

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická**

**Katedra řídicí techniky
Obor: Kybernetika a měření**



**Komponenty pro domácí automatizaci na
sběrnici μ LAN**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Miloš Okrouhlý
 Vedoucí práce: Ing. Pavel Němeček
 Rok: 2009

Před svázáním místo téhle stránky vložíte zadání práce s podpisem děkana (bude to jediný oboustranný list ve Vaší práci) !!!!

Prohlášení

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

V Praze dne

.....

Miloš Okrouhlý

Poděkování

Děkuji Ing. Pavlu Němečkovi za vedení mé diplomové práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily. Děkuji také svým rodičům a přátelům za dobré zázemí a podporu při studiu.

Miloš Okrouhlý

Název práce:

Komponenty pro domácí automatizaci na sběrnici μ LAN

Autor: Miloš Okrouhlý

Obor: Kybernetika a měření

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Němeček

Katedra řídicí techniky, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze

Abstrakt:

Cílem projektu byl návrh a konstrukce několika různých komponent, které rozšířily nabídku rozsáhlého projektu zaměřeného na automatizaci budov. Výhoda tohoto systému spočívá ve snadné modifikovatelnosti a přestavbě domovních rozvodů bez nutnosti stavebního zásahu. V rámci práce byl vytvořen miniaturní modul vstupu, výstupu, inteligentní bezdotyková klávesnice a inteligentní vypínač. Všechny komponenty jsou založeny na mikrokontroléru řady LPC21xx a navzájem komunikují pomocí sběrnice μ LAN (RS485). Všechny prototypy byly testovány na stabilitu a odolnost vůči kolísání napájecího napětí, v nichž vykazují vynikající výsledky.

Title:

Components for Home Automation with μ LAN Bus

Author: Miloš Okrouhlý

Abstract:

This project aims at designing and constructing several components which extended the offer of a more extensive project focused on home automation. The advantages of this system are its easy modifiability and the fact that the electric power distribution can be restructured without affecting the building construction. A miniature module of input and output was created as a part of this project, as well as an intelligent contactless keyboard and intelligent switch. All the components are based on a microcontroller of LPC21xx series and mutually communicate via μ LAN (RS485) bus. All the prototypes were tested on stability and resistance to supply voltage fluctuation. In both tests excellent results were obtained.

Obsah

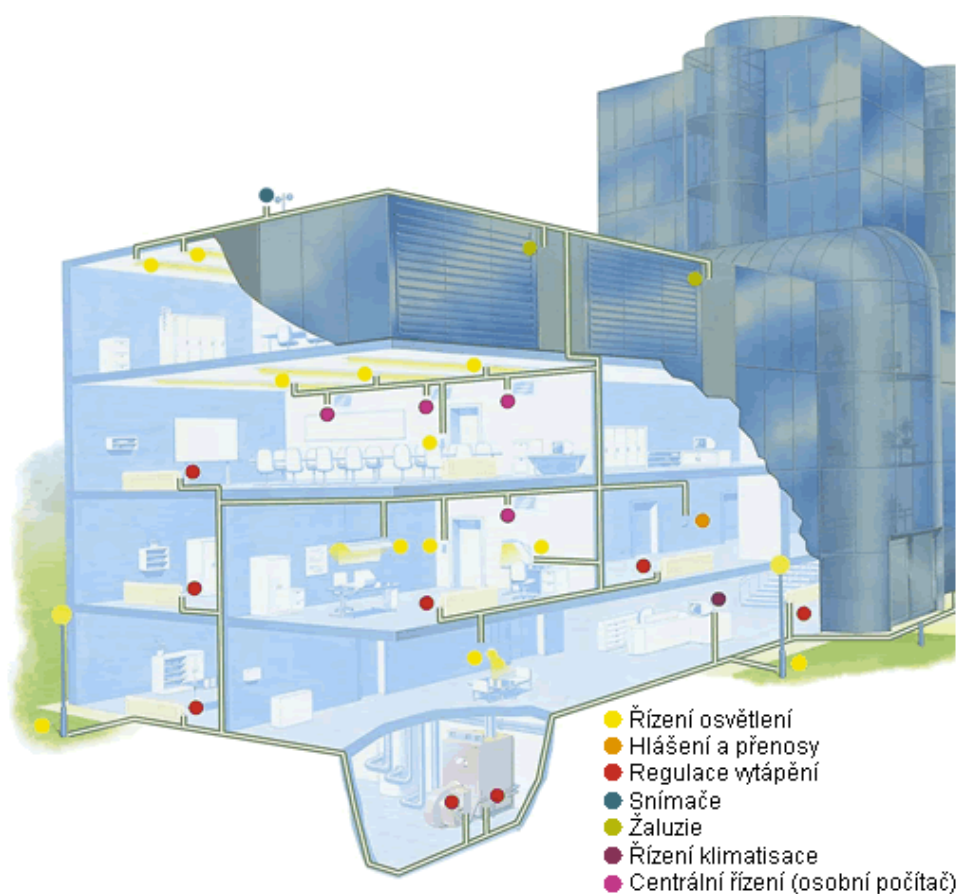
1. Úvod	1
2. Seznámení s problematikou sběrniceových systémů.....	3
2.1 Obecně o sběrniceových systémech	3
2.2 Sběrnice RS-485 (Fyzická vrstva).....	4
2.3 Protokol μ LAN (Logická vrstva)	6
3. Seznámení s mikrokontroléry ARM.....	9
3.1 Obecně o mikrokontrolérech ARM	9
3.2 Programátorský model architektury ARM	10
3.3 Architektura mikrokontrolérů ARM.....	12
3.4 Hlídací obvod Watchdog	15
3.5 Asynchronní sériový port UART	16
4. Návrh a konstrukce společných částí jednotek.....	17
4.1 Všeobecná ustanovení a pravidla návrhu	17
4.2 Napájení modulů	18
4.3 Budič RS485.....	21
5. Miniaturní jednotka vstupů.....	23
5.1 Požadované vlastnosti	23
5.2 Ochrana vstupů	24
5.3 Svorka teploměru.....	25
6. Miniaturní jednotka výstupu.....	26
6.1 Požadované vlastnosti	26
6.2 Výstupní / vstupní obvod.....	27

7. Inteligentní vypínač	29
7.1 Požadované vlastnosti	30
7.2 Koncepce spínačů	30
7.3 Vstupně výstupní svorky	32
7.4 Infračervený přijímač	34
7.5 Zvuková a světelná signalizace	35
7.6 Vzájemné propojení vypínačů	37
8. Inteligentní bezdotyková klávesnice	39
8.1 Požadované vlastnosti	39
8.2 Funkce kapacitního senzoru MPR084	40
8.3 Princip kapacitního senzoru MPR084	40
8.4 Struktura a provedení MPR084	42
8.5 Optická signalizace, podsvícení klávesnice	43
9. Firmware pro mikrokontroléry	45
9.1 Obecné pojednání	45
9.2 Inicializace programu	46
9.3 Hlavní blok programu	48
9.4 Přerušení programu	49
9.5 Použité knihovny	50
10. Závěr	52
Seznam použitých zdrojů	53
Přílohy	54

1. Úvod

Cílem této práce bylo realizovat několik různých jednotek, které rozšiřují nabídku mnoha prvků inteligentního sběrnicevého systému. Tento systém je na logické vrstvě realizován deterministickým přístupem ke sběrnici μ LAN s decentralizovaným řízením. To znamená, že jsou si všechny jednotky připojené na sběrnici rovny (Peer to peer) a o tom kdo bude v daný okamžik vysílat se rozhoduje podle jednoznačných pravidel, nemůže tedy nikdy dojít ke kolizi.

Fyzická vrstva má sběrnicevou topologii, konkrétně sběrnici RS485. Výhoda této fyzické vrstvy je její rozsáhlé průmyslové využití, stabilita, odolnost a možnost použití na vzdálenosti až jednoho kilometru. Právě díky širokému nasazení v průmyslových aplikacích je použití této sběrnice dostatečně ekonomicky výhodné.



obr. 1: Typický příklad Inteligentního domu

Jak již bylo zmíněno, veškeré elektrické prvky jsou si na sběrnici rovny a neexistuje žádný prvek (Master) s globálním nastavením systému, proto je nastavení každého prvku uloženo přímo v dané jednotce, do níž se přistupuje pomocí grafického počítačového softwaru. Tento software slouží jak pro nastavení, tak pro kontrolu a vzdálené ovládání domu například přes internet.

Všechny navržené jednotky jsou založeny na logickém jádře ARM7 mikrokontrolérů řady LPC21xx. Miniaturní modul vstupů byl, jak již název napovídá, navržen s hlavním důrazem na rozměry. Umožňuje detekovat až pět vstupních signálů digitálního charakteru, tedy signály od spínačů, jako jsou například dveřní a okenní kontakty. Jeden z těchto vstupů lze zároveň použít jako výstupní, který byl primárně navržen ke komunikaci s elektronickým teploměrem.

Miniaturní modul výstupu má jednu výstupní svorku určenou ke spínání zařízení vůči zemi a to až do proudu jednoho ampéru při napětí šedesáti voltů. Navíc je zde jedna svorka pro vstupní digitální signál. I tento modul byl miniaturizován tak, aby se rozměrově vešel například do standardních elektrorozvodných krabic ve zdi.

Inteligentní bezdotyková klávesnice je vytvořena jako rozšíření pro již existující jednotku s procesorem. Jde v podstatě o kapacitní snímač vyhodnocující změnu permitivity, způsobenou přiblížením jakéhokoli předmětu, vůči vodivým ploškám uspořádaným do tvaru standardní klávesnice 3x4.

Inteligentní vypínač má jako primární funkci nahradit klasické vypínače světel a to s možností rozšíření na dvojpypínač. Ze zadní strany lze k vypínači připojit vstupně výstupní vodiče a také lze tímto modulem přijímat infračervený signál z dálkového ovladače.

Návrh jednotek byl proveden v programovém prostředí OrCAD. Všechny jednotky měly omezení na využití dvou vodivých vrstev a přesně specifikované rozměry dané krabičkami pro které jsou určeny. Celý projekt byl zaměřen na konkurenceschopnost vůči již stávajícím technologiím vyskytujícím se na trhu, proto byl kladen velký důraz na cenovou nenáročnost návrhu a volbu součástí při zajištění dostatečné odolnosti zařízení.

2. Seznámení s problematikou sběrníkových systémů

2.1 Obecně o sběrníkových systémech

Sběrnice fyzicky propojují určitá zařízení a zajišťují komunikaci mezi nimi. Každá sběrnice se rozděluje na dva základní stavební prvky. V první řadě jde o fyzickou vrstvu, která popisuje a přesně definuje elektrické vlastnosti sběrnice. V druhé řadě se jedná o logickou vrstvu, která naopak definuje chování a vlastní komunikaci jednotlivých zařízení na sběrnici. Když je řeč o fyzické vrstvě sběrnice, zdaleka nejde pouze o fyzické propojení jednotlivých zařízení, jedná se také o elektrické vlastnosti a v neposlední řadě o způsob rozlišení přenášených dat. K přenosu informace se využívají různé druhy přenosových médií.

U nejpoužívanějších metalických vedení jsou nejproblematictějšími body rušení a odrazy na vedení. Odrazy se potlačují přizpůsobováním konců vedení charakteristickými impedancemi. Ovšem rušení vznikající vlivem vzájemného elektromagnetického pole mezi vodiči a nejen mezi nimi se odstraňují jednak vhodnou volbou kabelu (koaxiální kabely, kroucené dvojlinky), a jednak samotnými metodami přenosu elektrického signálu.

Vlastní přenos informace je možné realizovat buď analogově, nebo digitálně. Informace lze modulovat, kódovat, přenášet přímo, nebo po paketech s pomocnými informacemi o přenášené zprávě. Často se využívají detekční kódy, které dokáží odhalit chybu v přenosu, korekční kódy, pomocí nichž lze zjištěné chyby opravit, nebo kódy sloužící k synchronizaci přijímače s vysílačem.

Data je možné přenášet jednak paralelně, což přináší výhodu v jednoduchosti přenosu, ovšem na větší vzdálenosti značné nevýhody v nákladech na přenosové médium, nemluvě o problematice rušení, a jednak sériově. Právě sériový přenos se, i přes svou složitost, zdá být výhodnější u sběrníkových systémů používaných od středních vzdáleností.

Na sběrnici se používá buď simplexní, duplexní, nebo poloduplexní komunikace. Simplexní komunikace probíhá na jednom kanálu a pouze jedním

směrem. Duplexní také na jednom kanálu, ale ten je využíván ke komunikaci v obou směrech. Nakonec poloduplexní komunikace využívá dva přenosové kanály a každý z nich je určen pro jeden směr komunikace.

V případě multiprocessorového využití sběrnice musí být dána přesná pravidla pro určení vysílacího zařízení. Nejjednodušší řízení je centralizované, kdy jeden prvek (tzv. Master) rozhoduje, kdo a kdy může danou sběrnici používat. Distribuované řízení je velmi složité a pro výběr možného vysílače se musí dodržovat přesně stanovená pravidla. Další metodou řízení sběrnice je takzvané kruhové řízení, kdy si jednotlivá zařízení postupně předávají vysílací práva. Velmi známou metodou řízení sběrnice je tzv. náhodný přístup, při kterém každé zařízení započne vysílat v libovolném okamžiku. Při této metodě ovšem dochází k vysoké chybovosti a s rostoucím počtem zařízení prudce klesá propustnost sběrnice.

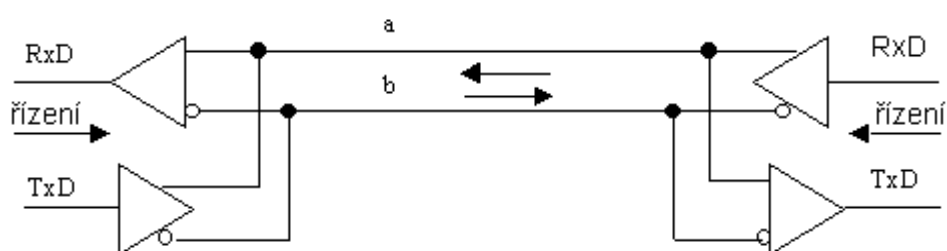
2.2 Sběrnice RS-485 (Fyzická vrstva)

Sběrnici RS-485 lze podle standardu používat v několika modifikacích, v následujících řádcích však bude popisována pouze metoda využitá v praktické části tohoto projektu. RS 485 k přenosu informace nevyužívá porovnání napěťové úrovně vůči zemi jako například RS 232, ale polarity rozdílového napětí mezi dvěma datovými vodiči. Tento způsob přináší spoustu výhod. Například nezávislost zemnicích svorek, čímž lze snadno odstranit vliv parazitních proudů, zvýšení napěťových odstupů mezi logickými stavy a především potlačení indukovaného rušení. Délka vedení může dosahovat až 1200 metrů a běžně vyráběné obvody dosahují přenosových rychlostí 2,5 MB/s.

Jako přenosové médium slouží kroucené dvojlinky TP (twistedpair), které díky svému provedení indukují rušivé napětí do obou vodičů stejně, což nemá prakticky žádný vliv na přenášenou informaci. Naindukované napětí může mít vliv pouze na rozsah vstupů přijímacího budiče, kdy se přijímaný signál může dostat mimo rozsah napěťové stupnice.

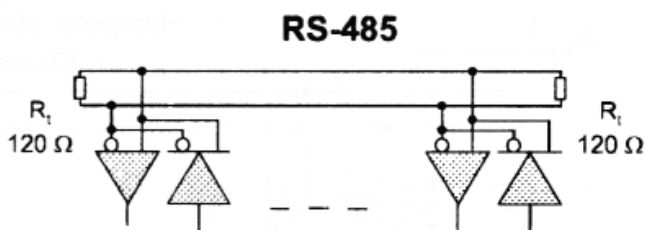
RS-485 se používá pro multipoint komunikaci, neboli komunikaci více zařízení po jedné sběrnici. Většina systémů používá Master/Slave architekturu, kdy Slave zařízení odpovídají pouze na určité pakety. Tyto pakety generuje Master a periodicky obesílá všechny Slave zařízení.

Komunikace může probíhat ve dvou variantách Single TwistedPair RS 485 a Double TwistedPair RS 485. Single TwistedPair (obr. 2) ke komunikaci využívá jedné kroucené dvojlinky a to v obou směrech, je tedy nutné vedení impedančně přizpůsobit na obou koncích a zároveň všechna zařízení musí mít třístavové budiče.



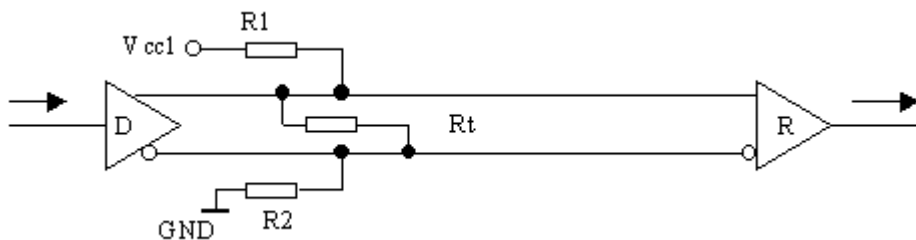
obr. 2: Zapojení jedné kroucené dvojlinky RS 485 (Single TwistedPair)

Ke sběrnici se poté připojují jednotlivá zařízení dle obr. 3. Zde je nutno dbát na to, aby odbočky od sběrnice byly co nejkratší.



obr. 3: Připojování zařízení na sběrnici

Vodiče pro přenos informace jsou označovány jako A a B. V klidovém stavu je signál neaktivní, na vodiči A je napětí záporné zatímco na B kladné. V opačném případě je signál aktivní, na vodiči A je napětí kladné zatímco na B záporné. V okamžiku přepínání mezi vysílači jsou všechny budiče na sběrnici ve třetím stavu. Aby se po tuto dobu nevyskytovali falešné signály vlivem rušení, je sběrnice v klidovém stavu přidržena dvěma vysoko hodnotovými odpory R1 a R2 dle obr. 4.

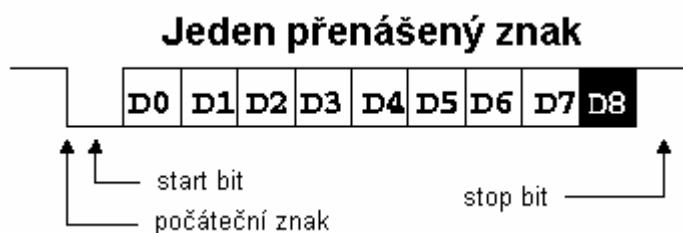


obr. 4: Definování klidového stavu

2.3 Protokol μ LAN (Logická vrstva)

Protokol μ LAN je poměrně složitý a rozsáhlý standard, jehož podrobné popsání by vydalo na celé vydání diplomové práce. Proto zde budou zmíněny pouze základní charakteristiky tohoto protokolu. V první řadě se jedná o multiprocesorovou sběrnici s distribuovaným řízením, kde je o přístup na sběrnici a vysílací práva rozhodováno tzv. metodou arbitrace (viz. níže).

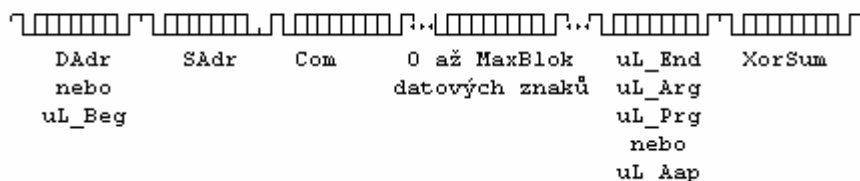
Protokol umožňuje připojení až 64 zařízení ke sběrnici, jež o sobě navzájem nemusí udržovat přehled. Dokáže reagovat na výpadky či poruchy některého ze zařízení, umí si poradit se střídáním přístupu ke sběrnici při přetížení a zároveň zbytečně nevytěžuje zařízení, která se aktuálně neúčastní komunikace.



obr. 5: Zobrazení jednoho znaku dle protokolu μ LAN

Protokol využívá výhod některých procesorů, které dokáží komunikovat jak s osmi tak s devítibitovými znaky viz obr. 5. Pro minimální vytížení neaktivních prvků na sběrnici je stanoveno, že osmibitových znaků si budou všimnout pouze aktivní zařízení, tedy odesílatel a příjemce, zatímco devítibitových všechna zařízení. Takovéto znaky se vyskytují pouze na začátku a na konci každého datového rámce, konkrétně to jsou znaky na pozici DAdr a uL_End viz obr. 6.

Formát datového rámce



obr. 6: Formát datového rámce protokolu μLAN

Na začátku datového rámce je buď adresa konkrétního zařízení DAdr, jemuž je zpráva určena, nebo všeobecná adresa uL_Beg, jež určuje, že zpráva je pro všechna zařízení na sběrnici. Další znak SAdr identifikuje odesílatele rámce a Com určuje číslo služby pro kterou je rámec určen. Následují datové znaky, jejichž maximální počet je limitován stanoveným počtem přístrojů, nejdelší dobou odezvy a rychlostí komunikace. Následuje jeden ze čtyř možných ukončovacích znaků (uL_End, uL_Arg, uL_Prg a uL_Aap), jejichž volba rozhoduje o dalším průběhu komunikace po skončení rámce. A posledním znakem v rámci je kontrolní součet XorSum.

Arbitrace přístupu k médiu je nejsložitější částí protokolu, proto zde bude jen částečně naznačena. Pokud dojde k uvolnění sběrnice, dochází k nové a především jednoznačné volbě dalšího vysílacího zařízení. Po uvolnění sběrnice si každé zařízení, které chce vysílat, stanoví časový interval, po kterém se může pokusit o zabránění sběrnice. Tento interval je vypočítán z adresy předchozího vysílače a zařízení, jež chce vysílat nyní.

Aby nedošlo ke kolizi s jinými prvky, které byly nově připojeny ke sběrnici, začíná každý prvek před vlastní komunikací vysílat posloupnost nul proložených časovým odpojením od sběrnice, kdy je sběrnice uvedena do klidového stavu pomocí předřazených rezistorů. Tato posloupnost nul je dána vlastní adresou přístroje. Pokud je tedy v okamžiku odpojení od sběrnice na sběrnici detekována logická nula, pokouší se o vysílání zároveň jiné zařízení a jsou mu přenechána vysílací práva.

Pro bezkolizní připojení budičů na sběrnici a zotavení přístrojů při výpadku jsou přesně definovány časové rámce. Tedy mezi jednotlivými znaky nesmí být delší časová prodleva, nežli je doba odeslání jednoho znaku. Pokud k tomuto

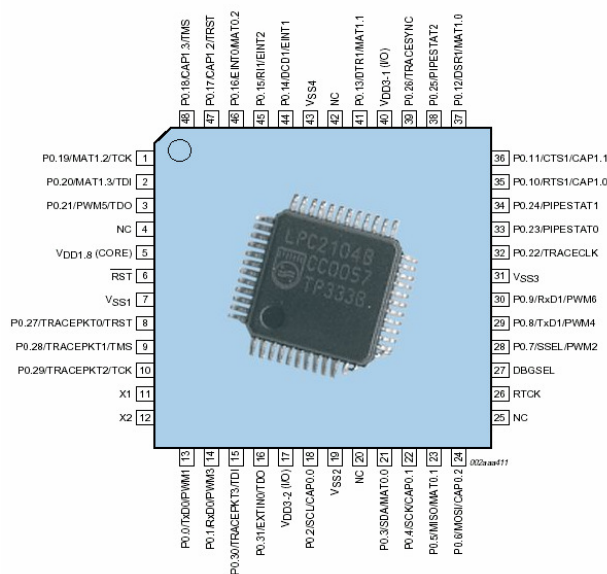
dojde, je zpráva přijímačem prohlášena za poškozenou. Po skončení vysílání, musí být odpojen výstupní budič od sběrnice v době kratší, nežli je doba odeslání jedno znaku. Pokud chce přijímací zařízení potvrdit příjem rámce, musí výstupní budič připojit déle, nežli je doba odeslání jednoho znaku po přijetí posledního znaku, zato dříve nežli uplyne doba pro odeslání dvou znaků a zároveň první znak potvrzovacího rámce musí být odeslán do uplynutí doby tří znaků od přijetí posledního znaku rámce. Nedojde-li k včasnému potvrzení, je předchozí rámeček považován za nepotvrzený a spojení je ukončeno s chybou.

