

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

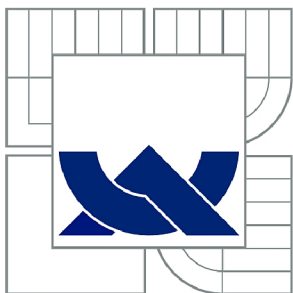
SENZORICKÁ SÍŤ PO SILOVÝCH ROZVODECH

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

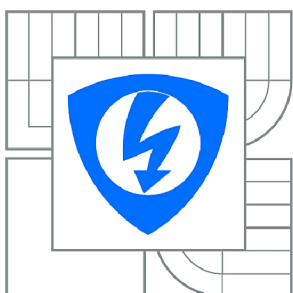
Bc. MARTIN PLACHÝ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SENZORICKÁ SÍŤ PO SILOVÝCH ROZVODECH

SENSOR NETWORK OVER POWER LINE SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN PLACHÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ GÖTTHANS

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Martin Plachý

ID: 132190

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Senzorická síť po silových rozvodech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s základními principy a systémy sensorických sítí po silových rozvodech. Navrhněte možné realizace, analogové části ověřte simulacemi. Na základě získaných zkušeností navrhněte a realizujte obvody pro sensorovou jednotku a pro řídicí jednotku sítě.

Dané realizace naprogramujte a ověřte experimentálně. Navrhněte automatickou detekci sensorických modulů. Ověřte spolehlivost a vlivy rušení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BIOLEK, D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN: 80-7300-125-X

[2] DOSTERT, K. Powerline Communications. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. ISBN 0-13-029342-3

[3] Philips Semiconductors, dostupné na URL: <http://www.nxp.com>

[4] Atmel Corporation, dostupné na URL: <http://www.atmel.com/>

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Götthans

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Martin Plachý
Bytem: Krokova 333/22, Liberec, 460 07
Narozen/a (datum a místo): 19. března 1986 v Liberci

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Technická 3058/10, Brno, 616 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Senzorická síť po silových rozvodech

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Götthans

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracování díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 18. května 2012

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Tato diplomová práce podává informace na téma konstrukce senzorických sítí po silových rozvodech. Ty jsou rozděleny a popsány podle šířky přenášeného pásma. Za obecným popisem sítě následuje vlastní realizace řídicí a senzorické jednotky, přičemž návrh datových a napájecích obvodů je řešen odděleně. Popis programů obou jednotek napsaných v jazyce ANSI C je přítomen v následující kapitole. Zahrnut je také popis ovládání sítě pomocí PC a kvantitativní zhodnocení spolehlivosti sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Komunikace, síť, silový rozvod, senzor, modem.

ABSTRACT

This semestral thesis contains information about a construction of a sensor network over power line systems. Those are divided with the reference to bandwidth. After the general description of the network there is the whole realisation of a drive unit and a sensor unit described and the design of data and power circuits is solved separately. The description of both units programs written in the ANSI C language is presented in the next chapter. The description of the network control by PC and a quantitative evaluation of the network reliability are also included.

KEYWORDS

Communication, network, power line, sensor, modem.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Sensorická síť po silových rozvodech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	11
1 Komunikační sítě po silových rozvodech	12
1.1 Princip PLC pro domovní rozvod	13
1.2 Úzkopásmové PLC	13
1.3 Širokopásmové PLC	13
2 Senzorická síť	15
3 Obvody řídicí a senzorické jednotky	17
3.1 Obvod sériové linky	17
3.2 Obvody periférie	20
3.3 Obvod primárního zdroje napětí	21
3.4 Obvod sekundárního zdroje napětí	23
4 Software pro řídicí a senzorickou jednotku	26
4.1 Popis komunikace	26
4.2 Funkce main()	29
4.3 Obsluhy přerušení	31
5 Ovládání komunikace pomocí programu Terminal	35
6 Ověření spolehlivosti a vlivů rušení	37
Závěr	40
Literatura	42
A Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
B Obvodová schémata	45
C Předlohy DPS	48
D Osazovací výkresy	52
E Fotografie desek	54
F Soupisky součástek	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Principiální schéma PLC pro domovní rozvod	14
2.1	Blokové schéma senzorické sítě	15
2.2	Blokové schéma řídicí a senzorické jednotky	16
3.1	Blokové schéma zapojení MCU a modemu	18
3.2	Obvodové schéma zapojení pásmové propusti a HF transformátoru . .	19
3.3	Graf napěťových úrovní RS-232 a zapojení 9-pin konektoru Cannon .	20
3.4	Obvodové schéma zapojení obvodu MAX232	20
3.5	Zapojení vstupů MCU, napájecího potenciálu a země na svorkovnicích	21
3.6	Obvodové schéma zapojení obvodu MAX1811	24
4.1	Diagram funkcí obslužného programu řídicí jednotky	27
4.2	Diagram funkcí obslužného programu senzorické jednotky	29
4.3	Vývojový diagram funkce main() obslužného programu řídicí jednotky	30
4.4	Vývojový diagram funkce main() obslužného programu senz. jednotky	31
4.5	Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART0_RXC_vect)	31
4.6	Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART1_RXC_vect)	32
4.7	Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(TIMER0_OVF_vect)	32
4.8	Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(TIMER1_COMPA_vect) . .	33
4.9	Diagram obsluhy přerušení ISR(ADC_vect)	34
4.10	Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART_RXC_vect)	34
5.1	Okno programu Terminal	36
6.1	Graf převodní charakteristiky obvodu MC34063AP1	37
6.2	Graf zatěžovací charakteristiky obvodu LM2576	38
6.3	Graf chybovosti komunikace v závislosti na provozu	39
B.1	Schéma napájecího zdroje	45
B.2	Schéma datových obvodů řídicí jednotky	46
B.3	Schéma datových obvodů senzorické jednotky	47
C.1	Předloha vrchní strany DPS řídicí jednotky	48
C.2	Předloha spodní strany DPS řídicí jednotky	49
C.3	Předloha vrchní strany DPS senzorické jednotky	50
C.4	Předloha spodní strany DPS senzorické jednotky	51
D.1	Osazovací výkres řídicí jednotky	52
D.2	Osazovací výkres senzorické jednotky	53
E.1	Řídicí jednotka	54
E.2	Senzorická jednotka	55

SEZNAM TABULEK

1.1	Tabulka normy CENELEC pro PLC	12
3.1	Přehled parametrů mikrokontrolérů	17
3.2	Přehled parametrů modemu TDA5051AT	18
3.3	Přehled parametrů toroidního transformátoru	22
3.4	Přehled parametrů usměrňovacího můstku W06M	22
3.5	Přehled parametrů spínaného regulátoru LM2576	22
3.6	Přehled parametrů li-ion baterie Sanyo UR18650	23
3.7	Přehled parametrů nabíjecího obvodu MAX1811	24
3.8	Přehled parametrů DC/DC měniče MC34063AP1	25
4.1	Nezakódovaná podoba příkazu INIT	26
4.2	Nezakódovaná podoba příkazu ADC	27
4.3	Nezakódovaná podoba oznámení o úspěšné komunikaci	28
4.4	Data ze senzorické jednotky zaslaná do PC (příkaz INIT)	28
4.5	Data ze senzorické jednotky (1 senzor) zaslaná do PC (příkaz ADC)	28
4.6	Nezakódovaná odpověď na příkaz INIT	29
4.7	Nezakódovaná odpověď na příkaz ADC	29
6.1	Naměřené hodnoty převodní charakteristiky obvodu MC34063AP1	37
6.2	Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky obvodu LM2576	38
6.3	Hodnoty chybovosti komunikace v závislosti na provozu	39
A.1	Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
F.1	Soupiska součástí řídicí jednotky	56
F.2	Soupiska součástí senzorické jednotky	57

ÚVOD

Výběr zaměření Diplomové práce souvisel se snahou zvolit si takové téma, které by v sobě předurčovalo teoretické i experimentální řešení. Tedy vedle nezbytné rešerše, zpracování získaných informací a jejich použití pro řešení zadaného problému i konstrukční činnost a její zhodnocení.

Řešení semestrálních projektů i závěrečné práce mělo poskytnout znalosti a osvojení nových dovedností i způsobů uvažování.

Jako téma Diplomové práce byl zvolen název Sensorická síť po silových rozvodech a v rámci jejího řešení byla provedena rešerše v oblasti problematiky komunikace prostřednictvím napájecích rozvodů. Jsou popsány širokopásmové a úzkopásmové realizace a zmíněny klady a zápory obou.

Druhá kapitola popisuje topologii sensorické sítě a její základní stavební prvky, tj. řídicí a sensorickou jednotku a senzor.

Ve třetí kapitole jsou dopodrobna vysvětleny datové obvody obou jednotek. Text se věnuje realizaci sériové komunikační linky v ose mezi PC, mikrokontrolérem (MCU), modemem a napájecí sítí, do níž je jednotka zapojena přes filtr pásmové propusti a bezpečnostní HF transformátor.

Následují popisy JTAG rozhraní pro pohodlné programování MCU a provozní indikace.

Druhá polovina kapitoly obsahuje informace týkající se napájecího zdroje, tedy transformace, usměrnění a stabilizace napětí pro správný chod integrovaných obvodů.

Z důvodu zamezení chybné činnosti jednotek v případě výpadku fázového napětí v síti následuje popis zapojení nabíjecí Li-ion baterie jakožto nouzového zdroje elektrické energie.

Třetí kapitola popisuje obslužné programy obou jednotek, napsané v jazyce ANSI C. Nastínění ovládání sítě z PC pomocí programu Terminal je obsahem předposlední kapitoly.

Na konci této práce jsou přítomna naměřená data popisující spolehlivost sítě.

V závěru je celková činnost zhodnocena a je naznačeno, v jakých aspektech by se sensorická síť mohla dále rozvíjet.

1 KOMUNIKAČNÍ SÍTĚ PO SILOVÝCH ROZ- VODECH

Komunikační sítě přes silové spoje (angl. Power Line Communications, dále jen PLC) využívají k přenosu informace přenosových, distribučních i domovních napájecích sítí, tzn. soustav VVN, VN a NN [1] a v ČR se v současnosti využívají především distributory elektrické energie k monitoringu stavu rozvodné soustavy a jejímu řízení.

I když si dnes mnoho lidí může myslet, že PLC jsou doménou posledních desetiletí, opak je pravdou.

Princip byl využit již v roce 1838 Angličanem Edwardem Davym, který navrhl vzdálené měření stavu baterií pomocí telegrafu a roku 1897 si myšlenku elektrických měřicích zařízení komunikujících přes elektrifikační vedení nechal patentovat.

Počátkem 50. let dvacátého století se napájecí síť začala využívat pro vzdálené ovládání spínačů venkovního osvětlení. Frekvence nosné se pohybovala mezi 100 Hz až 1 kHz a jednalo se o jednoduchý jednosměrný způsob komunikace.

První systém PLC vyhovující CENELEC (Comité Europeen de Normalisation Electrotechnique) dovolující obousměrnou komunikaci po rozvodech NN a vyžadující malý příkon v řádu desetin VA používal vyšší frekvenci nosné v pásmu 3 kHz až 148,5 kHz. Jeho prostřednictvím bylo možno ovládat nejen zařízení integrované do napájecí sítě, ale i zařízení sloužící například k domovní automatizaci [2].

V poslední době nejen ve světě, ale i v ČR dochází k rozvoji telekomunikačních technologií provozovaných přes napájecí rozvody. Vedle komunikace elektronických domovních zařízení (např. ovládání svítidel, snímání hodnot ze senzorů nebo provoz bezpečnostní centrály) začíná tuto možnost využívat i Internetové připojení nebo multimediální služby, přičemž napájecích rozvodů jako přenosového média se zatím využívá u koncového účastníka, tzn. budova je vně stále připojena telefonní linkou, optickým kabelem nebo bezdrátově.

Pásmo	Frekvenční rozsah (kHz)	Max. amplituda signálu (V)	Určeno pro
A	9 – 95	10	Distributor energie
B	95 – 125	1,2	Volné využití
C	125 – 140	1,2	Volné využití

Tab. 1.1: Tabulka normy CENELEC pro PLC [1]

1.1 Princip PLC pro domovní rozvod

Dvojice fázového L a středního N vodiče systému elektroinstalace v budově je zároveň médiem pro přenos datového signálu. Ten tak může být vyveden do každé zásuvky příslušné fáze.

Zařízení zvané modem provádí konverzi signálu do podoby, která je vhodná pro přenos silovým rozvodem, a připojuje tak ostatní zařízení do datové sítě.

Rovněž je zapotřebí dalšího zařízení, v angl. literatuře zvaného Base Station, které v principu zajišťuje spojení s páteří datovou sítí vně budovy.

1.2 Úzkopásmové PLC

Typickou vlastností úzkopásmových PLC je rozsah frekvencí, na kterých operuje. Je dán normou CENELEC a popsán tabulkou. Frekvenční rozsah se rozděluje do tří pásem, přičemž pásmo A je určeno pro potřeby výrobce nebo distributora elektrické energie, např. pro ovládací signály energetických zařízení.

Pásma B a C nejsou rezervována žádnou institucí a tedy mohou být volně využita pro domovní automatizaci nebo komunikaci.

V dnešní době úzkopásmová PLC zprostředkují přenosové rychlosti v řádu jednotek kb/s a maximální vzdálenost mezi dvěma modemy je do 1 km (pro větší vzdálenosti je potřeba do silového rozvodu instalovat repeater).

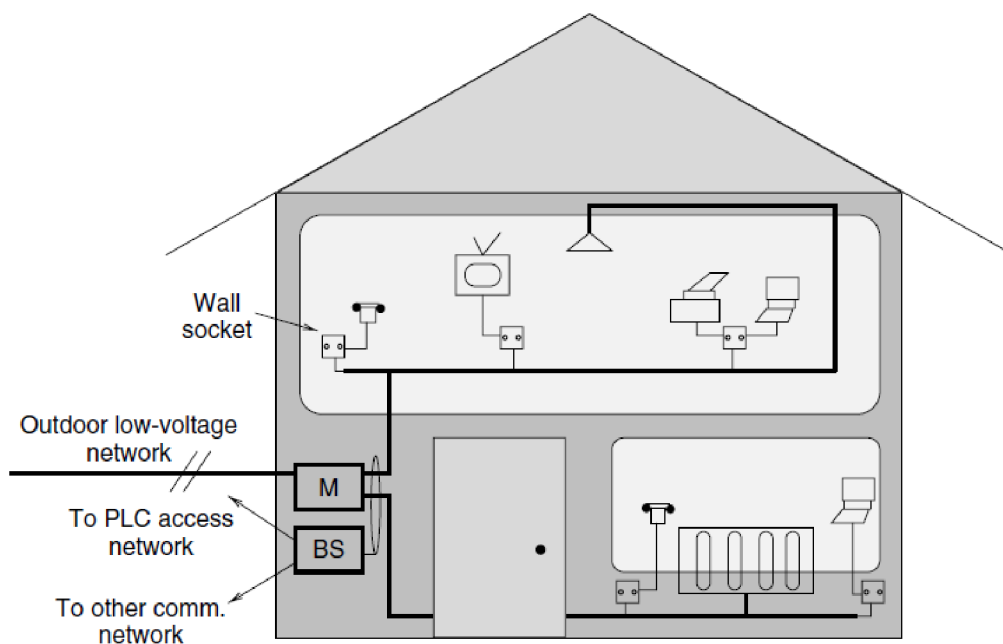
Volba vhodné modulační techniky signálu vychází z faktu, že v rozvodné síti se nenachází pouze výkonové napětí, ideálně sinusového tvaru, nýbrž také nejrůznější projevy rušení. To může být způsobeno například přechodovými ději při činnosti spínaných napájecích zdrojů, náhlými změnami odběru při zapínání velkých strojů apod.

