cortex-M4/M0 microcontroller. *NXP Semiconductors* [online]. 2014 [cit. 2015-01-09].
Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC435X_3X_2X_1X.pdf
- [25] *GM ELECTRONIC* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30].
Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [26] *GES-ELECTRONICS* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30].
Dostupné z: <http://www.ges.cz/>

- [27] UM10503: LPC43xx ARM Cortex-M4/M0 multi-core microcontroller. *NXP* [online]. 2015 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10503.pdf
- [28] K430WQA-V4-F. *KENTEC Electronics Limited* [online]. 2009 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: <http://www.kentec.com.hk/images/UploadFile/20111115190908-6.pdf>
- [29] ER-TFT070-4: TFT LCD Display Datasheet. *EastRising* [online]. 2013 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-TFT070-4_Datasheet.pdf
- [30] FAN5333A/FAN5333B: High Efficiency, High Current Serial LED Driver with 30V Integrated Switch. *Fairchild Semiconductor* [online]. 2005 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/FA/FAN5333B.pdf>
- [31] LM3526: Dual Port USB Power Switch and Over-Current Protection. *Texas Instruments* [online]. 2013 [cit. 2015-04-30].
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3526.pdf>
- [32] TJA1040: High speed CAN transceiver. *NXP* [online]. 2003 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TJA1040.pdf
- [33] LM92: $\pm 0.33^{\circ}\text{C}$ Accurate, 12-Bit + Sign Temperature Sensor and Thermal Window Comparator With Two-Wire Interface. 2013. *Texas Instruments* [online]. [cit. 2015-05-08].
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm92.pdf>
- [34] Schematics for the LPC4357-EVB. *Element14* [online]. 2013 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/download/62631-1-106454/LPC4357-EVB_SCH.pdf
- [35] MAX809 Series, MAX810 Series: Very Low Supply Current 3-Pin Microprocessor Reset Monitors. *ON Semiconductor* [online]. 2014 [cit. 2015-04-28].
Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MAX809S-D.PDF
- [36] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vyd. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [37] BQ32002: REAL-TIME CLOCK (RTC). *Texas Instruments* [online]. 2010 [cit. 2015-05-06].
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq32002.pdf>
- [38] TPS562209, TPS563209: TPS56x209, 4.5V to 17 V Input, 2-A, 3-A Synchronous Step-Down Voltage Regulator in 6 pin SOT-23. 2014. *Texas Instruments* [online]. [cit. 2015-05-08].
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps563209.pdf>
- [39] IMMERGAS. 2006. *IMMERGAS AVIO 21-24 Maior: Návod k použití a upozornění*.

Seznam příloh

Příloha 1. Přiřazení funkcí k pinům MCU

Příloha 2. Obvodové schéma karty

Příloha 3. Deska plošných spojů

Příloha 4. Seznam použitých součástek

Příloha 5. CD

Obsah CD

- ./DPS/ – deska plošných spojů – *Cadsoft Eagle 7.0*
- ./Firmware/ – firmware mikrokontroléru LPC4357 – *Keil μ Vision V5.12.0.0*
- ./DP.docx – písemná zpráva diplomové práce – *Microsoft Word*
- ./DP.pdf – písemná zpráva diplomové práce – *Adobe Reader*

Příloha 1: Přiřazení funkcí k pinům MCU

Pin	Funkce pinu	Č. funkce	Označení vodiče ve schématu
P0_0	ENET_RXD1	2	ENET_RXD1
P0_1	ENET_TX_EN	6	ENET_TX_EN
P1_0	EMC_A5	2	EMC_A5
P1_1	EMC_A6	2	EMC_A6
P1_2	EMC_A7	2	EMC_A7
P1_3	-	-	-
P1_4	-	-	-
P1_5	-	-	-
P1_6	EMC_NWE	3	EMC_NWE
P1_7	EMC_D0	3	EMC_D0
P1_8	EMC_D1	3	EMC_D1
P1_9	EMC_D2	3	EMC_D2
P1_10	EMC_D3	3	EMC_D3
P1_11	EMC_D4	3	EMC_D4
P1_12	EMC_D5	3	EMC_D5
P1_13	EMC_D6	3	EMC_D6
P1_14	EMC_D7	3	EMC_D7
P1_15	ENET_RXD0	3	ENET_RXD0
P1_16	ENET_RX_DV	7	ENET_RX_DV
P1_17	ENET_MDIO	3	ENET_MDIO
P1_18	ENET_TXD0	3	ENET_TXD0
P1_19	ENET_REF_CLK	0	ENET_TX_CLK
P1_20	ENET_TXD1	3	ENET_TXD1
P2_0	EMC_A13	2	EMC_A13
P2_1	EMC_A12	2	EMC_A12
P2_2	EMC_A11	2	EMC_A11
P2_3	I2C1_SDA	1	I2C1_SDA
P2_4	I2C1_SCL	1	I2C1_SCL
P2_5	-	-	-
P2_6	EMC_A10	2	EMC_A10
P2_7	EMC_A9	3	EMC_A9
P2_8	EMC_A8	3	EMC_A8
P2_9	EMC_A0	3	EMC_A0
P2_10	EMC_A1	3	EMC_A1
P2_11	EMC_A2	3	EMC_A2
P2_12	EMC_A3	3	EMC_A3
P2_13	EMC_A4	3	EMC_A4
P3_0	-	-	-
P3_1	-	-	-
P3_2	-	-	-
P3_3	SPI_SCK	1	SPI_SCK

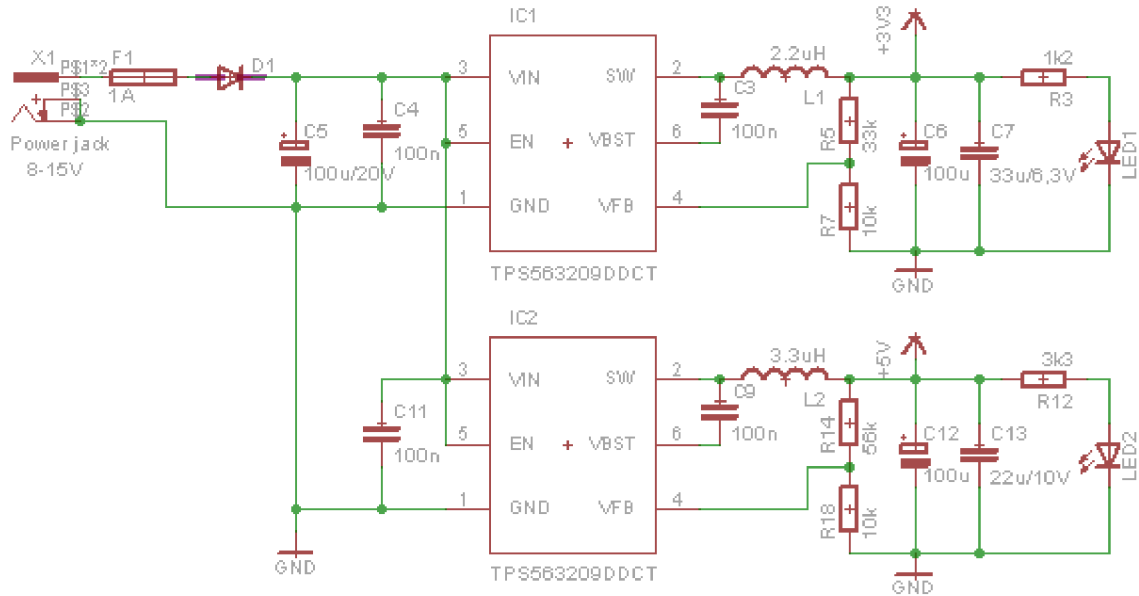
P3_4	-	-	-
P3_5	-	-	-
P3_6	SPI_MISO	1	SPI_MISO
P3_7	SPI_MOSI	1	SPI_MOSI
P3_8	SPI_SSEL	1	SPI_SSEL
P4_0	LCD_VD13	5	LCD_D13
P4_1	LCD_VD0	2	LCD_D0
P4_2	LCD_VD3	2	LCD_D3
P4_3	LCD_VD2	2	LCD_D2
P4_4	LCD_VD1	2	LCD_D1
P4_5	LCD_FP	2	LCD_VSYNC
P4_6	LCD_ENAB	2	LCD_EN
P4_7	LCD_DCLK	0	LCD_DCLK
P4_8	LCD_VD9	2	LCD_D9
P4_9	LCD_VD11	2	LCD_D11
P4_10	LCD_VD10	2	LCD_D10
P5_0	EMC_D12	2	EMC_D12
P5_1	EMC_D13	2	EMC_D13
P5_2	EMC_D14	2	EMC_D14
P5_3	EMC_D15	2	EMC_D15
P5_4	EMC_D8	2	EMC_D8
P5_5	EMC_D9	2	EMC_D9
P5_6	EMC_D10	2	EMC_D10
P5_7	EMC_D11	2	EMC_D11
P6_0	-	-	-
P6_1	-	-	-
P6_2	-	-	-
P6_3	USB0_PPWR	1	USB0_PWR_EN
P6_4	EMC_NCAS	3	EMC_NCAS
P6_5	EMC_NRAS	3	EMC_NRAS
P6_6	USB0_PWR_FAULT	3	USB0_PWR_FAULT
P6_7	-	-	-
P6_8	EMC_A14	1	EMC_A14
P6_9	EMC_NDYCS0	3	EMC_NDYCS0
P6_10	EMC_DQMOUT1	3	EMC_DQMOUT1
P6_11	EMC_CKEOUT0	3	EMC_CKEOUT0
P6_12	EMC_DQMOUT0	3	EMC_DQMOUT0
P7_0	GPIO3[5]	0	SD_CS
P7_1	LCD_VD19	3	LCD_D19
P7_2	LCD_VD18	3	LCD_D18
P7_3	LCD_VD17	3	LCD_D17
P7_4	LCD_VD16	3	LCD_D16
P7_5	LCD_VD8	3	LCD_D8
P7_6	LCD_LP	3	LCD_HSYNC
P7_7	LCD_PWR (popř. GPIO3[11])	3 (0)	LCD_PWR

