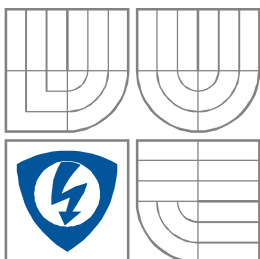


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŘÍDICÍ SYSTÉM NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ EMERGENCY LIGHTING CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Rostislav Vyroubal

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Michal Fuchs

BRNO, 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Rostislav Vyroubal

ID: 98195

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém nouzového osvětlení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte zařízení pro monitorování a řízení nabíjení baterií nouzového osvětlení. Při poklesu napětí pod definovanou úroveň zařízení zahájí nabíjení. Po snížení nabíjecího proudu pod jistou mez nabíjení ukončí. Během nabíjení bude zařízení sledovat nabíjecí křivku. Přes sériový port půjdou nastavovat parametry nabíjení a rozhodovací úrovně. Dále pak získávat provozní informace, aktuální stav baterií, vybíjecí průběhy, sledovat historii nabíjení a výpadků v elektrické síti. Zahájit nabíjení okamžitě po obnově dodávce elektrického proudu. Vyberte vhodné integrované obvody pro takové zařízení a diskutujte vhodnost jejich použití. Sestavte úplné obvodové schéma zapojení. Zařízení sestavte. Proveďte analýzu programu řídicích obvodů. Naprogramujte řídicí obvody zařízení a zařízení oživte. Po kompletaci výrobku splňujícím příslušné normy, zařízení otestujte v provozních podmínkách. Vyhodnoťte získané hodnoty, demonstруйте je formou grafů a na jejich základě diskutujte stav obou záložních sekcí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry. Praha : BEN - technická literatura, 2004.

[2] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Praha : BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Michal Fuchs

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ANOTACE

Cílem diplomové práce je navrhnout systém pro monitorování a řízení nabíjení baterií nouzového osvětlení. Diskutovat a vybrat vhodné součástky s ohledem na cenu a dostupnost. Z vybraných obvodů sestavit úplné obvodové schéma a navrhnout DPS s ohledem na vybrané konstrukční prvky. Zařízení sestavit a otestovat v provozu. Z naměřených vybíjecích průběhu diskutovat stav akumulátorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řídicí systém, nouzové osvětlení, ATmega16, MAX232, 24C256, PCF8563

ANNOTATION

The aim of this thesis is to design a system for monitoring and control battery charge of emergency lighting. Discuss and choose components with respect to cost and accessibility. Design full circuit scheme and PCB with chosen components is provided. Designed system is compiled and tested in order. The item of discussion is measured discharging characteristics and conditions of accumulator.

KEYWORDS

Control system, emergency lighting, ATmega16, MAX232, 24C128, PCF8563

Bibliografická citace

VYROUBAL, Rostislav. *Řídicí systém nouzového osvětlení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 75 s., Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Fuchs.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řídicí systém nouzového osvětlení“ 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 anebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Fuchsovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM GRAFŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD	11
1 POŽADAVKY NA SYSTÉM.....	11
2 BLOKOVÉ SCHÉMA	12
3 VOLBA OBVODŮ	13
3.1 MIKROPROCESOR	13
3.2 ZDROJ REÁLNÉHO ČASU	13
3.2.1 Softwarové systémové hodiny s krystalem 16MHz	13
3.2.2 Softwarové systémové hodiny s krystalem 32,768kHz	13
3.2.3 Zdroj reálného času PCF8563T	14
3.3 MĚŘENÍ PROUDU A NAPĚTÍ.....	14
3.4 PAMĚŤ.....	21
3.4.1 Adresace zařízení.....	22
3.4.2 Zápis jednoho byte	22
3.4.3 Zápis několika byte	23
3.4.4 Čtení jednoho byte	23
3.4.5 Sekvenční čtení.....	23
3.5 KOMUNIKACE S PC	24
3.5.1 USART	24
3.5.2 MAX232	24
3.6 NABÍJEČKA	25
3.6.1 Nabíjení U charakteristikou.....	25
3.6.2 Nabíjení I charakteristikou	25
3.6.3 Nabíjení W charakteristikou	26
3.6.4 Ukončení nabíjení metodou záporného napětí.....	26
3.6.5 Varování	26
3.7 RELÉ	26
3.8 NÁVRH ZDROJE.....	27
4 KOMPLETNÍ OBVODOVÉ SCHÉMA	29
5 REALIZACE.....	30
5.1 VOLBA KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ.....	30
5.2 KONEKTORY	31
5.3 ZDROJ	32
5.4 INDIKAČNÍ PANEL.....	35
5.5 BOČNÍKY	36
5.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA	39
6 OŽIVENÍ	42
6.1 OŽIVENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE	42
6.2 OŽIVENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	42
6.2.1 Naprogramování pomocí 10 pinového konektoru.....	42
6.2.2 Naprogramování pomocí 6ti pinového konektoru.....	43
6.2.3 Oživení	43
7 POPIS KONEKTORŮ A VÝZNAMU SVĚTELNÉ INDIKACE.....	44
7.1 POPIS KONEKTORŮ	44
7.2 VÝZNAM SVĚTELNÉ INDIKACE	45
8 PROGRAM MIKROPROCESORU	46
8.1 VÝVOJOVÉ DIAGRAMY PROGRAMU MIKROPROCESORU	46
8.2 FORMÁT UKLÁDANÝCH DAT DO PAMĚTI EEPROM.....	49
9 ZDROJOVÝ KÓD	52