Například ASK se v tomto úhlu pohledu jeví jako nejméně vhodná, BPSK zase vyžaduje složitý přístup ke snímání fáze signálu, lze rovněž využít i FSK.

Z důvodu intenzivního rušení se rovněž doporučuje použít technik pro odstraňování chyb při přenosu, např. FEC nebo ARQ.

1.3 Širokopásmové PLC

Pro širokopásmové PLC je typická vyšší přenosová rychlost, řádově Mb/s. Díky tomu lze o silových rozvodech uvažovat jako o médiu využitelném pro telekomunikační nebo multimediální aplikace, přičemž úspora finančních prostředků vyplývající z nepotřeby výstavby nových datových spojů je hlavní příčinou toho, že se o této možnosti vůbec přemýšlí [1].



Obr. 1.1: Principiální schéma PLC pro domovní rozvod [1]

Navýšení přenosové rychlosti je zde spojeno s rozšířením frekvenčního spektra. Frekvence nosné jsou zde zhruba stokrát vyšší, například do 30 MHz. Stejně jako v případě úzkopásmových PLC je potřeba zvládnout technické problémy spojené s průchodem signálu vedením.

Vedle již zmíněného rušení je důležité uvědomovat si rovněž důsledky elektromagnetické kompatibility (EMC). Silový vodič, jímž je veden datový signál o frekvenci desítek MHz, se stává zářičem elektromagnetického pole, které může nepříznivě ovlivňovat blíže se nacházející rádiové přijímače [1].

Vzhledem k teoretickým údajům zde předloženým i zadání diplomové práce je jasné, že využití širokopásmové PLC by v tomto případě bylo zbytečné. Jestliže senzory nejsou myšleny např. složité optické přístroje snímající obraz, nýbrž pouze čidla fyzikální veličiny, bude vhodnější využití úzkopásmové PLC.

2 SENZORICKÁ SÍŤ

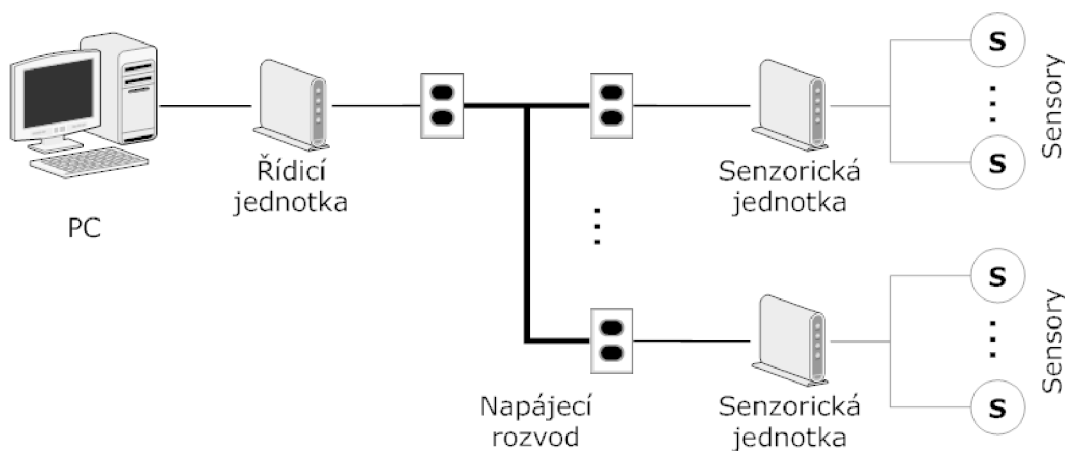
Senzorická síť realizovaná prostřednictvím mikroprocesorové techniky a napájecího domovního rozvodu nachází uplatnění v situacích, kdy ekonomická zátěž spojená s konstrukcí datových sítí primárně určených k přenosu měřených dat by byla neúměrná finančnímu zisku z takové realizace vyplívajícího či dokonce pro zadavatele likvidační.

Takový scénář může být v dnešní době reálný nejen pro vlastníka rodinného domu, který chce mít přehled o energetické bilanci a míře úspornosti, rovněž může být vlastní výrobnímu popřípadě výzkumnému provozu, který zvažuje co možná finančně nejvýhodnější rekonstrukci letitého nebo výstavbu nového provozního prostoru.

Hlavní myšlenka ušetření finančních prostředků se netýká pouze úspory v oblasti levnější technologie a zmírnění nákladů za elektroinstalační materiál, nýbrž také ve výrazném snížení finančních výdajů spojených s vykonanou prací, jelikož senzorická síť provozovaná přes napájecí rozvody je řešena modulárně a její instalace je časově nenáročná a je ji schopen vykonávat člověk po přečtení manuálu, tedy svými znalostmi ekvivalentní pracovníku seznámenému [5].

Z hlediska topologie se senzorická síť obecně skládá z pěti prvků:

- Zařízení uzpůsobené k úschově naměřených dat a jejich vizualizaci
- Řídicí jednotka senzorické sítě
- Přenosové médium
- Sensorické jednotky senzorické sítě
- Sensory



Obr. 2.1: Blokové schéma senzorické sítě

Zařízení, jehož prostřednictvím lze data ze sítě vizualizovat, musí vedle obrazového výstupu disponovat dostatečně velkou non-volativní pamětí (HDD, flash paměti, EEPROM). Nejlépe tak poslouží osobní počítač, byť v případě vysokých nároků na archivaci citlivých nebo důležitých dat v delším časovém horizontu lze využít programovatelného automatu (PLC).

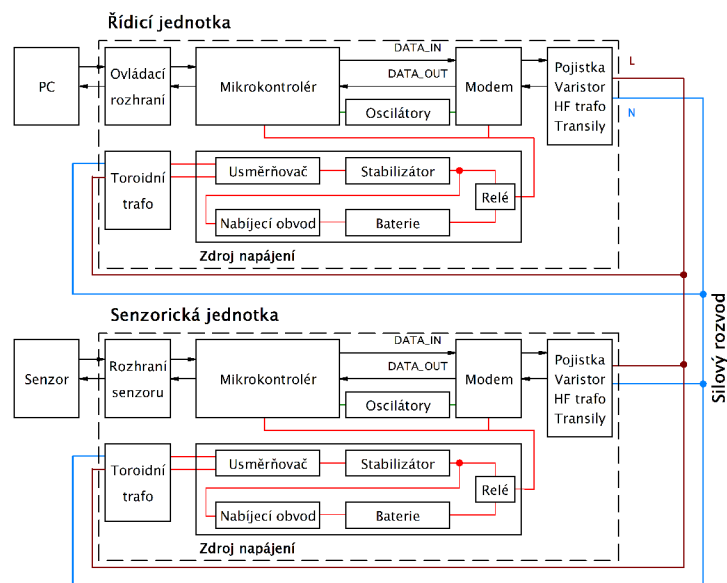
PC komunikuje s řídicí jednotkou prostřednictvím sériové linky a rozhraní RS-232. Řídicí jednotka je zapojena do rozvodné napájecí sítě pomocí obyčejného třížilového napájecího vodiče, odkud přijímá a vyhodnocuje data vysílaná sensorickými jednotkami. Rovněž je schopná vysílat řídicí signály, sloužící k rozpoznávání jednotek a přenosu naměřených hodnot.

Senzorické jednotky jsou zařízení typu Slave a jejich účelem je příjem naměřených analogových dat, jejich digitalizace, úprava do vhodného formátu rámců a odesílání do sítě.

Z hlediska obvodové realizace jsou však řídicí a sensorická jednotka podobné. Ke zpracování a manipulaci s daty se využívá mikrokontroléru a modemu. Nízko-příkonové LED slouží k signalizaci provozních stavů.

Obě jednotky obsahují napájecí zdroj, který střídavé napětí ze sekundárního vinutí transformátoru usměrňuje a stabilizuje. V případě výpadku fázového napětí v síti zdroj napětí po omezenou dobu nahrazuje li-ion baterie.

Z důvodu požadavku na zvýšení bezpečnosti se využívá galvanického oddělení transformátory v napájecí i signálové části. Proti účinkům přepětí a nadproudu v síti jsou obvody chráněny dvojicí unipolárních transilů, varistorem a skleněnou přístrojovou pojistkou.



Obr. 2.2: Blokové schéma řídicí a sensorické jednotky

3 OBVODY ŘÍDICÍ A SENZORICKÉ JEDNOTKY

3.1 Obvod sériové linky

Ústředním prvkem sériové komunikační linky je mikrokontrolér. Jeho hlavními funkcemi je zpracovávání dat, předně digitalizace analogového signálu ze senzoru, úprava číselných dat do formy rámců vhodných pro přenos silovým rozvodem, kódování z důvodu snížení chyb a ztrát vzniklých při přenosu, a odesílání rámců do sítě.

V řídicí jednotce byl použit 8-bitový MCU firmy Atmel, přesně ATmega162-16AU, a důvodem pro konkrétní výběr byla přítomnost dvou komunikačních rozhraní USART, která zajistí sériovou asynchronní komunikaci jednak mezi jednotkou a PC a poté jednotkou a sítí [6].

V případě senzorické jednotky byl použit model ATmega16-16AU kvůli dispozici osmi 10-bitových A/D převodníků, jež se použijí při převodu analogové hodnoty naměřené senzorem [7].

LED pro indikaci provozních stavů jsou společně s předřazeným rezistorem zapojeny na napájecí potenciál a výstupní piny mikrokontroléru. Jsou tak rozsvěcovány nastavením log. 0 na výstupní piny, kdy je rozepnut unipolární tranzistor v sérii s pull-up rezistorem.

Z důvodu jeho přítomnosti není možné připojovat LED opačně, tedy na zem, a využívat k jejímu spínání vysoké logické úrovně, jelikož pull-up rezistor omezuje proud potřebný k rozsvícení.

LED indikující zapnuté zařízení byla s rezistorem připojena přímo na napájecí potenciál a zem.

Model	ATmega162-16AU	ATmega16-16AU
Počet I/O pinů	35	32
Flash paměť	16 KB	16 KB
EEPROM paměť	512 B	512 B
SRAM paměť	1 KB	1 KB
Čítače/časovače	2x8-bit, 2x16-bit	2x8-bit, 1x16-bit
PWM kanály	6	4
USART	2	1
ADC	–	8x10-bit
Napájecí napětí	2,7 až 5,5 V	4,5 až 5,5 V
Pouzdro	44-TQFP	44-TQFP

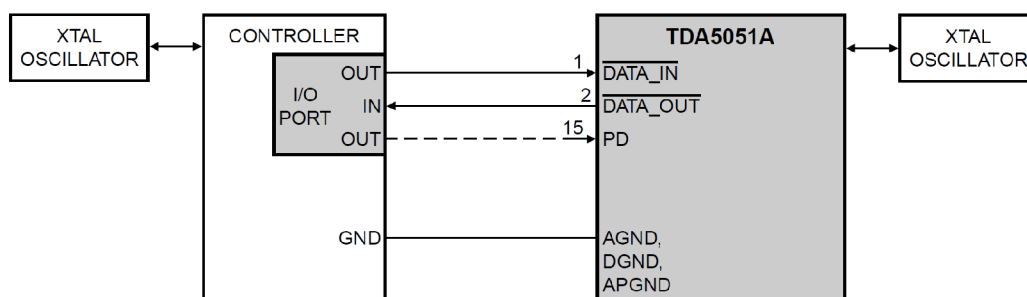
Tab. 3.1: Přehled parametrů mikrokontrolérů [6] [7]

Vzhledem k faktu, že pouzdra MCU jsou určena pro SMT montáž, bylo nutné vymyslet pohodlný způsob vkládání strojového kódu do paměti.

Oba modely disponují rozhraním JTAG [6] [7], jehož datové piny byly vyvedeny na desky do desetipinového konektoru MLW. Připojení referenčního napájecího napětí a země k programátoru je přes tento konektor rovněž možné.

Při psaní kódu lze využívat možnosti Boundary Scan, tj. testování provozních stavů obvodů na úrovni vnitřní struktury bez použití vnějších sond, nebo krokování programu po jednotlivých instrukcích.

První model disponuje třemi napájecími a zemními piny [6]. Druhý pak čtyřmi, přičemž napájení analogové části MCU (A/D převodníky) je vedeno přes LC filtr [7]. Z důvodu stabilizace jsou použity keramické kondenzátory 100 nF/50V, umístěné co nejbližší napájecím pinům. Volba keramických kondenzátorů byla podmíněna jejich nízkou parazitní indukčností. Hodnota kapacity byla stanovena ve shodě s potřebou blokovat impulsní změny napětí s frekvencí řádu jednotek MHz. Stejný typ kondenzátoru byl využit u ostatních integrovaných obvodů.



Obr. 3.1: Blokové schéma zapojení MCU a modemu [8]

Type	TDA5051AT
Supply Voltage	4,75 to 5,25 V
Baud Rate	600 to 1200 bps
Total Supply Current – Reception Mode	28 mA
Total Supply Current – Transmission Mode	47 mA
Total Supply Current – Power Down Mode	19 mA
Carrier Frequency	95 to 148,5 kHz
Oscillator Frequency	6,08 to 9,504 MHz
Load Impedance	30 Ω
Ambient Temperature	0 to + 70 °C
Package	SO16

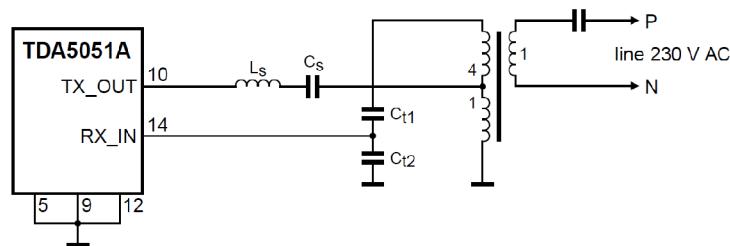
Tab. 3.2: Přehled parametrů modemu TDA5051AT [8]

Funkcí modemu TDA5051AT je ASK modulace nosné o frekvenci 138,44 kHz (odvozeno jako $f_{osc}/64$) datovým signálem ze sériové asynchronní linky. Namodulovaný signál je pak schopen projít filtry pásmové propusti obou jednotek a silovým rozvodem [8]. Modem využívá vlastní krystalový oscilátor, tak aby se minimalizovaly problémy spojené s vedením vysokofrekvenčního signálu po desce mezi integrovanými obvody.

Oddělení obvodů desky od silového rozvodu bylo provedeno malým signálovým HF transformátorem 78250MC firmy Murata, umístěným na desku a to do dostatečné vzdálenosti společně s X2 kondenzátory 1 μF a ochranným varistorem VCR14D331K. K vyšší úrovni bezpečnosti jsou na vysílací a přijímací pin modemu připojeny paralelně k zemi unipolární transily [8].

HF transformátor využívá jedno primární a dvě sekundární vinutí, přičemž jedno sekundární vinutí má transformační poměr 4:1. Druhé sekundární vinutí (1:1) se chová jako hornopropustní filtr a aby mohlo být využito k efektivnímu vysílání a zároveň vhodně odstraňovalo vyšší harmonické frekvence, musí mu být předřazen sériový LC filtr [8].