P8_0	GPIO4[0]	0	THER_INT2
P8_1	GPIO4[1]	0	RELAY2
P8_2	-	-	-
P8_3	LCD_VD12	3	LCD_D12
P8_4	LCD_VD7	3	LCD_D7
P8_5	LCD_VD6	3	LCD_D6
P8_6	LCD_VD5	3	LCD_D5
P8_7	LCD_VD4	3	LCD_D4
P8_8	-	-	-
P9_0	-	-	-
P9_1	MCOA2 (popř. GPIO4[13])	1 (0)	CONN_PWM_2A
P9_2	MCOB2 (popř. GPIO4[10])	1 (0)	CONN_PWM_2B
P9_3	MCOA0 (popř. GPIO4[11])	1 (0)	CONN_PWM_0A
P9_4	MCOB0 (popř. GPIO5[13])	1 (4)	CONN_PWM_0B
P9_5	MCOA1 (popř. GPIO5[14])	1 (4)	CONN_PWM_1A
P9_6	MCOB1 (popř. GPIO4[8])	1 (0)	CONN_PWM_1B
PA_0	-	-	-
PA_1	GPIO4[5]	0	SWITCH1
PA_2	GPIO4[6]	0	LED1
PA_3	GPIO4[7]	0	SWITCH2
PA_4	GPIO5[15]	4	SWITCH3
PB_0	LCD_VD23	2	LCD_D23
PB_1	LCD_VD22	2	LCD_D22
PB_2	LCD_VD21	2	LCD_D21
PB_3	LCD_VD20	2	LCD_D20
PB_4	LCD_VD15	2	LCD_D15
PB_5	LCD_VD14	2	LCD_D14
PC_0	-	-	-
PC_1	ENET_MDC	3	ENET_MDC
PC_2	GPIO6[1]	4	LCD_BL
PC_3	GPIO6[1]	4	TSC_INT
PC_4	GPIO6[3]	4	LCD_DISP
PC_5	GPIO6[2]	4	RELAY1
PC_6	-	-	-
PD_6	-	-	-
PD_7	-	-	-
PD_8	-	-	-
PD_9	-	-	-
PD_10	-	-	-
PD_11	-	-	-
PD_12	-	-	-
PD_13	-	-	-
PD_14	-	-	-
PD_15	-	-	-
PD_16	-	-	-

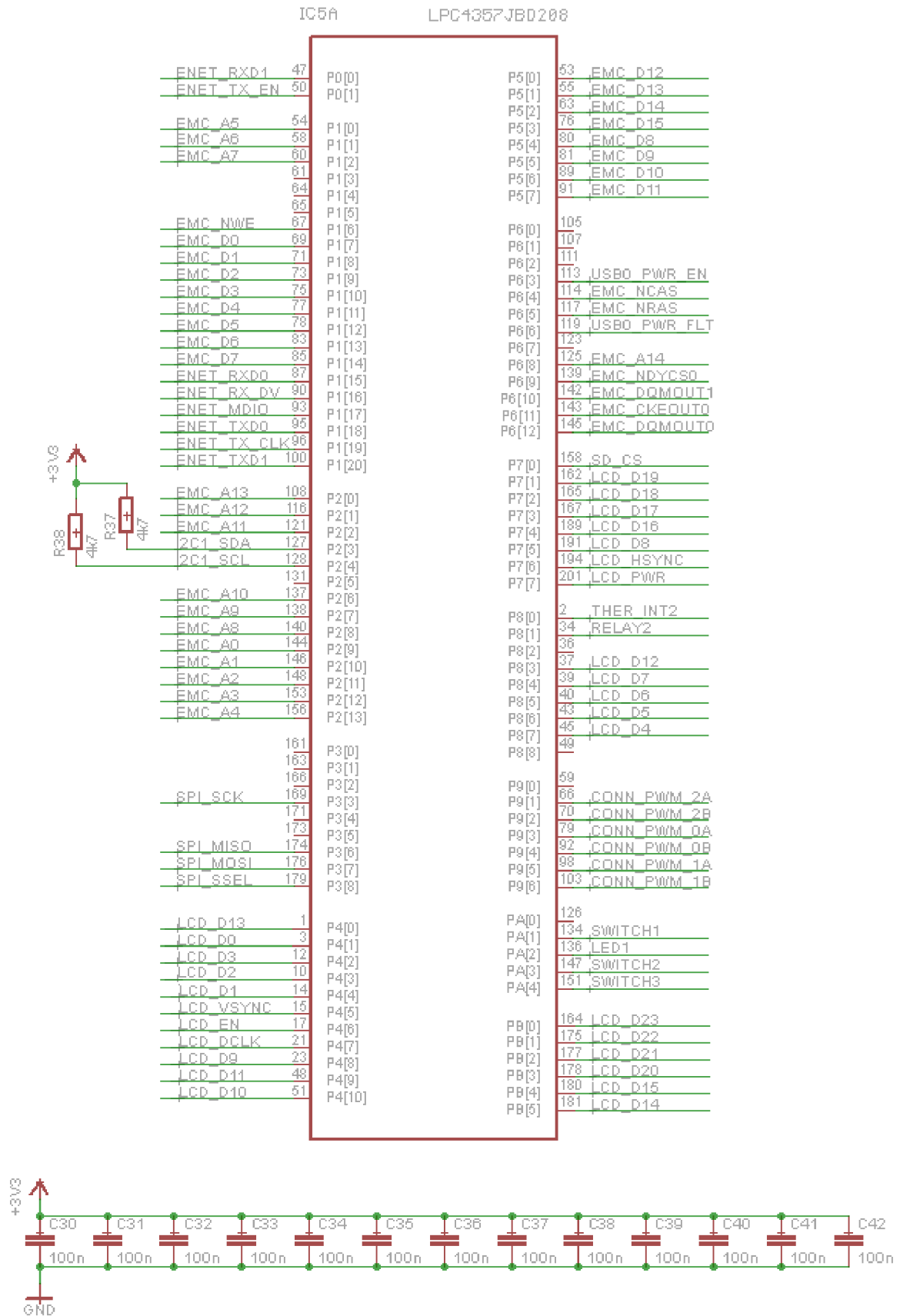
PE_0	-	-	-
PE_1	-	-	-
PE_2	CANO_RD	1	CANO_RD
PE_3	CANO_TD	1	CANO_TD
PE_4	-	-	-
PE_5	GPIO7[3]	4	CAN_STB
PE_6	-	-	-
PE_7	GPIO7[7]	4	LED2
PE_8	GPIO7[5]	4	SWITCH4
PE_9	GPIO7[6]	4	LED3
PE_10	GPIO7[7]	4	LED4
PF_0	-	-	-
PF_2	-	-	-
PF_3	-	-	-
PF_4	-	-	-
PF_5	-	-	-
PF_6	ADC1_3 (popř. GPIO7[16])	7 (4)	CONN_ADC3
PF_7	ADC1_7 (popř. GPIO7[17])	7 (4)	CONN_ADC7
PF_9	ADC1_2 (popř. GPIO7[19])	7 (4)	CONN_ADC2
PF_10	ADC0_5 (popř. GPIO7[20])	7 (4)	CONN_ADC5
PF_11	GPIO7[21]	4	THER_INT1