3. Seznámení s mikrokontroléry ARM

3.1 Obecně o mikrokontrolérech ARM

V roce 1995 bylo vyvinuto dnes velmi populární jádro mikrokontroléru ARM. Jeho velké oblíbenosti přispívá především nízká cena, která je srovnatelná s dříve nejpoužívanějšími 8bitovými mikrokontroléry, avšak výkonnostně jsou tyto procesory nesrovnatelné. Jádro ARM vychází z 32bitové technologie typu RISC (omezenou instrukční sadou) a Von Neumann architekturou (společná paměť programu a dat) založenou na load/store koncepci (veškeré operace pouze s registry, nikoli přímo s paměť).

Autorem architektury ARM (Advanced RISC Machines) je společnost ARM, které se díky výhodné licenční politice, jež za příznivých podmínek dovoluje produkovat mikrokontroléry typu ARM mnoha výrobcům, podařilo zaujmout většinový podíl na trhu například v PDA, mobilních telefonech, MP3 přehrávačích a mnoha dalších 32bitových aplikacích. Kontroléry jednotlivých výrobců se liší pouze velikostí programové a datové paměti a vestavěnými periferiemi, ale jádro je vždy stejné, díky čemuž mají identický instrukční soubor.

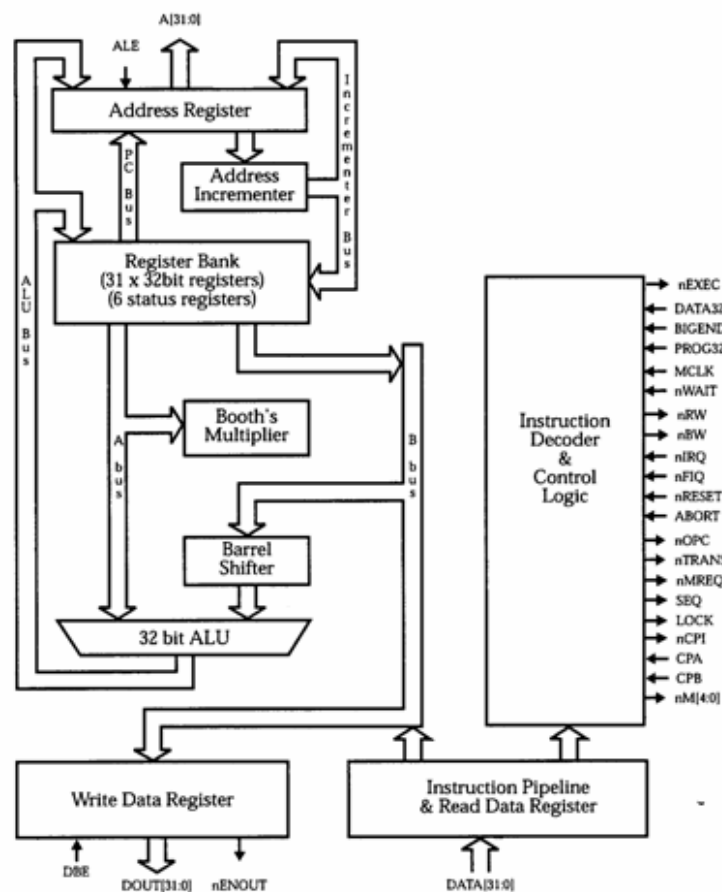


obr. 7: Pouzdro mikrokontroléru LPC2105

3.2 Programátorský model architektury ARM

Jádro ARM je znázorněno na obr. 8.

- **Instruction Decoder and Logic Control:** Dekóduje instrukce a generuje řídicí signály ostatním částem procesoru pro vykonání instrukce.
- **Address Register:** Udržuje 32bitovou adresu na adresové sběrnici.
- **Address Incrementer:** Inkrementuje adresu o 4 a uloží zpět do Address Register.
- **Register Bank:** Obsahuje třicet jedna 32bitových registrů a šest stavových registrů.
- **Barrel Shifter:** Používá se pro operace posuvu.
- **ALU:** 32bitové ALU zpracovává aritmetické a logické operace.
- **Write Data Register:** Data, která se mají zapsat do paměti.
- **Read Data Register:** Čte-li procesor z paměti, je výsledek čtení uložen v tomto registru.



obr. 8: Blokové schéma jádra architektury ARM7

Jádro ARM má šest operačních režimů (módů): uživatelský, FIQ, IRQ, supervizorský, ukončující a nedefinovaný. V každém režimu je k dispozici 15 obecných registrů, programový čítač PC, stavový registr a krom uživatelského módu, je vždy ještě k dispozici příslušný úložný stavový registr. Díky koncepci load/store se pro každou operaci musí využívat právě obecné registry. Například pro operaci sčítání, se nejdříve musí sčítané hodnoty z paměti přesunout do obecných registrů, poté dojde k vlastnímu sečtení a následně je teprve možné výsledek znovu uložit do paměti. Tento přístup přináší oproti ostatním architektuám nevýhodu ve větším množství prováděných instrukcí pro provedení jedné operace.

Délka každé ARM instrukce je 32 bitů, zabírá tedy v paměti programu přesně 4 byte, tj. jedno slovo (word). Adresa na instrukce musí být tedy dělitelná čtyřmi, což znamená, že má poslední dva bity nulové. Od jádra ARM7 a výše používají některé procesory navíc podmnožinu instrukční sady ARM7 nazývanou THUMB. Při použití této sady musí být procesor přepnut do zvláštního režimu, ovšem v rámci jednoho zdrojového kódu lze obě sady libovolně kombinovat.

Instrukční sada THUMB obsahuje nejvíce používané instrukce ve zkrácené formě, instrukce jsou tedy dlouhé pouhých 16 bitů. Díky tomu lze efektivněji využít místo v paměti procesoru a dokonce deaktivovat půlku sběrnice, což vede k úspoře energie. Před vlastním provedením instrukce se doplní na standardní velikost 32 bitů.

Pro urychlení procesoru zpracovává ARM jádro instrukce v režimu PIPELINE, neboli proudového zpracování instrukce. Procesor tedy zpracovává až tři instrukce současně, kdy každá je v jiném stavu: 1. Načtení instrukce z paměti, 2. dekódování instrukce, 3. provedení instrukce.

Jako jiné procesory mají také ARM kontroléry implementován mechanismus přerušení. Konkrétně mají sedm zdrojů přerušení, každé se svým vektorem přerušení, která mohou být vyvolána jak hardwarově, tak softwarově. Většina ze zdrojů přerušení odpovídá jednotlivým módům (režimům) procesoru.

Mikrokontroléry založené na architektuře ARM údajně vyrábí až 200 výrobců v provedení více než 90ti typů obvodů. Mezi nejznámější a nejdostupnější patří výrobci ATMEL a NXP Semiconductors. V rámci této práce byl použit procesor právě od společnosti NXP Semiconductors založené společností Philips, konkrétně mikroprocesor LPC2105.

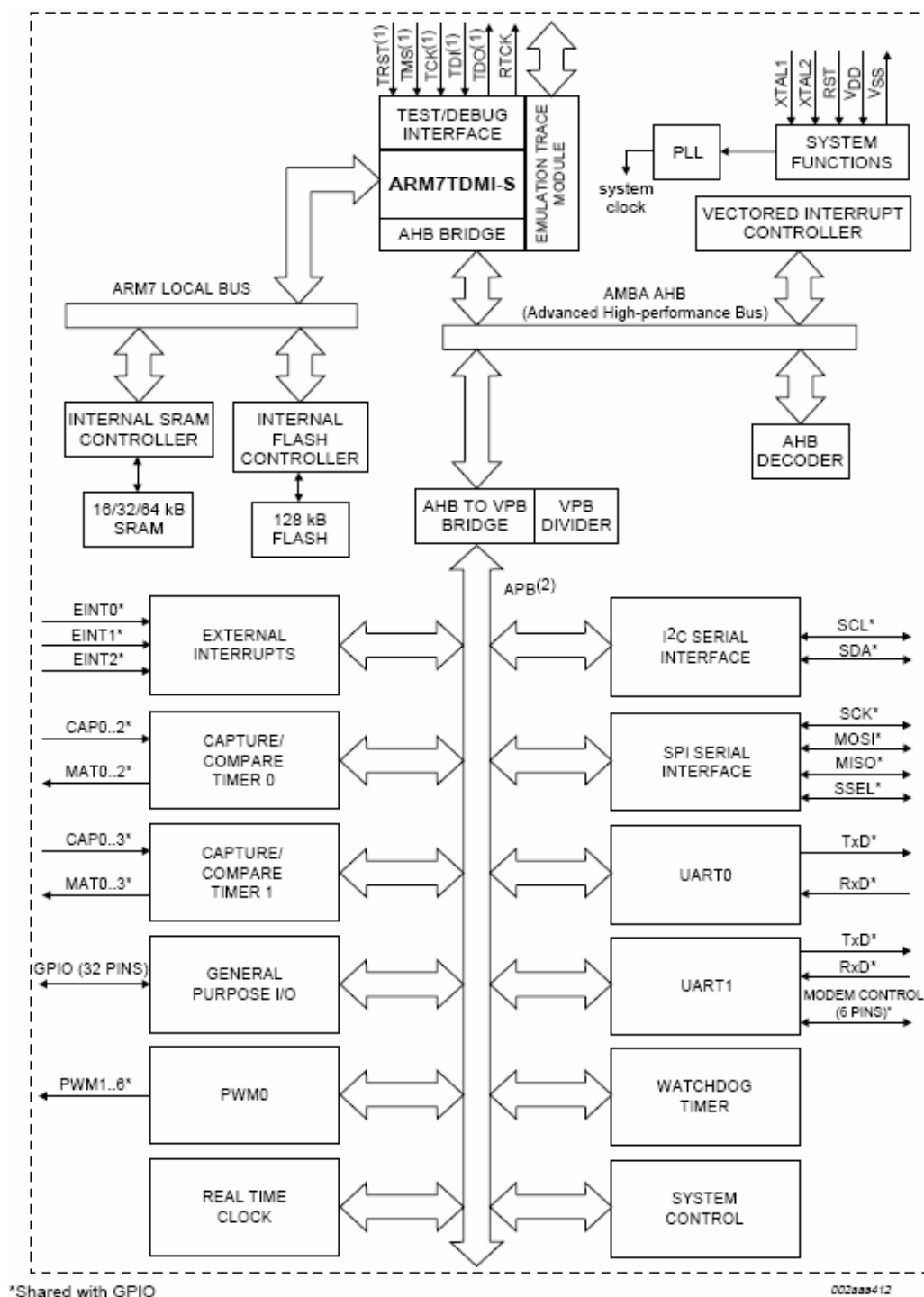
3.3 Architektura mikrokontrolérů ARM

V dnešní době začaly ARM procesory díky své výkonnosti vytlačovat klasické 8 bitové jednočipy, které v mnoha případech již nepostačují svou rychlostí. Zároveň je díky nízké ceně začaly nahrazovat i tam, kde by jejich použití zcela postačovalo. Jsou-li však použity typy ARM kontrolérů s větším množstvím paměti, mohou se používat i pro aplikace s nasazením operačního systému jako je například embedded Linux, nebo WindowsCE.

Bloková struktura typická pro mikrokontroléry společnosti NXP Semiconductors je znázorněna na obr. 9. Je vidět, že obvod má na čipu zabudovaných několik periférií. Většina těchto vnitřních obvodů se zároveň dělí o procesorové piny s 32mi I/O linkami, které v celku tvoří 32bitový paralelní port, jež je schopný tolerovat i 5ti voltovou logiku. Jako další periferie obsahuje obvod řadič přerušení s programovatelnou adresou i prioritou, dva 32bitové čítače časovače, generátor PWM signálu se šesti výstupy, obvod reálného času, watchdog a několik sériových komunikačních rozraní: 2x UART, I²C a SPI. Neobvyklé je u mikrokontrolérů propojení jádra procesoru s perifériemi přes bridge. Chceme-li tedy programově generovat například přesné pulzy, musíme s tímto omezením počítat.

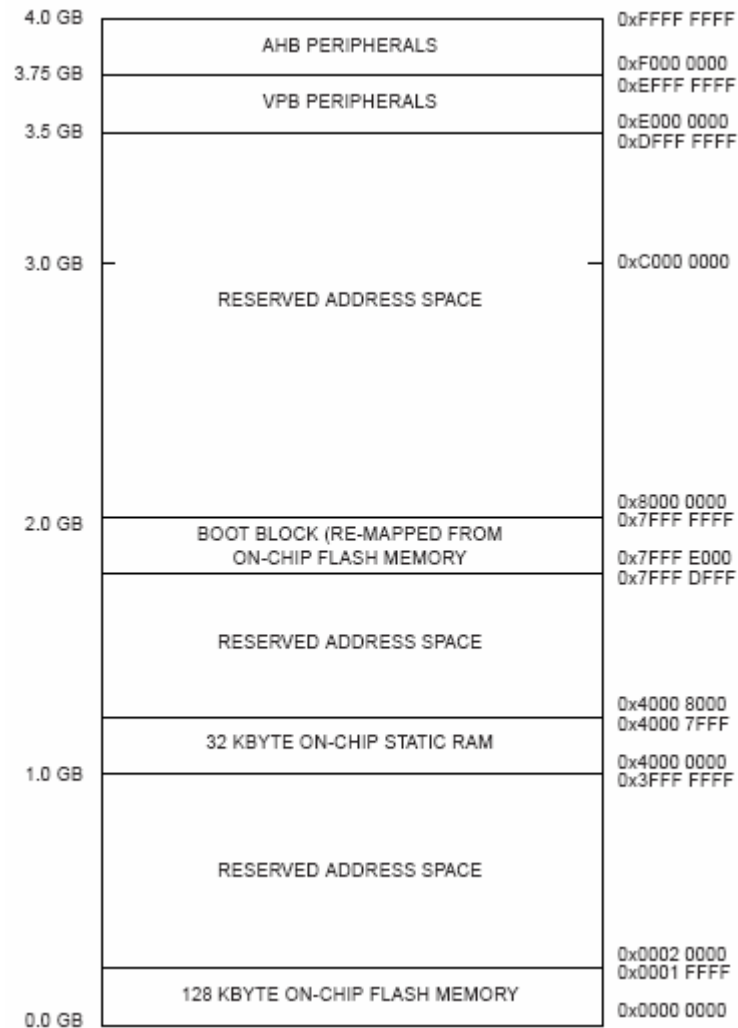
Procesory mají dvojitě napájení a to snížené 1,8 voltové pro CPU a 3,3 voltové pro I/O linky s tolerancí 5V logiky. Procesor lze připojit přes JTAG, ale pyšní se i možností programování FLASH paměti pomocí ISP a IAP. ISP *In-System Programming* umožňuje programování procesoru, i když je již zapojen v nějaké aplikaci, stačí při resetu procesoru přizemnit přes libovolný rezistor pin P0.14, poté se v obvodu aktivuje tzv. boot loader (firmware předprogramovaný

výrobce) a začne komunikovat pomocí UARTu 0 na pinech P0.0 a P0.1 s programovací aplikací. IAP *In-Application Programming* dokonce umožňuje programování procesoru za chodu aplikace.



obr. 9: Blokové schéma mikrokontrolérů LPC21xx

Při práci s jednotlivými periferiemi se program odkazuje na jednotlivé registry určené k nastavení periferií, jejich výstupů a čtení vstupů. Z obr. 10 znázorňujícího paměťový prostor ARM procesorů je vidět, že jsou tyto registry periferií umístěny právě v paměťovém prostoru. Přístupuje se k nim tedy naprosto obdobně jako do paměti.

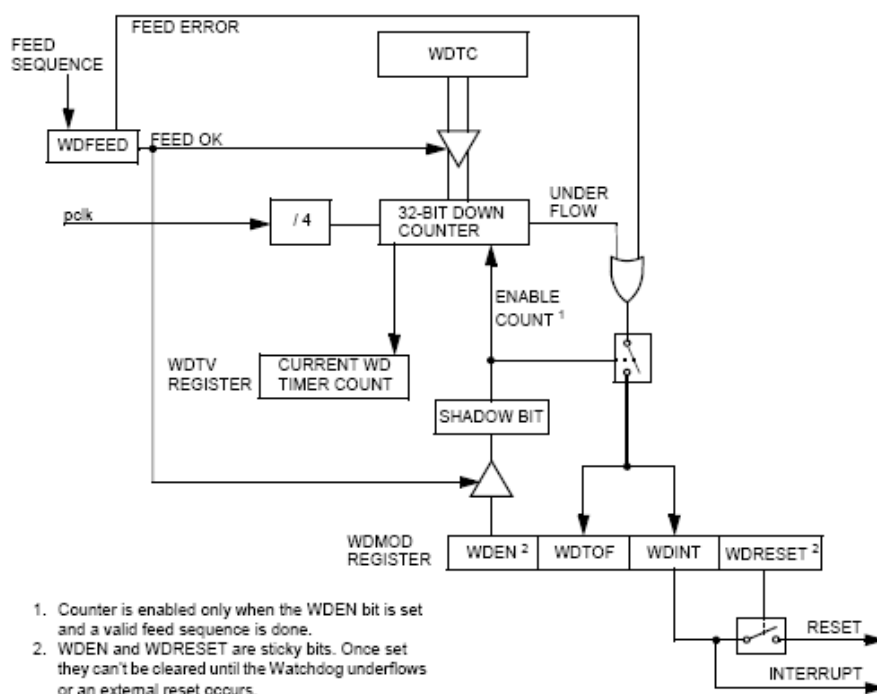


obr. 10: Uspořádání paměťového prostoru architektury ARM7

3.4 Hlídací obvod Watchdog

Obvod Watchdog je v podstatě obyčejný čítač. Jeho smyslem je zabezpečit činnost procesoru před nežádoucím zacyklením. Při jeho povolení se musí nastavit hodnota čítače, která nesmí klesnout na nulu. Došlo-li by k jeho vynulování byl by okamžitě generován příznak přetečení (podtečení), kterým je možné resetovat procesor. Tohoto obvodu se využívá, mohou-li v průběhu výpočtu nastat nežádoucí jevy zapříčiňující zacyklení, tzn. procesor se dostane do zakázaného stavu.

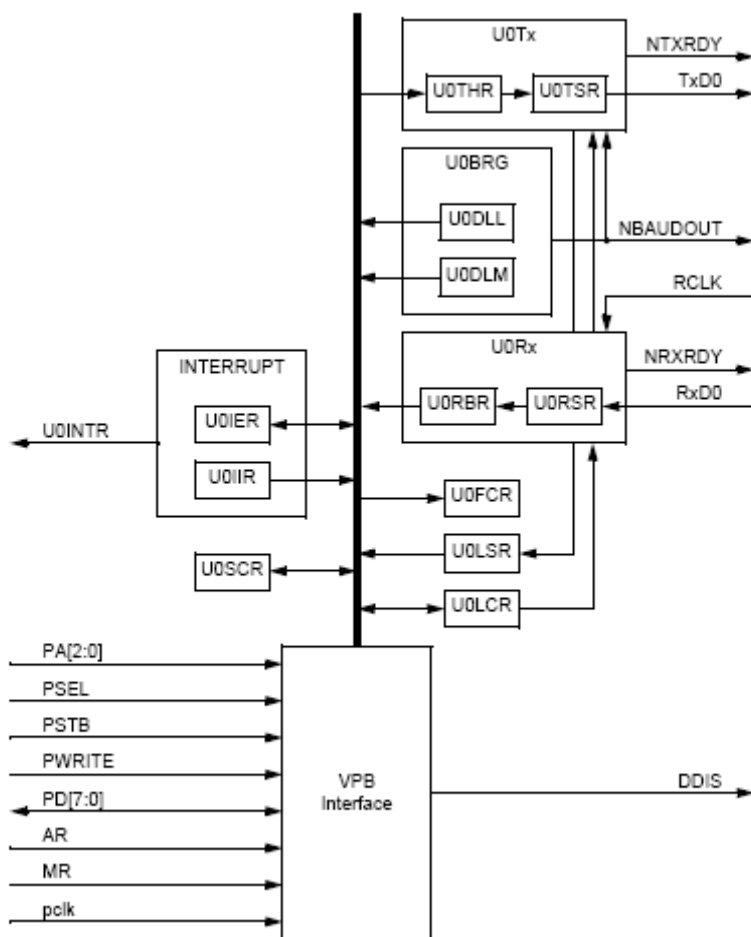
Dle zapojení na obr. 11, je do watchdogu přiváděn signál hodin přes „předděličku“ čtyřma. Obvod lze zcela vypnout případně nechat generovat přerušovací nebo i resetovací signál dle nastavení registru WDMOD. Pokud dojde k resetu vyvolanému watchdogem, zůstane nastaven bit přetečení WDTOF, který lze vynulovat pouze softwarově. V registru WDTC se nastavuje hodnota, jež bude při správné sekvenci dat zapsaných do WDFEED, opětovně nastavovat dekrementující čítač. WDTC tedy určuje dobu, po které dojde k příznaku přetečení podle vzorce $t_{\text{pcik}} \times \text{WDTC} \times 4$.



obr. 11: Blokové schéma hlídacího obvodu Watchdog

3.5 Asynchronní sériový port UART

UART: Jde o plně duplexní sériový kanál, umožňující komunikaci v 8 a 9 bitovém režimu. Obsahuje detekci falešného start bitu, detekci chybného znaku, přetečení datového registru a filtraci. UART je vybaven vlastním generátorem přenosových rychlostí, díky čemuž uživatel nepřijde o žádný z čítačů časovačů. Kanál je často používán pro multiprocesorovou komunikaci po jedné sběrnici, například právě RS 485. Jak přijatá data, tak data k odeslání se ukládají do 16ti bytového přijímacího a vysílacího FIFO zásobníku. U procesoru LPC2105 je navíc druhý UART1 oproti UART0 rozšířen o možnost komunikace po modemu.