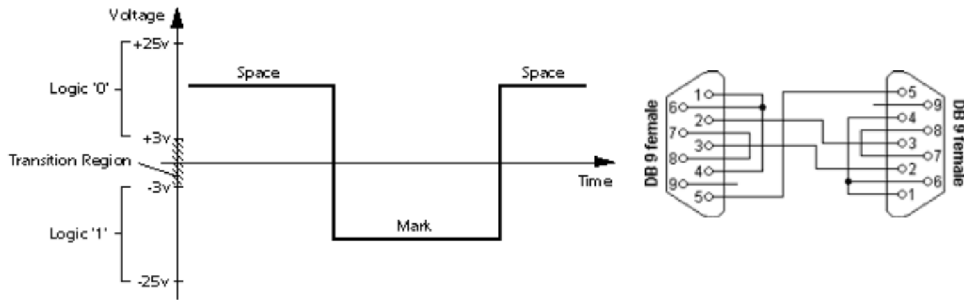
Pin modemu určený k příjmu dat by mohl být připojen přes ladicí kondenzátor a obě sekundární vinutí přímo, ale vzniklý poměr 5:1 způsobí pětikrát vyšší velikost napětí a z toho důvodu je funkce ladicího kondenzátoru ponechána kondenzátorovému napěťovému děliči, který navíc sníží napětí ve stejném poměru. Takto využitá sekundární vinutí se chovají jako pásmová propust a anti-aliasingový filtr, odstraňující složku 50 Hz fázového napětí a zároveň vysoké frekvence, které by vlivem anti-aliasingu byly přeloženy [8].



Obr. 3.2: Obvodové schéma zapojení pásmové propusti a HF transformátoru [8]

3.2 Obvody periférie

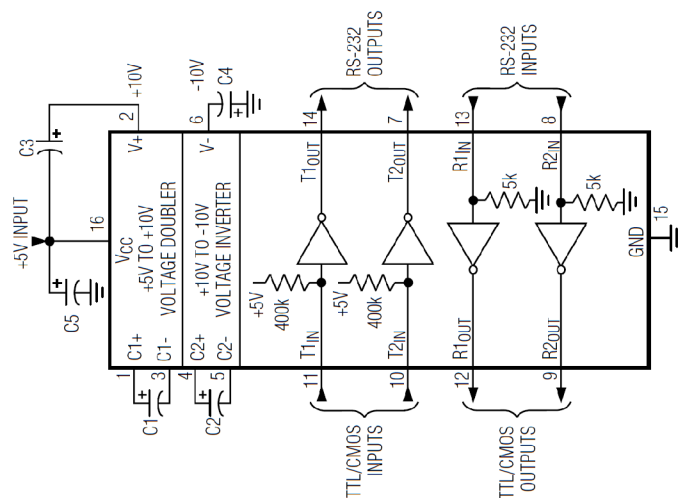
Řídicí jednotka komunikuje s osobním počítačem prostřednictvím asynchronní sériové linky. Avšak vzhledem k faktu, že PC k tomuto způsobu přenosu dat používá rozhraní RS-232 a reprezentace binárních stavů je odlišná od obvodů TTL/CMOS, je zapotřebí převodníku, který převede logické úrovně generované mikrokontrolérem do formy zpracovatelné počítačem [9].



Obr. 3.3: Graf napěťových úrovní RS-232 a zapojení 9-pin konektoru Cannon [9]

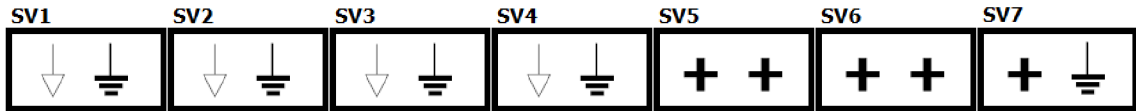
Převodník MAX232 disponuje dvojicí převodních bran, takže ho lze využít při komunikaci více zařízení najednou. Zde byla využita samozřejmě brána jediná a její vodiče zapojeny na piny TXD1 a RXD1. Diskrétních součástek potřebných pro správný chod integrovaného obvodu není mnoho a ve všech případech se jedná o fóliové kondenzátory 1 $\mu\text{F}/63\text{V}$ [10], schopné blokovací funkce.

Výstup převodníku je poté vyveden na 9-pin konektor Cannon, ostatní piny byly pospojeny podle přiloženého obrázku.



Obr. 3.4: Obvodové schéma zapojení obvodu MAX232 [10]

Na straně sensorické jednotky se nachází soustava svorkovnic, na které je možno připojit až čtyři analogové senzory. Podmínkou je napájecí napětí 5 V, nebo vlastní napájení, např. pomocí baterie, a propojení zemí. V případě potřeby lze poslední svorkovnici SV7 využít k napájení dalšího zařízení. Vhodný je třeba obvod TMP36 vyžadující ke své činnosti nízké napájecí napětí a proud [11].



Obr. 3.5: Zapojení vstupů MCU, napájecího potenciálu a země na svorkovnicích

3.3 Obvod primárního zdroje napětí

Primární zdroj napětí napájí veškeré integrované obvody spolu s připojenými indikačními LED v době normálního provozu sensorické sítě.

Na úplném počátku blokového řetězce napájecího zdroje je toroidní transformátor. I přestože nevýhodně zvětšuje hmotnostní a rozměrové nároky na plastové konstrukční krabičky, do kterých je veškerá elektronika uložena, podstatně zvyšuje bezpečnost při provozu, jelikož galvanicky odděluje DPS od nebezpečného fázového napětí a zároveň transformuje napětí poskytované sekundárním vinutím pod hodnotu bezpečného napětí.

I když se u toroidního transformátoru předpokládá, že vyzařuje s menší intenzitou, než verze jádrové nebo plášťové, použitý typ je opatřen stíněním a vyvedený vodič je možno připojit na svorku PE v síťové zásuvce. Primární vinutí obsahuje vratnou pojistku (T 125 mA) a dále je přítomna teplotní pojistka (100 °C). Transformátor byl vyroben se zalitým středem s vývrtem pro šroub a vrstvou pěnové podložky na spodní straně.

Primární vinutí je připojeno paralelně k fázovým vodičům využívaným ke komunikaci přípravěním na společné konektory Faston, které jsou zapojeny do protikusů síťové zásuvky. Sekundární vinutí je poté spojeno do podobných konektorů na desce. Z důvodu úspory místa ve vertikálním směru byly zvoleny Faston konektory s ohybem 90 °.

Následuje W06M, usměrňující Graetzův můstek integrovaný do jednoho pouzdra. Vzhledem k předpokládanému odběru v případě nabíjení Li-ion baterie blížícímu se 0,7 A byl zvolen typ s vyšším proudovým zatížením. Na kladnou výstupní svorku je zapojen vyhlazovací elektrolytický kondenzátor 100 $\mu\text{F}/25\text{V}$. Záporná svorka je zároveň zemní svorkou GND.

Typ	024112ST
Výrobce	JK-ELTRA
Datum výroby	11. 9. 2011
Jmenovitý příkon	24 VA
Napětí primáru	AC 230 V _{ef}
Napětí sekundáru	AC 12 V _{ef}
Rozměry	průměr: 90 mm, výška: 30 mm
Hmotnost	cca 700 g

Tab. 3.3: Přehled parametrů toroidního transformátoru

Type	WO6M
Maximum DC Blocking Voltage	600 V
Maximum Forward Voltage Drop per element at 1 A Peak	1 V
Maximum Average Forward Rectified Current	1,5 A
Maximum Reverse Current at rated 25 °C	10 μA
Operating Temperature Range	- 55 to + 125 °C
Package	WOB

Tab. 3.4: Přehled parametrů usměrňovacího můstku W06M [12]

Vzniklé zapojení poskytuje nestabilizované napětí DC $12\sqrt{2}$ V snižené o úbytek na můstku. Jelikož integrované obvody vyžadují napájecí napětí dané použitými technologiemi TTL/CMOS, tedy 2,7 až 5,5 V, musí se napájecí napětí snížit a zároveň také stabilizovat, neboť díky zvýšenému odběru v době nabíjení baterie, by docházelo ke snižování či kolísání napětí v důsledku jeho úbytku na vnitřním odporu transformátoru a spínání nabíjecího obvodu.

Vzhledem k napětíovému snížení takřka 12 V by nebyl vhodný často používaný lineární regulátor napětí L78S05 z důvodu výkonové ztráty a z ní vyplývající nutnosti odvádět odpadní teplo. V tomto případě byl proto využit spínaný regulátor napětí LM2576 s pevným výstupním napětím [13].

Type	LM2576
Output Voltage	5 V
Saturation Voltage	1,4 V
Guaranteed Output Current	3 A
Standby Quiescent Current	50 μA
Efficiency	77 %
Oscillator Frequency	52 kHz
Feedback Bias Current	50 nA
Operating Temperature Range	- 40 to + 125 °C
Package	5-Lead TO-220

Tab. 3.5: Přehled parametrů spínaného regulátoru LM2576 [13]

Obvod potřebuje ke správné činnosti několik dodatečných diskrétních součástek: proudově dimenzovanou Schottkyho diodu 1N5822, dále cívku $100 \mu\text{H}/2\text{A}$ a elektrolytický kondenzátor $1000 \mu\text{F}/16\text{V}$ (první kondenzátor na obrázku je součástí usměrňovače) [13].

Kondenzátory obecně slouží ke stabilizaci regulátoru. První navíc vyhlazuje tepavý průběh usměrněného střídavého napětí a druhý společně s cívkou tvoří dolnoproputní LC filtr, odstraňující vyšší frekvence vzniklé činností spínání regulátoru. Dioda zapojená paralelně k cívce směrem k zemi vybíjí proud z cívky v době roze-pnutí spínače.

Bylo by jistě vhodnější, kdyby se využilo transformátoru s nižším napětím sekundárního vinutí, např. $8 V_{ef}$, a již zmíněného obvodu L78S05, tak aby disipace energie nebyla na škodu provozu.

Avšak vzhledem k faktu, že v dokumentaci se uvádí minimální vstupní napětí regulátoru 8 V [14], a snaze volit napětí jen z řady jmenovitých napětí střídavých zdrojů, byla hodnota napětí sekundárního vinutí $12 V_{ef}$ nejvhodnější, jelikož nižší hodnota $6 V_{ef}$ by již nestačila. Zvlášť v případě připojení zátěže.

3.4 Obvod sekundárního zdroje napětí

Sekundární zdroj napětí najde uplatnění v době výpadku fázového napětí v sílovém rozvodu a jeho účelem je zajištění nepřetržitého chodu jednotek. Jakožto záložní zdroj elektrické energie byla použita Li-ion baterie Sanyo UR18650W [15]. V závislosti na průměrném odběru integrovanými obvody asi 200 mA vydrží záložní napájení necelých osm hodin.

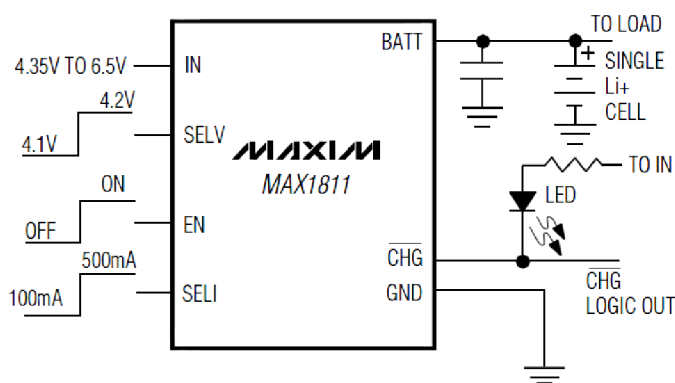
Označení	Sanyo UR18650
Jmenovité napětí	3,7 V
Jmenovitá kapacita	1500 mAh
Nabíjecí napětí	4,2 V
Maximální nabíjecí proud	1,5 A
Maximální trvalý vybíjecí proud	15 A
Teplota prostředí pro nabíjení	0 až + 20 °C
Teplota prostředí pro vybíjení	- 20 až + 60 °C
Teplota prostředí pro skladování	- 20 až + 50 °C
Rozměry	průměr: 18,1 mm, délka: 64,8 mm
Hmotnost	46,5 g

Tab. 3.6: Přehled parametrů li-ion baterie Sanyo UR18650 [15]

Baterie je umístěna mimo DPS a připojena pomocí vodičových kontaktů a Faston konektorů k nabíjecímu obvodu MAX1811 [16].

Pin 4 (IN) pro připojení zdroje napětí typicky 4,35 až 6,50 V je zapojen do výstupu primárního zdroje napájení a během normálního provozu průběžně dobíjí baterii. Pinem 2 (SELV) se pak omezuje napájecí proud na 100 nebo 500 mA. Na piny 3 a 6 se zapojuje zemní svorka GND, dále je vyveden logický výstup (CHG) pro indikaci provozního stavu, na něž se nechá zapojit nízkopříkonová LED společně s resistorem. Výčet uzavírá pin 7 (EN) sloužící k deaktivaci nabíjecího obvodu přivedením log. 1, pin 1 (SELV) pro nastavení napětí baterie a pin 5 (BATT) pro připojení kladného pólu baterie [16].

Nastavení se provádí přivedením log. 0, nebo 1, prakticky připojením země nebo napájecího potenciálu. Z důvodu stabilizace se napájecí vstup a pin pro připojení baterie blokuje pomocí elektrolytických kondenzátorů 10 μ F/16V.



Obr. 3.6: Obvodové schéma zapojení obvodu MAX1811 [16]

Type	MAX1811
AC Wall Adapter Input Voltage	4,35 to 6,50 V
Battery Charge Termination Voltage	4,1 V or 4,2 V
Recommended Load Current	455 m A
Input Supply Current	3 mA
Operating Temperature Range	-40 to + 85 °C
Package	SO8

Tab. 3.7: Přehled parametrů nabíjecího obvodu MAX1811 [16]

Li-ion baterie poskytuje jmenovité napětí 3,7 V, což sice stačí k napájení zbytku jednotky, avšak kvůli odstranění skokové změny napájecího napětí o více než 1 V při výpadku je vhodnější zajistit, aby bylo napětí sekundárního zdroje shodné s primárním zdrojem.

Z toho důvodu se za baterii umísťuje obvod MC34063AP1, tedy DC/DC měnič, konkrétně zapojený jako zvyšující. Ke své činnosti podobně jako předcházející obvody vyžaduje několik diskrétních součástek: keramický kondenzátor 330 pF pro

nastavení frekvence spínání, elektrolytický kondenzátor $470 \mu\text{F}/10\text{V}$ k vyhlazení výstupního napětí, jehož kapacita závisí přímo úměrně na době sepnutí a výstupním proudem a nepřímo na zvlnění [17].

Type	MC34063AP1
Input Voltage	3 to 40 V
Output Switch Current	Up to 1,5 A
Oscillator Frequency	Up to 100 kHz
Ambient Temperature	0 to + 70 °C
Package	DIP-8

Tab. 3.8: Přehled parametrů DC/DC měniče MC34063AP1 [17]

Dále resistory zapojené do napěťového děliče pro nastavení velikosti výstupního napětí a napětí připojeného na invertující vstup interního komparátoru. Kolektor řídicího tranzistoru je k výstupu měniče připojen přes Schottkyho diodu 1N5819 a spolu se spínacím tranzistorem je propojen přes cívku $22 \mu\text{H}$ a rezistor 180Ω [17].

Výběr aktivního zdroje napětí náleží relé, které, napájené z primárního zdroje a sepnuté v době normálního provozu, umožňuje integrovaným obvodům odebírat proud z hlavního zdroje napájení. V případě výpadku jeho nefunkčnost způsobí přepnutí relé do klidové polohy a spojení výstupu záložního zdroje.

Elektrolytický kondenzátor C8 kryje energetické potřeby jednotky v době přepínání relé. Při výpočtu jeho kapacity bylo využito těchto výchozích hodnot:

- Doba odpadu přepínacího relé $t = 5 \text{ ms}$
- Maximální zvlnění výstupního napětí zdroje $U_r = 5\% \text{ z } U_{CC} = 0,25 \text{ V}$
- Maximální odebíraný proud ze zdroje $I_M = 0,1 \text{ A}$

Vlastní výpočet byl proveden podle vzorce [3]:

$$C = \frac{I_M \cdot t}{U_R} = \frac{0,1 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,25} = 2\text{mF} \quad (3.1)$$

Byl zvolen elektrolytický kondenzátor s kapacitou $2,2 \text{ mF}/16\text{V}$.