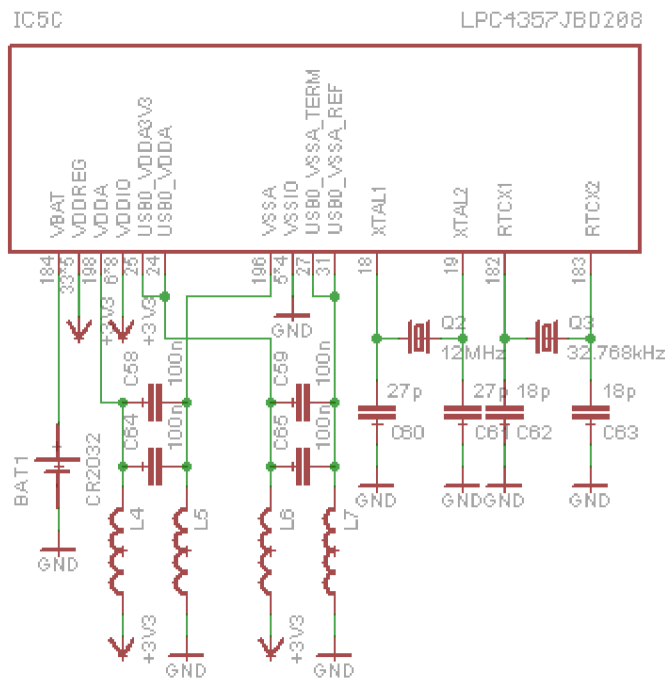
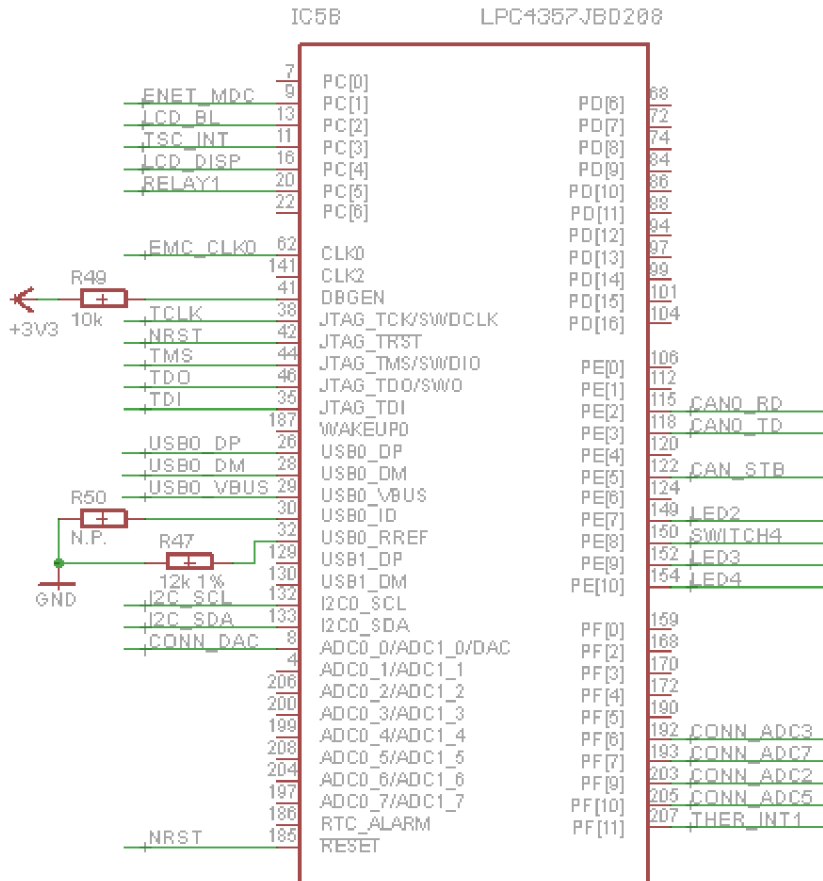
Příloha 2: Obvodové schéma karty

Napájení

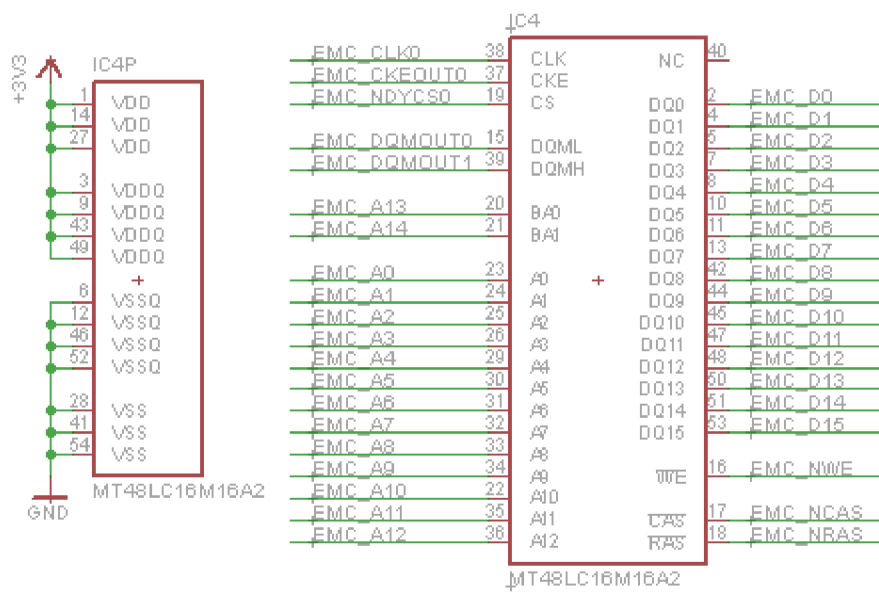


Mikrokontrolér

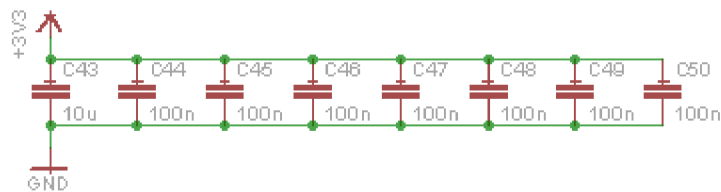
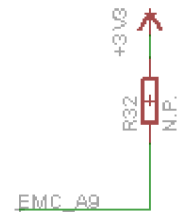