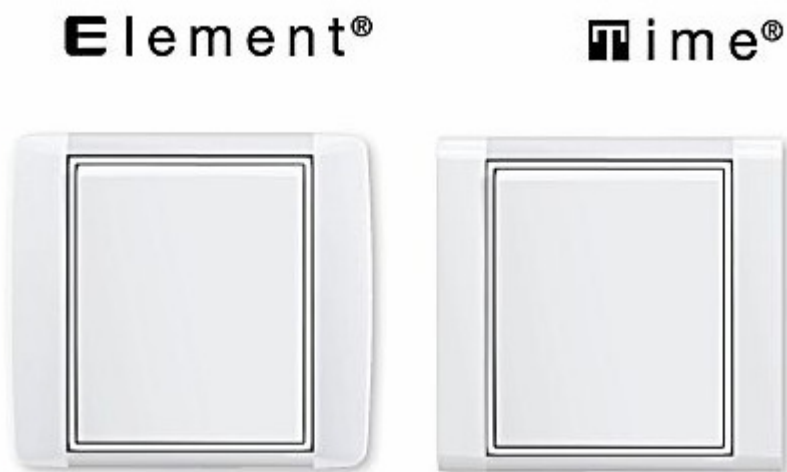
obr. 12: Blokový diagram UART0 procesoru LPC2105

4. Návrh a konstrukce společných částí jednotek

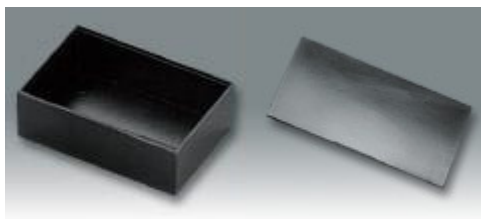
4.1 Všeobecná ustanovení a pravidla návrhu

Dle obecného rozšíření zadání musí všechny inteligentní jednotky navzájem komunikovat pomocí sběrnice RS485 na standardu μ LAN. Tento standard nařizuje přidělení jednoznačného sériového čísla a pevné počáteční 7bitové adresy každému vyrobenému zařízení. Po přidání nového zařízení do systému musí být jeho adresa okamžitě změněna. Některé moduly mohou být rozšířeny připojením nových periférií pomocí sběrnice I²C. Tato sběrnice je určena pouze pro lokální komunikaci v rámci jednoho modulu. V této práci je typickým příkladem Inteligentní bezdotyková klávesnice.

Celý systém může být napájen pomocí rozvedeného stejnosměrného napětí o velikosti 12 až 24 voltů. Uživatelsky přístupné moduly, tedy inteligentní vypínač a inteligentní kapacitní klávesnice, musí být mechanicky upevnitelné do nástěnných krabiček výrobce ABB designové řady Element, případně Time (obr. 13). Miniaturní moduly do krabiček výrobce OKW Enclosures Ltd. typu Potting box – duroplastic o rozměrech 45 x 30 x 15 mm (obr. 14).



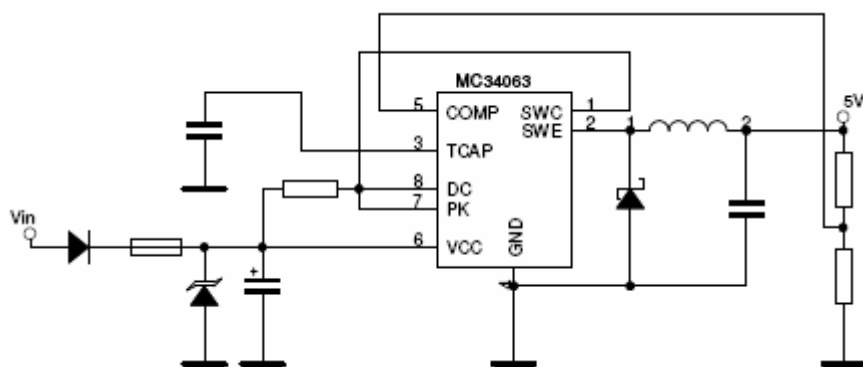
obr. 13: Nástěnné vypínače výrobce ABB řady Element a Time



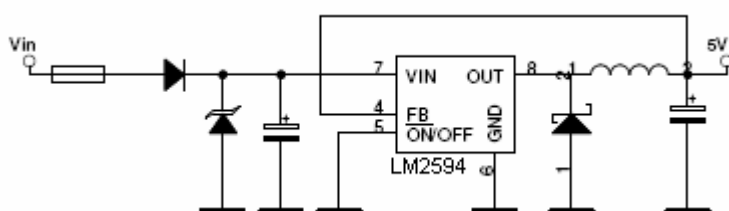
obr. 14: Krabička výrobce OKW Enclosures Ltd. typu Potting box

4.2 Napájení modulů

Ke všem jednotkám může být přivedeno stejnosměrné napájecí napětí v rozsahu 12 až 24 voltů. Pro napájení integrovaného obvodu LT1785 (budič typu MAX485, viz. níže) je však potřeba 5 voltů stejnosměrného napětí a pro procesor 3,3 a 1,8 voltů. Budič sběrnice RS485 se sice vyrábí i v provedení 3,3V, ale v kombinaci s požadovanými ochranami, dobrou dostupností a hlavně nízkou cenou, byl zvolen právě pěti voltový LT1785. Pro snížení napájecího napětí na požadovaných 5 voltů nelze při odebíraných proudech použít lineární stabilizátor, díky jeho velkým výkonovým ztrátám.



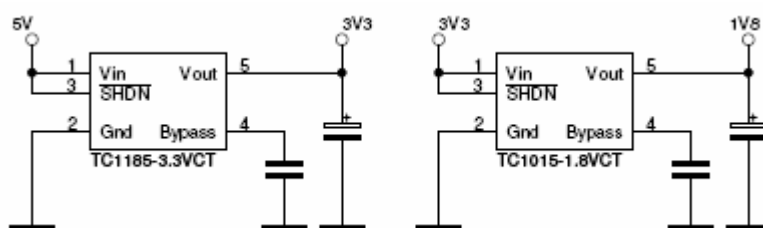
obr. 15: Zapojení spínaného zdroje Step down s IO MC34063



obr. 16: Zapojení spínaného zdroje Step down s IO LM2594

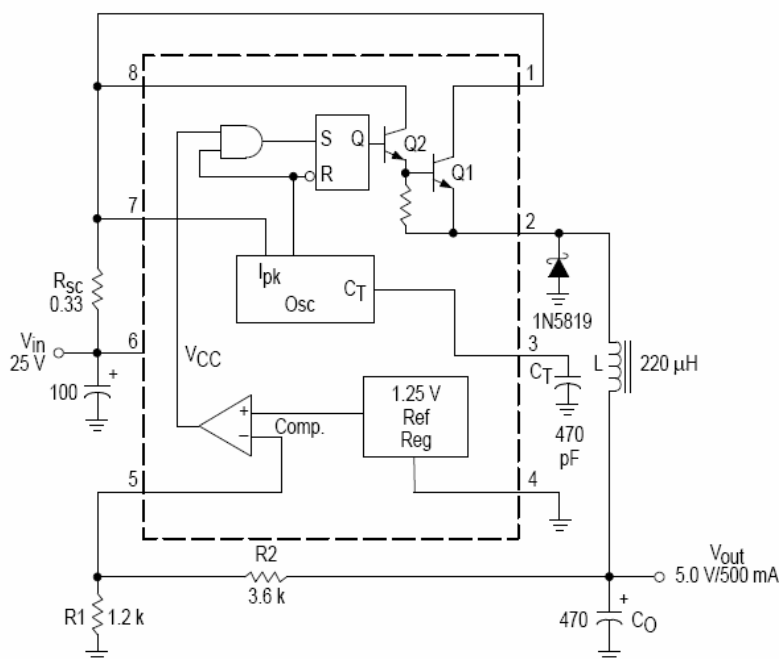
Jako nejvhodnější řešení se ukázalo použití levného spínaného stabilizátoru MC34063A (obr. 15) pro méně energeticky výkonné aplikace a kvalitnějšího LM2594 (obr. 16) pro náročnější aplikace jakou je například inteligentní vypínač. Jelikož se jedná o spínané stabilizátory, bylo potřeba při návrhu plošných spojů dbát zvýšeného důrazu na správné uspořádání a zapojení součástek. Tyto spínané stabilizátory pracují na vysoké frekvenci, při kterých spínají relativně velké proudy, což při neopatrném návrhu vytváří silné rušivé elektromagnetické záření.

Pro vytvoření 3,3 a 1,8 voltových úrovní již bohatě postačovalo použít lineární stabilizátory (obr. 17), které díky nízkému proudovému odběru procesoru nepotřebují ani chlazení.



obr. 17: Zapojení lineárních stabilizátorů na 1,8 a 3,3 voltů

Integrovaný obvod MC34063A lze použít v zapojení step-up, step-down, nebo invertor. V našem případě je využíván v režimu step-down, kde typické zapojení je vidět na obr. 18.



obr. 18: Katalogové zapojení spínaného obvodu s MC34063A

Elektrolytický kondenzátor na vstupu obvodu zastává funkci tzv. blokovacího kondenzátoru, který je v okamžiku sepnutí vnitřního tranzistoru schopen pokrýt rychlé proudové špičky. Rezistor R_{sc} slouží pro měření proudového odběru. Pokud napětí na tomto odporu překročí hodnotu 300mV, obvod přestane spínat. Díky této funkci je zařízení chráněné proti výstupnímu zkratu. Cívka L, schottkyho dioda a kondenzátor C_O zde plní hlavní princip spínaného zdroje. Aby pracoval tento zdroj ve spojitým režimu, bylo potřeba zvolit dostatečně velkou hodnotu indukčnosti.

Výstupní kondenzátor C_O snižuje rozkmit výstupního napětí, čím větší má tedy hodnotu, tím je napěťové kolísání nižší. Pokud je tento kondenzátor příliš malý, může dokonce dojít k rozkmitání spínaného obvodu a jeho naprosté nestabilitě. Rezistory R_1 a R_2 tvoří napěťový dělič, jehož výstup je veden do zpětné vazby obvodu. Tímto děličem se tedy nastavuje požadované výstupní napětí. Výstup děliče je komparátorem porovnáván s vnitřní referencí o hodnotě 1,25V. Pokud dojde k překročení výstupního napětí nad požadovanou mez, obvod přestane spínat.

Tento spínaný obvod tedy pomocí vnitřního oscilátoru generuje pravidelné pulzy, které jsou řízením v případě nutnosti blokovány, a tím nedochází ke spínání vnitřního tranzistoru. Frekvence oscilátoru se nastavuje pomocí kondenzátoru C_T a to na maximální frekvenci 100 kHz.

Obvod LM2594 pracuje na stejném principu, pouze s několika odlišnostmi. Pracovní frekvence je pevně dána vnitřním oscilátorem a nelze jí měnit. Překročení maximálního povoleného proudu je měřeno uvnitř obvodu. Ve zpětné vazbě není napěťový dělič, ten je opět umístěn na čipu. Hlavní odlišností tohoto obvodu však je, že reguluje výstupní napětí pomocí vnitřního PWM signálu, což je kvalitnější způsob regulace, oproti přerušovanému spínání u obvodu MC34063A.

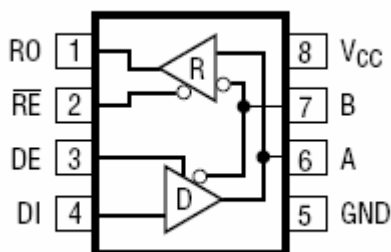
4.3 Budič RS485

Sběrnice RS485 je napájena z pěti voltového zdroje, kdy přenášený signál je detekován jako rozdíl napětí mezi dvěma vodiči, typicky o napětí 2V. K přenosu signálu se používá kroucená dvojlinka, aby se rušivý signál naindukovaný na dlouhém vedení, přičetl současně do obou vodičů a neporušil přenášenou informaci. Pokud ovšem celkové napětí na vodiči překročí 7 voltů, vstupy budiče se zahltí a dojde k přerušení komunikace. Při větším rušení může dokonce dojít i ke zničení budícího obvodu.

K odstranění těchto potíží se naskytá několik řešení. Prvním z nich je dostatečně ochránit vstupy obvodu, kdy při velkém rušení dojde pouze ke ztrátě komunikace, nikoliv však k nevratné ztrátě činnosti. To je možné udělat například pomocí transilu a vratné pojistky. Využitím transilu nám však narůstá kapacita na vedení, což omezuje použití vyšších komunikačních rychlostí.

Vhodnějším řešením je použít galvanické oddělení. V tomto případě nemůže nikdy dojít ke zničení zařízení a dokonce i při velkém rušení nedochází ke ztrátě komunikace. Tato varianta je ovšem finančně náročnější, ale například u miniaturních modulů díky rozměrům dalších součástek zcela nepoužitelná.

Díky nutnosti minimálního množství přídavných součástek byl jako budič použit integrovaný obvod LT1785, který má ochranné prvky integrované přímo na čipu. Tento obvod je odolný vůči elektrostatickému vzduchovému výboji až $\pm 15\text{kV}$ a kontaktnímu výboji $\pm 4\text{kV}$. Dále odolá trvalému napětí na komunikačních linkách až $\pm 60\text{V}$. Jednou z dalších výhod je možnost použití až 128 zařízení na sběrnici při komunikační rychlosti 250kbaud.

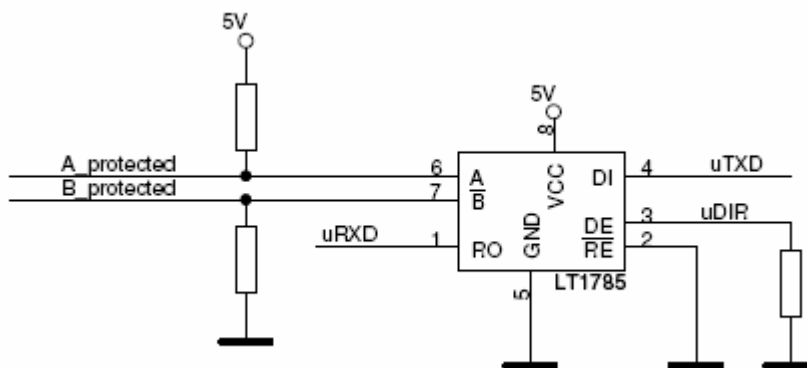


obr. 19: Blokové znázornění budiče RS485 LT1785

Obvod LT1785 (viz obr. 19) je obyčejný převodník úrovní. Je-li na pinu DE nastavena logická úroveň nula, obvod má na výstupu sběrnice RS485 nastavenou vysokou impedanci. V tomto stavu nezasahuje do sběrnice, zato může odposlouchávat probíhající komunikaci. K těmto účelům slouží pin RE, je-li nastaven v logické nule, na pin RO je převáděn signál ze standardu RS485 ze sběrnice na standard UART. Naopak je-li pin DE nastaven do logické jedničky, je signál z pinu DI převáděn ze standardu UART na sběrnici. Pokud se v jednom okamžiku bude pokoušet vysílat více zařízení, nedojde ke zničení obvodu, ale pouze ke ztrátě informace.

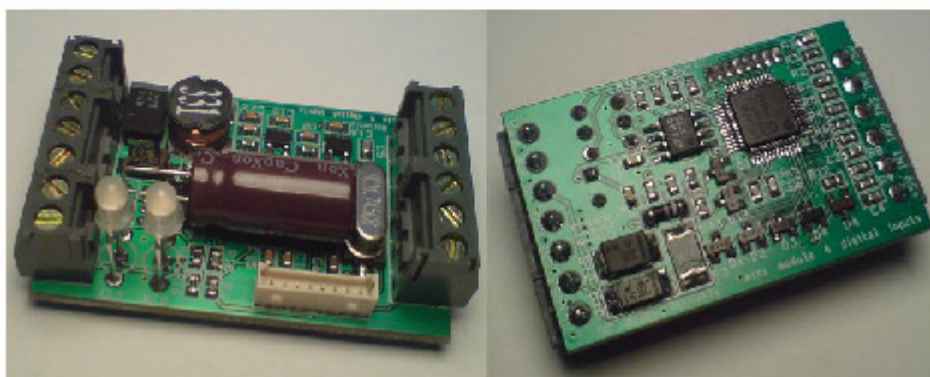
Při čtení ze sběrnice je logická úroveň signálu nastavena podle polaroty rozdílového napětí mezi vodiči A a B. Je-li napětí na vodičích $A > B$, je tento stav vyhodnocen jako logická jednička, opačně je-li $A < B$, je přečtena logická nula. Pro bezchybné určení těchto stavů musí být zaručen potenciálový rozdíl mezi vodiči minimálně 200mV.

Podle skutečného zapojení na obr. 20 jsou k signálovým vodičům sběrnice připojeny rezistory 47kΩ. Těmito rezistory se nastavuje klidový stav sběrnice do logické jedničky v okamžiku, kdy na sběrnici nevysílá žádné zařízení. V tomto stavu jsou totiž všechny budiče nastaveny do stavu vysoké impedance a rušení indukované do vodičů by mohlo vytvářet falešný zdroj informace.



obr. 20: Skutečné zapojení budiče LT1785

5. Miniaturní jednotka vstupů



5.1 Požadované vlastnosti

Jednotka se musí vejít do krabičky Potting box – duroplastic o rozměrech 45 x 30 x 15 mm do které budou vyfrézovány otvory z čelních stran a částečně i z vrchu na svorky typu TB-3.5-P-2P-GY. Pomocí těchto otvorů a svorek bude v krabičce upevněna deska plošného spoje. Z jedné strany bude šest svorek, z toho čtyři vstupní a dvě s vyvedeným napájením 5V. Na druhé straně bude sedm svorek a to v pořadí zprava sběrnice vodič A, sběrnice vodič B, napájecí napětí, zem, zem, vstup teploměru a výstupní napětí 5V. Činnost jednotky bude signalizována pomocí dvou dvoubarevných LED diod.

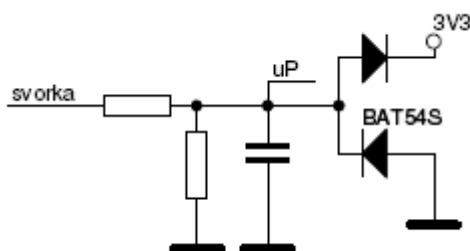
Vstupy budou digitálního charakteru, kdy logické jedničky odpovídá napětí 5V a logické nule 0V. Vstupy musí být ochráněny proti překročení tohoto rozmezí. Vstupní svorka pro teploměr bude komunikovat s digitálním teploměrem a to oběma směry o pěti voltové úrovni.

5.2 Ochrana vstupů

Pokud by se na vstup přivádělo napětí v rozsahu 0 až 3,3V, mohl by být vstupní signál veden přímo na piny procesoru. V takovém případě by však mohlo velmi snadno dojít k „odpálení“ těchto pinů například vlivem elektrostatického výboje, nebo při překročení povoleného napětí.

V první řadě bylo potřeba stanovit napětí, které bude určovat logickou jedničku. Zcela jistě je potřeba spolehnout se na napěťové zdroje uvnitř modulu, jelikož by vždy nemusel být k dispozici zdroj napětí odpovídající úrovně. K dispozici tedy jsou úrovně 1,8V 3,3V a 5V stejnosměrného napětí a 24V napájecího napětí. 1,8 voltů je pro rozhodovací úroveň procesoru příliš málo, 3,3 voltu je vytvářeno na lineárním stabilizátoru a při zatížení, nebo náhodném zkratu by mohlo dojít ke zničení tohoto stabilizátoru. Napájecí napětí není vhodné díky jeho vysoké a nestabilizované hodnotě, tedy jako nejvýhodnější úroveň se ukázalo použití 5 voltového zdroje, který je zároveň odolný vůči přetížení (zkratu).

Pro procesor je bezpečné napěťové rozmezí od 0 do 3,3V, proto musí být přivedený signál úměrně snížen napěťovým děličem. Tím došlo ke změkčení vnějšího připojeného zdroje a vstupní pin procesoru mohl být proti přepětí ochráněn ještě schottkyho diodami vztaženými proti napájení procesoru a zemi, viz obr. 21.



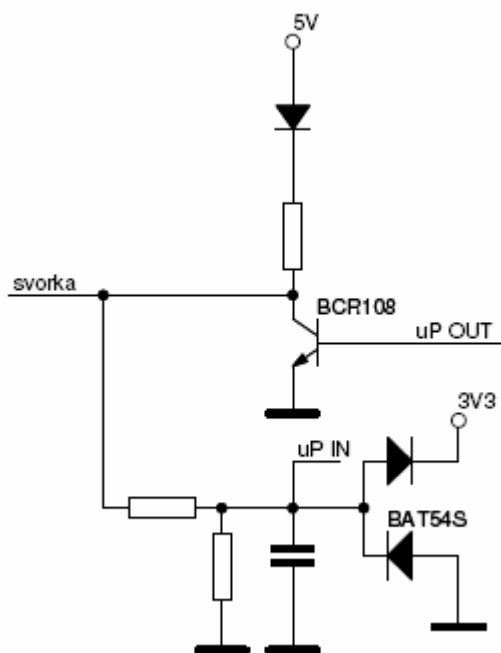
obr. 21: Ochranné obvody vstupních svorek

Těmito ochranami je vstup procesoru ochráněn proti pomalému přepětí na vstupní svorce, kdy stihnou zareagovat ochranné diody. Pokud by se však na vstup dostal rychlý elektrostatický výboj, je potřeba jeho účinek zpomalit vstupním kondenzátorem nepříliš velké hodnoty, aby se na vstupní svorku mohl přivádět dostatečně rychlý užitečný signál.

5.3 Svorka teploměru

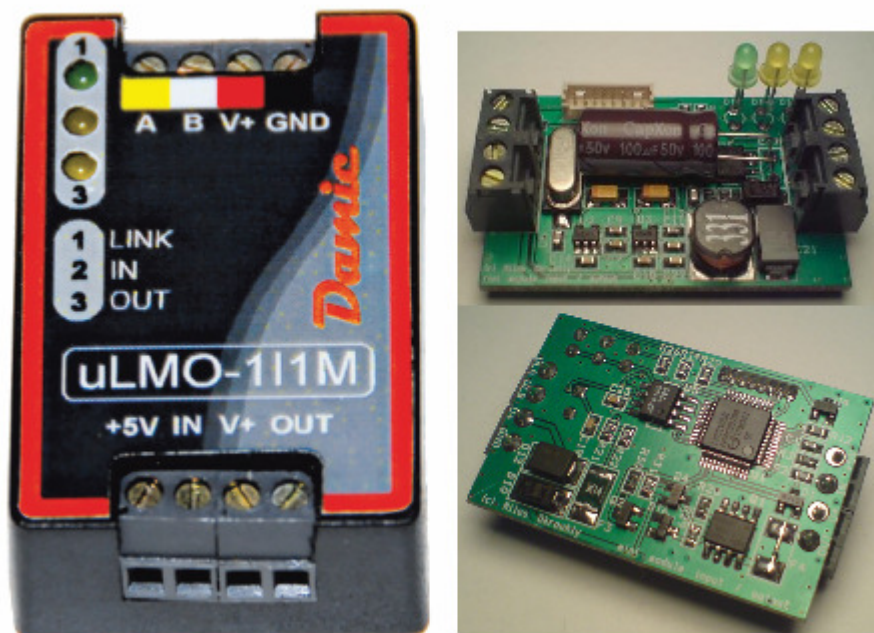
K miniaturnímu modulu vstupů je možné připojit i elektronický teploměr, který s modulem komunikuje digitálně o napěťové úrovni 5V, proto je vstup procesoru ochráněn stejně jako ostatní vstupy. Pokud by se tedy uživatel rozhodl nevyužít možnosti připojení teploměru, může použít celkem až pět naprosto identických vstupů.