4 SOFTWARE PRO ŘÍDICÍ A SENZORICKOU JEDNOTKU

4.1 Popis komunikace

Komunikační program obou jednotek je v základu realizován nekonečnou smyčkou funkce *main()* a poté obsluhami jednotlivých přerušení. Řízení komunikace je nastavováno pomocí osmibitového registru *Ridici_prikazovy_registr*, jehož bitová reprezentace se liší v závislosti na typu jednotky. Na počátku, v nečinném stavu, je v tomto registru uložena hodnota 0x00 a komunikace neprobíhá. Zahájena je pomocí nastavení bitu 0 nebo 1.

Volba bitu závisí na typu komunikační procedury. Bity jsou si navzájem komplementární a není možné, aby byly nastaveny současně. Následuje popis všech bitů řídicího registru:

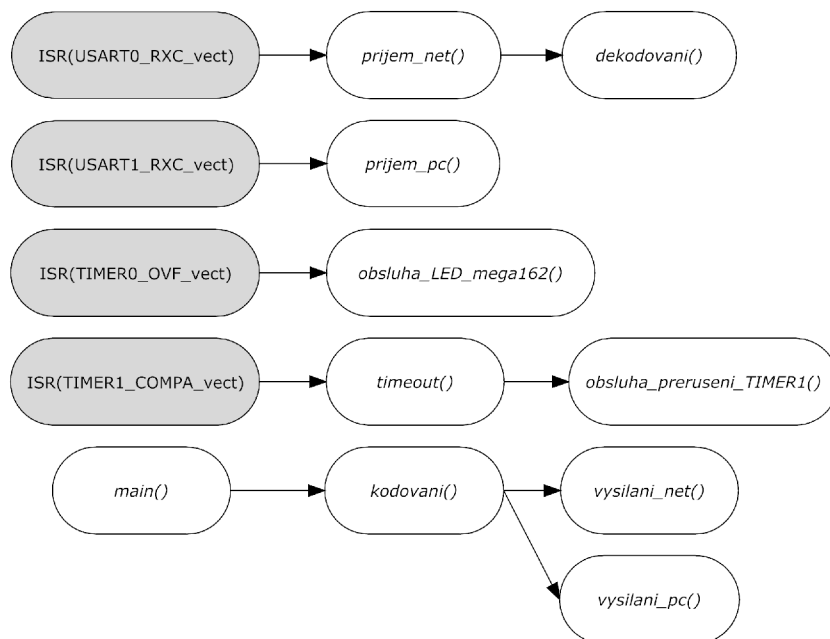
- Bit 0: Inicializace senzorické sítě (příkaz INIT)
- Bit 1: Přenos naměřených hodnot (příkaz ADC)
- Bit 2: Příjem odpovědi na příkaz INIT
- Bit 3: Příjem odpovědi na příkaz ADC
- Bit 4: Příznak timeoutu komunikace
- Bit 5: Příznak aktivace vysílání
- Bit 6: Příznak zakončení komunikace příkazem INIT
- Bit 7: Příznak zakončení komunikace příkazem ADC

Po nastavení bitu 0 vyšle řídicí jednotka INIT příkaz, který obsahuje adresu první senzorické jednotky v síti navýšenou o hodnotu 128 (tím se nastaví 8. bit, slouží pro odlišení od příkazu ADC). Mikrokontroléry všech jednotek mají nastaven bit MPCM v registru UCSRA (první nastavovací registr rozhraní USART).

Vyslaný inicializační příkaz má nastaven 9. bit rámců. Po příjmu jednotkami je příkaz dekodován a uložená adresa porovnána s adresou jednotky. V případě shody je bit MPCM příslušné jednotky vynulován a další komunikace je poté charakteru Point-to-Point až do úspěšného zakončení komunikace, po obdržení potvrzovací zprávy, kdy si jednotka opět nastaví bit MPCM.

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	1	0	0	0	Adresa			

Tab. 4.1: Nezakódovaná podoba příkazu INIT



Obr. 4.1: Diagram funkcí obslužného programu řídicí jednotky

Takto jsou postupně obslouženy všechny senzorické jednotky v síti. V případě ztráty paketu dochází po určité době k opětovnému vyslání příslušného příkazu, přičemž počet opakování lze v programu navolit. Pokud ani poté nedojde k úspěšné přenosu dat, je nastaven příznak timeout (nastaví se bit 4 v řídicím registru) a řídicí jednotka zahájí komunikaci se senzorickou jednotkou o vyšší adrese.

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	0	0	Sensor		Adresa			

Tab. 4.2: Nezakódovaná podoba příkazu ADC

Odpovědí na příkaz INIT je zpráva, která obsahuje vedle adresy právě komunikující jednotky také čtyři bity nesoucí informaci o jejích nepřipojených senzorech. Hodnota log. 1 bitu značí nepřipojený senzor. Tyto bity jsou poté uloženy do pole *Registr_nepřipojených_senzoru*. Pokud s nějakou jednotkou není komunikace navázána, bez ohledu jestli není připojena nebo je nefunkční, ukládá se hodnota log. 1 na příslušný bit v registru *Registr_neinit_jednotek* (po nastavení příznaku timeoutu).

Jakmile je inicializace provedena, je nastaven bit 6 řídicího registru a do PC je odesláno tolik bytů dat, kolik je připojených jednotek. Nižší nibble každého bytu obsahuje informaci o nepřipojených senzorech a vyšší nibble adresu, tak aby nebyla obtíž přidružit data ke konkrétní senzorické jednotce.

Nastavením bitu 1 v řídicím registru řídicí jednotka vysílá zakódovaný příkaz ADC. V nezakódované podobě je v nižším nibblu opět uložena adresa aktuální sen-

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	0/1	1	0	0	Adresa			

Tab. 4.3: Nezakódovaná podoba oznámení o úspěšné komunikaci

zorické jednotky a v prvních dvou bitech vyššího nibblu číslo senzoru v binární reprezentaci, z něhož naměřená hodnota je očekávána v odpovědi.

Nezakódovaná odpověď na příkaz ADC má délku 2 B, přičemž v nižším bytu jsou opět přítomny čtyři bity adresy, dva bity čísla senzoru a dva nejnižší bity naměřené hodnoty A/D převodníkem. Zbylých osm bitů vyplňuje druhý byte. Naměřené hodnoty přenesené napájecí sítí se ukládají do pole *Namerene_hodnoty_ADC*. Místa příslušející nepřipojeným sensorům nebo celým jednotkám jsou vyplněna hodnotou 0x0000 a do PC se přenášejí pouze hodnoty naměřené. Data jednoho senzoru odpovídají již zmíněným 2 B. Odeslání hodnot do počítače je aktivováno nastavením bitu 7. Po úspěšné komunikaci je celý *Ridici_prikazovy_registr* vynulován. Technika multiprocessorové komunikace i timeoutu je použita i v tomto případě.

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	Adresa				Nepripojene senzory			

Tab. 4.4: Data ze sensorické jednotky zaslaná do PC (příkaz INIT)

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	Hodnota		Sensor		Adresa			
Bit:	15	14	13	12	11	10	9	8
Hodnota:	Hodnota							

Tab. 4.5: Data ze sensorické jednotky (1 sensor) zaslaná do PC (příkaz ADC)

Ridici_prikazovy_registr sensorické jednotky má jednodušší strukturu a využívá pouze nižší nibble:

- Bit 0: Příjem příkazu INIT
- Bit 1: Příjem příkazu ADC
- Bit 2: Příznak dokončení převodu ADC
- Bit 3: Příznak aktivace vysílání

Řízení komunikace, tedy ukládání hodnoty do registru *Ridici_prikazovy_registr*, je realizováno prostřednictvím rozhraní USART1 sériové linky, kterou je řídicí jednotka připojena k PC. Využívá se programu pro komunikaci přes COM port, např. Terminal [19]. Vzhledem k umístění řídicí jednotky v blízkosti počítače a připojení

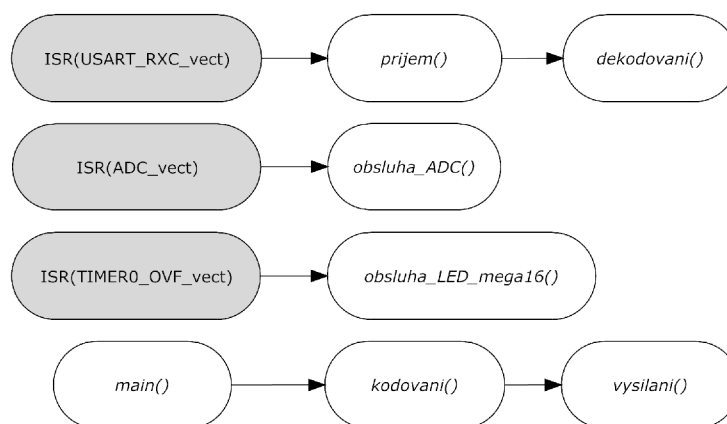
Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	Nepripojene senzory				Adresa			

Tab. 4.6: Nezakódovaná odpověď na příkaz INIT

Bit:	7	6	5	4	3	2	1	0
Hodnota:	Hodnota		Sensor		Adresa			
Bit:	15	14	13	12	11	10	9	8
Hodnota:	Hodnota							

Tab. 4.7: Nezakódovaná odpověď na příkaz ADC

přes křížený kabel s konektory 9-pin Cannon F není v tomto úseku sériové linky využito kanálového kódování přenášených dat.



Obr. 4.2: Diagram funkcí obslužného programu sensorické jednotky

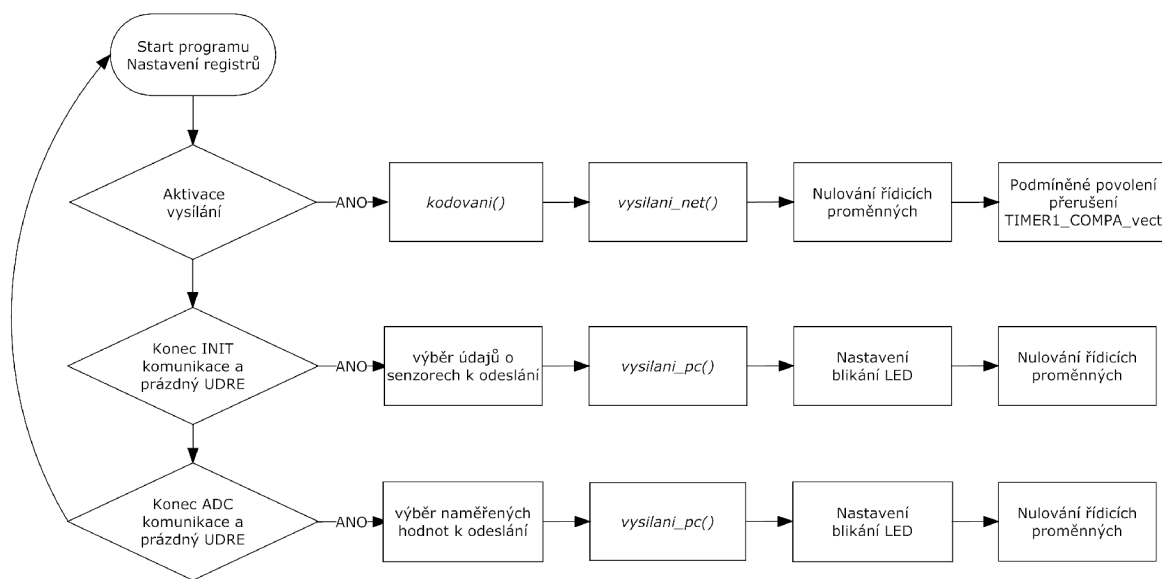
Komunikace v síti již musí být z důvodu rušení kanálově kódována. Kvůli rychlosti komunikace přes napájecí síť, typicky 600 bps, lze do sensorické sítě připojit maximálně 16 sensorických jednotek, adresovaných pomocí čtyř bitů hodnotami 0 až 15.

4.2 Funkce main()

Veškerý programový kód funkce *main()* byl vložen do cyklu while a proto se cyklicky neustále opakuje po celou dobu činnosti jednotky, ovšem vyjma obsluh přerušení. Pouze nastavení registrů mikrokontroléru smyčce předchází, tak aby k němu došlo po resetu programu po spuštění jednotky.

Funkce *main()* v případě řídicí jednotky obsahuje tři podmínky typu IF, které po řadě obsluhují odesílání příkazů do sítě a naměřených dat směrem k počítači.

Odeslání příkazu je podmíněno nastaveným bitem 5 v *Ridici_prikazovy_registr*, tedy příznakem aktivace vysílání. Volba příkazu poté nastavením bitů 0, nebo 1. Následuje volání kódovací funkce *kodovani()*, která zakóduje celý příkaz, a funkce *vysilani_net()* pro jeho odeslání po jednotlivých bytech. Podmínkou je samozřejmě prázdný registr UDR0 (nastavený bit UDRE0 v registru UCSR0A), aby nedocházelo k přesunu bitů do registru, který není prázdný a následnému přepisu dat. Jakmile je celý příkaz odeslán, jsou vynulovány řídicí proměnné, vynulován příznak aktivace vysílání a spuštěno přerušení *ISR(TIMER1_COMPA_vect)*.



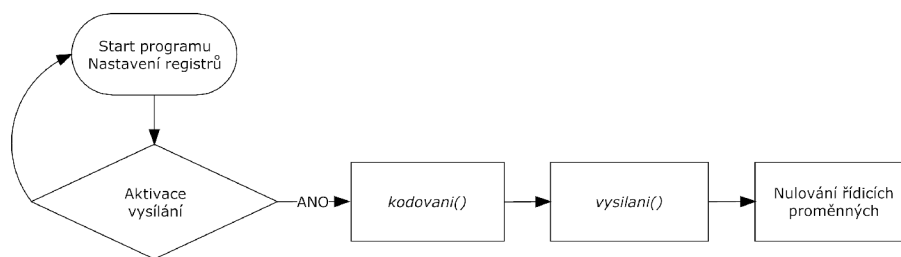
Obr. 4.3: Vývojový diagram funkce *main()* obslužného programu řídicí jednotky

Při kódování příkazu bylo použito tzv. Hammingova kódu (7, 4) [18]. V rámci tohoto kódování jsou příkazy i odpovědi kódovány po jednotlivých nibblech, kdy se 4 informačním bitům přidávají 4 bity paritní. Lze tak v každém nibblu opravit jeden a odhalit dva chybné bity. Množství redundantních dat je srovnatelné s užitečnými daty. Každý příkaz se tak přenáší ve 2 B a odpověď s naměřenými daty ve 4 B.

Jestliže byl vedle příznaku aktivace vysílání nastaven taky příznak zakončení komunikace příkazem INIT (bit 6), nebo příznak zakončení komunikace příkazem ADC (bit 7), je zahájeno odeslání dat směrem k počítači. Přitom se nevyužívá kanálového kódování a jsou vysílána pouze data připojených jednotek a senzorů. Nenastane tedy situace, v níž by docházelo ke zbytečnému přenosu nulových hodnot získaných ze 16 sensorických jednotek. Samotné vysílání zařídí funkce *vysilani_pc()*. Poté co jsou veškerá data odeslána, je nastaven registr pro řízení blikání LED *Priznaky_LED* a jsou opět vynulovány řídicí proměnné.