9.1	KNIHOVNA ADC	53
9.2	KNIHOVNA CZ	53
9.3	KNIHOVNA INT_EEPROM.....	53
9.4	KNIHOVNA LOG	53
9.5	KNIHOVNA PRO OBSLUHU RTC A EEPROM.....	53
9.6	KNIHOVNA USART	54
9.7	HLAVNÍ FUNKCE MAIN	55
10	IMPORT A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ.....	56
11	MĚŘENÍ	60
11.1	MĚŘENÍ ZDROJE S LINEÁRNÍ STABILIZACÍ.....	60
11.2	MĚŘENÍ ZDROJE S MĚNIČEM.....	60
11.3	NAMĚŘENÁ PROVOZNÍ DATA	62
12	DISKUSE STAVU BATERIÍ.....	66
13	ZÁVĚR.....	69
14	POUŽITÁ LITERATURA	71
15	SEZNAM SYMBOLŮ	73
16	SEZNAM ZKRATEK.....	74
17	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

Seznam obrázků

Obr. 1.: Minulé zapojení nabíječek.....	12
Obr. 2.: Blokové schéma řídicího systému	12
Obr. 3.: Schéma zapojení PCF8563	14
Obr. 4.: Schéma měření napětí a proudu.....	15
Obr. 5.: Přenos integračního operačního zesilovače	16
Obr. 6.: Přenos frekvenčně závislého děliče	16
Obr. 7.: Kombinace diferenčního a neinvertujícího zesilovače pro měření proudu	17
Obr. 8.: Frekvenční charakteristika zesilovače napětí na bočníku (zelený marker na obrázku 6).....	18
Obr. 9.: Frekvenční charakteristika prvního stupně, diferenční operační zesilovač (červený marker na obrázku 6).....	18
Obr. 10.: Diferenční operační zesilovač pro měření proudu.....	19
Obr. 11.: Frekvenční charakteristika diferenčního operačního zesilovače pro měření proudu (zelený marker odpovídá MALE_I na Obr. 10, červený VELKE_I)	19
Obr. 12.: Schéma zapojení integračního zesilovače pro měření napětí	20
Obr. 13.: Frekvenční charakteristika integračního zesilovače pro měření napětí.....	21
Obr. 14.: Popis pinů paměti 24C256 (převzato z [4]).....	22
Obr. 15.: Adresace jednotky (převzato z [4]).....	22
Obr. 16.: Zápis jednoho byte do paměti EEPROM.....	22
Obr. 17.: Sekvenční zápis do paměti EEPROM	23
Obr. 18.: Čtení jednoho byte.....	23
Obr. 19.: Sekvenční čtení.....	23
Obr. 20.: Formát rámce jednotky USART (převzato z [1])	24
Obr. 21.: Schéma zapojení obvodu MAX232.....	24
Obr. 22.: Nabíjecí křivka NiCd akumulátorů při nabíjení konstantním proudem	26
Obr. 23.: Napájecí ztroj pro řídicí systém záložního osvětlování.....	28
Obr. 24.: Kompletní obvodové schéma	29
Obr. 25.: Přístrojová krabička CP-17-15B převzato z [11].....	30
Obr. 26.: Rozdělení přístrojové krabičky dle silových a datových obvodů.....	30
Obr. 27.: I-ZASUVKA VESTAVNA CERNA 1461 převzato z [12].....	31
Obr. 28.: Konektor <i>Speakon NEUTRIK NL4MP</i> převzato z [13]	32
Obr. 29.: Konektor <i>Speakon NEUTRIK NL4FX</i> převzato z [15].....	32
Obr. 30.: Deska plošných spojů napájecího zdroje (rozměry 104 x 63,5).....	33
Obr. 31.: Izolační deska, která se umístí mezi DPS zdroje a stěnu přístrojové krabičky	33
Obr. 32.: Zdroj, osazovací plán BOTTOM (strana spojů)	34
Obr. 33.: Zdroj, osazovací plán TOP (strana součástek)	34
Obr. 34.: DPS indikačního panelu (rozměry 30 x 23)	35
Obr. 35.: Osazovací plán indikačního panelu (strana součástek)	35
Obr. 36.: Schéma zapojení bočniců	37
Obr. 37.: DPS bočniců (rozměry 66 x 63)	38
Obr. 38.: Osazovací plán bočniců TOP, odpory substituují odporový drát.....	38
Obr. 39.: Schéma řídicí jednotky	39
Obr. 40.: DPS řídicí jednotky BOTTOM (spodní strana, rozměry 100 x 63,5)	40
Obr. 41.: DPS řídicí jednotky TOP (spodní strana, rozměry 100 x 63,5).....	40
Obr. 42.: Osazovací plán řídicí jednotky BOTTOM, spodní strana	41
Obr. 43.: Osazovací plán řídicí jednotky TOP, horní strana.....	41
Obr. 44.: Schéma zapojení kabelu propojující řídicí jednotku a programátor	42
Obr. 45.: Popis pinů pro naprogramování mikrokontroléru.....	43
Obr. 46.: Popis vývodů systému levá strana	44
Obr. 47.: Popis vývodů systému pravá strana.....	45