Aby bylo možné komunikovat s teploměrem po jednom vodiči, musí být výstupním obvodem umožněno měnit jinému vysílači na vodiči úroveň napětí. To je možné provést například tím, že se vysílací obvod přepne do stavu vysoké impedance. Jako jednodušší a stejně účinná varianta se ukázala možnost použít obvod s otevřeným kolektorem, viz obr. 22. Jako spínací prvek byl použit digitální tranzistor, díky čemuž bylo ušetřeno místo na plošném spoji, jelikož tyto tranzistory mají bázevý a přídržný odpor integrován přímo v pouzdře.



obr. 22: Zapojení vstupně výstupní svorky určené pro připojení teploměru

6. Miniaturní jednotka výstupu



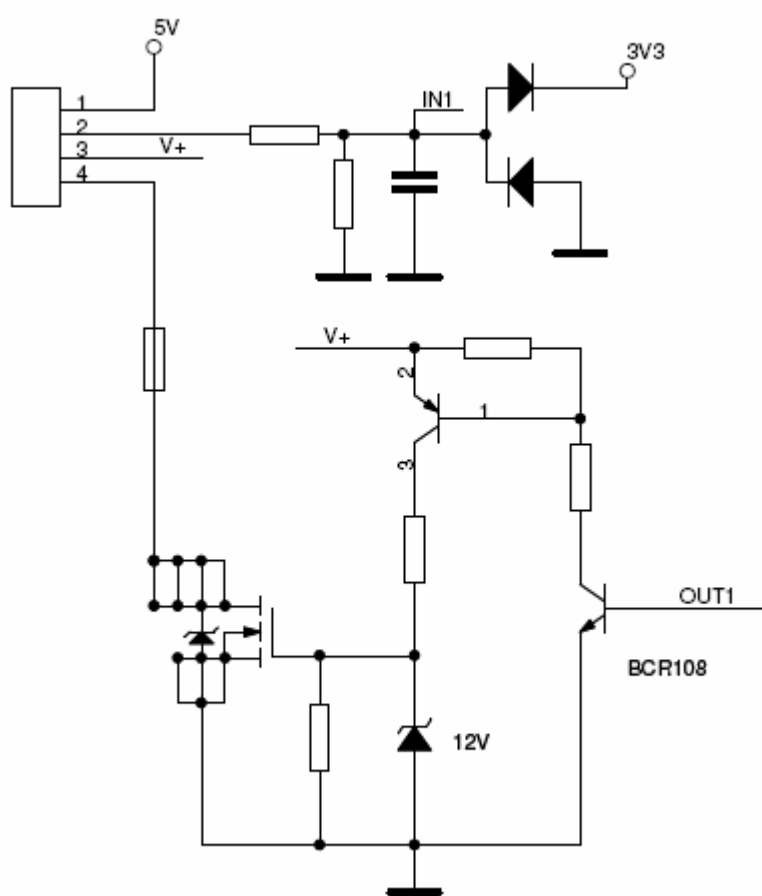
6.1 Požadované vlastnosti

Stejně jako modul miniaturních vstupů se musí tato jednotka vejít do krabičky Potting box – duroplastic o rozměrech 45 x 30 x 15 mm. Z jedné strany budou čtyři svorky, na něž má být přivedeno napájecí napětí, vnitřní napětí 5V, dále bude jedna svorka určena pro vstupní digitální signál a poslední je pro spínání (tzv. výstupní svorka). Na druhé straně budou opět čtyři svorky a to v pořadí zprava sběrnicový vodič A, sběrnicový vodič B, napájecí napětí a zem. Činnost jednotky bude signalizována pomocí tří barevně odlišených LED diod.

Výstupní svorka je určena pro spínání různých zařízení vůči zemi a to do proudů až 1A.

6.2 Výstupní / vstupní obvod

Výstupní obvod je určen pro spínání různých akčních členů, jako jsou například termoelektrické hlavice, okenní rolety... Spínání je určeno pro prvky do stejnosměrného napětí 24V, které je vyvedeno přímo na svorkách modulu a to až do proudu 1 ampéry. Výstup je v provedení open drain, proto absolutní spínací hodnoty závisí na použitém N kanálovém MOSFETu. Maximální spínané napětí může tedy být až 60 voltů stejnosměrně při proudu do 5-ti ampér, který je ovšem omezen použitou vratnou pojistkou na 4 ampéry, viz obr. 23.



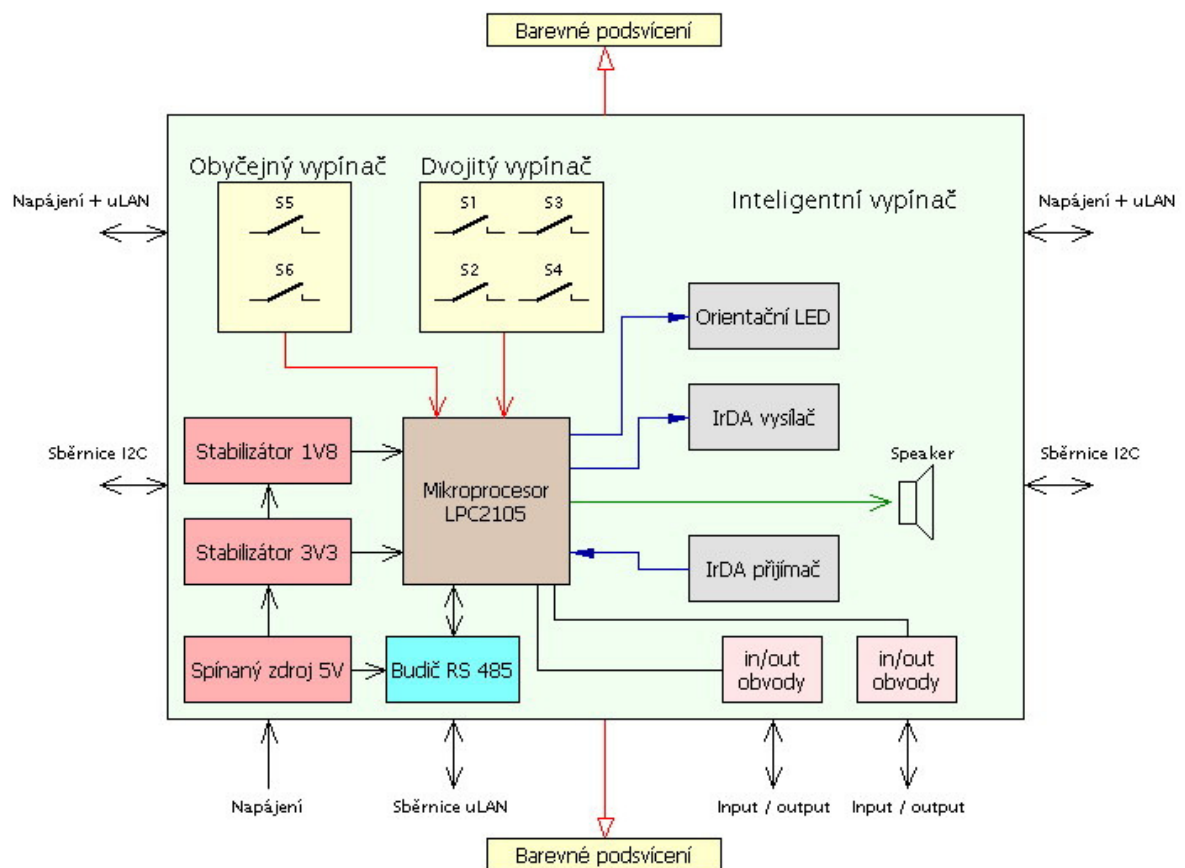
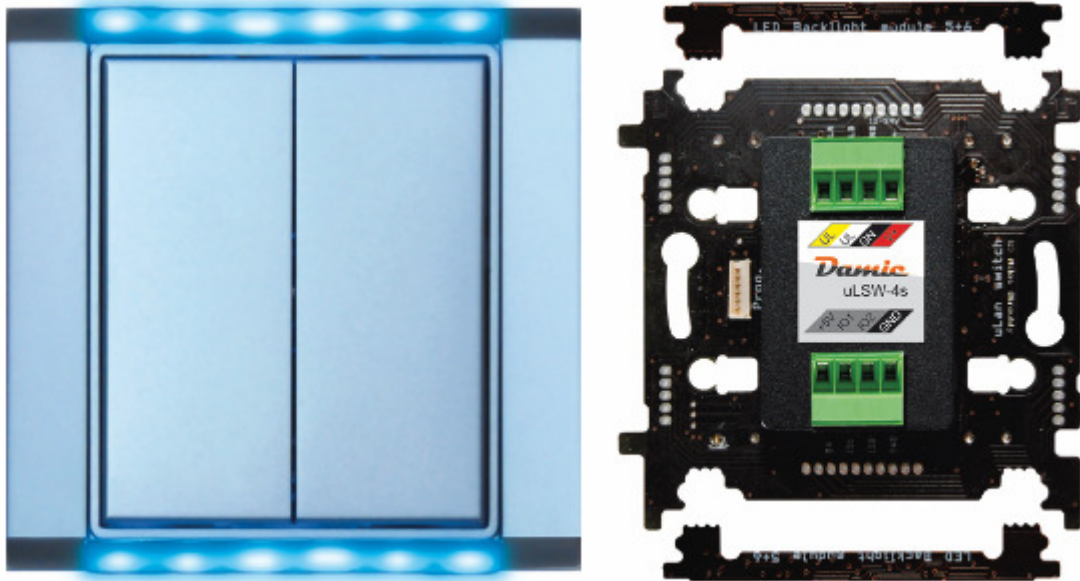
obr. 23: El. zapojení spínací části akčního členu

Použitý spínací unipolární tranzistor potřebuje k dobrému otevření napětí Gate-Source až 10 voltů, zatímco na modulu je k dispozici pouze napětí 1,8V, 3,3V, 5V a napájecí napětí, bylo tedy potřeba ke spínání N-FETu využít právě přivedené napájecí napětí. Napájení však může dosahovat hodnoty až 24V, přičemž maximální povolené napětí Gate-Source činí pouhých 20 voltů. Zároveň bylo potřeba spínání řídit mikrokontrolérem, jehož výstup má logickou jedničku 3,3 voltů.

Rezistor připojený mezi gate a zem spínacího FETu určuje klidovou úroveň tranzistoru. Ten bude tedy v klidu rozepnutý. Paralelně k němu je připojena zenerova dioda na 12V, která ochraňuje tranzistor před nebezpečným překročením napětí. Pokud tedy mikrokontrolér nastaví na výstupu log 1, digitální bipolární tranzistor BCR108 sepne, tím zároveň sepne druhý bipolární tranzistor PNP a na gate spínacího unipolárního tranzistoru se díky zenerově diodě objeví maximální spínací napětí 12 volt.

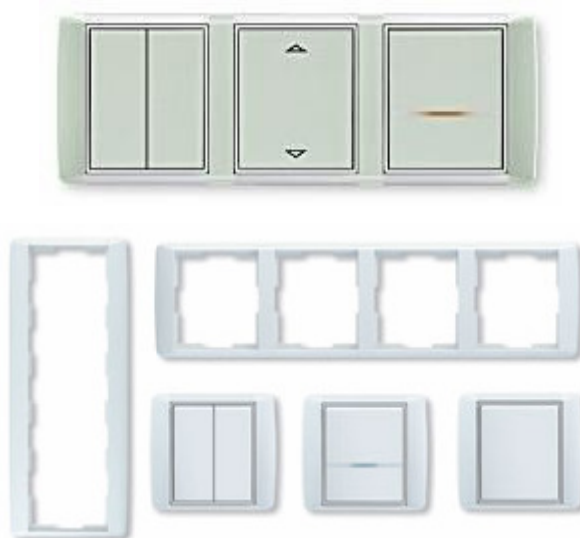
Vstupní obvod lze použít například pro připojení digitálního teploměru nebo pro okenní kontakty. Jeho zapojení bylo již popsáno v kapitole miniaturní jednotky vstupů.

7. Inteligentní vypínač



7.1 Požadované vlastnosti

Tento modul se musí vejít do krabičky výrobce ABB designové řady Element, nebo Time a to v provedení jednoho či dvoj vypínače v poloze horizontální i vertikální obr. 24. Musí být tedy schopný pracovat ve funkci dvojitého vypínače.

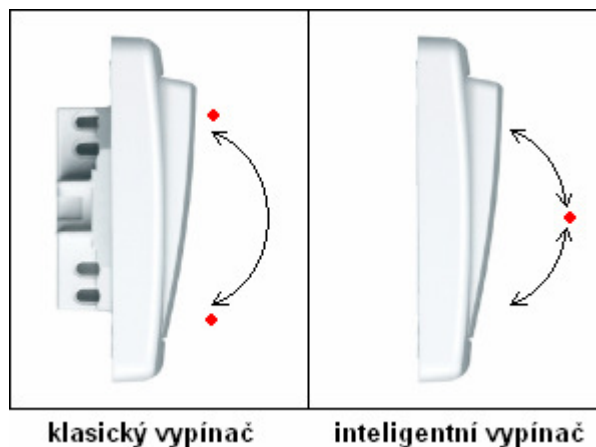


obr. 24: Možné varianty finálního uspořádání vypínačů

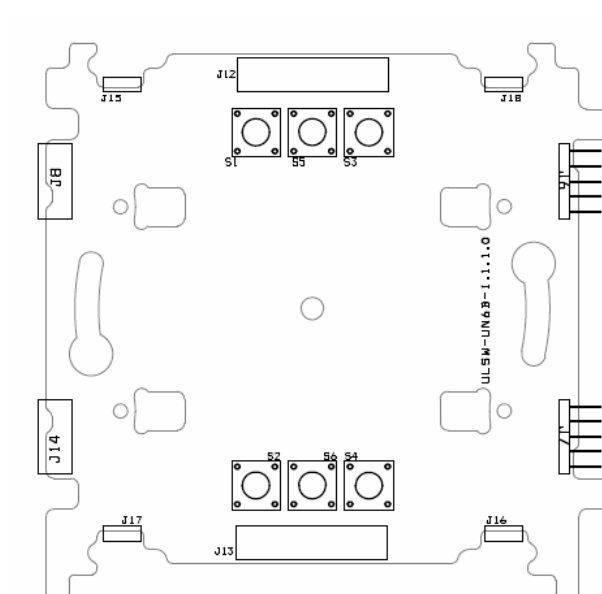
Tento modul by měl po sepnutí tlačítka akusticky signalizovat stisk, dále by měl mít možnost přijímat infračervený signál z dálkového ovladače. Měl by umožňovat barevné podsvícení rámečku a mít možnost připojení až dvou vstupně výstupních vodičů.

7.2 Koncepce spínačů

Oproti klasickým vypínačům jde v tomto případě spíše o spínače. Klasický vypínač má dvě stabilní polohy, kdy horní poloha většinou určuje stav zapnuto a spodní poloha vypnuto. U inteligentního vypínače je pouze jedna stabilní poloha, viz obr. 25 kde červená tečka naznačuje stabilní polohu. Toto řešení je dáno mechanickou konstrukcí, při které byli využity mikro spínače. Tímto způsobem je tedy jeden vypínač možno využít pro spínání minimálně dvou zařízení, kdy sepnutím do horní polohy bude zapínáno/vypínáno jedno zařízení a v dolní poloze druhé.

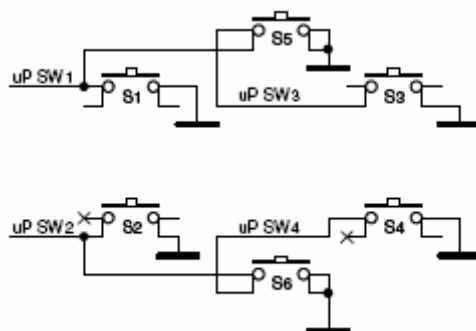


obr. 25: Porovnání stabilních poloh klasických a inteligentních vypínačů



obr. 26: Fyzické rozmístění mikropínačů na plošném spoji

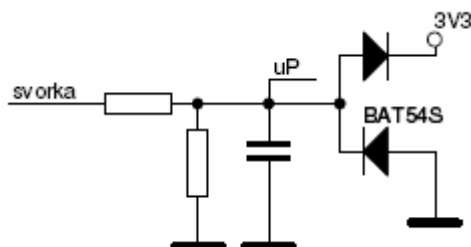
Plošný spoj byl mechanicky přizpůsoben, aby se při využití obyčejného vypínače osadil pouze dvěma mikro spínači S5, S6 umístěnými ve středu a při použití dvojitého vypínače čtyřmi mikro spínači S1, S2, S3 a S4, viz obr. 26. Při použití obyčejného vypínače by samozřejmě mohli být použity i čtyři mikropínače, ovšem při stisku docházelo ke klamavému dvojitému cvaknutí. Elektrické řešení vychází z mechanického rozložení mikropínačů na desce plošného spoje, kdy jedna pájecí ploška byla využita pro obě varianty osazení, a je patrné z obr. 27 .



obr. 27: Elektrické zapojení mikropínačů

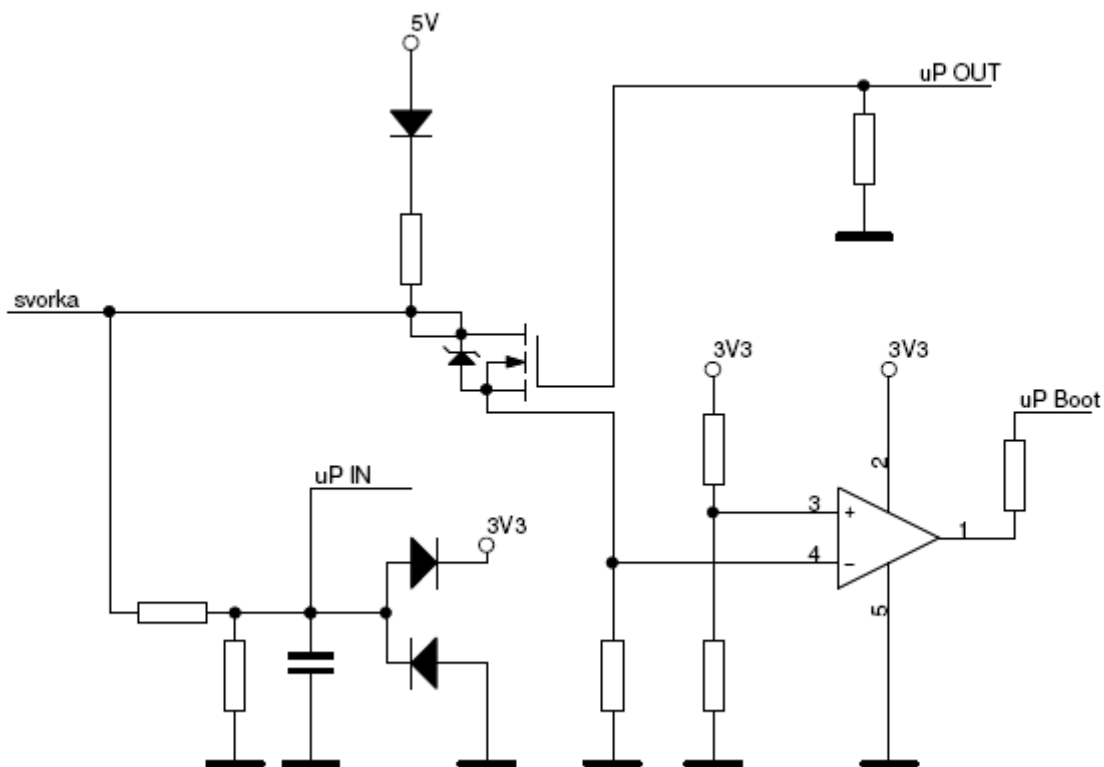
7.3 Vstupně výstupní svorky

Každý inteligentní vypínač umožňuje připojení různých zařízení na vstupně výstupní svorky umístěné ze zadní strany vypínače. Těmito svorkami je možné komunikovat s jiným inteligentním prvkem, jako je například elektronický teploměr, mohou být využity jako vstup od různých kontaktů dveří či oken, nebo jimi můžeme spínat akční členy.



obr. 28: Ochranné obvody vstupních svorek

Vstup procesoru je v tomto případě řešen stejně jako vstupy miniaturního modulu vstupů, viz obr. 28. Výstup je řešen obdobně jako vstupně výstupní svorka u miniaturního modulu vstupů, ovšem s několika modifikacemi. Pro spínání výstupu k nule je použit unipolární tranzistor díky jeho nízkému odporu v sepnutém stavu. Byl vybrán takový tranzistor, pro jehož dostatečné sepnutí stačí použít přímo výstupní svorku procesoru o napěťové úrovni 3,3 V. Pro spínání je tedy využit N-kanálový tranzistor, jehož klidovou úroveň v nesepnutém stavu udržuje k zemi připojený rezistor na gateu. Zapojení je vidět na obr. 29.



obr. 29: El. zapojení vstupně výstupní svorky vypínače

Jelikož má tento výstup sloužit i ke spínání akčních členů, byl zde vytvořen detektor překročení povoleného spínacího proudu. Do výstupu source tranzistoru byl k zemi připojen snímací rezistor o nízké rezistivitě, na němž průtokem proudu vzniká napěťový úbytek. Je-li proud tranzistorem příliš velký, komparátor připojený ke snímacímu rezistoru změní svou výstupní úroveň a procesor tento výstup rozezne.

Výstup komparátoru je veden na pin určený k vnějšímu přerušení procesoru. Dojde-li k překročení povoleného proudu, procesor v obsluze přerušení velmi rychle vypne spínací tranzistor. Aby nedošlo k oscilacím, je tento tranzistor opětovně sepnut až po delším časovém intervalu, je-li však spínací proud opět nad povolenou mezí, tranzistor se znovu vypne. Tímto způsobem je snížena střední hodnota spínacího proudu tak, aby nedošlo ke zničení koncového členu.

Na výstupu komparátoru je sériově zapojený rezistor zabraňující kolizním stavům na vstupu procesoru, jelikož příslušný pin je zároveň využíván k nastavení procesoru do programovacího stavu.

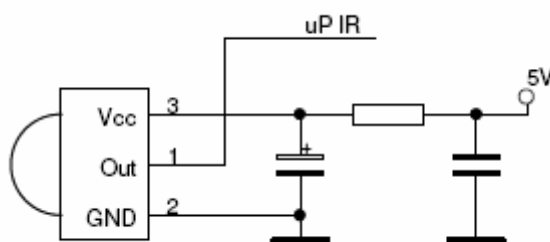
7.4 Infračervený přijímač

Jako rozšíření inteligentního vypínače je nabízena možnost osadit plošný spoj infračerveným přijímačem. Použije-li se vypínač s průzorem původně určeným jako orientační světlo doutnavky, viz obr. 30, můžeme celý dům ovládat pomocí dálkového ovladače a to například pomocí nevyužitých tlačítek na dálkovém ovladači televize.



obr. 30: Nástěnné vypínače výrobce ABB s průzorem

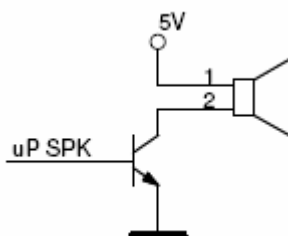
Elektrické zapojení je velmi jednoduché viz. obr. 31. Napájecí napětí přijímače je blokováno kondenzátorem, který s pomocí sériově zařazeného rezistoru vytváří RC filtr. Jelikož je přijímač dosti citlivý, byl tímto filtrem odrušen od kolísání napájecího napětí způsobeným špičkovými proudy při spínání. Výstup ze senzoru je již přímo veden na vstupní pin procesoru.



obr. 31: El. zapojení infračerveného přijímače

7.5 Zvuková a světelná signalizace

Jako signalizace stisku tlačítka může být využit speaker který je jednoduše ovládaný výstupním pinem procesoru přes digitální NPN tranzistor. Zapojení znázorňuje obr. 32.