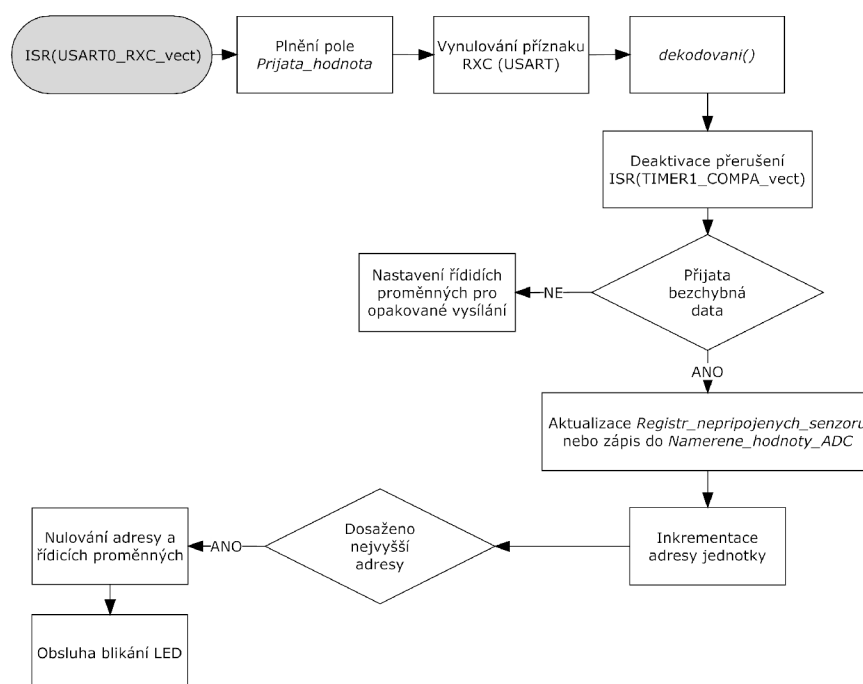
Na straně sensorické jednotky je situace podobná, ale jednodušší, jelikož program vždy pouze odpovídá na příkaz, který je mu zaslán. Pokud je shodně nastaven

příznak aktivace vysílání (bit 3), je volána funkce *kodovani()*, dále funkce *vysilani()* a jsou opět nulovány řídicí proměnné.



Obr. 4.4: Vývojový diagram funkce main() obslužného programu senzorické jednotky

4.3 Obsluhy přerušení

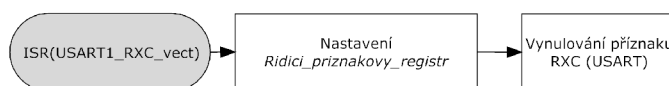


Obr. 4.5: Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART0_RXC_vect)

ISR(USART0_RXC_vect) – V rámci obsluhy přerušení od úspěšného příjmu paketu na USART0, tedy ze sítě, je obsah paketu přesunut z registru UDR do pole *Prijata_hodnota* a tento proces se zopakuje, dokud se nepřenese celá odpověď na příkaz. Následuje vynulování příznaku úspěšného příjmu, aby nebylo přerušení voláno hned po skončení jeho obsluhy znovu (příznak není nulován hardwarově automaticky). Po úspěšném příjmu a dekodování příkazu je deaktivováno přerušení od

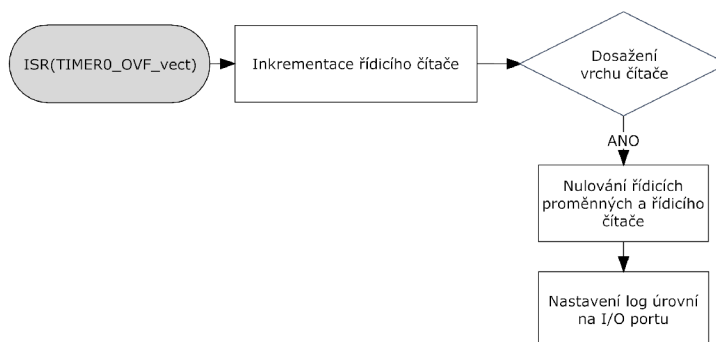
shody na čítači/časovači 1, čímž je vyřazen timeout. V závislosti na typu příkazu jsou z odpovědi přesunuta data o nepřipojených senzorech aktuální jednotky do pole *Registr_nepřipojenych_senzoru*, nebo naměřená hodnota ze senzoru do pole *Name-rene_hodnoty_ADC*. Pak už se jen inkrementuje adresa pro komunikaci s následující jednotkou v síti, prověří se, zdali nebylo dosaženo nejvyšší možné adresy, a podle toho se nastaví bity 5, 6, 7 řídicího registru. Rovněž se nastavuje registr pro řízení blikání LED podle typu komunikace. V případě poškození dat se adresa neinkrementuje a komunikace se opakuje.

ISR(USART1_RXC_vect) – Obsluha přerušení od USART1 řeší pouze přenos hodnoty do řídicího registru, tedy prvotní nastavení komunikace, a stejně jako v předchozí obsluze nuluje příznak úspěšného příjmu.



Obr. 4.6: Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART1_RXC_vect)

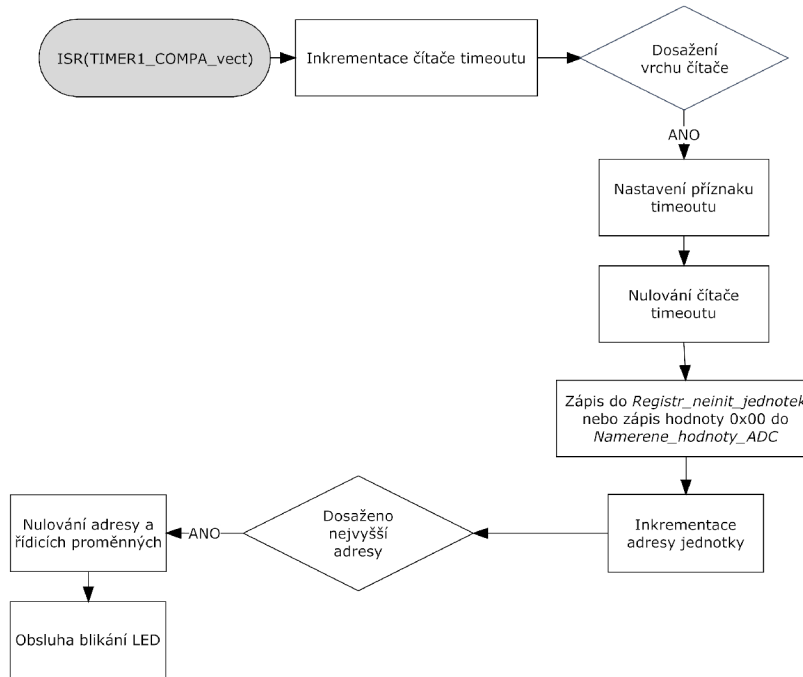
ISR(TIMER0_OVF_vect) – Tato obsluha přerušení se volá při přetečení čítače/časovače 0. Jedná se o 8-bitový časovač a s použitím předděličky $f_{clk}/256$ trvá jeho přetečení asi 7,39 ms. V rámci obsluhy přerušení je dále definován čítač softwarový, čítající do hodnoty 135, realizovaný postupnou inkrementací hodnoty uložené v proměnné *citac_i*. Po dosažení této hodnoty je proměnná vynulována a jsou aktualizovány výstupní logické úrovně na portech A (popřípadě C u sensorické jednotky). Délka periody bliknutí (stav svítí a nesvítí) tak trvá přibližně 2 s.



Obr. 4.7: Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(TIMER0_OVF_vect)

ISR(TIMER1_COMPA_vect) – Obsluha přerušení od 16-bitového čítače/časovače 1 zodpovídá za řízení timeoutu. V případě shody s hodnotou podělenou předděličkou a nastavenou v registrech OCR1AH a OCR1AL se inkrementuje proměnná *citac_timeoutu*, jehož vrch je shodný s maximálním počtem opakování vyslání

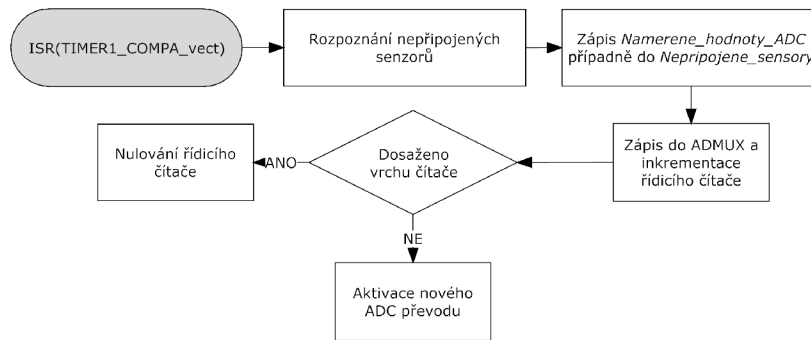
paketu. V případě dosažení vrchu čítače je nastaven bit 4, tj. příznak timeoutu. Poté je čítač vynulován a je inkrementována adresa (odpověď na příkaz INIT), popřípadě aktuální senzor nebo adresa (odpověď na příkaz ADC). Jestliže byla komunikace neúspěšná v případě poslední jednotky v síti, je adresa nulována včetně řídicího registru a je nastaveno řízení LED.



Obr. 4.8: Diagram obsluhy přerušení ISR(TIMER1_COMPA_vect)

ISR(ADC_vect) – Toto přerušení se aktivuje po úspěšném převodu A/D převodníku senzorické jednotky. Nejprve je naměřená hodnota porovnána s maximální nesnímanou hodnotou, která je na počátku programu definována, a v případě, že je naměřená hodnota vyšší, je brána jako platná a dále uložena do pole *Namerene_hodnoty_ADC*. V opačném případě je hodnota chápána pouze jako šum na nepřipojeném vstupním pinu a aktuální senzor je vnímán jako nepřipojený. Je tedy pouze aktualizován registr *Nepripojene_sensory*. Následuje inkrementace registru ADMUX (shodné s nastavením snímání následujícího senzoru) a čítače řídicího proces převodu. Zahajuje se pak další A/D převod. Pokud je dosaženo vrchu čítače (tzn. posledního senzoru), je vynulován, registr ADMUX nastaven do výchozí podoby a další převod již neprobíhá.

ISR(USART_RXC_vect) – Obsluha přerušení od úspěšného příjmu ze sériové linky USART senzorické jednotky je podobná obsluze v programu řídicí jednotky. Rozdíl je pouze prvotním spuštěním ADC převodu pro získání dat, které se poté vysílají v odpovědích, dále ve vynulování bitu MPCM pro přechod z režimu příjmu adresového paketu do režimu příjmu datového paketu v rámci multiprocessorové a



Obr. 4.9: Diagram obsluhy přerušení ISR(ADC_vect)

Point-to-Point komunikace. Jakmile jsou data úspěšně odeslána, jsou nulovány řídicí proměnné a nastaven bit MPCM a režim blikání LED.



Obr. 4.10: Vývojový diagram obsluhy přerušení ISR(USART_RXC_vect)

5 OVLÁDÁNÍ KOMUNIKACE POMOCÍ PROGRAMU TERMINAL

Program Terminal je portable aplikace využitelná pro nastavení a řízení komunikace přes sériový port počítače (COM). Umožňuje volbu přenosové rychlosti v rozsahu pevně daných hodnot od 600 Bd do 256 kBd, přičemž je také možné zadat vlastní hodnotu rychlosti. Nastavení rámce sériové linky je opět variabilní. Lze nastavit počet datových bitů od 5 do 8, počet stop bitů od 1 do 2, různé typy parity i handshaking. Data mohou být přenášena s reprezentací BIN, HEX, DEC nebo ASCII a ukládána do textových souborů [19].

Následuje nastavení komunikace v rámci testování jednotek:

- COM port: 1
- Baud rate: 2400
- Data bits: 8
- Parity: none
- Stop bits: 1
- Handshaking: none

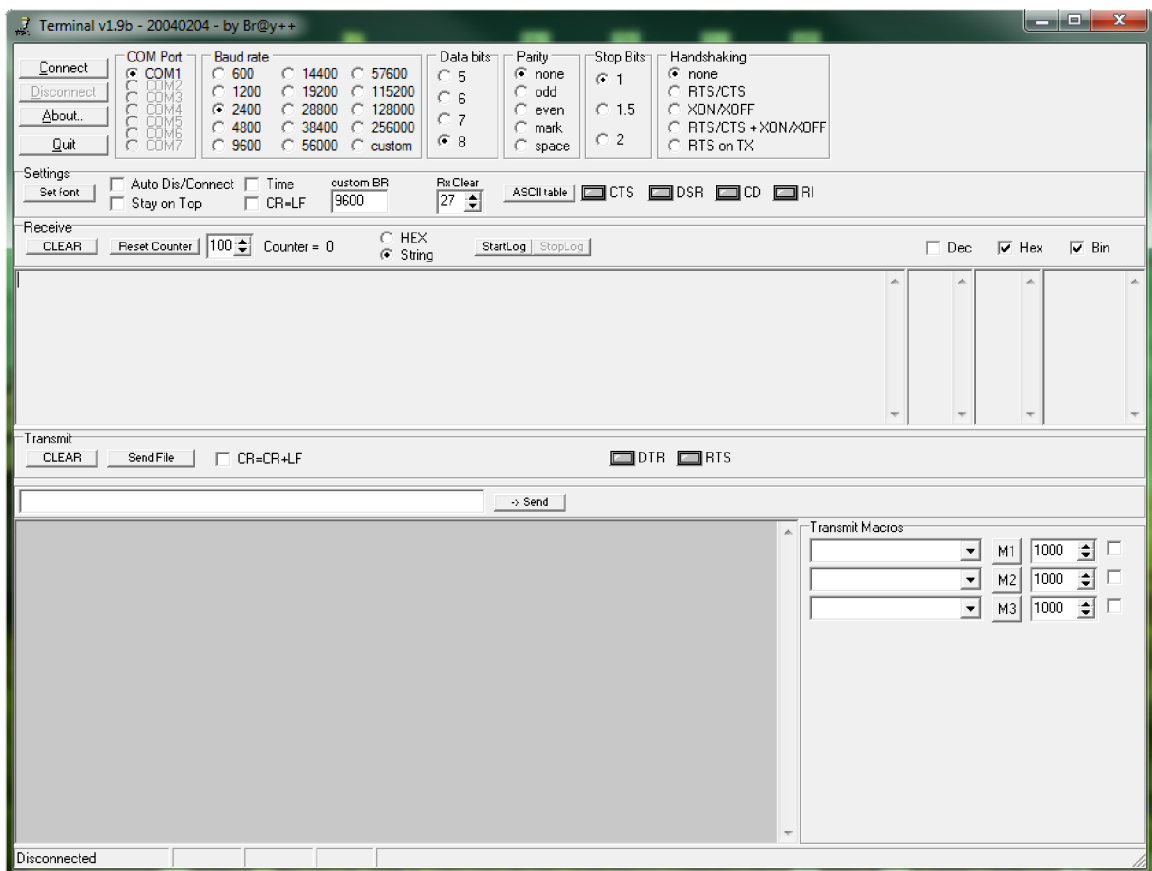
Konkrétní port COM je podmíněně volen z nabídky volných portů na PC. Přenosová rychlost byla vybrána s ohledem na co nejmenší rozdíl mezi ideální hodnotou a hodnotou, kterou lze uložit do registru UBRR1 rozhraní USART1 mikrokontroléru, jelikož je možné ukládat pouze přirozené číslo. Vychází se ze vztahu níže, kde f_0 je hodinová frekvence MCU, f_{BR} je přenosová rychlost [4].

$$UBRR = \frac{f_0}{16 \cdot f_{BR}} - 1 = \frac{8,867238 \cdot 10^6}{16 \cdot 2400} - 1 = 229,91 \approx 230 \quad (5.1)$$

Přenáší se celý byte. Parita se nenastavuje, jelikož bude využito Hammingova kódu (7, 4). Standardně se využije jednoho stop bitu a handshaking neuvažujeme, protože zde není potřeba a navíc ani nebyly zapojeny příslušné piny v konektoru Cannon (piny 7 RTS a 8 CTS). Pro opakované zasílání většího množství hodnot lze využít maker. Příslušný byte se zapíše do rozbalovací nabídky makra, navolí se perioda v milisekundách (výchozí hodnota 1000) a zaškrtně možnost Auto repeat. Výpis přijatých hodnot lze ukládat do souboru stisknutím tlačítka StartLog.