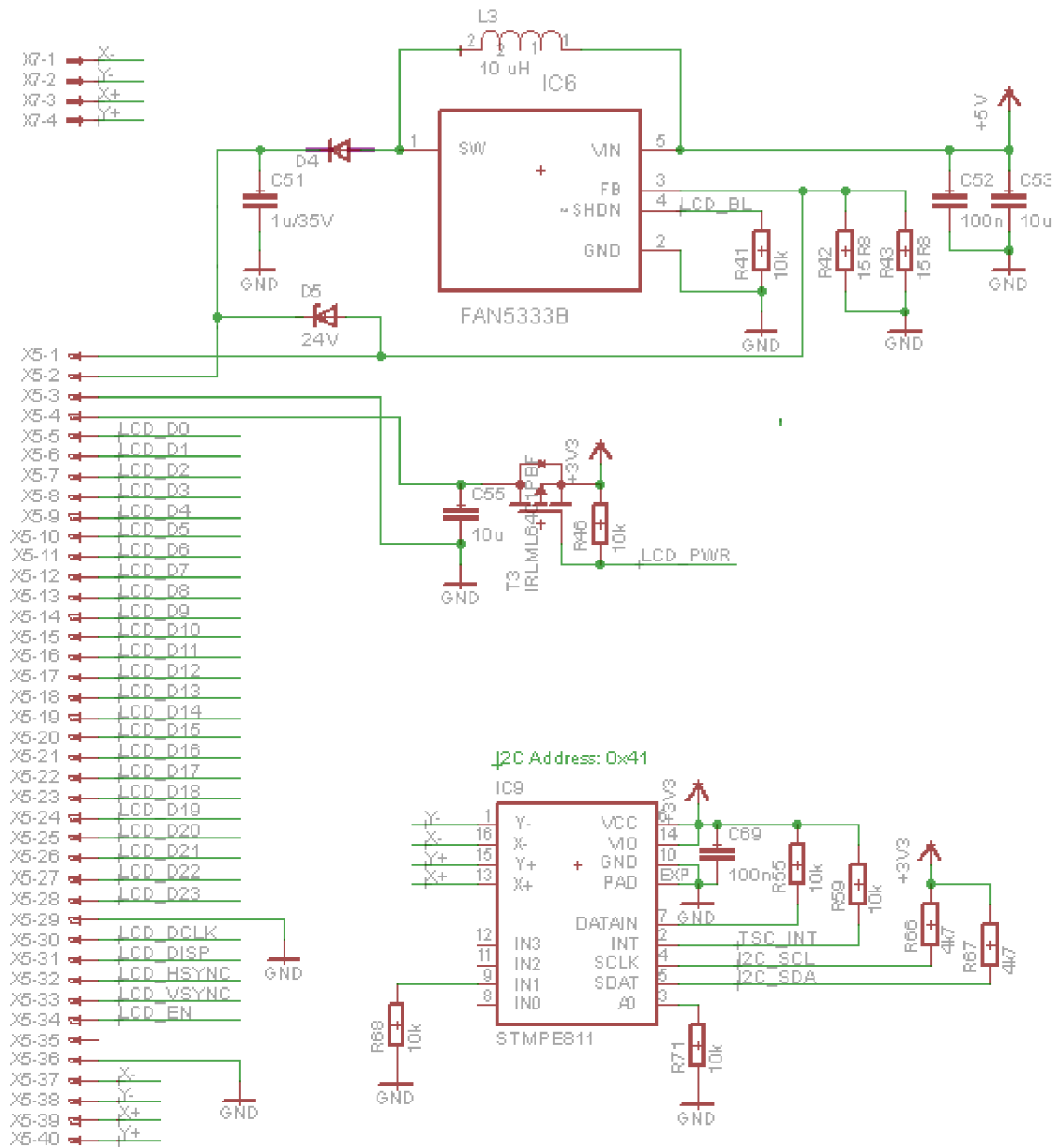
SDRAM



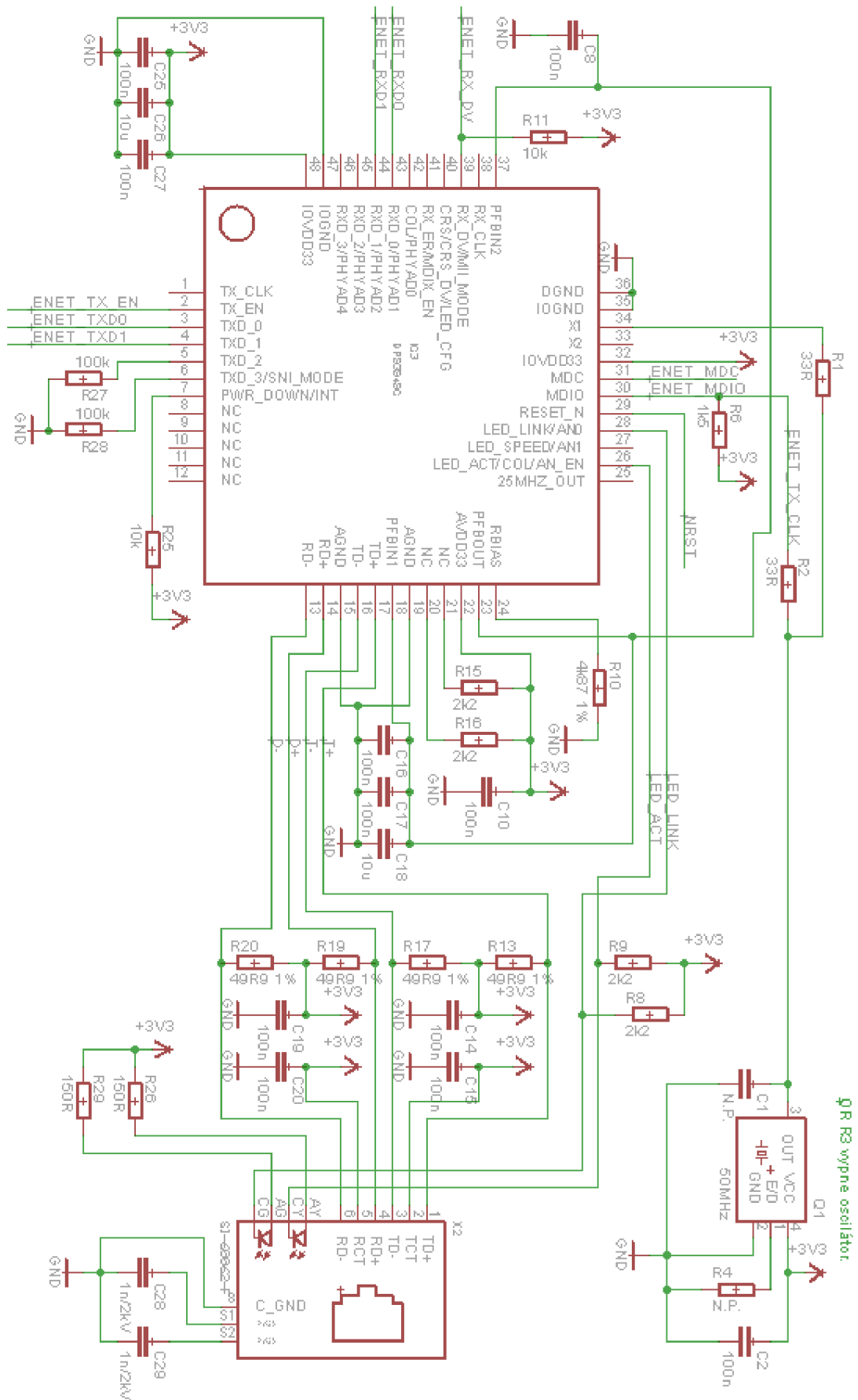
P2.7 pull-up rezistor k bootování z interní flash paměti.