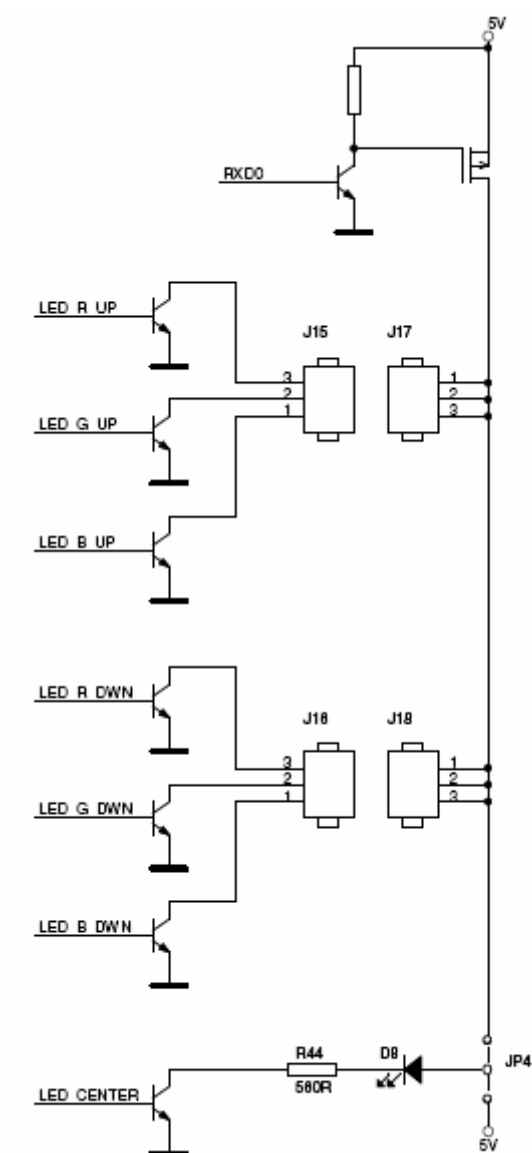
obr. 32: El. zapojení speakeru

Dalším způsobem signalizace stisku tlačítka je využití LED podsvícení tlačítek. Toto podsvícení je řešeno pomocí přídavného plošného spoje, viz obr. 33, na kterém jsou umístěny LED diody tří základních barev, tedy zelené, červené a modré. Složením těchto barev je možné vytvořit jakoukoli barvu. Pokud však uživatel bude chtít využívat barevného podsvícení, musí k vypínačům použít průhledné rámečky, neboť se jedná o nadstandardní rozšíření vypínače.



obr. 33: Přídavný plošný spoj pro podsvícení

Ke každému vypínači lze připojit horní a dolní podsvětlení, přičemž oba jsou navzájem zaměnitelné. Řízení těchto LED modulů je umístěno na inteligentním vypínači podle schéma na obr. 34. Veškeré výstupy z procesoru vedou na digitální tranzistory, aby piny procesoru nebyly proudově zatěžovány a zároveň na plošném spoji nepřibýlo velké množství pasivních součástek. Barva podsvícení se nastavuje pomocí PWM signálu, jímž je řízena každá barva zvlášť a to dokonce odděleně pro horní a spodní podsvícení. Je tedy možné aby horní část vypínače svítila jinou barvou, nežli spodní. Zároveň je možné přes spínací unipolární P-kanálový tranzistor připojený na napájení regulovat celkový jas svitu.

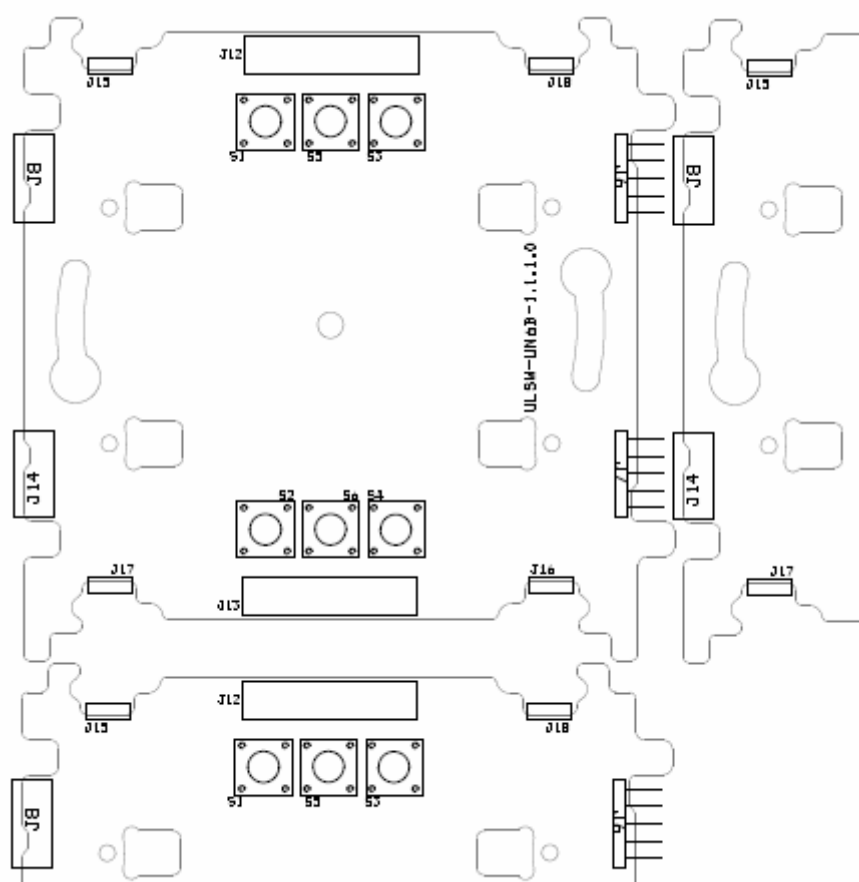


obr. 34: Princip el. ovládnání podsvícení

Pokud by uživatel nechtěl využít rozšíření v podobě podsvícení a přesto by chtěl využít orientačního světla obvyklého v podobě doutnavky, lze k tomuto účelu využít LED diody D8. Ta může být připojena k PWM regulaci jasu, nebo přímo na napájecí napětí pomocí jumperu JP4. Tuto světelnou diodu lze však také zaměnit za infračervenou diodu a využít jí ke komunikaci s jiným zařízením pomocí infra signálu.

7.6 Vzájemné propojení vypínačů

V případě, že je několik vypínačů umístěných vedle sebe, není nutné připojovat napájecí a komunikační vodiče ke každému vypínači zvlášť. Stačí tyto vodiče připojit pouze k jednomu modulu. Díky důmyslně umístěným bočním konektorům jsou tyto signály mezi jednotlivými moduly rozvedeny. Všechny moduly do sebe zároveň velmi přesně zapadají díky vyfrézovaným výstupkům, viz obr. 35. Pokud jsou tedy vypínače umístěny vedle sebe, lze je vzájemně snadno propojit. Pokud jsou však umístěny nad sebou, musí se mezi konektory vložit ještě propojka.

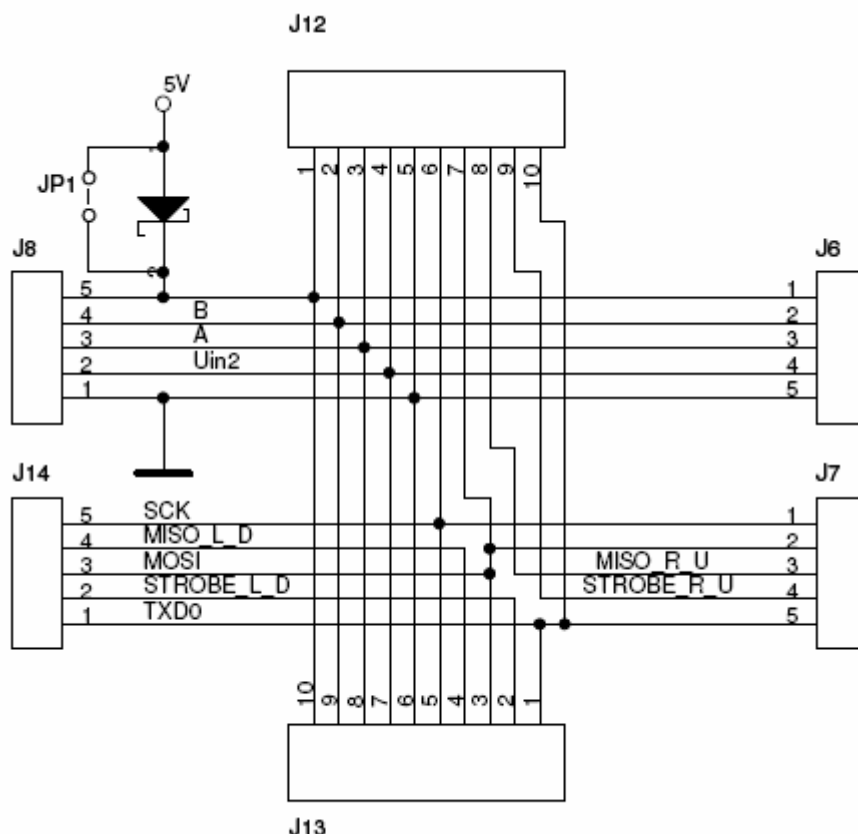


obr. 35: Způsob vzájemného propojení vypínačů

Další výhodou tohoto vzájemného propojení, je rozšiřitelnost o další vypínač bez nutnosti stavebního zásahu. Pokud se uživatel rozhodne vedle stávajících vypínačů přidat další vypínač, nemusí do zdi vestavět novou elektroinstalační kravičku. Ze zadní strany plošného spoje jsou umístěny pouze svorky a napájecí obvody, které lze pomocí těchto propojek využít z vedlejšího

vypínače. Plošný spoj je tedy v takovémto případě ze zadní strany naprosto plochý a dokonale přiléhá ke zdi.

Jelikož se do budoucna uvažuje o tom, že by k vypínačům mohly být tímto způsobem připojeny i jiné moduly, jsou takto rozváděny další signály, díky nimž by se na přídatných modulech mohlo ušetřit například nepoužitím procesoru, nebo napájecích obvodů. Schéma propojení je zjevné z obr. 36.

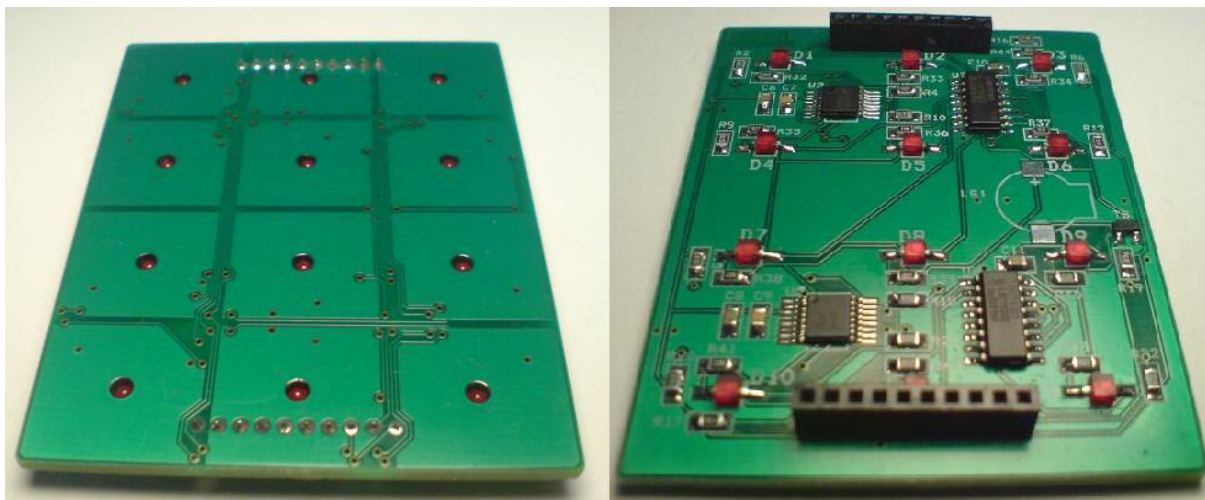


obr. 36: Elektrické řešení propojek vypínačů

Mezi jednotlivé moduly jsou tedy rozváděny komunikační signály sběrnice RS485 označené A a B, signálem U_{in2} napájecí napětí a přes schottkyho diodu napětí 5V. Tato dioda zde slouží jako ochrana, pokud by se na tento vodič připojilo více pěti voltových zdrojů. Pokud by však na konkrétním vypínači nebyl osazen tento zdroj, lze ztráty na diodě odstranit paralelně připojenou propojkou JP1.

Pokud by byla potřeba mezi jednotlivými moduly komunikovat na nižší úrovni, tedy bez použití sběrnice μ LAN, případně by vypínač zpracovával signály od bezprocesorového modulu, lze je přivést pomocí dalších signálů. Těmito signály lze komunikovat pomocí standardu I²C.

8. Inteligentní bezdotyková klávesnice



8.1 Požadované vlastnosti

Jednotka je určena do krabičky výrobce ABB designové řady Element a Time, konkrétně do zaslepovacího krytu, viz obr. 37. Tento kryt bude z vnější strany graficky zobrazovat standardní klávesnici 4x3 obdobné klávesnici mobilních telefonů.



obr. 37: Zaslepovací kryt výrobce ABB

Přiblížením prstu na vzdálenost, která bude jednoznačně identifikovat zvolenou klávesu musí jednotka akusticky, případně i opticky, signalizovat „stisk“ dané klávesy. Jednotlivé klávesy musí být podsvíceny, aby je bylo možné i v noci jednoznačně identifikovat.

Klávesnice slouží jako rozšíření již navrženého modulu, který obsahuje mikroprocesor a zdrojovou část. Na tento modul bude upevněna pomocí dvou propojovacích konektorů. Vyhodnocení kapacitních změn a stisku jednotlivých kláves bude realizováno pomocí integrovaného obvodu MPR084.

8.2 Funkce kapacitního senzoru MPR084

Integrovaný obvod MPR084 vyráběný společností Freescale je určen pro detekci bezdotykového stisku tlačítka malé klávesnice standardního tvaru, viz obr. 38. Pod pojmem bezdotykového stisku tlačítka je myšleno vyhodnocení stisku klávesy s nulovou ovládací silou, klávesa se tedy vůbec nemusí stlačit, stačí se k ní jen přiblížit. Díky tomu mohou být snímací plošky pod pevným krytem, čímž se zajišťuje dlouhá životnost a odolnost klávesnice.



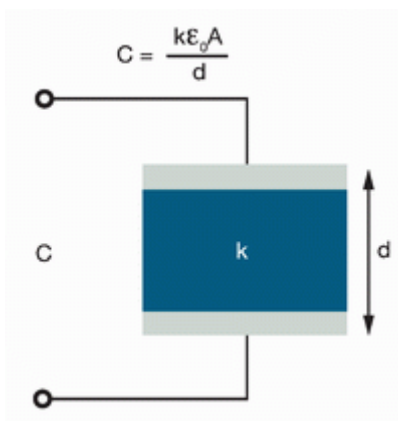
obr. 38: Standardní tvar klávesnice jednoho obvodu MPR084

Obvod analogové snímání a detekci zajišťuje sám. Po vyhodnocení stisku klávesy zašle výsledky připojenému mikrokontroléru pomocí sběrnice I²C a upozorní ho na stisk pomocí přerušovacího signálu IRQ. K vyhodnocení stisku klávesy se stačí ke snímacím ploškám přiblížit jakýmkoliv předmětem a to jak vodivého tak nevodivého charakteru (ruka, tužka, drát, guma...). Obvod dokáže vyhodnocovat vícenásobné stisky klávesy a rozlišit i stisk několika kláves najednou. Režim stisku více kláves je možné softwarově zakázat. Na rozdíl od podobného obvodu MPR083 však není schopen vyhodnocovat přechod mezi jednotlivými ploškami, je tedy nutné mezi jednotlivými stisky oddálit a opět přiblížit předmět (prst).

8.3 Princip kapacitního senzoru MPR084

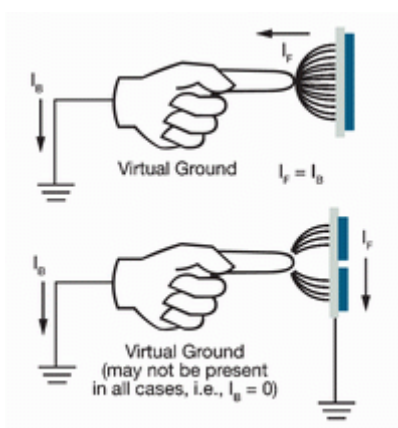
Snímač pracuje na principu změny kapacity a to buď na principu vyhodnocení změny dielektrika, nebo na principu změny vzdálenosti či uspořádání elektrod. Prvním způsobem vyhodnocení změny dielektrika lze detekovat přiblížení se jakéhokoliv nevodivého předmětu, který má odlišnou permeabilitu oproti okolnímu prostředí. K tomuto způsobu snímání je potřeba využít alespoň dvou snímacích elektrod umístěných v přijatelné vzdálenosti.

Pro detekci přiblížení se vodivých předmětů, nebo například i lidského těla, které obsahuje velké množství vody, lze využít jednoelektrodové snímání. Při tomto způsobu detekce se měří změna kapacity mezi elektrodou a zemí v daném prostředí. Přiblíží-li se tedy vodivý předmět k elektrodě dojde ke zmenšení vzdálenosti elektrod a tím ke změně kapacity. V takovémto případě nesmí být zem senzoru galvanicky oddělena od země v daném prostoru.

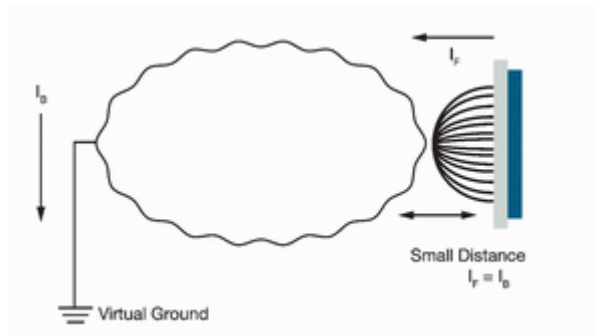


obr. 39: Princip výpočtu kapacity

Při detekci elektricky vodivých materiálů lze využít i víceelektrodového uspořádání. V takovém případě vodivý předmět vytváří další virtuální elektrodu a vzniká několik virtuálních kondenzátorů zapojených paralelně, viz obr. 40. Díky velké citlivosti a odolnosti senzoru proti rušení lze na velmi malé vzdálenosti pomocí jedné elektrody detekovat dokonce i ne 100% izolanty, viz obr. 41.



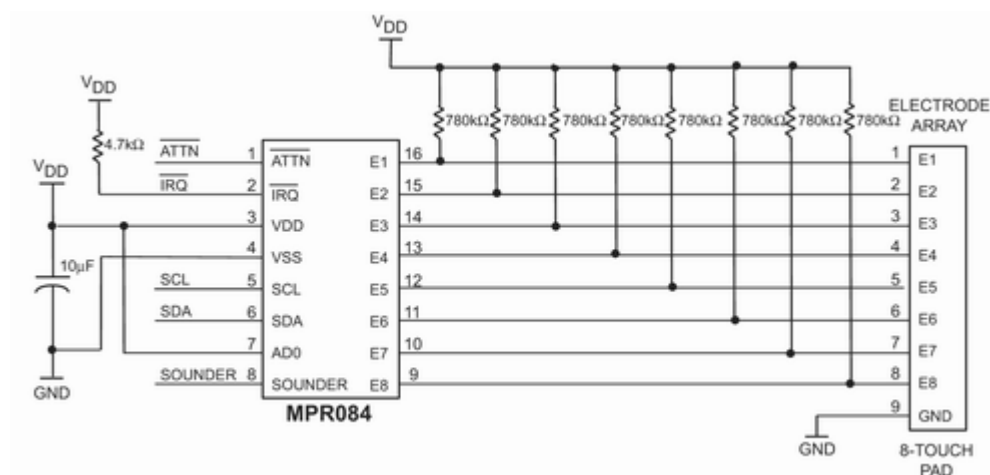
obr. 40: Princip jedno i víceelektrodového uspořádání detekce lidského prstu



obr. 41: Jednoelektrodová detekce ne 100% izolantu

8.4 Struktura a provedení MPR084

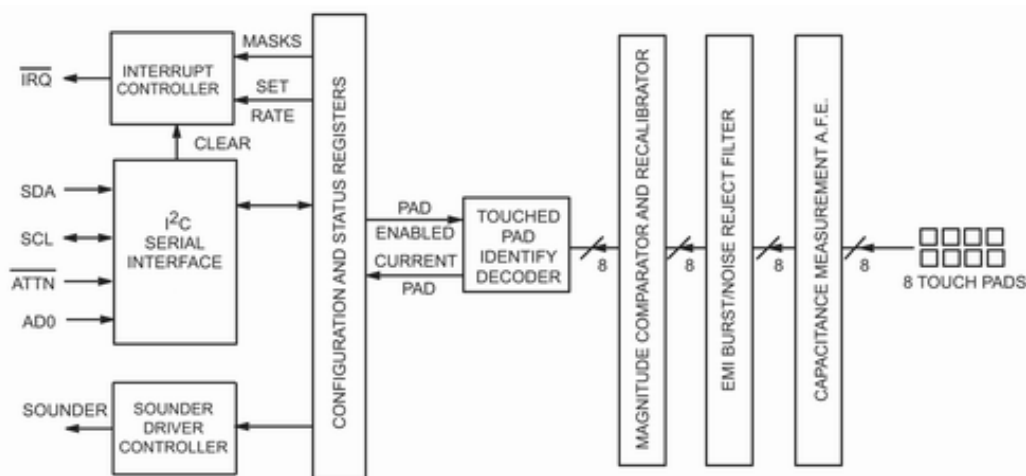
Obvod se vyrábí v šestnácti vývodovém provedení, kde 8 vývodů je určených pro připojení snímacích elektrod. Vlastní elektrodu je možné realizovat rozlévanou mědí různého tvaru na desce plošného spoje, přičemž každá elektroda je přes velký rezistor připojena k napájecímu napětí, viz obr. 42. Těmito rezistory se zavádí stejnosměrná složka, která eliminuje vliv parazitních odporů na vysokofrekvenční signál s malou amplitudou. Vývody pro připojení snímacích elektrod generují měřicí signál a zároveň měří změnu velikosti jeho amplitudy způsobenou změnou kapacity.



obr. 42: Katalogové zapojení MPR084

Pokud je potřeba rozšířit množství kláves z osmi elektrod až na 16, lze na jednu I²C sběrnici připojit až dva tyto obvody. Přičemž jejich adresace je určena vývodem AD0.

Další výhodou obvodu je možnost nastavení citlivosti jednotlivých elektrod (tlačítek). Pomocí sběrnice lze nastavit komparační úroveň pro každou elektrodu samostatně. Princip obvodu je naznačen blokovým schéma na obr. 43.

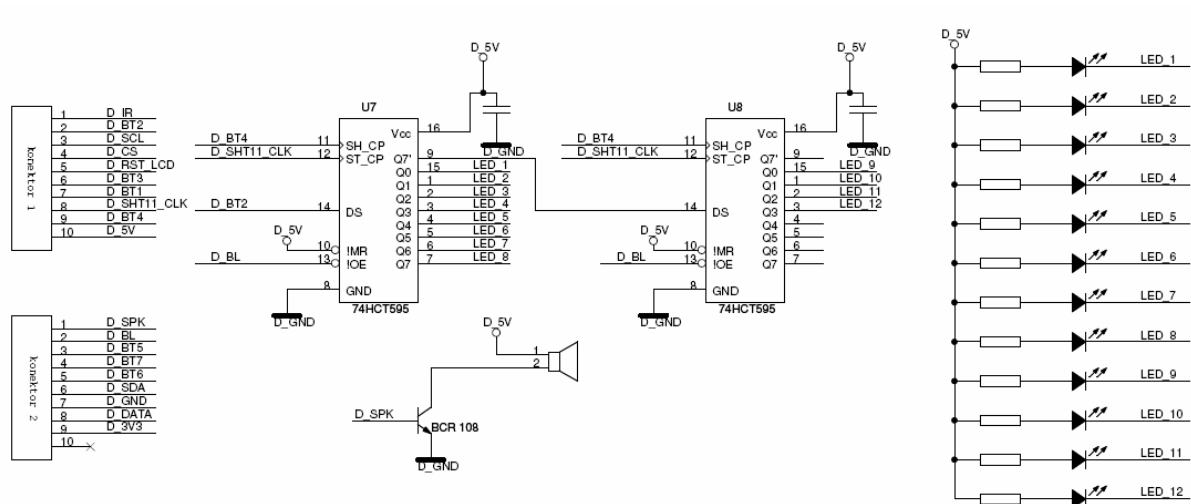


obr. 43: Blokové schéma obvodu MPR084

8.5 Optická signalizace, podsvícení klávesnice

Z důvodu kvalitního podsvícení a jednoznačného rozlišení klávesy ve tmavém prostředí bylo potřeba podsvítit každou klávesu samostatně. Zároveň pro optickou signalizaci stisku dané klávesy, například dočasným blikáním klávesy, bylo potřeba ovládat každou LED diodu samostatně. Tento způsob osvětlení tedy vyžaduje propojení každé diody samostatným vodičem k procesoru, což naráží na spoustu nežádoucích vlastností. V první řadě by došlo k „znehodnocení“ dvanácti vývodů procesoru. Avšak zásadnější problém vznikl díky tomu, že na jednotce není vlastní procesor umístěn. K řízení se mělo využít procesoru na již navrženém modulu, jež pro takovouto možnost ovládání nebyl navržen.