Využívá se následujících dvou bytových příkazů:

- Příkaz INIT: 0b00000001 (0x01)
- Příkaz ADC: 0b00000010 (0x02)



Obr. 5.1: Okno programu Terminal

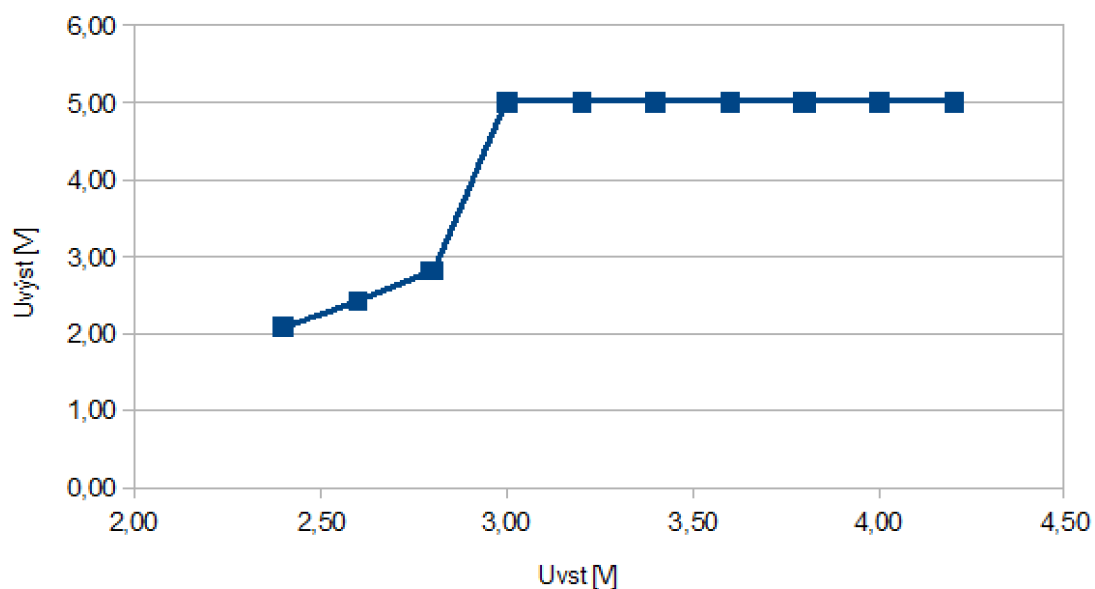
6 OVĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI A VLIVŮ RUŠENÍ

Převodní charakteristika obvodu MC34063AP1 byla naměřena s pomocí stabilizovaného zdroje napětí a multimetru. Zdroj napětí byl připojen místo záložní li-ion baterie a jeho prostřednictvím se nastavovalo napětí U_{vst} . Výstupní napětí $U_{výst}$ obvodu bylo měřeno pomocí hrotových sond.

U_{vst} [V]	$U_{výst}$ [V]
4,2	5,00
4,0	5,00
3,8	5,00
3,6	5,00
3,4	5,00
3,2	5,00
3,0	5,00
2,8	2,81
2,6	2,43
2,4	2,08

Zátěžovací rezistor: 1000 Ω

Tab. 6.1: Naměřené hodnoty převodní charakteristiky obvodu MC34063AP1



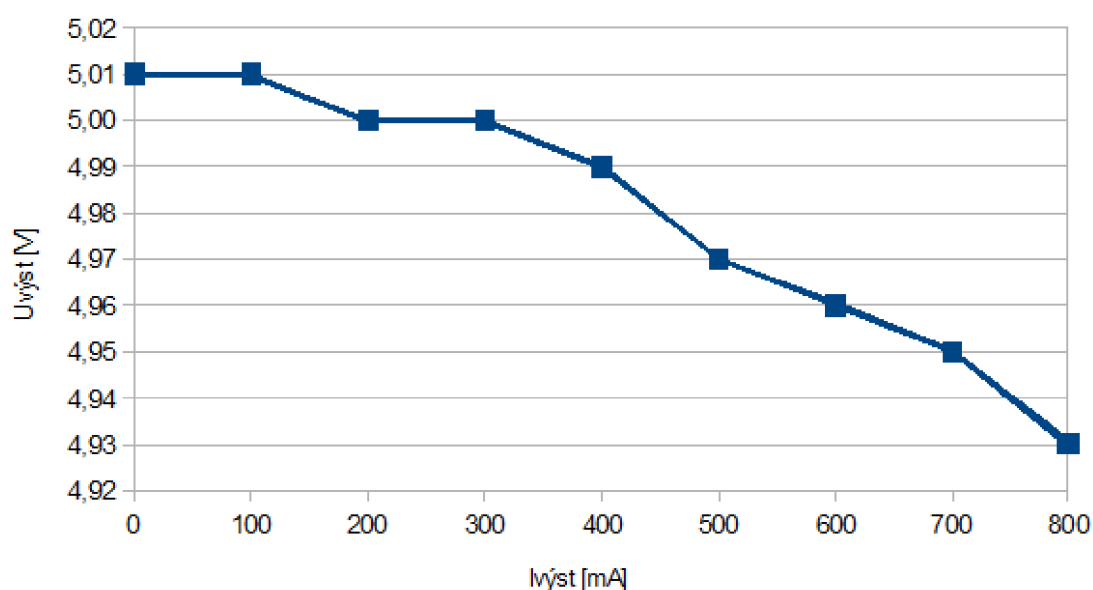
Obr. 6.1: Graf převodní charakteristiky obvodu MC34063AP1

Aby zatěžovací charakteristika obvodu LM2576 co možná nejvíce odpovídala skutečnému provozu, byla naměřena po připojení celého primárního napájecího zdroje,

přičemž jeho výstup byl připojen na reostat s proměnným zatěžovacím odporem se sériově zapojeným multimetrem měřícím proud $I_{výst}$. Mezi výstupní svorky byl dále připojen multimetr měřící napětí $U_{výst}$.

$I_{výst}$ [mA]	$U_{výst}$ [V]
0	5,01
100	5,01
200	5,00
300	5,00
400	4,99
500	4,97
600	4,96
700	4,95
800	4,93

Tab. 6.2: Naměřené hodnoty zatěžovací charakteristiky obvodu LM2576



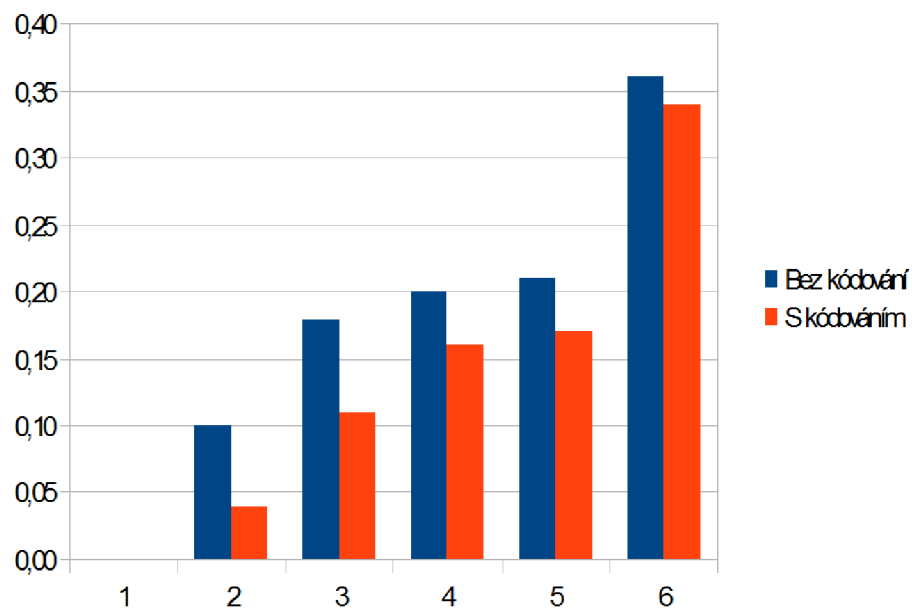
Obr. 6.2: Graf zatěžovací charakteristiky obvodu LM2576

Měření chybovosti probíhalo ve dvou fázích. V rámci prvního měření se kódování paketů nevyužívalo, ve druhém měření bylo využito Hammingovo kódování (7, 4). Nejprve byly jednotky propojeny dvoužilovým kabelem bez napětí, poté se již měřilo na silovém rozvodu ve dvou různých vzdálenostech jednotek, dále mezi fázemi. Bylo rovněž provedeno měření za současného provozu elektrických zařízení. Během měření

Režim	Bez kódování	S kódováním
1. Propojení vodičem bez napětí	0	0
2. Propojení nap. sítí - vzdálenost 0,2 m	0,10	0,04
3. Propojení nap. sítí - vzdálenost 6 m	0,18	0,11
4. Propojení nap. sítí - mezi fázemi	0,20	0,16
5. Při provozu elektrické konvice (2000 W)	0,21	0,17
6. Při provozu příklepové vrtačky (800 W)	0,36	0,34
Počet 8-bitových testovacích paketů: 100		

Tab. 6.3: Hodnoty chybovosti komunikace v závislosti na provozu

byl vyslán řídicí jednotkou testovací paket, který přijala senzorická jednotka a zaslala ho zpět. Pokud došel v nezměněné formě, resp. poškozen ale následně opraven (s použitím kódování), byl přenos vyhodnocen jako úspěšný.



Obr. 6.3: Graf chybovosti komunikace v závislosti na provozu

ZÁVĚR

Při řešení Diplomové práce bylo cílem navrhnout a zkonstruovat řídicí a senzoricou jednotku sítě přes silové rozvody včetně jejich programového vybavení.

Během řešení byl kladen nejvyšší důraz na bezpečnost při provozu. Proto byly v napájecí i signálové cestě použity transformátory ke galvanickému oddělení nebezpečného fázového napětí a to i za cenu vyšší hmotnosti výsledného zařízení. Využití varistoru, unipolárních transilů, skleněné přístrojové tavné pojistky a dvojité izolace všech silových vodičů míru bezpečnosti ještě zvýšilo.

Uspořádání součástek na deskách plošných spojů, na nichž je přítomno fázové napětí, bylo navrženo takovým způsobem, aby se nacházelo v co největší vzdálenosti od datových obvodů.

Aby byla zajištěna funkčnost zařízení i v případě výpadku napájení, je v jednotkách přítomen záložní napájecí zdroj disponující li-ion baterií, kterou je pokryta spotřeba integrovaných obvodů. Během normálního provozu je baterie nabíjena hlavním napájecím zdrojem, který je výkonově mírně naddimenzovaný, tak aby bez problémů pokryl veškeré energetické nároky.

Volba konkrétních součástek i obvodová realizace byla podmíněna snahou snížit pořizovací náklady avšak při současném zajištění bezproblémového chodu a obsluhy zařízení. Proto byl např. v řídicí jednotce zvolen model mikrokontroléru disponující dvěma rozhraními USART, tak aby byla možná potřebná komunikace s osobním počítačem a zároveň se sítí, navzdory vyšší ceně.

Ze stejného důvodu byly při konstrukci využity součástky s vývodovou i povrchovou montáží.

Programování, ladění programu a testování činnosti obvodů je zajištěno rozhraním JTAG, které bylo vyvedeno do standardního 10-pinového MLW konektoru.

Desky plošných spojů byly na základě obvodů realizovány v programu Eagle a vyrobeny jako dvouvrstvé, bez nepájivé masky a servisního potisku. Prokovy bylo nutné udělat ručně. Toroidní transformátory byly vyrobeny zakázkově.

V rámci diplomové práce byl navržen a naprogramován řídicí SW obou jednotek, tak aby byla zprovozněna komunikace v rámci celé sítě. Pro komunikaci s PC a ovládání uživatelem byl využit freewarový program Terminal. Spolehlivost sítě byla prověřena při různých situacích při činnosti kódování i bez něj a výsledky byly sepsány do přehledné tabulky.

Program Terminal poskytuje nezbytné funkce pro opakované odesílání a příjem dat sériovou linkou. Samozřejmě ale není schopen přijatá data vyhodnocovat a tedy realizace patřičné ovládací aplikace psané např. v C#, jež by dokázala naměřená data přímo vizualizovat do grafu a statisticky porovnávat, by měla následovat.

Přenosová rychlost skrz napájecí síť se jmenovitou hodnotou 600 Bd se jeví jako největší nevýhodou. Schopnost sítě přiblížit se činnosti v reálném čase se tak zlepšuje se snižujícím se počtem připojených senzorických jednotek. Výběr vhodnějšího síťového modemu, který by dokázal kvalitně komunikovat s vyšší rychlostí, je tedy na místě. Ale vzhledem k nízké nabídce různých obvodů na trhu se použitý modem TDA5051AT jeví zatím jako vhodný.

LITERATURA

- [1] HRASNICA, H. – HAIDINE, A. – LEHNERT, R. *Broadband Powerline Communications Networks*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2004. ISBN 0-470-85741-2.
- [2] CARCELLE, Xavier. *Power Line Communications in Practice*. Boston, London: Artec House, 2006. ISBN 13: 978-1-59693-335-4.
- [3] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje 1*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN: 80-86056-02-3.
- [4] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR ATmega16*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN: 80-7300-174-8.
- [5] *Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice* Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice [online]. [cit. 2011-10-06]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-50-1978-sb-ceskeho-uradu-bezpecnosti-prace-a-ceskeho-banskeho-uradu-o-odborne-zpusobilosti-v-elektrotechnice>>
- [6] *Atmel Corporation - ATmega162-16AU datasheet* [online]. [cit. 2011-11-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2513.pdf>
- [7] *Atmel Corporation - ATmega16-16AU datasheet* [online]. [cit. 2011-11-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf>
- [8] *TDA5051A ASK power line modem* [online]. [cit. 2011-11-20]. Dostupný z WWW:
<http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10903.pdf>
- [9] *HW server představuje - sériová linka RS-232* [online]. [cit. 2011-11-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz/rs-232>>
- [10] *MAX232 - datasheet* [online]. [cit. 2011-11-25]. Dostupný z WWW:
<<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>>
- [11] *TMP36 - datasheet* [online]. [cit. 2011-11-26]. Dostupný z WWW:
<http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/TMP35_36_37.pdf>