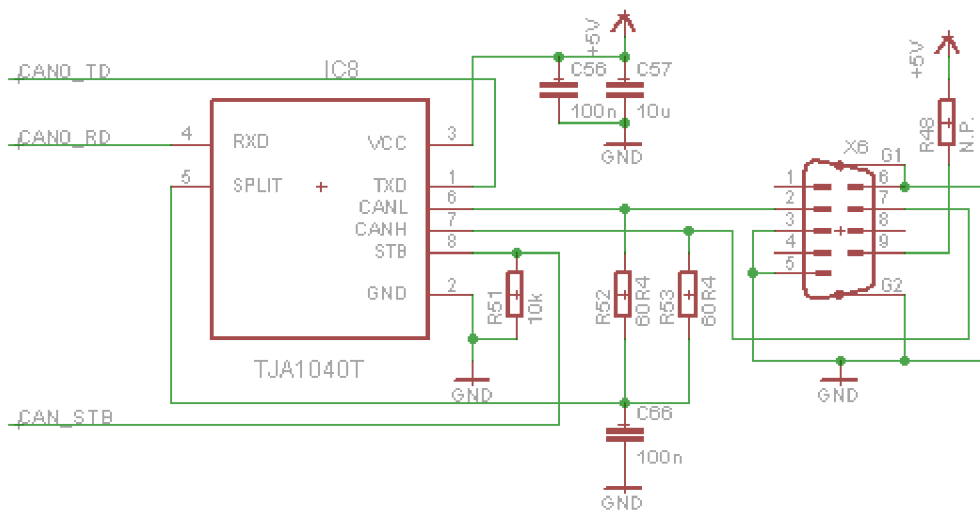
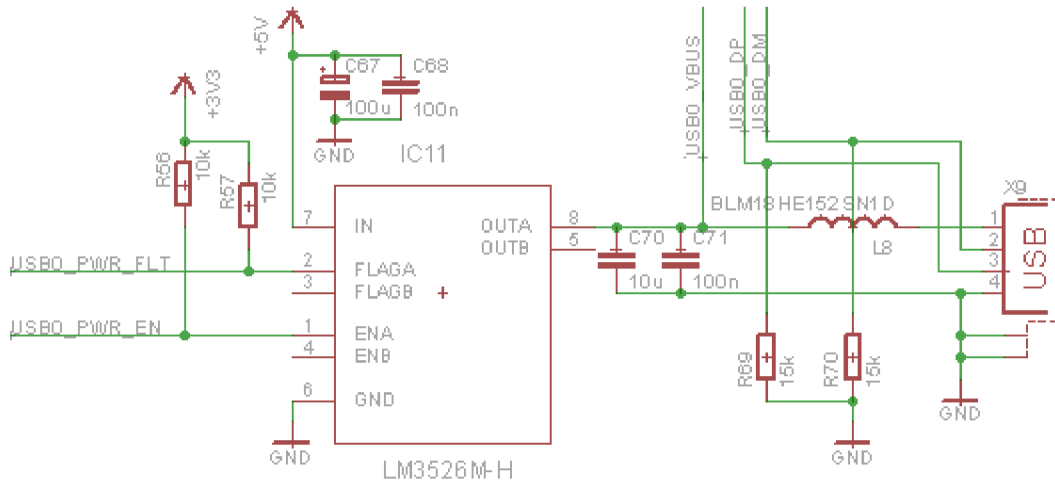
LCD



Ethernet

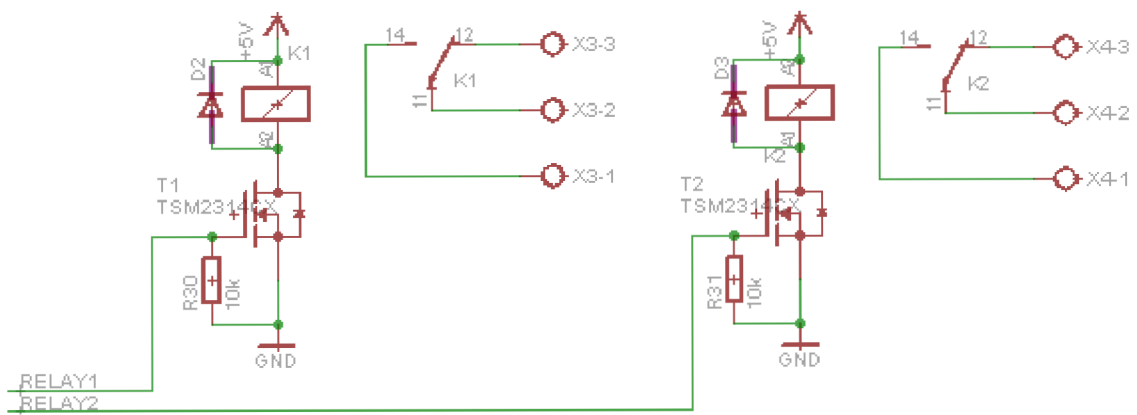
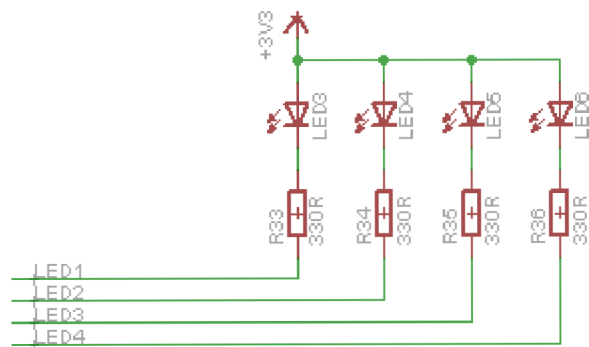
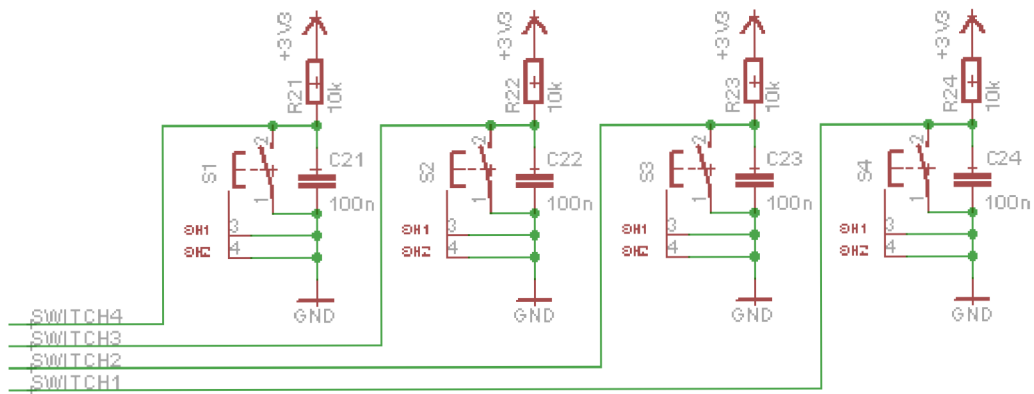


USB, CAN, univerzální konektor

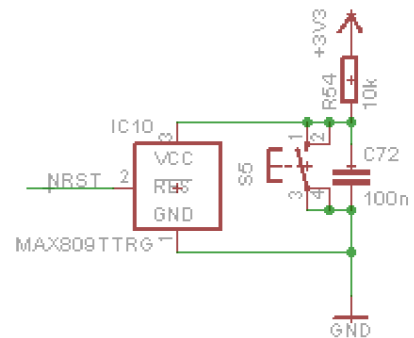
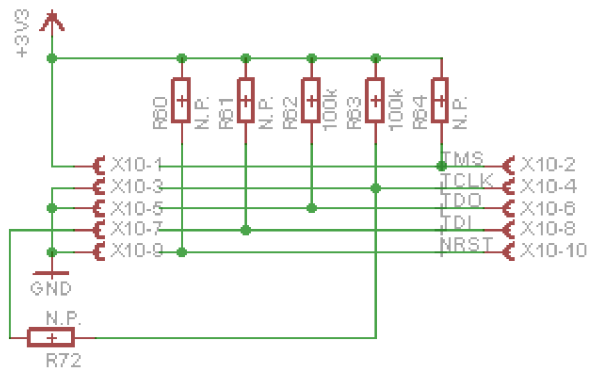
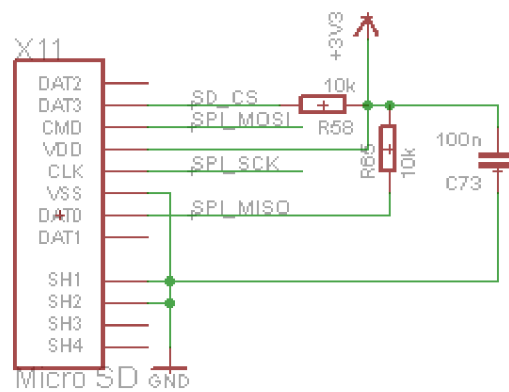
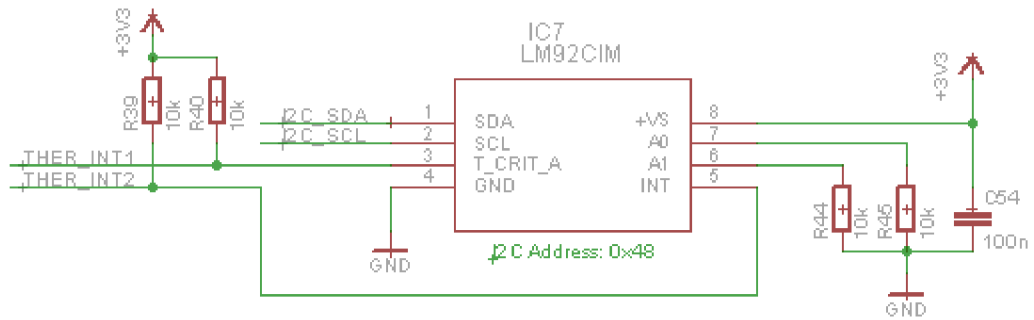