Přenos informace mezi procesorem a klávesnicí tedy nebylo možné realizovat paralelním spojením, nýbrž sériovým, viz obr. 44. K tomuto účelu byl využit sérioparalelní posuvný registr 74HCT595, který má dostatečně dimenzované výstupní obvody, aby dokázaly proudově napájet všechny LED diody. Další výhodou tohoto obvodu je možnost na vstupu jednoznačně identifikovat signál 3,3 voltové úrovně při napájení obvodu 5-ti volty. Zdroj napětí 3,3 voltů totiž není na stávajícím modulu dimenzován na proudový odběr 12-ti LED diod. K regulaci jasu podsvícení je zároveň možné využít PWM signálu přivedeného na vstupní pin OE posuvného registru.



obr. 44: Princip ovládání podsvícení klávesnice

Další z možných signalizací stisku klávesy je akustická signalizace pomocí speakeru. Tento speaker bylo možné řídit buď přímo od kapacitních senzorů, jež k těmto účelům mají určený výstup, nebo pomocí procesoru, případně jak od procesoru tak od MPR084. Jelikož však o stisku klávesy bude vždy procesor informován a pro případ, že by uživatel chtěl akustickou signalizaci vypnout. Byla zvolena možnost ovládání speakeru pouze od mikrokontroléru přes digitální tranzistor.

9. Firmware pro mikrokontroléry

9.1 Obecné pojednání

Firmware mikrokontroléru je napsaný v nízkoúrovňovém jazyce C, neboť již struktura architektury ARM je navržena přímo pro programování v jazyce C. Zdrojový kód je psaný podle oficiálního standardu ANSI C z roku 1990.

Jak již bylo zmíněno, tato diplomová práce je součástí rozsáhlého systému, na jehož vývoji se účastní velké množství lidí v rámci Katedry Řídící techniky Českého vysokého učení technického, a to nejen v oblasti hardwarové, ale především v oblasti softwaru. Hlavním cílem této práce byla tvorba hardwarových komponent, kde vlastní software má účel spíše prezentačního charakteru. Díky dlouholeté práci programátorů, bylo možné v rámci tohoto projektu využít již velké množství kvalitně propracovaných knihoven. Vlastní firmware se tedy v podstatě skládá z propojení hotových knihoven, převzatých při dodržení licenčních podmínek od společnosti PiKRON Ltd., jejímiž autory jsou Ing. Pavel Píša a Ing. Petr Smolík, s dalšími knihovnami autora Ing. Pavla Němečka. Ing. Pavel Píša je zároveň autorem komunikačního standardu tzv. objektového slovníku, který specifikuje způsob výměny dat mezi jednotlivými moduly na sběrnici.

Výsledkem tohoto projektu byly čtyři funkční moduly, přičemž kromě inteligentní bezdotykové klávesnice, která se připojuje k jinému již hotovému modulu, bylo potřeba vytvořit firmware do všech modulů. Všechny tři prvky Inteligentní vypínač, Miniaturní modul vstupů a Miniaturní modul výstupu mají velkou část firmwaru společnou, liší se převážně v hlavním bloku programu a to pouze drobnými odchylkami, proto bude firmware popsán společně.

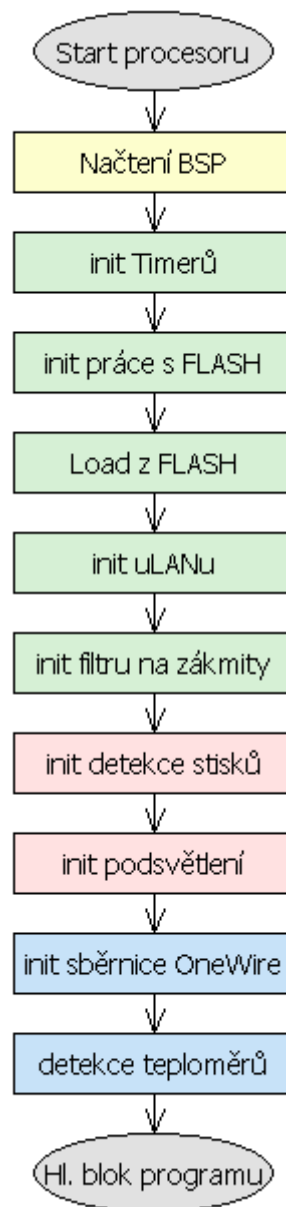
9.2 Inicializace programu

Každý procesor se po zapnutí musí nejdříve inicializovat do počátečního stavu. Tedy dříve, než procesor cokoli začne provádět, musí projít poměrně dlouhou a složitou procedurou nastavování registrů a proměnných. Jsou-li v jakémkoli programu používány nějaké knihovny, typicky minimálně tyto knihovny musí projít inicializací, ve které si nastavují své pracovní proměnné.

U kvalitně napsaných programů vznikla myšlenka vytvářet co možná nejobecněji napsaný kód, který by byl snadno přenositelný na jiný procesor, případně i jinou desku plošných spojů. Problém byl vyřešen pomocí tzv. BSP (Board Support Package) jedná se v podstatě o množství inicializačních souborů, které vytváří jednotné programové prostředí pro různá zařízení, například převádí konkrétní adresy nastavovacích registrů procesoru na přesně definovaná symbolická jména. Hlavním úkolem BSP je však inicializace základních částí zařízení, jako je inicializace procesoru, sběrnic, přerušovacího systému, obvodu hodin, nastavení RAM, atd. Po startu procesoru se tedy BSP musí spustit jako první, až poté může dojít k inicializaci uživatelských periférií a následnému spuštění hlavního bloku programu.

Průběh počáteční inicializací je znázorněn na obr. 45. Jednotlivé knihovny budou vysvětleny dále. Inicializace detekce stisků a podsvícení probíhají pouze u inteligentního vypínače, naopak inicializace sběrnice OneWire a detekce teploměrů neprobíhá u miniaturního modulu výstupů.

Při načítání z FLASH dochází k přečtení komunikační adresy modulu na sběrnici μ LAN, sériového čísla zařízení a vlastního nastavení zařízení. Dále při inicializaci μ LANu se nejprve inicializuje vlastní driver, nastaví se komunikační adresa dříve přečtená z FLASH, nastaví se identifikační řetězec, nastaví se filtr, které zprávy budou přijímány, nastaví se objektový interface a služba dynamické adresace.



obr. 45: Vývojový diagram Inicializační části programu

9.3 Hlavní blok programu



obr. 46: Vývojový diagram Hlavní smyčky programu

Nejvýznamnější částí je hlavní smyčka obr. 46 prováděná v nekonečném cyklu. Na začátku se načtou všechny vstupy, u inteligentní klávesnice jsou to stavy čtyř mikrospínačů, u miniaturní jednotky vstupů čtyři logické vstupy a u miniaturní jednotky výstupů jeden logický vstup. Pomocí knihovny Debounce se vyhodnotí, zda nedošlo pouze k nežádoucím zákmitům, viz použité knihovny dále. Pokud miniaturní moduly vyhodnotí změnu stavu, tedy přechod z nuly do jedné, či naopak zareagují na tuto akci podle nastavení objektového slovníku. U inteligentního vypínače musí ještě dojít k vyhodnocení stisku pomocí knihovny SdgKbd, která rozhodne, zda došlo ke krátkému, dlouhému, nebo dvojitému stisku. Přečtení teploty, pokud je připojený teplotní senzor se netýká miniaturního modulu výstupu.

V bloku Reakce na stisk, jak již bylo zmíněno, dochází při stisku (změně stavu) k akci dle objektového slovníku. Tento slovník je v podstatě tabulka vnitřních registrů jednotlivých modulů, kde je zaznamenáno co se má v případě

konkrétní události odeslat na sběrnici. Například, dojde-li u vypínače ke krátkému stisku mikrospínače 1, odešli příkaz „Nastavení výstupu do aktivního stavu“ na μ LAN adresu zařízení 41 (Akční člen) do OID 211. V bloku Reakce na stisk u inteligentního vypínače dále může být naprogramována změna barvy podsvícení při stisku klávesy, nebo krátké pípnutí.

V následující části všechny moduly kontrolují, zda není v bufferu μ LANu zapsána příchozí zpráva. Pokud tomu tak je, procesor jí vybere a zjišťuje, o jaký typ zprávy se jedná. Jde-li o zprávu pro objektový slovník, uloží tyto informace do slovníku, jde-li o zprávu dynamické adresace, změní si modul svou adresu v rámci sběrnice na μ LANu. Jedná-li se však o zprávu jiného typu, které ani jeden ze zmíněných modulů nezpracovává, přečtená zpráva se zahodí a uvolní se místo v bufferu pro další nové zprávy.

V poslední části hlavní blok programu vynuluje WatchDog a celý cyklus se opakuje. Princip WatchDogu byl vysvětlen v teoretické části „Seznámení s mikrokontroléry ARM“.

9.4 Přerušení programu

Miniaturní moduly používají dva zdroje přerušení od UARTu a časovače 1, zatímco inteligentní vypínač má navíc přerušení od časovače 2 pro generování PWM signálu do podsvětlovacích LED diod, pomocí něhož se generuje barva a jas podsvícení. Díky barevné nezávislosti horní a dolní části podsvícení vypínače nebylo možné využít hardwarové PWM generátory pro jejich nedostatečné množství. Tyto signály jsou tedy generovány softwarovým řešením s využitím časovače 2. Díky tomu je umožněno využít různé scénáře pro podsvětlení, např. indikace stisku změnou barvy, indikace aktuálního stavu ovládaného spotřebiče, změna jasu při setmění, navození zvolené atmosféry bytu. Právě pro vysokou frekvenci 10kHz generovaného signálu nebylo možné využít funkce časovače 1, viz níže.

Inicializace přerušení od časovače 1 je provedena už v BSP, díky jeho všeobecnému použití v rámci jednotlivých knihoven. V obsluze přerušení je každou 1ms inkrementována proměnná `sys_timer_ticks`. Hodnoty této proměnné využívají mnohé knihovny a určují tak systémový čas, po který se nedostaly „ke slovu“. Jedná-li se o relativně pomalé časově nekritické události, mohou být tímto způsobem přesně řízeny, i když jejich obsluha probíhá například v rámci hlavní smyčky.

Přerušení od UARTu nastává vždy při odeslání či přijetí nějakého znaku po sběrnici μ LAN. V rámci tohoto přerušení je řízena veškerá komunikace po sběrnici. A to od přijetí znaku přes kontrolní součty znaku, zjišťování chyb na sběrnici, až po detekci volné sběrnice a zahájení vysílání. Prakticky je celá tato část vyřešena v rámci knihovny μ LAN.

9.5 Použité knihovny

μ LAN: Autorem této knihovny je Ing. Pavel Píša a Ing. Petr Smolík. Zdrojové kódy jsou volně přístupné na internetu. Knihovna se stará o komunikaci po sběrnici μ LAN za dodržení předepsaného standardu. Zajišťuje veškerou komunikaci, kdy jejím výstupem jsou přijaté a potvrzené zprávy a vstupem odesílané zprávy. K přesnému časování nevyužívá dalšího časovače, nýbrž odvozuje čas od odeslání jednoho znaku. V době kdy na sběrnici nevysílá žádné zařízení, pomáhá si vysláním prázdného znaku, jež ovšem nepouští přes budič ven na sběrnici. Bližší informace viz [8].

Keyval: Autorem této knihovny je opět Ing. Pavel Píša. Knihovna umožňuje efektivní práci s FLASH pamětí, do které se zapisují data ve tvaru klíč/hodnota. U paměti FLASH je všeobecně známo, že ji lze mazat pouze po blocích (větší úseky paměti), kdy počet smazání jednoho bloku je limitován. Knihovna tedy do bloku v paměti zapisuje hodnoty postupně odspodu, je-li potřeba nahradit starou hodnotu za novou, nová hodnota se zapíše na konec volného prostoru, dále se uloží kontrolní součet, ověří se zápis a posléze se teprve zneplatní stará zapsaná hodnota. Tímto způsobem je provedena ochrana při náhlém výpadku napájení. Teprve jsou-li všechny vyhrazené bloky určené pro zápis zaplněny, dojde k vymazání nejstaršího bloku.

OnewireDRv + DS18B20: Autorem knihovny je Ing. Pavel Němeček. Knihovna je určena pro komunikaci po sběrnici Dallas Onewire, konkrétně pro teplotní čidlo DS18B20. Podporuje automatickou detekci i několika čidel na sběrnici podle jejich unikátního 64bitového sériového čísla a práci s nimi.

Debounce: Autorem je opět Ing. Pavel Němeček. Knihovna je určena pro ošetření záskmitů na vstupech. Volání knihovny se provádí v hlavním bloku programu, ke své funkci však potřebuje využívat inkrementující proměnnou `sys_timer_ticks` z obsluhy přerušení časovače 1. Volané funkci lze říct, po jaké době má vyhodnocovat náběžnou hranu za regulérní, stejně jako dobu určující regulérní sestupnou hranu vstupního signálu. Tato doba musí být několikanásobně větší, než je 1ms interval časovače 1. A zároveň během této doby musí dojít k dostatečnému navzorkování vstupní hodnoty.

SkgKbd: Autorem této knihovny je opět Ing. Pavel Němeček. Knihovna je určena pro obsluhu klávesnice, jejím úkolem je rozlišit krátké stisky, dlouhé stisky, dojité stisky a kombinace stisku kláves.

10. Závěr

V rámci práce byly vytvořeny čtyři moduly pro domácí automatizaci. Hlavním úkolem bylo navrhnout schéma zapojení, vybrat vhodné součástky, které vyhovovaly nárokům na jednotlivé aplikace při snadné dostupnosti a nízkých nákladech, a navrhnout plošné spoje, které byly následně osazeny součástkami a otestovány. V poslední řadě byl napsán prezentační firmware do jednotlivých modulů. Napsání firmware však již nebylo hlavním úkolem této práce, proto se na jeho vytváření podílel i vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Němeček.

Miniaturní moduly vstupů a výstupů byly kompletně dokončeny přesně podle zadání této práce. Výsledkem tedy jsou dva zcela funkční moduly. Zadání inteligentního vypínače s integrovaným radarovým čidlem pohybu bylo posléze upraveno. Při bližší specifikaci zadání bylo zjištěno, že je jednotka mechanicky nerealizovatelná, bylo tedy upuštěno od radarového senzoru pohybu. Vypínač však byl doplněn alternativními funkcemi. Inteligentní vypínač s upraveným zadáním se tedy také podařilo navrhnout, vyrobit a oživit.

Poslední částí této práce byl návrh a výroba inteligentní bezdotykové klávesnice. Zde bylo opět podle zadání vytvořeno schéma zapojení a plošný spoj, který byl následně osazen elektronickými součástkami. Tento modul však není schopen samostatné činnosti, je určen pro připojení k jinému modulu, který v době dokončení této práce nebyl hotový. Modul je tedy zcela dokončen a otestován po elektrické stránce, v současné době není ovšem možné prezentovat jeho činnost.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ZÁHLAVA, Vít. *OrCAD 10*. První vydání. Praha: Grada, 2004. 224 stran. ISBN 80-247-0904-X
- [2] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. První vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2009. 195 stran. ISBN 976-80-7300-246-6
- [3] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C – 1. díl*. Čtvrté přepracované vydání. České Budějovice: KOPP nakladatelství, 2007. 271 stran. ISBN 80-7232-220-6
- [4] KOCOUREK, Petr. *Přenos informace*. Druhé upravené vydání. Praha: ČVUT, 1999. 241 stran. ISBN 80-01-01978-0
- [5] STAĚK, Jan. *RS 485 & 422* [online]. c1998, poslední revize 15.1.1998 [cit.2009-05-02]. Dostupné z: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART821-RS-485-422.html>>.
- [6] PROUCHA, Pavel. *Přenos dat po linkách RS485 a RS422* [online]. c1999, poslední revize 25.8.1999 [cit.2009-05-02]. Dostupné z: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART705-Prenos-dat-po-linkach-RS485-a-RS422.html>>.
- [7] *MC34063A development aid* [online]. [cit.2009-05-02] Dostupné z: <<http://www.nomad.ee/micros/mc34063a/index.shtml>>.
- [8] PÍŠA, Pavel. *ul_drv - uLan RS-485 Communication Driver* [online]. c2005 [cit.2009-05-02]. Dostupné z: <<http://ulan.sourceforge.net/index.php?page=3>>.

Přílohy

Příloha A

Miniaturní jednotka vstupů:

Schéma zapojení
Horní vrstva plošného spoje
Spodní vrstva plošného spoje
Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje
Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje

Miniaturní jednotka výstupu:

Schéma zapojení
Horní vrstva plošného spoje
Spodní vrstva plošného spoje
Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje
Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje

Inteligentní bezdotyková klávesnice:

Schéma zapojení
Horní vrstva plošného spoje
Spodní vrstva plošného spoje
Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje

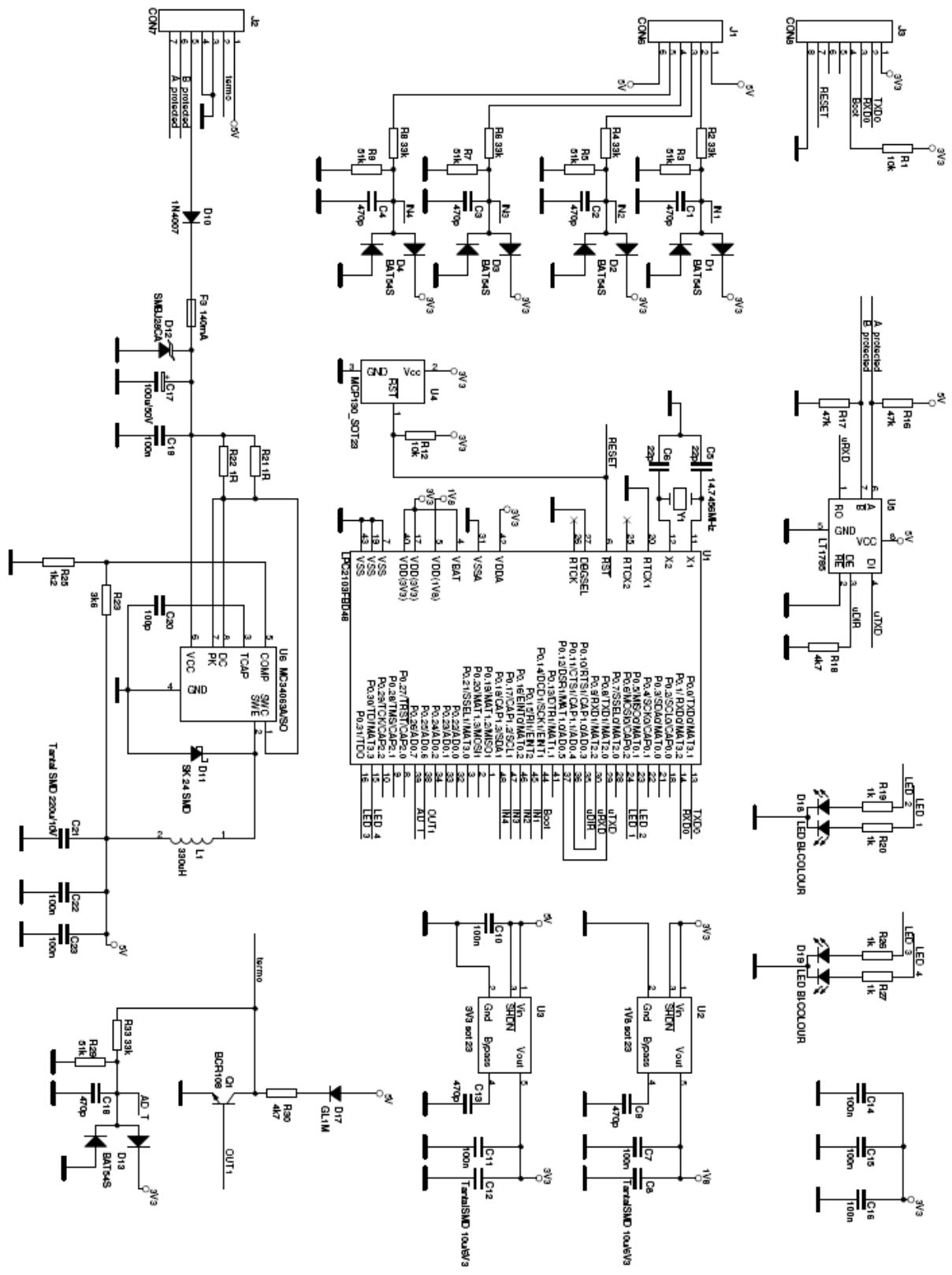
Inteligentní vypínač:

Schéma zapojení
Horní vrstva plošného spoje
Spodní vrstva plošného spoje
Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje
Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje

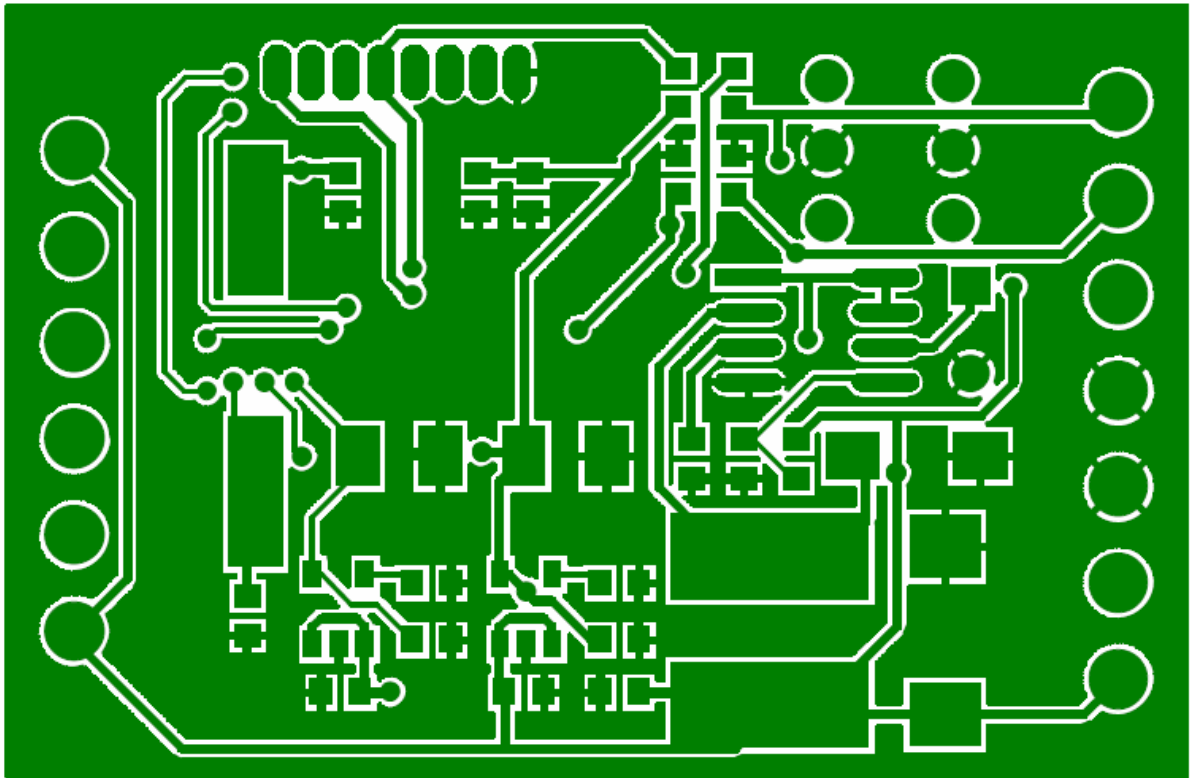
Příloha B

Přiložené CD

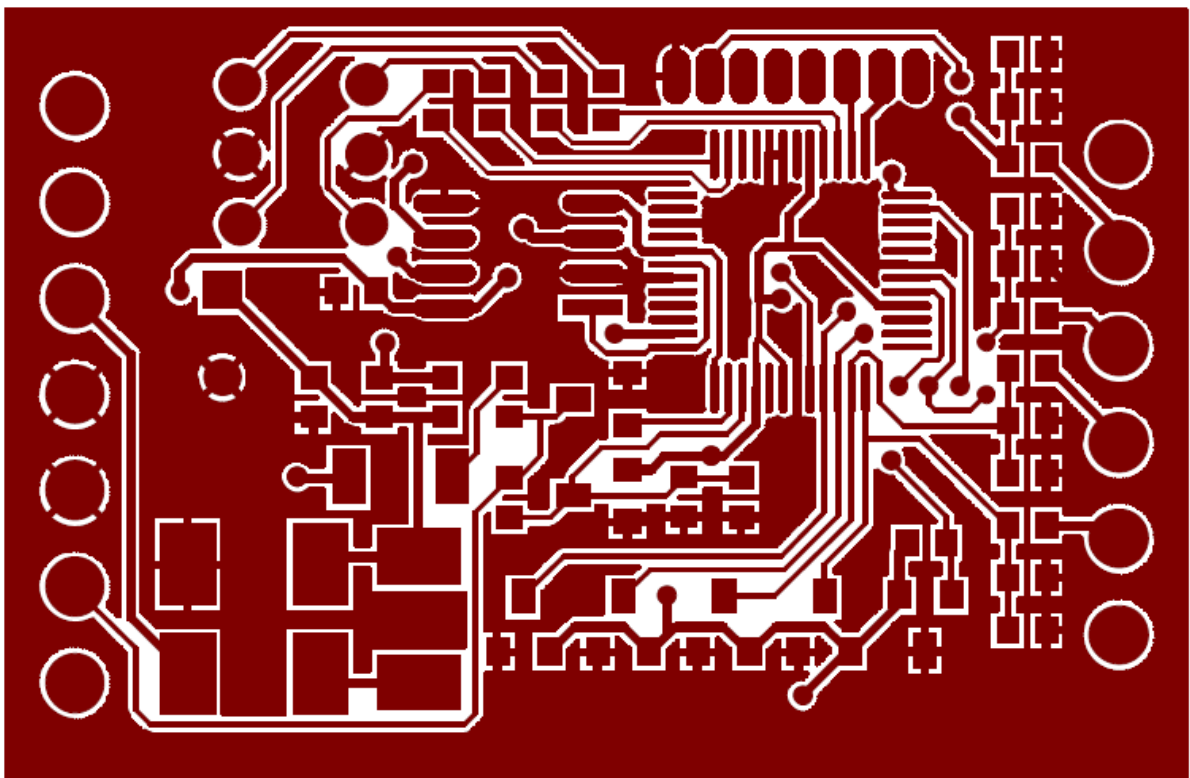
- text diplomové práce v PDF
- schéma zapojení + plošný spoj v programu OrCAD
- schéma zapojení ve formátu PDF
- nákres spodní a horní vrstvy plošného spoje a rozmístění součástek v PDF
- zdrojový kód v programovacím jazyku C
- technické listy použitých součástek
- fotky prototypů



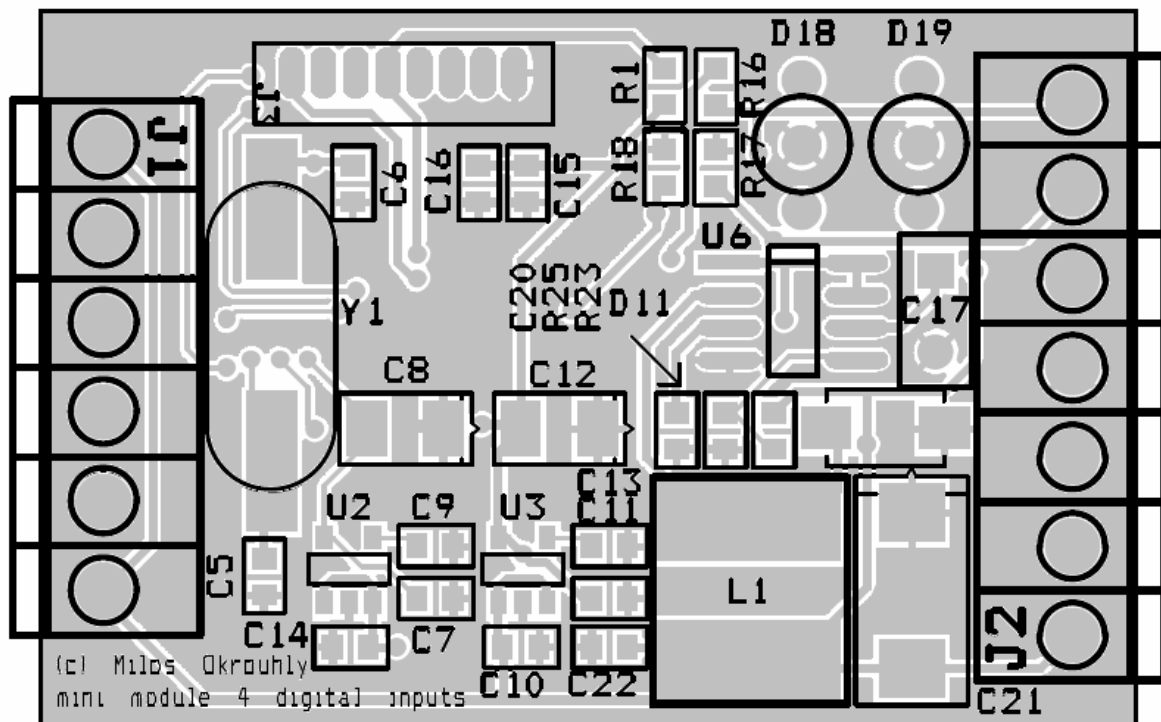
obr. 1: Miniaturní jednotka vstupů – Schéma zapojení



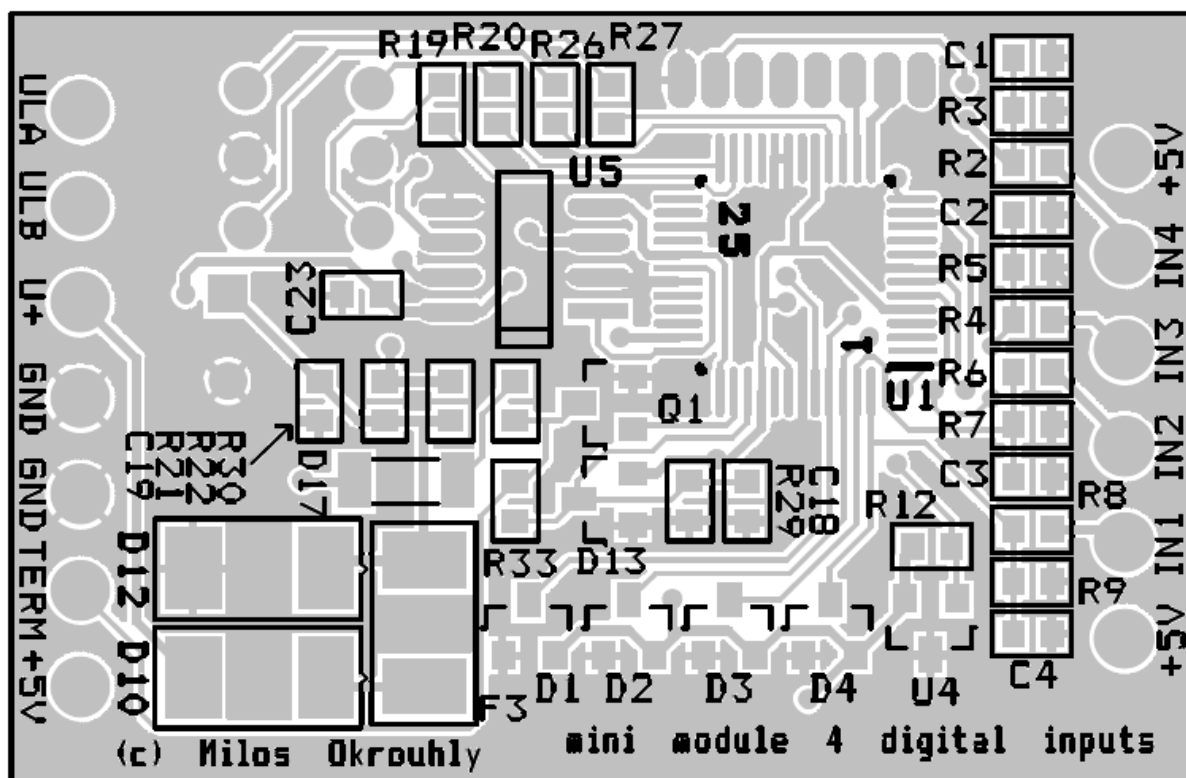
obr. 2: Miniaturní jednotka vstupů – Horní vrstva plošného spoje



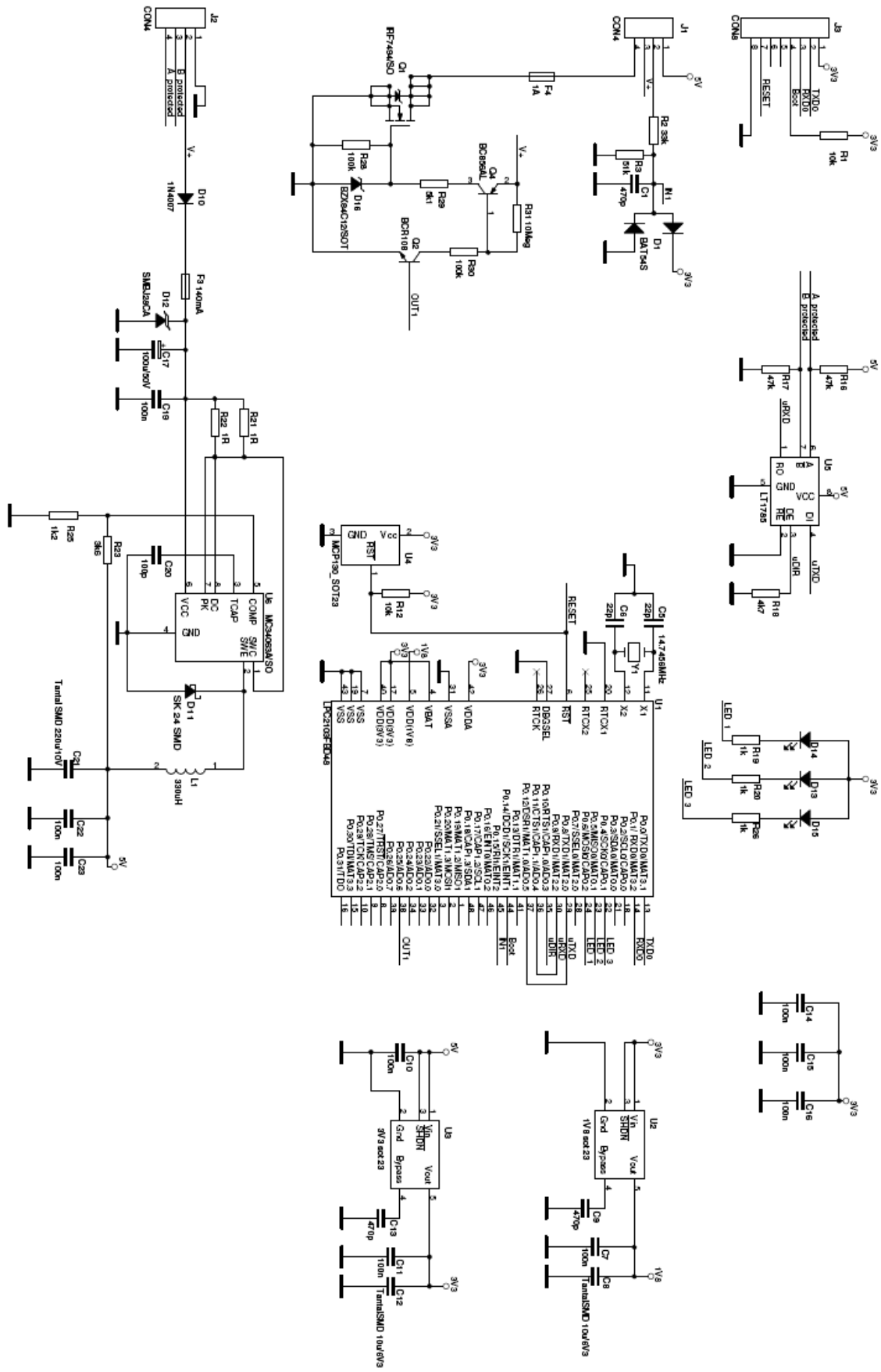
obr. 3: Miniaturní jednotka vstupů – Spodní vrstva plošného spoje



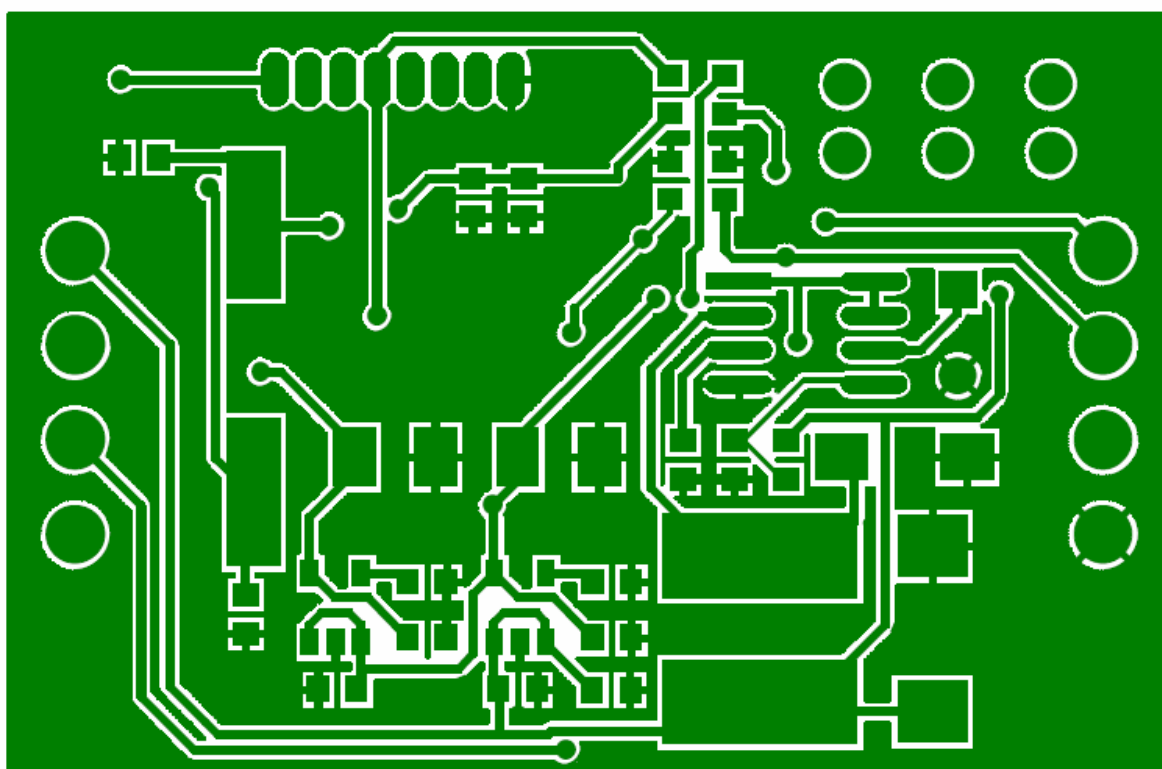
obr. 4: Miniaturní jednotka vstupů - Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje



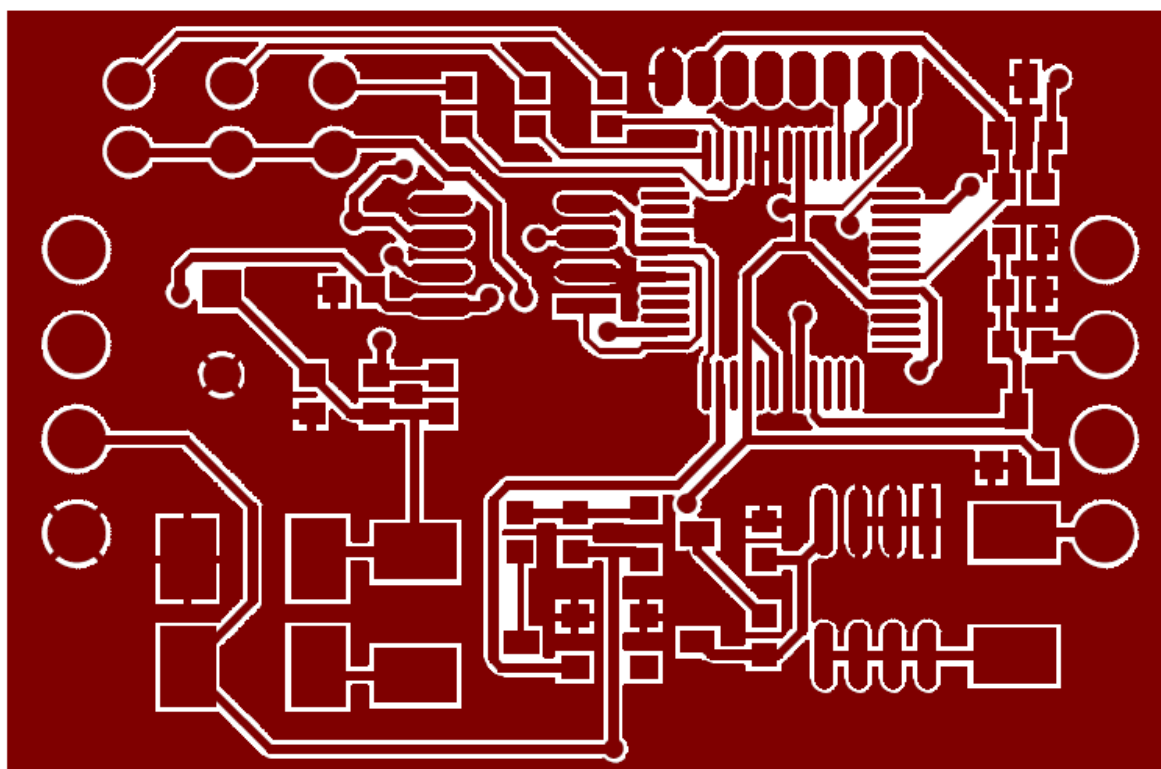
obr. 5: Miniaturní jednotka vstupů - Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje



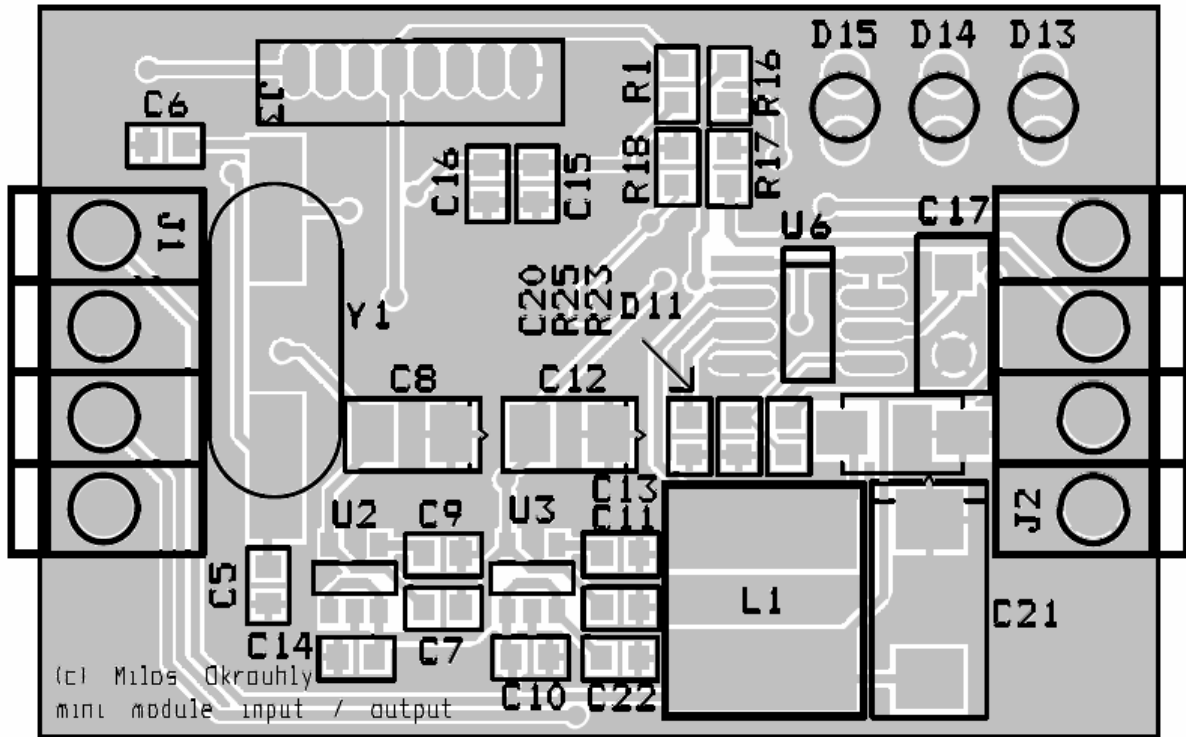
obr. 6: Miniaturní jednotka výstupu – Schéma zapojení