Obr. 48.: Popis světelné signalizace.....	45
Obr. 49.: Vývojový diagram hlavní (main) funkce programu	46
Obr. 50.: Vývojový diagram přerušení od jednotky USART	47
Obr. 51.: Vývojový diagram přerušení od RTC.....	48
Obr. 52.: Znázornění způsobu ukládání do paměti EEPROM.....	50
Obr. 53.: Diagram formátování času a systémových stavů pro zápis do paměti	51
Obr. 54.: AVR Studio	52
Obr. 55.: Základní menu a manuál z terminálu.....	54
Obr. 56.: Odezva systému na zadaný příkaz <i>MN</i> do terminálu.....	55
Obr. 57.: Kontrola externí paměti EEPROM.....	55
Obr. 58.: Nakonfigurovaný terminál.....	56
Obr. 59.: Import dat z textového souboru do Excelu	57
Obr. 60.: Průvodce importem.....	58
Obr. 61.: Oznámení o zabezpečení aplikace Microsoft Office Excel	58
Obr. 62.: Nastavení automatického obnovování dat	59
Obr. 63.: Výpis posledního záznamu s popisem bitů registru <i>Stav</i>	63

Seznam grafů

Graf 1.: Grafický výstup dat řídicího systému	59
Graf 2.: Závislost příkonu systému na napětí baterií	60
Graf 3.: Účinnost spínaného zdroje.....	61
Graf 4.: Srovnání příkonu systému s lineárním a pulzním zdrojem	61
Graf 5.: Průběhy napětí a proudů exportované z řídicího systému nouzového osvětlení.....	62
Graf 6.: Volt-Ampérová charakteristika žárovky s interpolací.....	66
Graf 7.: Průběh dodávané energie zátěži při vybíjení	67
Graf 8.: Minimální doba provozu nouzového osvětlení (převzato z [19]).....	68
Graf 9.: Průběh napětí baterie na vybíjecím čase.....	68

Seznam tabulek

Tab. 1.: Požadavky na mikroprocesor.....	13
Tab. 2.: Popis funkcí pinů paměti 24C256.....	21
Tab. 3.: Energetická náročnost systému.....	27
Tab. 4.: Impedance ochranného spojení mezi ochrannou svorkou a každou z přístupných částí.....	31
Tab. 5.: Přehled potřebných bitů na záznam času a stavu systému	50
Tab. 6.: Význam bitů exportovaného registru <i>Stav</i>	63
Tab. 7.: Reakce systému na výpadek sítě.....	64
Tab. 8.: Reakce systému na podpětí baterií při výpadku sítě.....	64
Tab. 9.: Reakce systému na zapnutí sítě a podpětí baterií	64
Tab. 10.: Ukončení nabíjení.....	65
Tab. 11.: Odevzdaná energie z baterií.....	67