X8	
CONN_DAC	20
CONN_ADC2	18
CONN_ADC3	16
CONN_PWM_2A14	14
CONN_PWM_0A12	12
CONN_PWM_1A10	10
I2C1_SDA	8
+3V3	6
SPI_SCK	4
SPI_MOSI	2
CONN_ADC5	19
CONN_ADC7	17
+5V	15
CONN_PWM_2B	13
CONN_PWM_0B	11
CONN_PWM_1B	9
I2C1_SCL	7
GND	5
SPI_SSEL	3
SPI_MISO	1

Mikrospínače, LED diody, relé

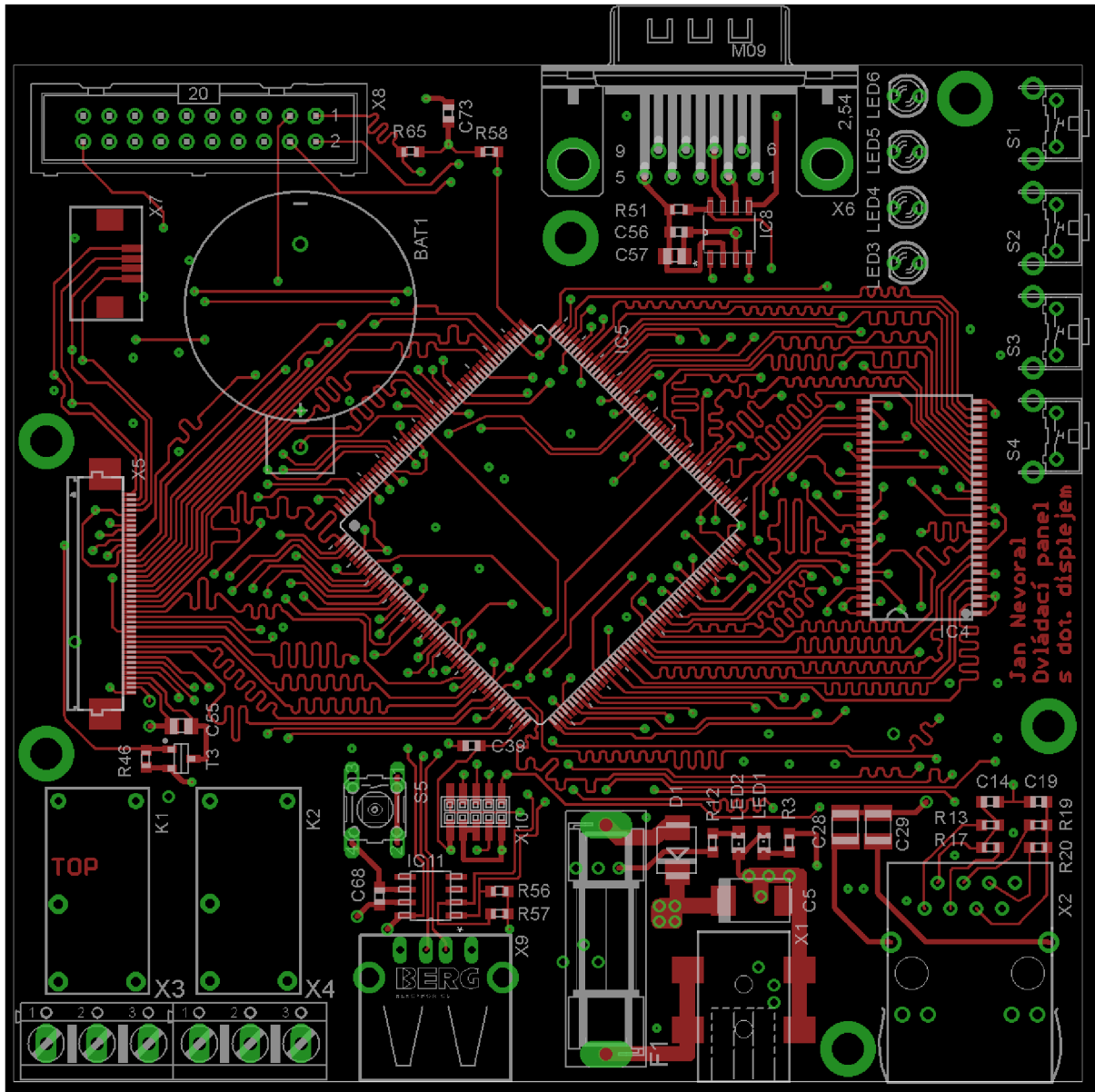


Teploměr, mikro SD karta, debug rozhraní, reset

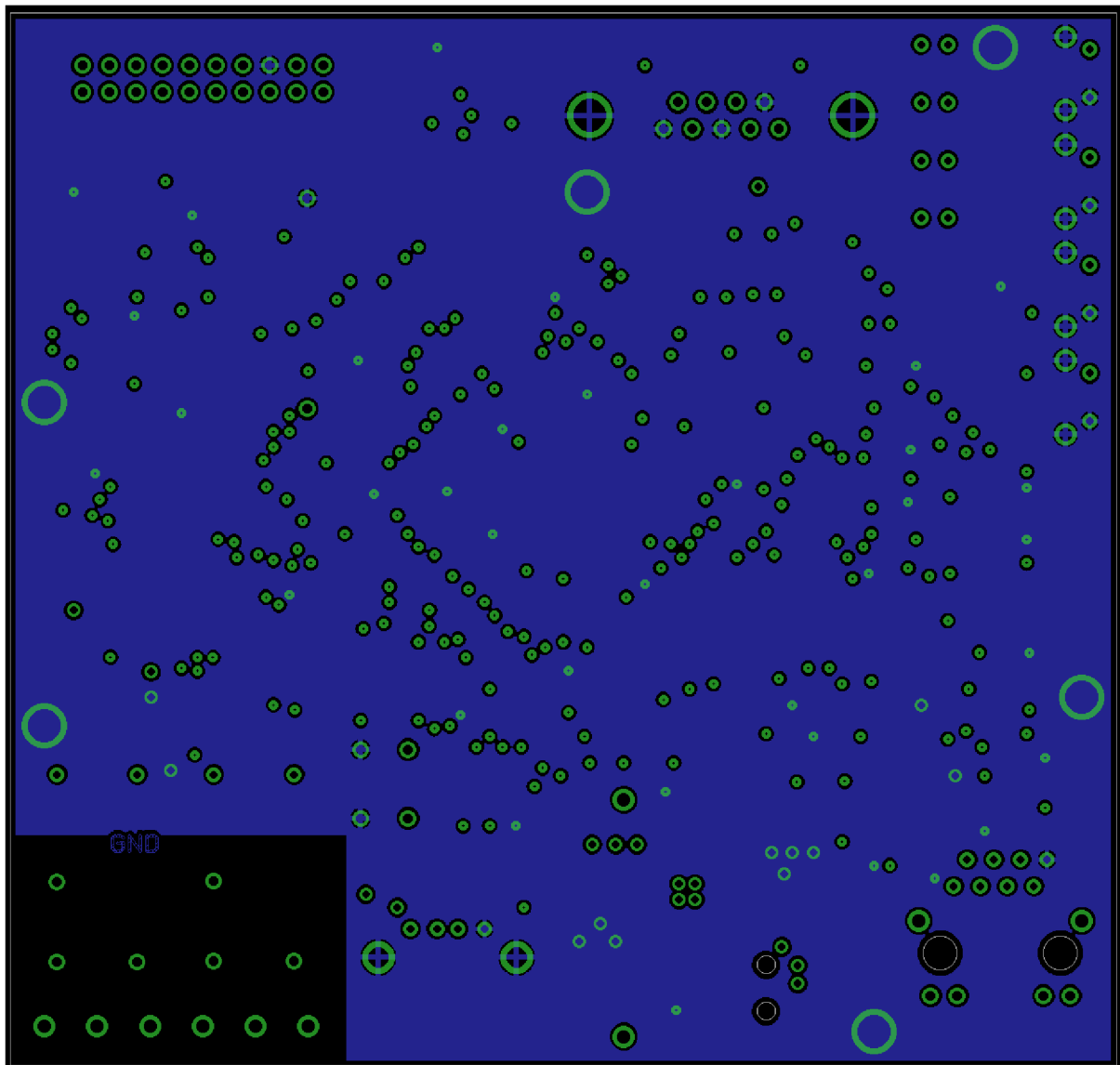


Příloha 3: Deska plošných spojů

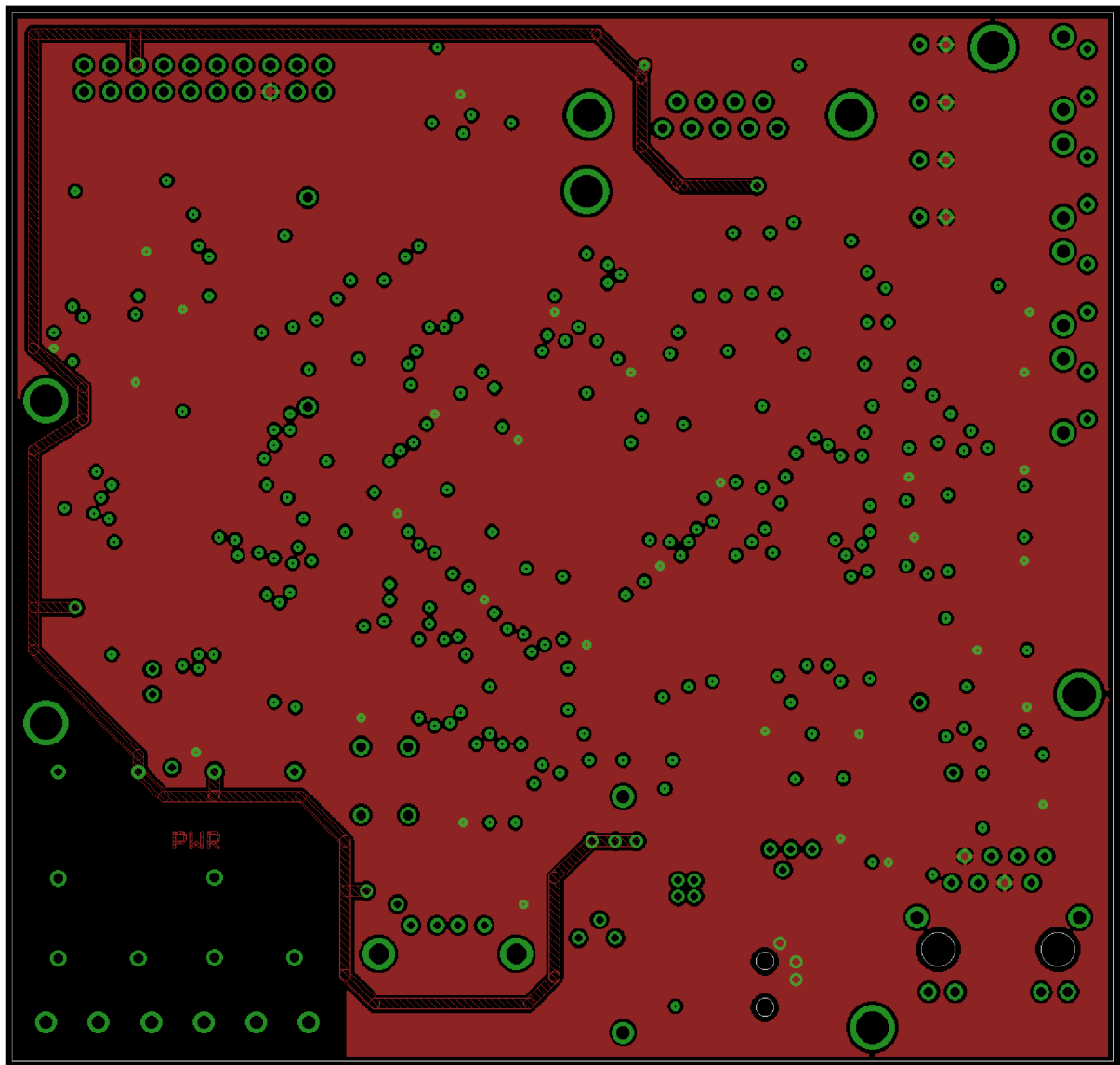
Vrstva TOP (pohled shora)



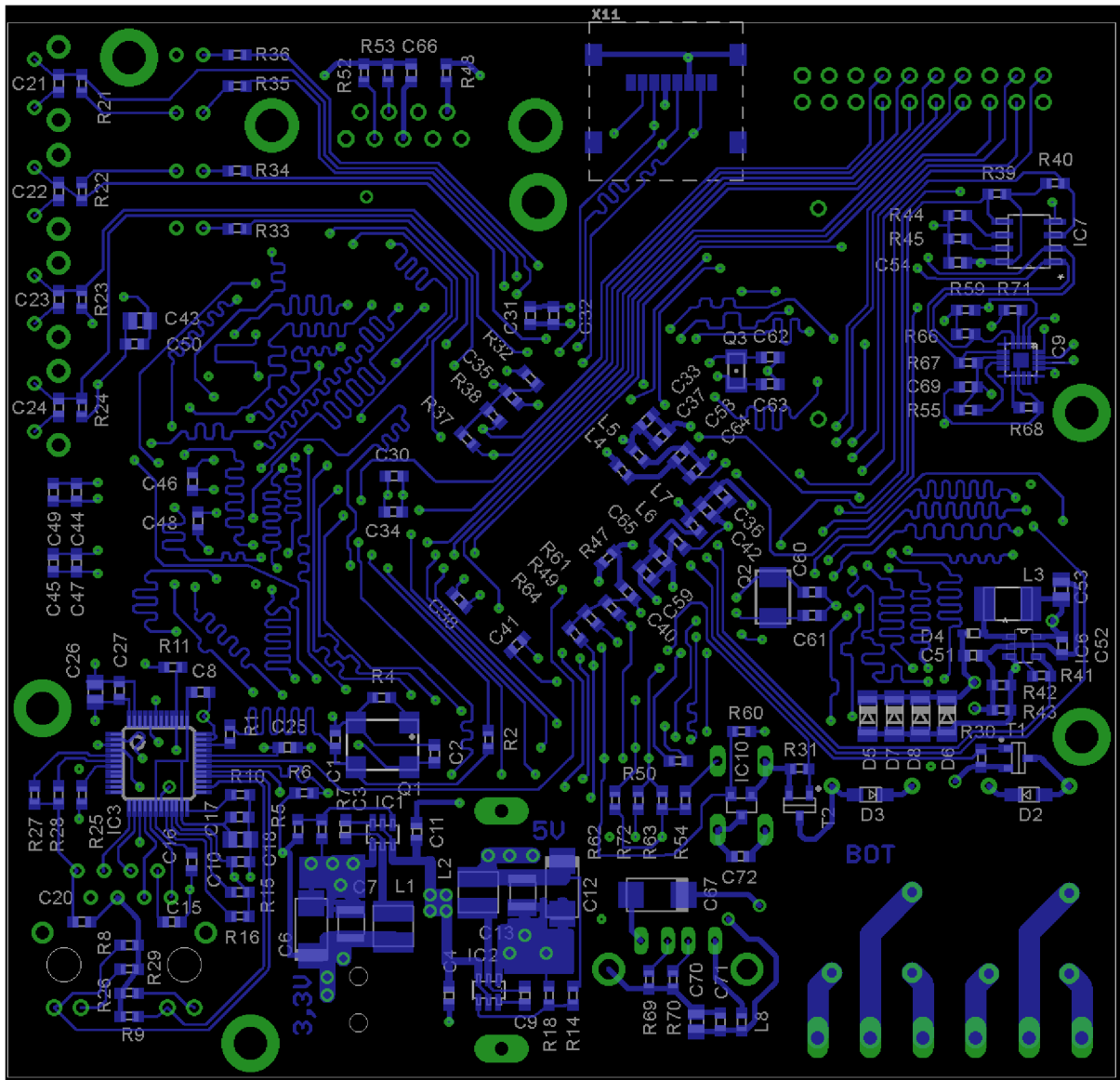
Vrstva GND (pohled shora)