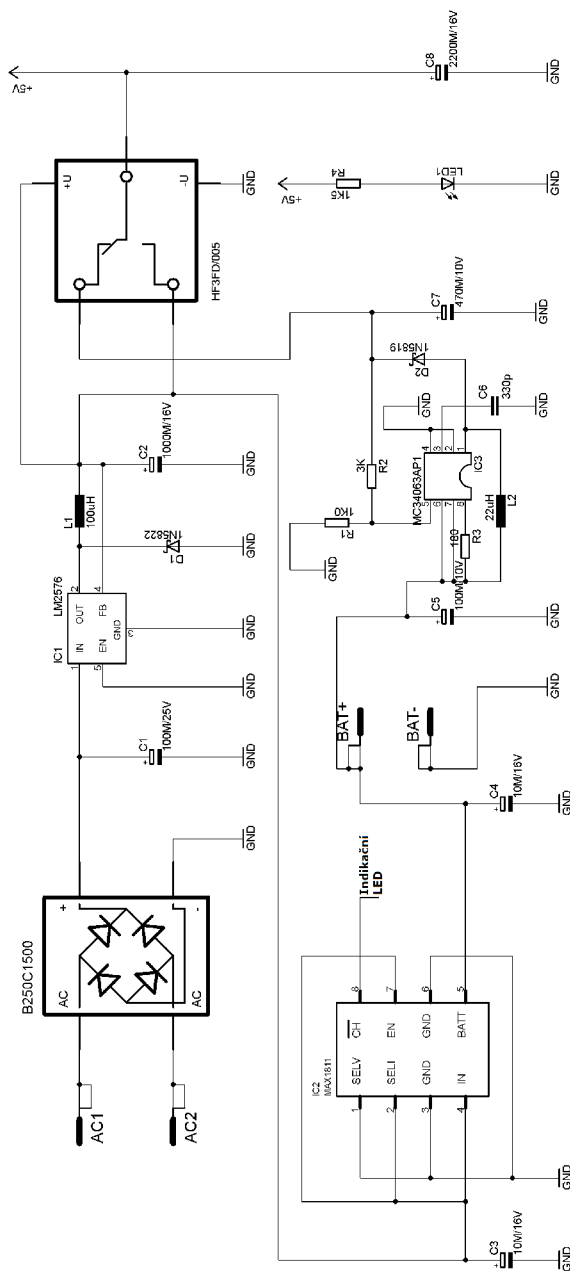
- [12] *W06M datasheet pdf - SINGLE PHASE GLASS PASSIVATED BRIDGE RECTIFIER* [online]. [cit. 2011-12-01]. Dostupný z WWW:
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/W/0/6/M/W06M.shtml>
- [13] *LM2576 - datasheet* [online]. [cit. 2011-12-03]. Dostupný z WWW:
<<http://www.national.com/ds/LM/LM2576.pdf>>
- [14] *L78S05 Datasheet pdf - 2A POSITIVE VOLTAGE REGULATORS - ST Microelectronics* [online]. [cit. 2011-12-03]. Dostupný z WWW:
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/7/8/S/L78S05.shtml>
- [15] *Sanyo UR18650W - datasheet* [online]. [cit. 2011-12-05]. Dostupný z WWW:
<<http://battery.sanyo.com/en/spec/ion/UR18650W.pdf>>
- [16] *MAX1811 USB-Powered Li+ Charger* [online]. [cit. 2011-12-06]. Dostupný z WWW:
<<http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2536>>
- [17] *MC34063AP1 datasheet pdf - DC-to-DC CONVERTER CONTROL CIRCUITS* [online]. [cit. 2011-12-07]. Dostupný z WWW:
<http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/C/3/4/MC34063AP1.shtml>
- [18] *Hamming (7,4) Code Discussion and Implementation* [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://michael.dipperstein.com/hamming/index.html>>
- [19] *Terminal - sériový terminál pro Windows - HW.cz* [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupný z WWW:
<<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/terminal-seriovy-terminal-pro-windows.html>>

A SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

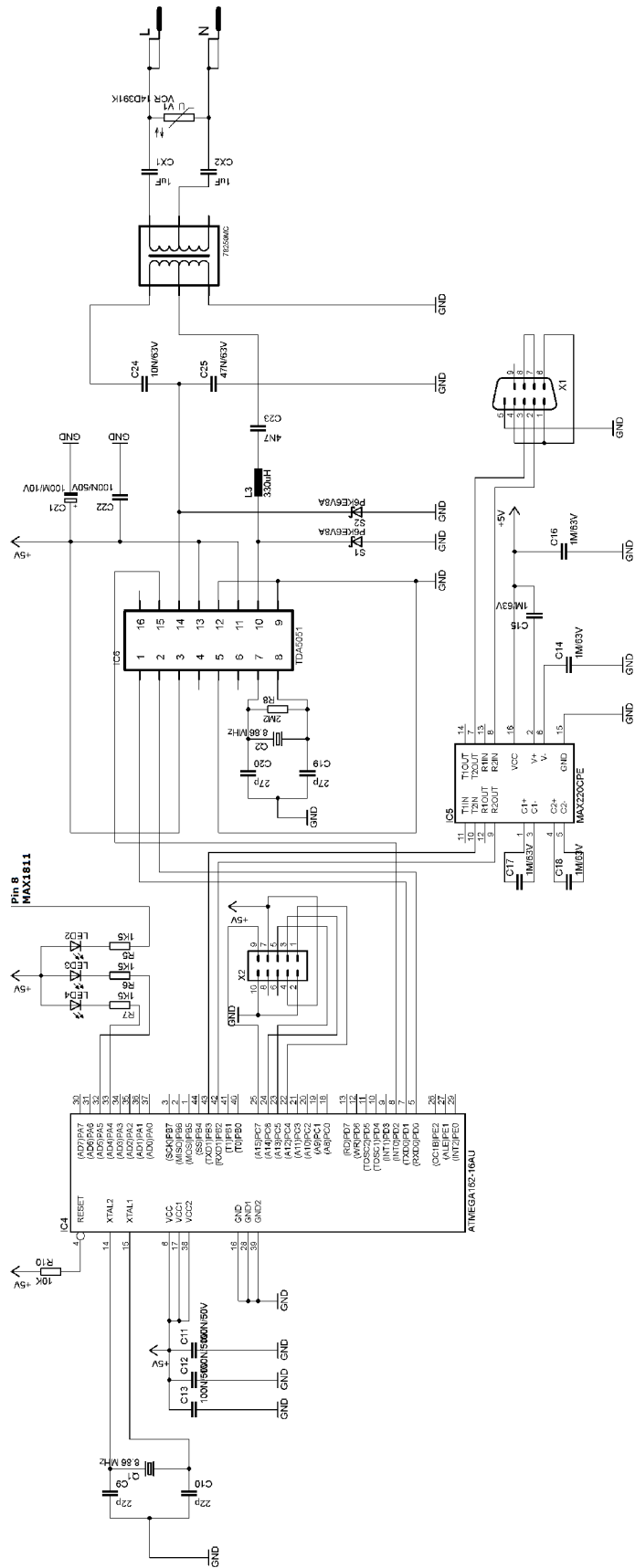
AC	Alternating current
ANSI	American National Standards Institute
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASK	Amplitude-shift keying
A/D	Analog to digital converter
ARQ	Automatic Repeat Query
BIN	Binární soustava
BPSK	Binary phase-shift keying
L	Cívka
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor
t	Čas
ČR	Česká republika
DEC	Dekadická soustava
DPS	Deska plošných spojů
DC	Direct current
V_{ef}	Efektivní hodnota napětí
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory
EMC	Electromagnetic compatibility
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
L	Fázový vodič
FEC	Forward error correction
f_{BR}	Frekvence přenosové rychlosti
FSK	Frequency-shift keying
GND	Ground
HDD	Hard disc drive
HEX	Hexadecimální soustava
HF	High frequency
HW	Hardware
f_0	Hodinová frekvence mikrokontroléru
JTAG	Joint Test Action Group
C	Kondenzátor
LED	Light-emitting diode
I_m	Maximální proud
$I_{výst}$	Výstupní proud
MCU	Mikrokontrolér
V_{CC}	Napájecí napětí
NN	Nízké napětí
PC	Personal computer
PLC	Power line communication
PE	Protective Earthing
PWM	Pulse-width modulation
RXD	Receive data
R	Rezistor
SRAM	Static random access memory
N	Střední vodič
SMT	Surface mount technology
SW	Software
TTL	Transistor-transistor-logic
TXD	Transmit data
U_{vst}	Vstupní napětí
$U_{výst}$	Výstupní napětí
USART	Universal synchronous / asynchronous receiver and transmitter
VVN	Velmi vysoké napětí
VA	Volt ampér
VN	Vysoké napětí
V_r	Zvlnění úrovně napětí