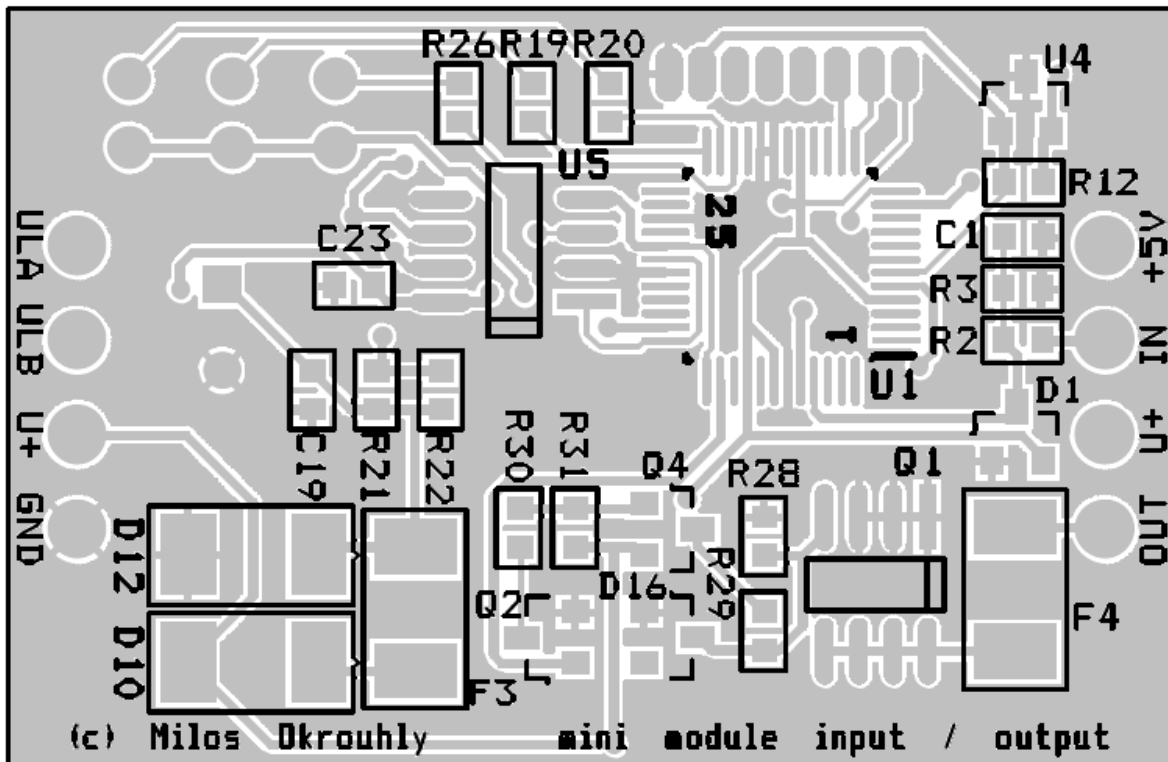
obr. 7: Miniaturní jednotka výstupu – Horní vrstva plošného spoje



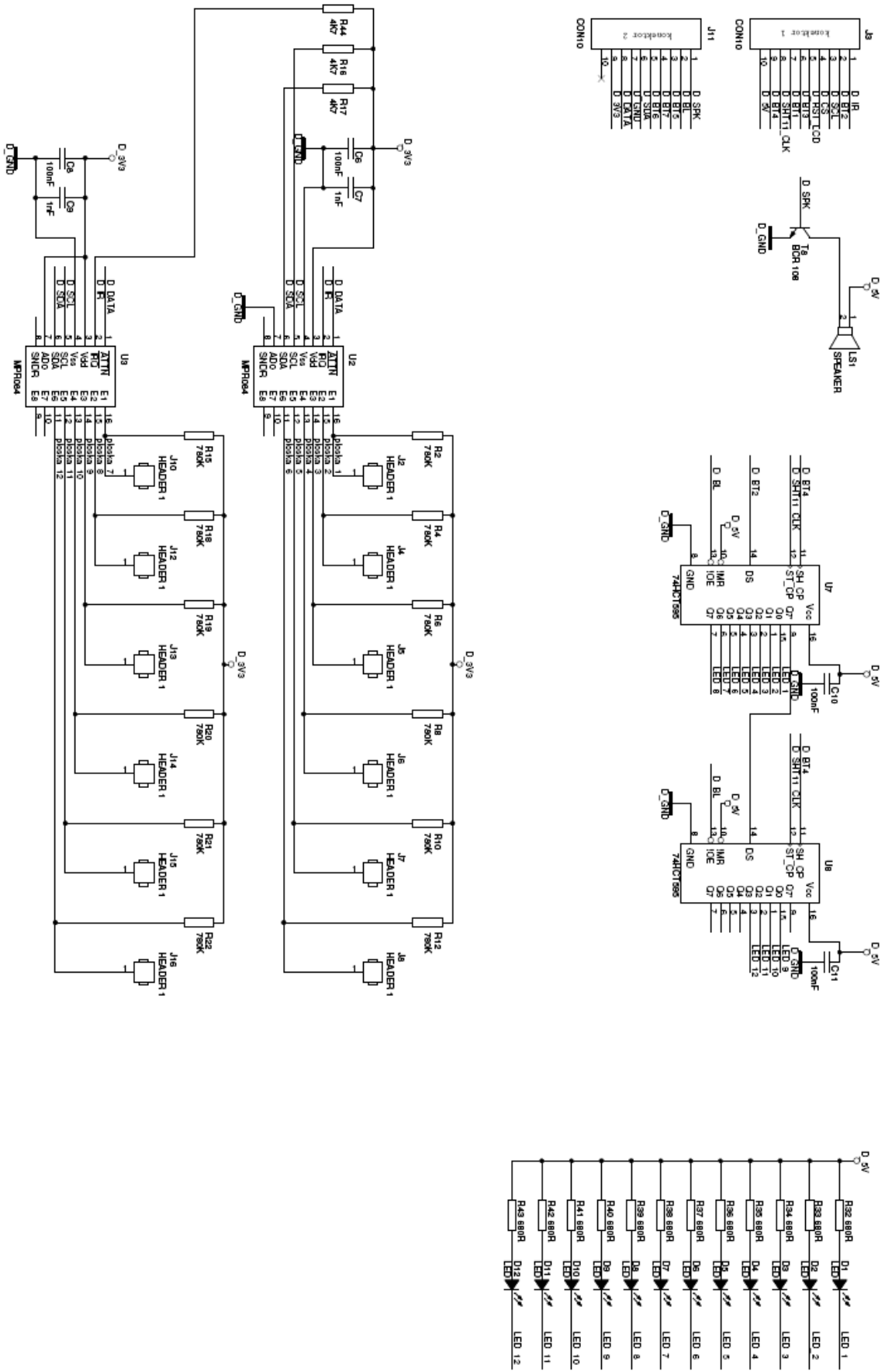
obr. 8: Miniaturní jednotka výstupu – Spodní vrstva plošného spoje



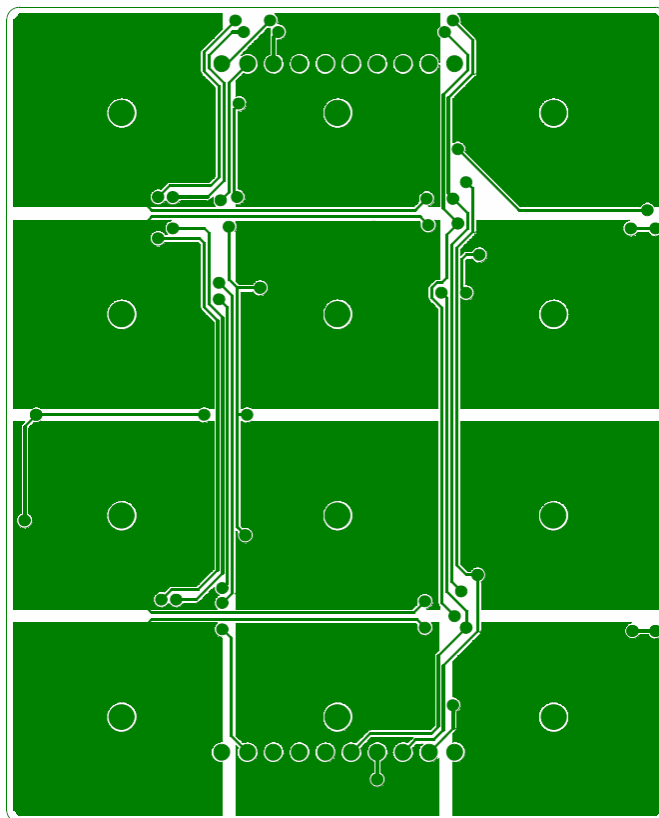
obr. 9: Miniaturní jednotka výstupu – Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje



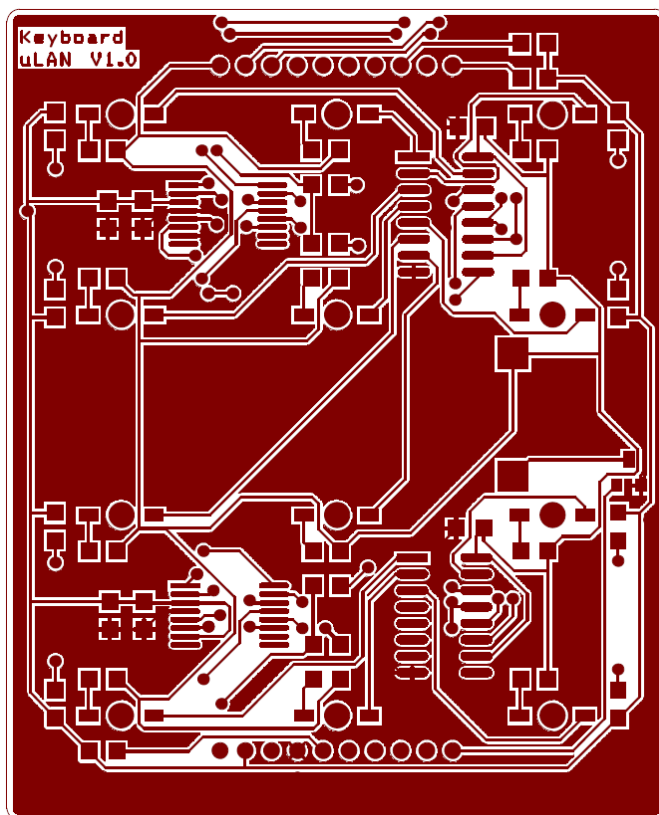
obr. 10: Miniaturní jednotka výstupu – Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje



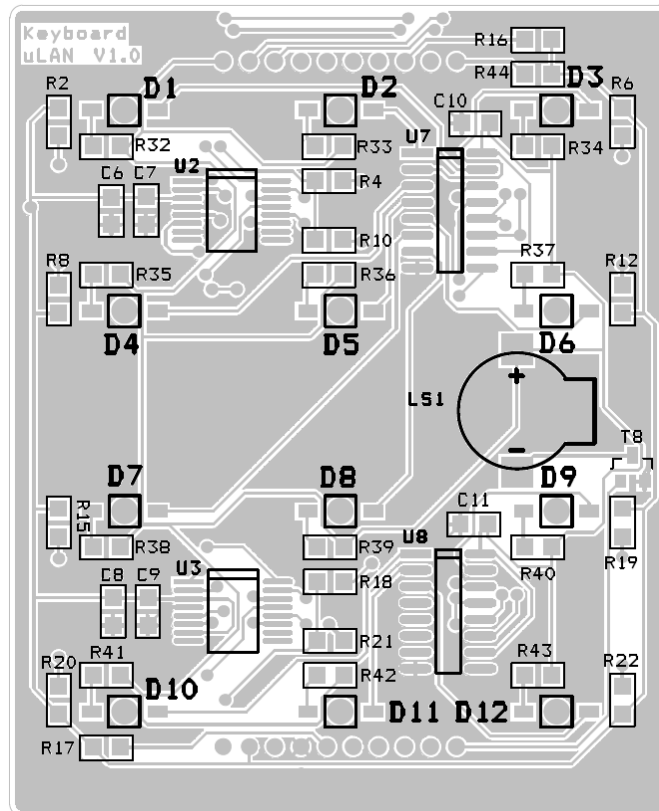
obr. 11: Inteligentní bezdotyková klávesnice – Schéma zapojení



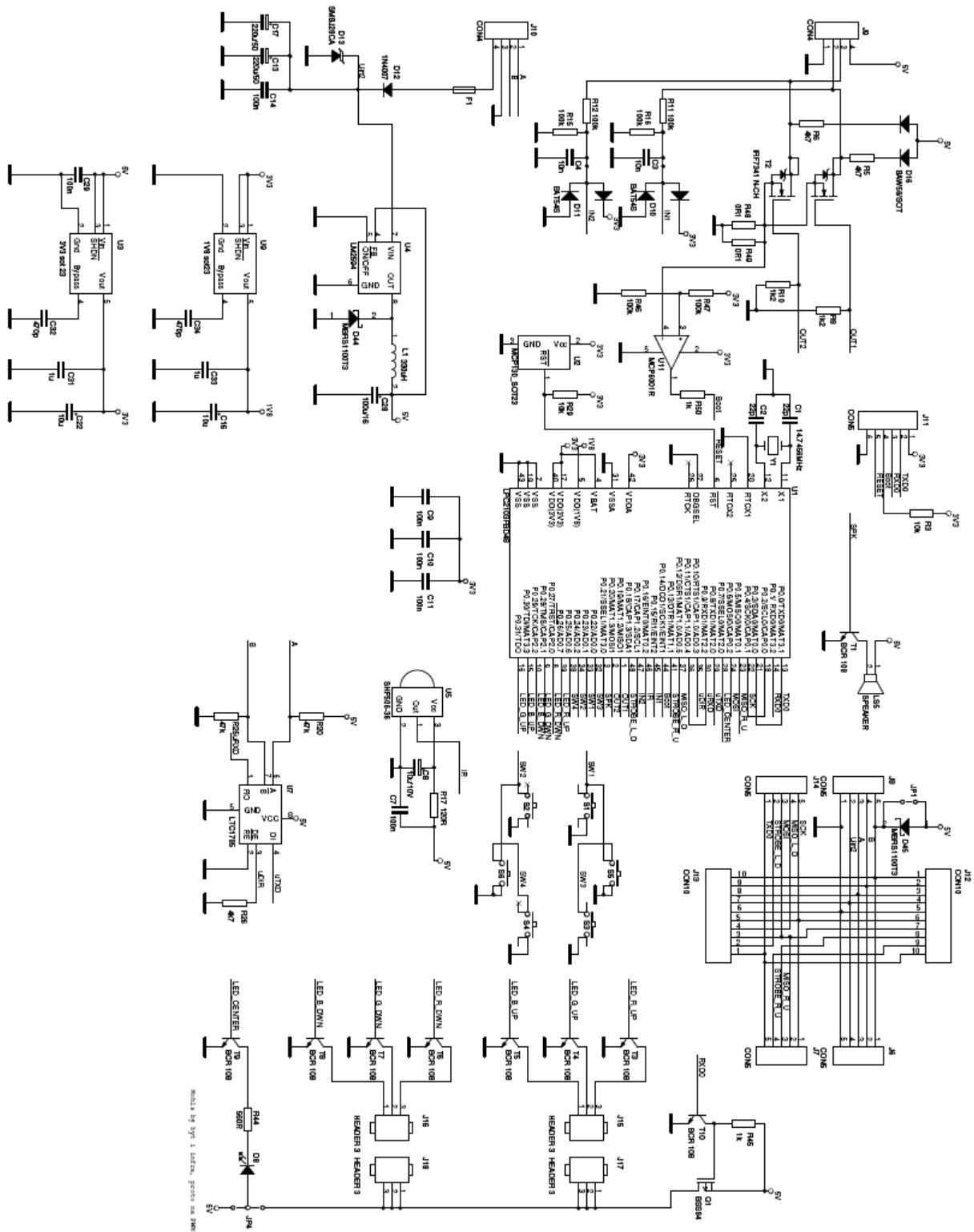
obr. 12: Inteligentní bezdotyková klávesnice – Horní vrstva plošného spoje



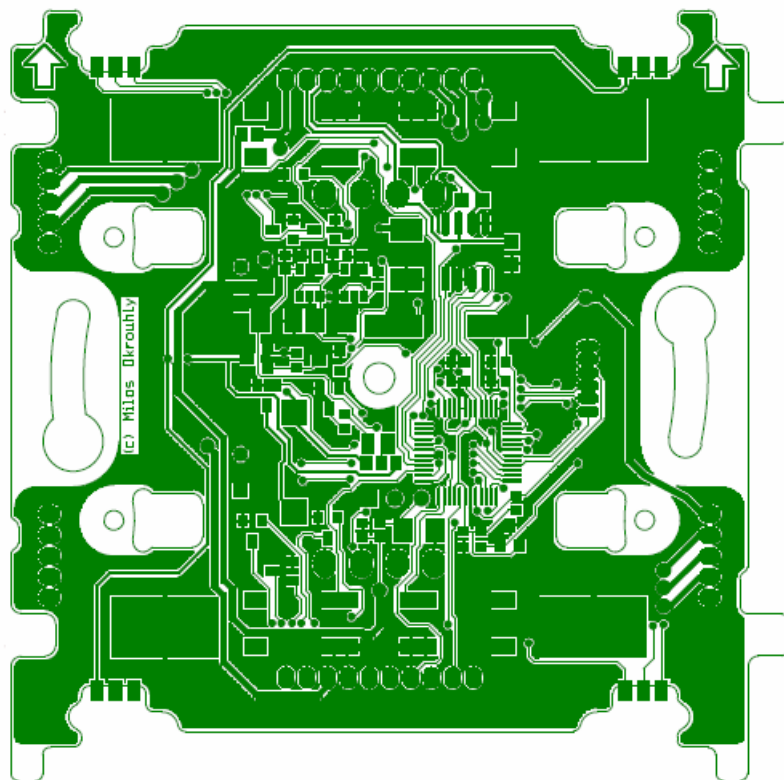
obr. 13: Inteligentní bezdotyková klávesnice – Spodní vrstva plošného spoje



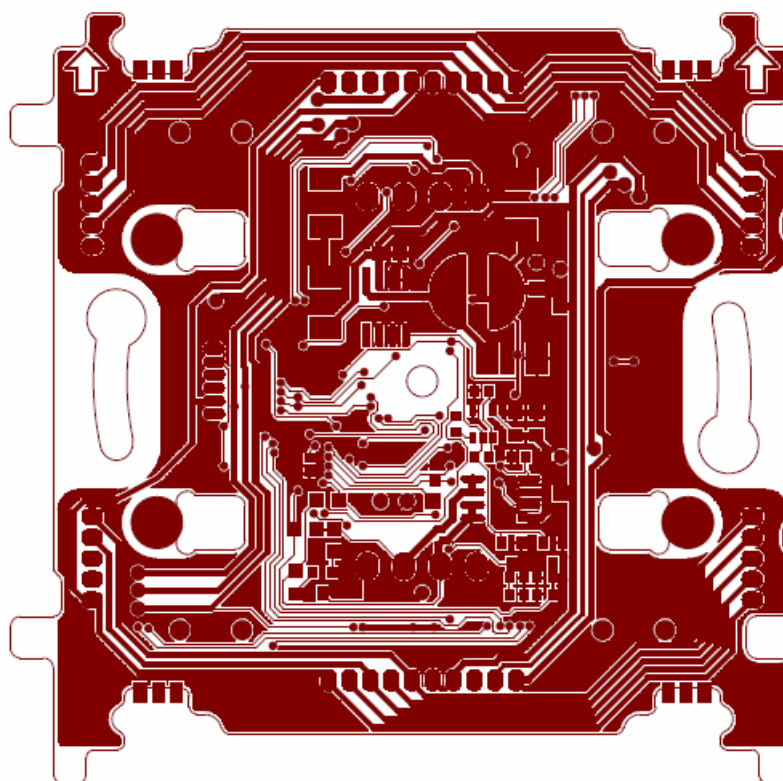
obr. 14: Inteligentní bezdotyková klávesnice – Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje



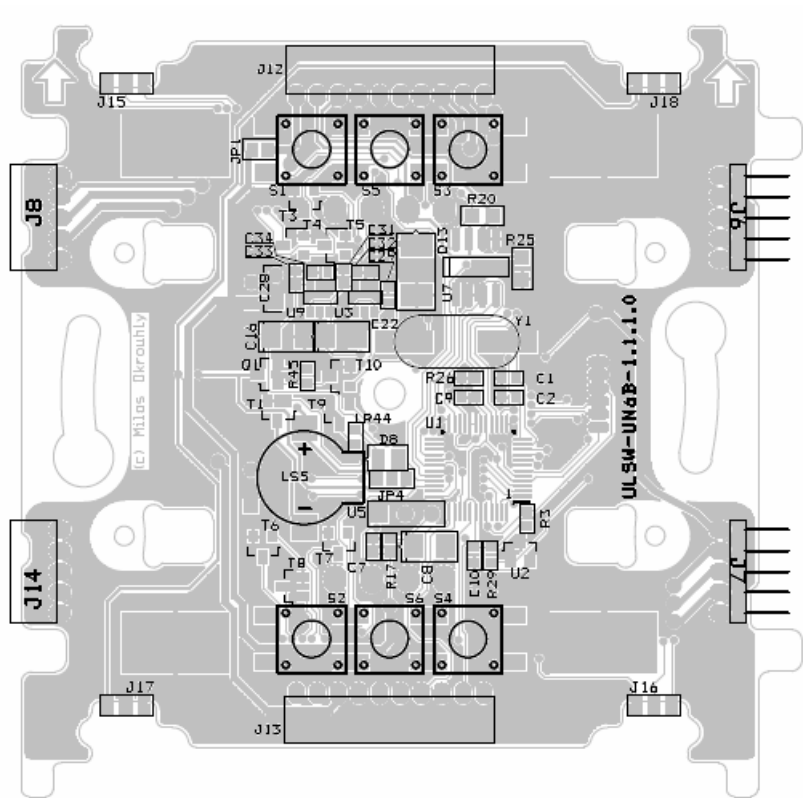
obr. 15: Inteligentní vypínač – Schéma zapojení



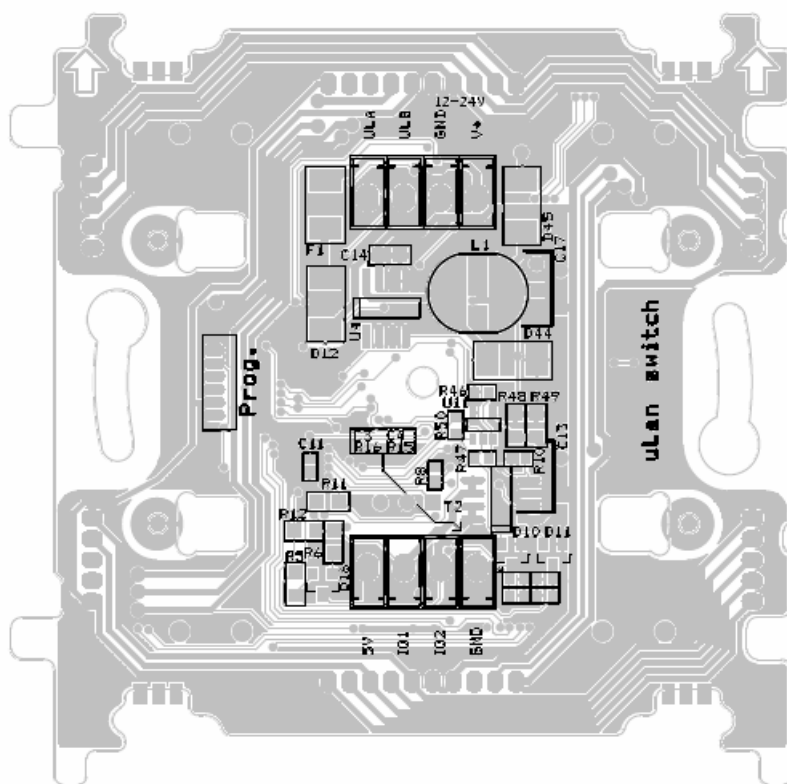
obr. 16: Inteligentní vypínač – Horní vrstva plošného spoje



obr. 17: Inteligentní vypínač – Spodní vrstva plošného spoje



obr. 18: Inteligentní vypínač – Rozmístění součástek na horní vrstvě plošného spoje



obr. 19: Inteligentní vypínač – Rozmístění součástek na spodní vrstvě plošného spoje