Vrstva PWR (pohled shora)



Vrstva BOTTOM (pohled zespodu)



Příloha 4: Seznam použitých součástek

Součástka	Název / Hodnota	Popis	Objednací kód
BAT1	-	Držák baterie CR2032 do DPS.	GME: 819-121
C1	neosazen	-	-
C2, C3, C4, C8, C9, C10, C11, C14, C15, C16, C17, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C27, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C52, C54, C56, C58, C59, C64, C65, C66, C68, C69, C71, C72, C73	100n/50V	Keramický kondenzátor SMD, 0603.	Farnell: 1759123
C5	100u/20V	Tantalový kondenzátor SMD, D.	Farnell: 1135058
C6, C12, C67	100u/10V	Tantalový kondenzátor SMD, C.	GME: 907-122
C7	33u/6,3V	Keramický kondenzátor SMD, 1206.	Farnell: 2309037
C13	22u/10V	Keramický kondenzátor SMD, 1206.	Farnell: 2112754
C18, C26, C43, C53, C55, C57, C70	10u/10V	Keramický kondenzátor SMD, 0803.	Farnell: 2320859
C28, C29	1n/2kV	Keramický kondenzátor SMD, 1210.	Farnell: 2332904
C51	1u/35V	Keramický kondenzátor SMD, 0603.	Farnell: 2346909
C60, C61	27p/50V	Keramický kondenzátor SMD, 0603.	Farnell: 1759058
C62, C63	18p/50V	Keramický kondenzátor SMD, 0603.	Farnell: 1759056
D1	CD214B-B220LF	SMD dioda, 20V, 2A, DO-214AA.	Farnell: 2311235
D2, D3	PMEG3010EJ,115	SMD Schottky dioda, 30V, 1A, SOD-323F.	Farnell: 1757770
D4	BAT54XV2	SMD Schottky dioda, 30V, 200mA, SOD-523F.	Farnell: 2322476
D5	BZY024	Zenerova dioda 24V/2W, DO41.	GME: 222-097
F1	1A	Držák pojistky 5mm x 20mm.	Farnell: 1162740
IC1, IC2	TPS563209DDCT	3A napěťový regulátor, SOT-23.	Farnell: 2455147
IC3	DP83848CVV/NOPB	10/100 Mb/s Ethernet PHY, LQFP48.	Farnell: 1685784
IC4	MT48LC16M16A2P-6A	16M x 16bit SDRAM paměť, TSOP-II.	Farnell: 2253737
IC5	LPC4357JBD208E	32b mikrokontrolér, LQFP208.	Farnell: 2320736
IC6	FAN5333BSX	LED driver, SOT-23.	Farnell: 1659466
IC7	LM92CIM	12b teplotní senzor, SOIC-8.	Farnell: 9489711
IC8	TJA1040T/CM,118	CAN vysílač, SOIC-8.	Farnell: 2400545
IC9	STMPE811	Kontrolér rezistivní dotykové obrazovky s 8b GPIO expanderem, QFN16 3mm x 3mm	Mouser: 511-STMPE811QTR

IC10	MAX809TTRG	Reset monitor, SOT-23.	Farnell: 1652405
IC11	LM3526M-H/NOPB	Dvouportový spínač napětí pro USB, SOIC-8.	Farnell: 1469237
K1, K2	-	Relé do DPS. 1 přepínací kontakt 250VAC/5A. Cívka 5V/40mA.	GES: Relé RM40-1CO-5VOLT
L1	2.2uH	SMD induktor 3,8mm x 3,8mm x 1,8mm.	Farnell: 2352690
L2	3.3uH	SMD induktor 3,8mm x 3,8mm x 1,8mm.	Farnell: 2352691
L3	10uH	SMD induktor 4,2mm x 3,2mm x 3,2mm.	Farnell: 2333638
L4, L5, L6, L7, L8	BLM18HE152SN1D	SMD feritová perla 0,5Ω, 500mA, 0603.	Farnell: 2443237
LED1, LED2	-	SMD LED dioda, zelená, 0805.	GME
LED3, LED4, LED5, LED6	-	LED dioda, 3mm.	GME
Q1	50MHz	3,3V CMOS SMD oscilátor, 7mm x 5mm.	Farnell: 2442968
Q2	12MHz	SMD krystal, 18pF, 5mm x 3,2mm.	Farnell: 1841940
Q3	32.768kHz	SMD krystal, 12pF, 3,2mm x 1,5mm.	Farnell: 2449398
R1, R2	33R	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331705
R3	1k2	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331728
R4, R32, R48, R50, R60, R61, R64, R72	neosazen	-	-
R5	33k	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331747
R6	1k5	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331729
R7, R11, R18, R21, R22, R23, R24, R25, R30, R31, R39, R40, R41, R44, R45, R46, R49, R51, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R65, R68, R71	10k	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2447230
R8, R9, R15, R16	2k2	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331732
R10	4k87 1%	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 1527547
R12	3k3	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331734
R13, R17, R19, R20	49R9 1%	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2333618
R14	56k	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331750
R26, R29	150R	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331715
R27, R28, R62, R63	100k	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2309107
R33, R34, R35, R36	330R	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2331721
R37, R38, R66, R67	4k7	SMD rezistor, 0603.	GME: 901-509
R42, R43	15R8	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 2141184
R47	12k 1%	SMD rezistor, 0603.	GME: 901-407
R52, R53	60R4	SMD rezistor, 0603.	Farnell: 1527334
R69, R70	15k	SMD rezistor, 0603.	GME: 901-514
S1, S2, S3, S4	-	Mikrospínač do DPS, 90°.	GME: 630-576
S5	-	Mikrospínač do DPS, přímý.	GME: 630-019

T1, T2	TSM2314CX	N-MOSFET SMD tranzistor, 20V, 4,9A, SOT-23.	Farnell: 1864589
T3	IRLML6401PBF	P-MOSFET SMD tranzistor, -12V, 4,3A, SOT-23.	Farnell: 8660093
X1	-	SMD napájecí konektor, 2A, 2,1mm.	Farnell: 1889309
X2	SI-60062-F	RJ45 konektor do DPS.	Farnell: 1137983
X3, X4	-	Šroubovací svorkovnice do DPS, černá. Rozteč 5 mm, 3 kontakty.	GME: 821-135
X5	-	SMD zásuvka pro FPC/FFC, 40 kontaktů, rozteč 0,5mm, kontakt nahoře.	Farnell: 1830637
X6	-	Konektor CANON do DPS, vidlice 90°, 9 pinů.	GME: 801-037
X7	-	SMD zásuvka pro FPC/FFC, 4 kontakty, rozteč 1mm, kontakt dole.	Farnell: 2063794
X8	-	Konektor pro ploché kabely do DPS přímý, rozteč 2,54mm, 2x10 kontaktů.	GME: 800-036
X9	-	Konektor USB a do DPS, zásuvka, 90°.	GME: 832-111
X10	-	SMD konektor pro ploché kabely, rozteč 1,27mm, 2x5 kontaktů.	Farnell: 1865279
X11	-	SMD slot pro Micro SD kartu.	GME: 832-271