Úvod

Úkolem této práce bylo navrhnout řídicí systém pro udržování a monitorování stavu baterií pro záložní osvětlení. Systém bylo zapotřebí navrhnout s ohledem na již existující aplikaci. Výměna komponentů v této existující aplikaci by byla ekonomicky náročná. Aplikace obsahovala dva bateriové bloky s napětím 24 V, s kapacitou 120 Ah, a automaticky spínaným záložním osvětlením. Stav baterií nebyl nijak hlídán, vyžadoval obsluhu, která zajišťovala kontrolu stavu a dobíjení baterií. Výsledkem této práce je systém, který plně nahradí obsluhu.

Zařízení bylo konstruováno ve shodě s normou ČSN EN 61010-1 Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky.

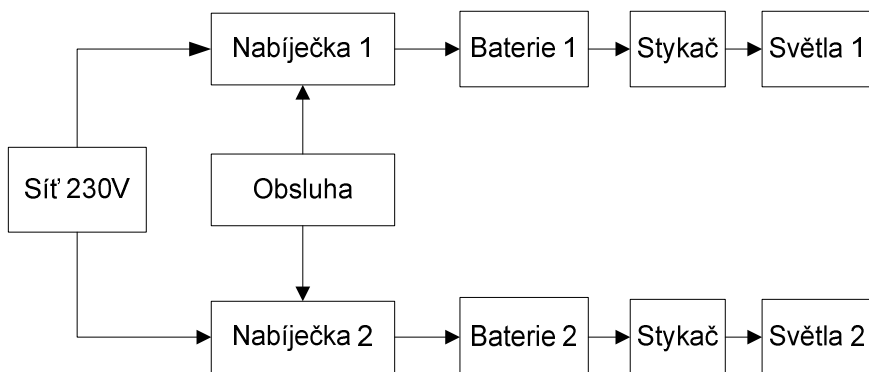
1 Požadavky na systém

Při realizaci systému je vhodné stručně sepsat požadavky na systém, včetně již známých faktů. Obvykle tyto požadavky obsahuje zadání.

- Čtyři bloky baterií TPF 02-2204-64 (Niklokadmiová akumulátorová baterie dopravní, normální nabíjecí proud 30 A, normální vybíjecí proud 24 A) s kapacitou jednoho bloku 120 Ah a jmenovitým napětím 12 V. Ty jsou spojeny po dvou do série pro napájení dvou oddělených sekcí nouzového osvětlení
- K nabíjení se používají dvě továrně vyráběné nabíječky fy Elektropřístroj NB-22 P
- Při poklesu napětí pod definovanou úroveň zařízení zahájí nabíjení
- Po snížení nabíjecího proudu pod jistou mez se nabíjení ukončí
- Během nabíjení bude zařízení sledovat nabíjecí křivky
- Zařízení půjde propojit s počítačem přes sériový port. Skrze něj půjdou nastavovat parametry nabíjení a rozhodovací úrovně, získávat provozní informace, aktuální stav baterií, sledovat historii nabíjení a výpadků v elektrické síti
- Volitelně zahájí nabíjení okamžitě po obnově dodávky elektrického proudu
- Systém musí mít reálný čas i při výpadku proudu a vybití baterií