Tab. A.1: Seznam symbolů, veličin a zkratk

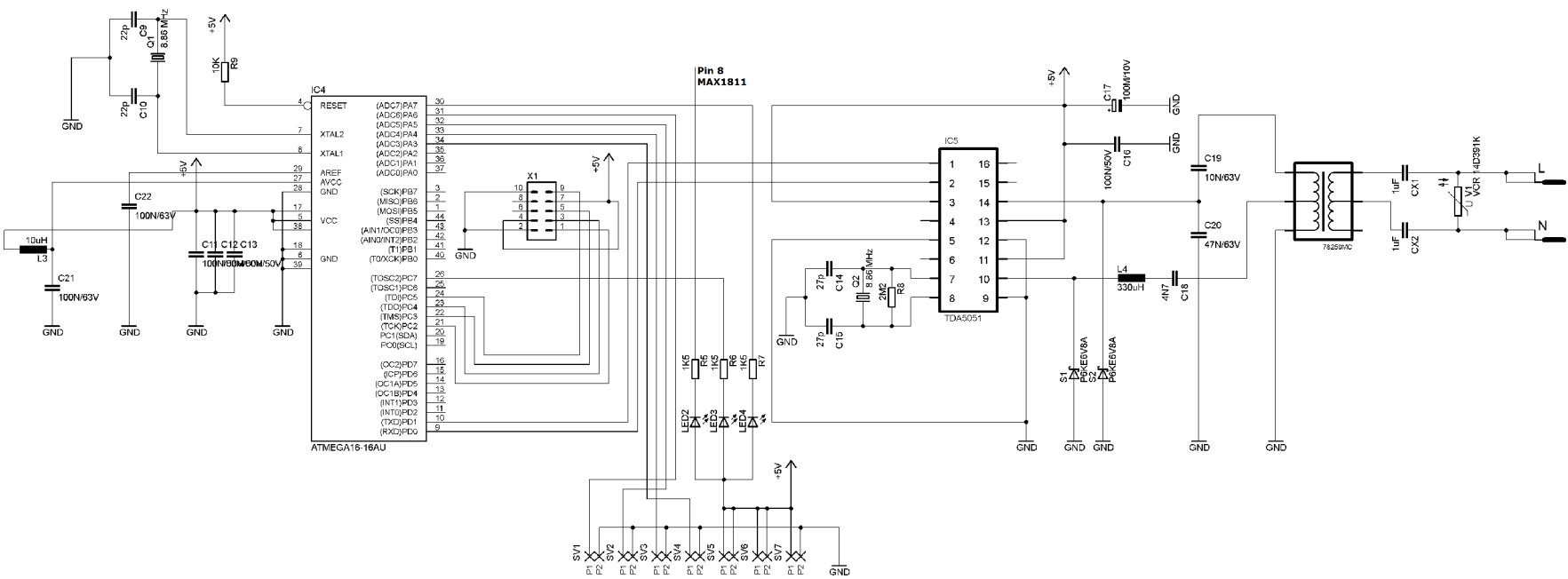
B OBVODOVÁ SCHÉMATA



Obr. B.1: Schéma napájecího zdroje

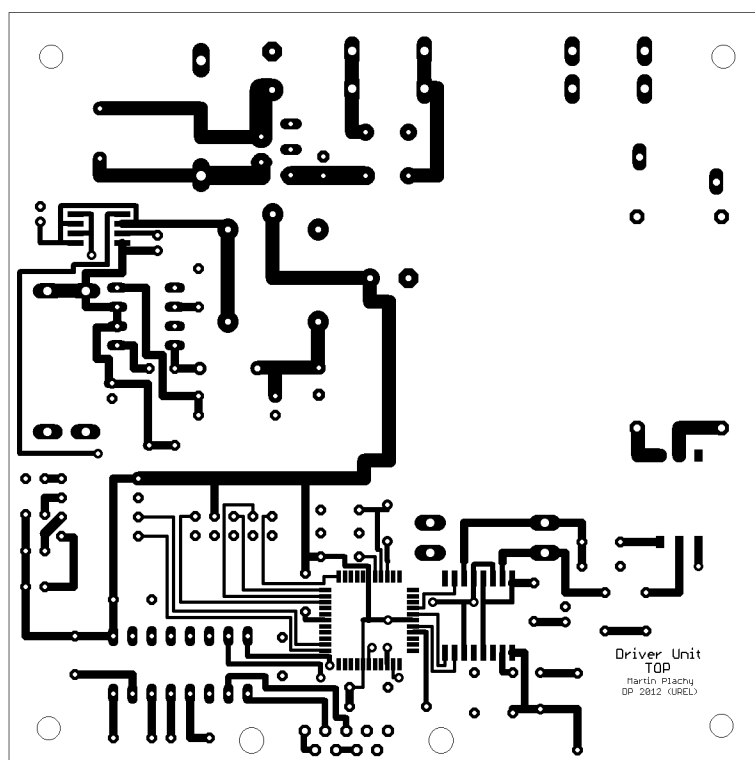


Obr. B.2: Schéma datových obvodů řídicí jednotky

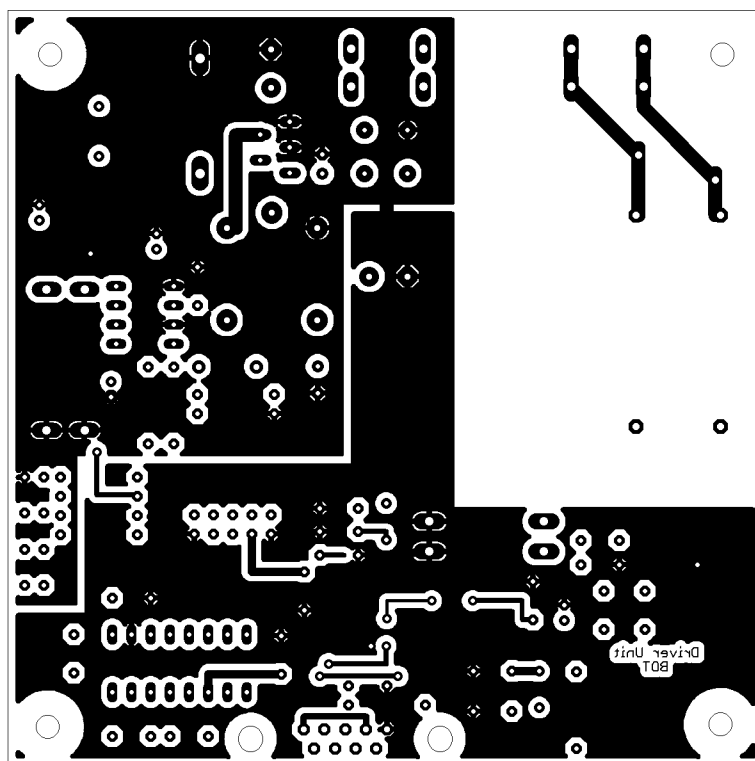


Obr. B.3: Schéma datových obvodů senzorické jednotky

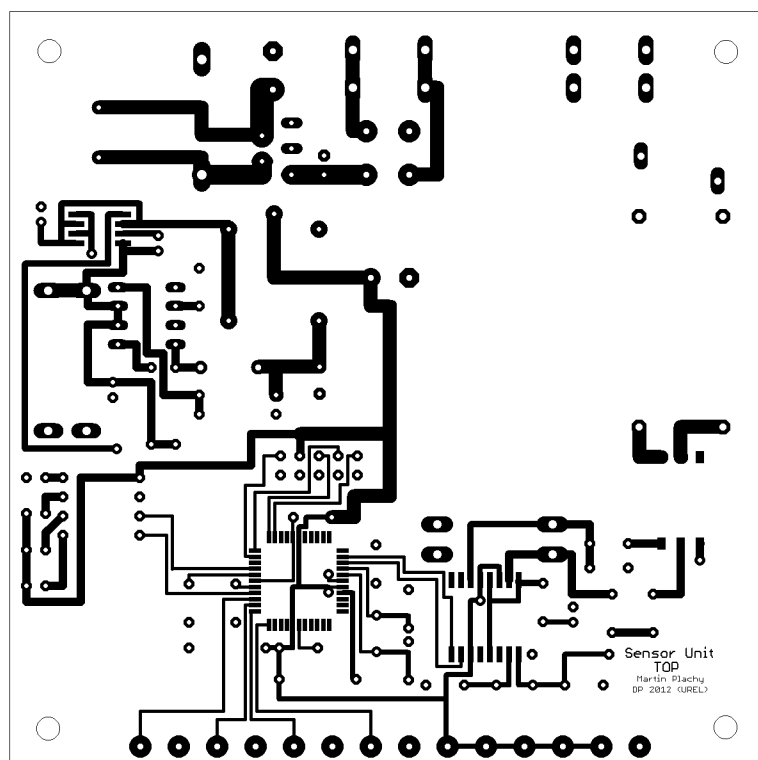
C PŘEDLOHY DPS



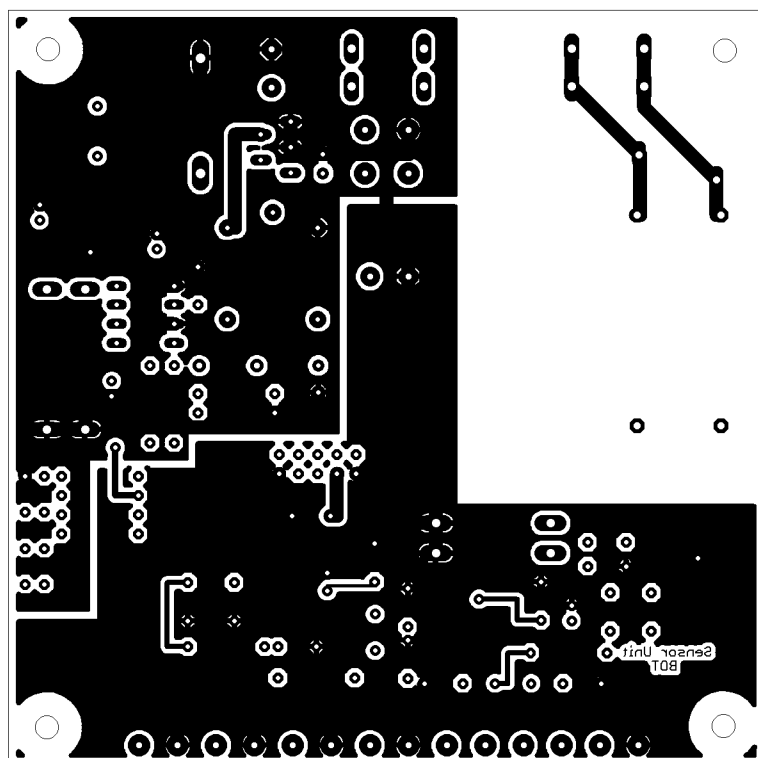
Obr. C.1: Předloha vrchní strany DPS řídicí jednotky



Obr. C.2: Předloha spodní strany DPS řídicí jednotky

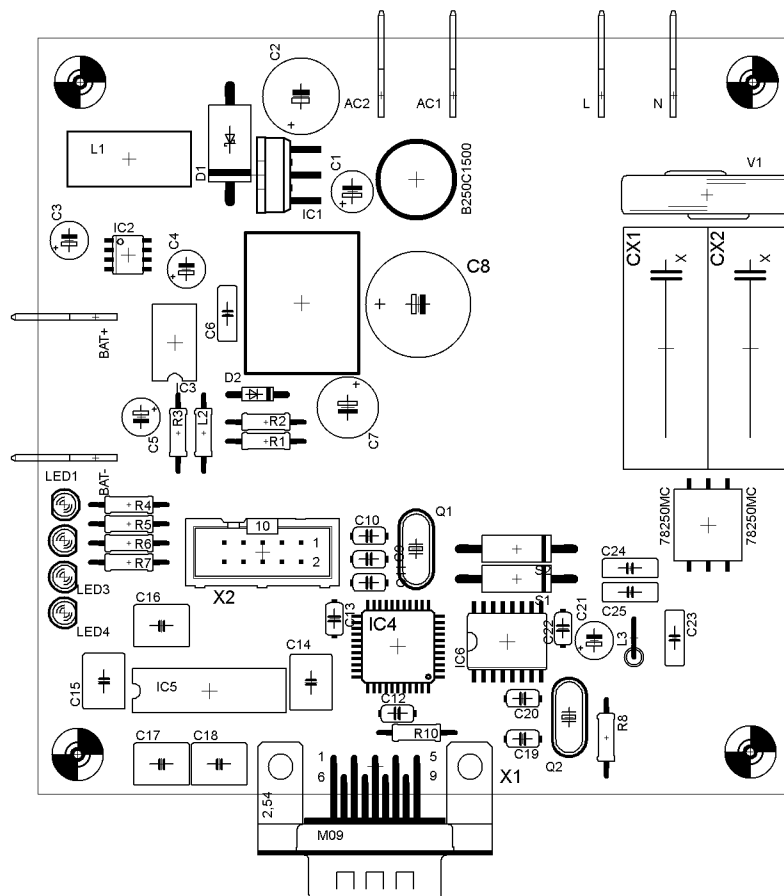


Obr. C.3: Předloha vrchní strany DPS senzorické jednotky

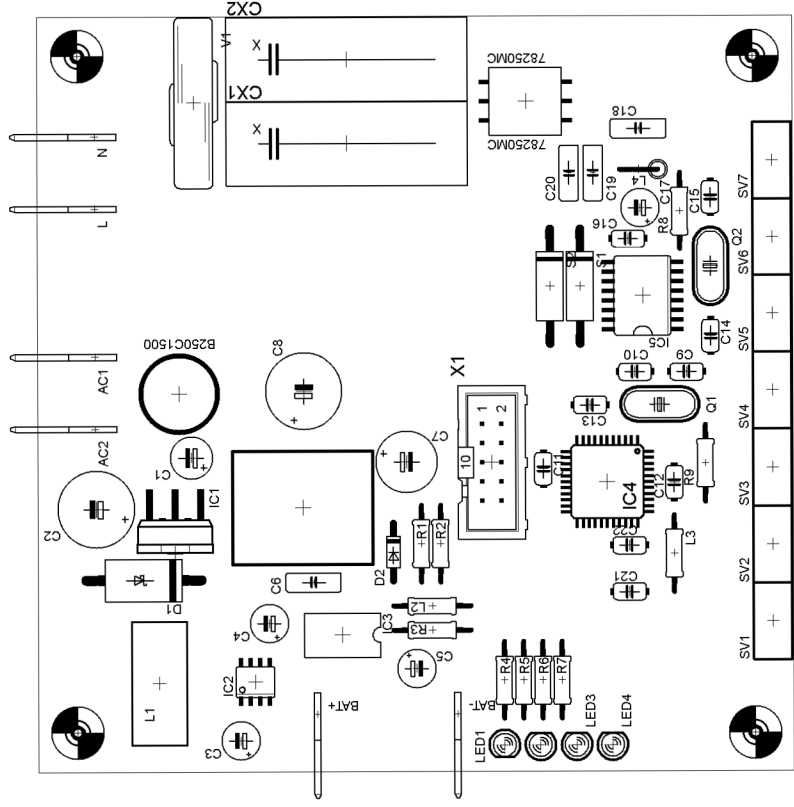


Obr. C.4: Předloha spodní strany DPS senzorické jednotky

D OSAZOVACÍ VÝKRESY

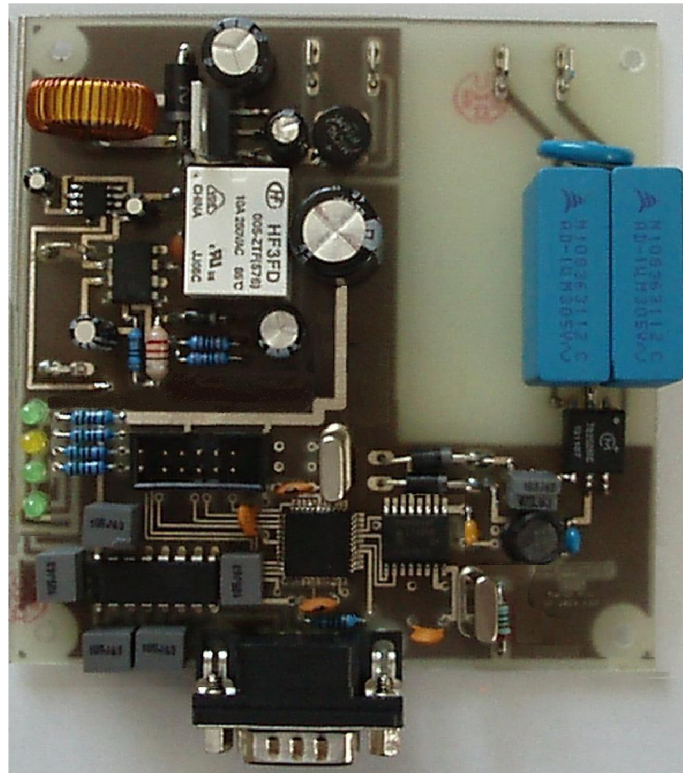


Obr. D.1: Osazovací výkres řídicí jednotky

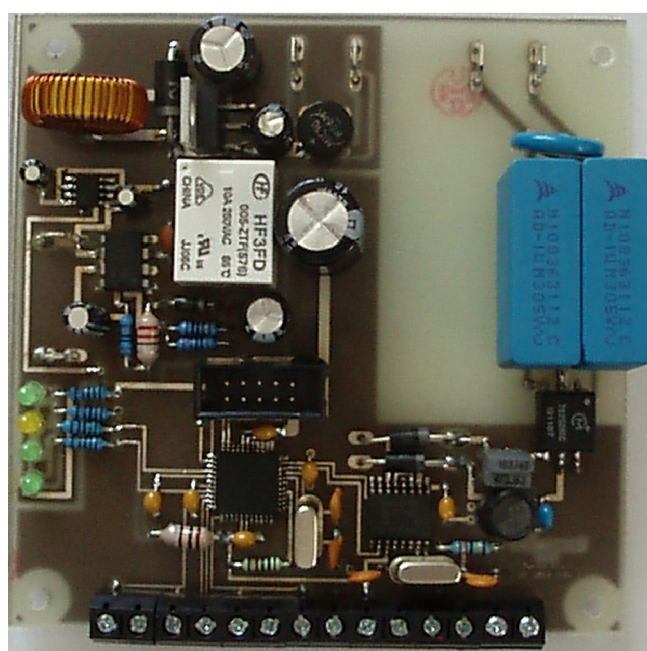


Obr. D.2: Osazovací výkres senzorní jednotky

E FOTOGRAFIE DESEK



Obr. E.1: Řídicí jednotka



Obr. E.2: Senzorická jednotka

F SOUPISKY SOUČÁSTEK

Součástky řídicí jednotky			
Název	Označení součástky	Hodnota	Množství
Rezistor metalizovaný R0207	R1	1K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R2	3K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R3	180R	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R4, R5, R6, R7	1K5	4 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R8	2M2	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R6	4K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R10	10K	1 ks
Kondenzátor keramický	C6	330p/50V	1 ks
Kondenzátor keramický	C9, C10	22p/50V	2 ks
Kondenzátor keramický	C11, C12, C13, C22	100n/50V	4 ks
Kondenzátor keramický	C19, C20	27p/50V	2 ks
Kondenzátor foliový	C14, C15, C16, C17, C18	1u/63V	5 ks
Kondenzátor foliový	C23	4N7/63V	1 ks
Kondenzátor foliový	C24	10N/63V	1 ks
Kondenzátor foliový	C25	47N/63V	1 ks
Kondenzátor foliový X2	CX1, CX2	1u	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C1	100u/25V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C2	1000u/16V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C3, C4	10u/16V	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C5, C21	100u/10V	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C7	470u/10V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C8	2200u/16V	1 ks
Tlumivka toroidní	L1	100uH	1 ks
Tlumivka axiální	L2	22uH	1 ks
Tlumivka radiální	L3	330uH	1 ks
Dioda Schottky	D1	1N5822	1 ks
Dioda Schottky	D2	1N5819	1 ks
Dioda LED nízkopříkonová 3mm	LED1, LED2, LED3	zelená	3 ks
Dioda LED nízkopříkonová 3mm	LED4	žlutá	1 ks
Transil unipolární	S1, S2	P6KE6V8A	2 ks
Varistor	V1	VCR 14D391K	1 ks
Krystal HC49U	Q1, Q2	8.86MHz	2 ks
Graetzův můstek	B250C1500	-	1 ks
Spínaný regulátor napětí	IC1	LM2576	1 ks
Relé s DC cívkou	HF3FD/005	-	1 ks
Nabíjecí obvod Li+ baterie	IC2	MAX1811	1 ks
Spínaný regulátor napětí	IC3	MC34063AP1	1 ks
Mikrokontrolér	IC4	ATmega162-16AU	1 ks
Převodník pro RS232 sběrnici	IC5	MAX220CPE	1 ks
Modem pro napájecí síť	IC6	TDA5051AT1	1 ks
Signálový HF transformátor	78250MC	-	1 ks
Konektor Cannon 9-pin	X1	-	1 ks
Konektor MLW 10-pin	X2	-	1 ks
Konektor FASTON	AC1, AC2, L, N, BAT+, BAT-	-	6 ks

Tab. F.1: Soupiska součástek řídicí jednotky

Součástky řídicí jednotky			
Název	Označení součástky	Hodnota	Množství
Rezistor metalizovaný R0207	R1	1K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R2	3K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R3	180R	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R4, R5, R6, R7	1K5	4 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R8	2M2	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R6	4K	1 ks
Rezistor metalizovaný R0207	R9	10K	1 ks
Kondenzátor keramický	C6	330p/50V	1 ks
Kondenzátor keramický	C9, C10	22p/50V	2 ks
Kondenzátor keramický	C11, C12, C13, C16, C21, C22	100n/50V	6 ks
Kondenzátor keramický	C14, C15	27p/50V	2 ks
Kondenzátor foliový	C23	4N7/63V	1 ks
Kondenzátor foliový	C24	10N/63V	1 ks
Kondenzátor foliový	C25	47N/63V	1 ks
Kondenzátor foliový X2	CX1, CX2	1u	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C1	100u/25V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C2	1000u/16V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C3, C4	10u/16V	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C5, C17	100u/10V	2 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C7	470u/10V	1 ks
Kondenzátor elektrolytický radiální	C8	2200u/16V	1 ks
Tlumivka toroidní	L1	100uH	1 ks
Tlumivka axiální	L2	22uH	1 ks
Tlumivka axiální	L3	10uH	1 ks
Tlumivka radiální	L4	330uH	1 ks
Dioda Schottky	D1	1N5822	1 ks
Dioda Schottky	D2	1N5819	1 ks
Dioda LED nízkopříkonová 3mm	LED1, LED2, LED3	zelená	3 ks
Dioda LED nízkopříkonová 3mm	LED4	žlutá	1 ks
Transil unipolární	S1, S2	P6KE6V8A	2 ks
Varistor	V1	VCR 14D391K	1 ks
Krystal HC49U	Q1, Q2	8.86MHz	2 ks
Graetzův můstek	B250C1500	-	1 ks
Spínaný regulátor napětí	IC1	LM2576	1 ks
Relé s DC cívkou	HF3FD/005	-	1 ks
Nabíjecí obvod Li+ baterie	IC2	MAX1811	1 ks
Spínaný regulátor napětí	IC3	MC34063AP1	1 ks
Mikrokontrolér	IC4	ATmega162-16AU	1 ks
Převodník pro RS232 sběrnici	IC5	MAX220CPE	1 ks
Modem pro napájecí síť	IC6	TDA5051AT1	1 ks
Signálový HF transformátor	78250MC	-	1 ks
Svorkovnice	SV1-7	-	7 ks
Konektor MLW 10-pin	X2	-	1 ks
Konektor FASTON	AC1, AC2, L, N, BAT+, BAT-	-	6 ks

Tab. F.2: Soupiska součástek senzorické jednotky