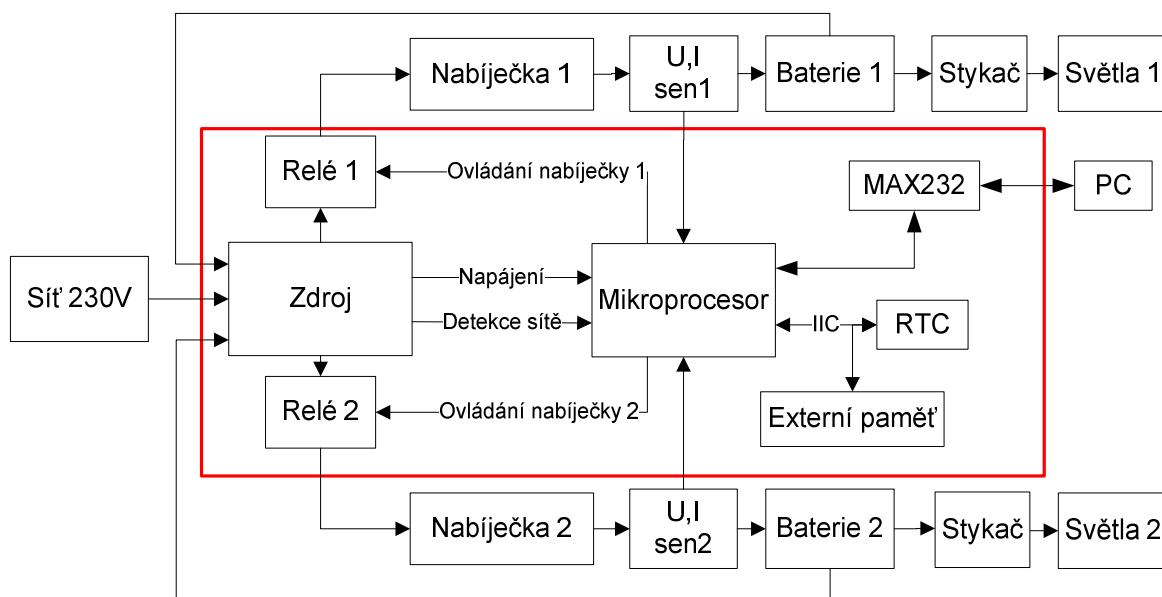
2 Blokové schéma

Minulé zapojení vyžadovalo obsluhu, která musela nabíječky manuálně sepnout a po ukončení nabíjení zase vypnout. Cílem této práce bylo tuto obsluhu nahradit bezobslužným systémem. Nabíječky nejsou nijak inteligentní, nedisponují žádným komunikačním rozhraním. Bylo nutné zajistit jejich spínání v síťové (primární) části a měření napětí a proudů v sekundární části. Stykače a světla nejsou systémem nijak ovlivňována. Vybíjecí proudy není zapotřebí měřit, bočníky se umístily mezi nabíječku a baterii. Snímat napětí bylo vhodné přímo z baterií.



Obr. 1.: Minulé zapojení nabíječek

Z požadavků na systém bylo možné sestavit blokové schéma.



Obr. 2.: Blokové schéma řídicího systému

Celý systém je napájen ze sítě 230 V. K této síti je připojen zdroj a přes relé obě nabíječky. Je patrné, že parametry nabíječky nejsou nijak řízeny řídicí jednotkou. Zdroj plní funkci napájecí a také signalizační. Napájí obvody a podává mikroprocesoru informace o stavu sítě 230 V. Bloky U,I sen1 a U,I sen2 snímají napětí na bateriích a nabíjecí proudy. Blok MAX232 obsahuje převodník z USART na RS232. Blok PC ukazuje, kde se připojuje PC. Zdroj reálného času je symbolizován blokem RTC. Ten je připojen na sběrnici TWI (I2C) stejně jako externí paměť.

3 Volba obvodů

Z blokového schéma se odvodily nároky na řídicí jednotku, její periferie a okolní obvody.

3.1 MIKROPROCESOR

Řídicí obvod není zadán, tudíž bylo zapotřebí nějaký zvolit. Vyšlo se z blokového schéma a sepsaly se požadavky na mikroprocesor.

Tab. 1.: Požadavky na mikroprocesor

-	Obvod	
	Atmega 16	Atmega 8
4x AD převodník	8x	6x
USART	Ano	Ano
TWI	Ano	Ano
3 I/O piny	Ano	Ano
Dostatek IO linek	Ano	Ne

Z obvodů ATmega16 [1] a ATmega8 [2] byl použit ATmega16, protože má potřebné periferie. Volný port byl ponechán pro případné rozšíření systému. V případě, že by aplikace nevyžadovala externí krystal, vystačil by interním oscilátor, uvolily by se dva piny a bylo by možné použít ATmega8, ovšem vyvstávala tu otázka týkající se velikosti paměti mikroprocesorů. Program ještě nebyl vyvinut, bylo rozumné ponechat rezervu a zvolit mikroprocesor s větší programovou pamětí, tudíž byl pro tuto aplikaci ATmega8 méně vhodný.

3.2 ZDROJ REÁLNÉHO ČASU

Jedním z požadavků na řídicí systém nouzového osvětlení bylo udržet reálný čas i po výpadku sítě a vybití baterií. Existuje mnoho možností jak mít v systému reálný čas, ovšem ne každé řešení bylo vhodné.

3.2.1 Softwarové systémové hodiny s krystalem 16MHz

Vytvoření softwarových hodin je bezesporu hardwarově nejméně náročná varianta. Stačí, když mikroprocesor používá jako zdroj systémových hodin externí krystal $f_{osc} = 16$ MHz. Tato metoda byla vyzkoušena a byla zjištěna odchylka pěti sekund již po dvanácti hodinách běhu programu. Ve vývojovém studiu byl program odladěn na jmenovitou hodnotu krystalu $f_{osc} = 16$ MHz. Bylo provedeno srovnání přesnosti softwarových hodin s PCF8563T, z pokusu bylo patrné, jak moc je krystal nepřesný. Výrobce udává toleranci frekvence $\Delta f = \pm 50$ ppm, to odpovídá rozsahu kmitočtů od $f = 15999200$ Hz do $f = 16000800$ Hz. Další nevýhodou byla spotřeba mikroprocesoru. Jednou za sekundu se provedou instrukce příslušné hodinám a zbytek času byl mikroprocesor v čekací smyčce. Při ztrátě napájení došlo ke ztrátě reálného času, tudíž tato varianta nesplňuje stanovené požadavky.

3.2.2 Softwarové systémové hodiny s krystalem 32,768kHz

Reálný čas s krystalem přesného času lze realizovat dvojitým způsobem. Jedna varianta je shodná se softwarovými systémovými hodinami s krystalem $f_{osc} = 16$ MHz. Druhá varianta vyžaduje připojení krystalu přesného času $f_{osc} = 32,768$ kHz na asynchronní čítač. Výrobce obvykle udává toleranci frekvence $\Delta f = \pm 10$ ppm, což odpovídá frekvencím od $f = 32767,67232$ Hz do $f = 32768,32768$ Hz. Krystal se připojí na piny TOSC1 a TOSC2, blokovací kondenzátory nejsou potřeba, ATmega16 je má integrované. Tyto piny náleží čítači/časovači 2 a jsou optimalizovány pro připojení krystalu $f_{osc} = 32,768$ kHz. Předdělička je deseti bitová, tudíž maximální dělicí poměr je

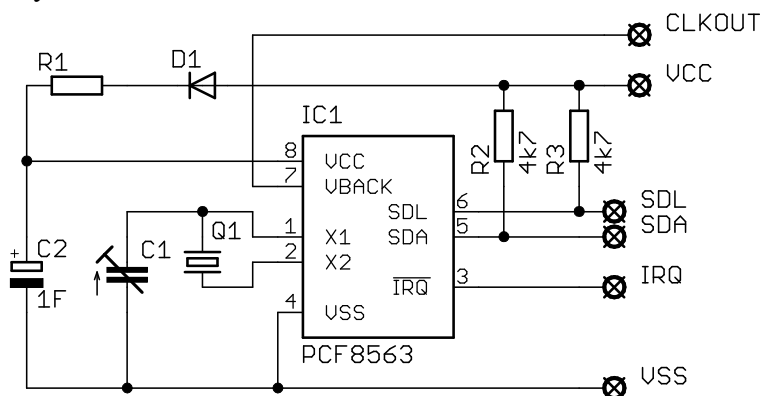
1024. S použitím předděličky a úsporných režimů (Power-saver, Extended Standby mode) je možné snížit spotřebu mikroprocesoru. S maximální předděličkou se ATmega16 probouzí z úsporného režimu 32x za sekundu. Logicky je zřejmé, že čím větší předdělička je nastavena, tím méně se bude ATmega16 „budit“ a celková spotřeba bude nižší. Reálný čas s krystalem $f_{osc} = 32,768$ kHz a čítačem/časovačem je výrazně přesnější a úspornější než metoda s $f_{osc} = 16$ MHz krystalem. Jako předchozí metoda softwarových hodin má i tato zásadní nedostatek, při odpojení napájení dojde ke ztrátě reálného času.

3.2.3 Zdroj reálného času PCF8563T

Integrovaný obvod PCF8563T [3] je kalendář, hodiny a budík. Obvod je zaměřen na minimální spotřebu, typický proudový odběr je $I = 0,25 \mu\text{A}$ při $U_{cc} = 3$ V. Je v provedení osmipinového SMD pouzdra SOT96, což zaručuje velmi dobrou miniaturizaci výsledného zařízení. Interface pro komunikaci je sběrnice I2C s maximální rychlostí 400 kbit/s. Adresa pro čtení je 0xA3 a pro zápis 0xA2. Pro funkční komunikaci je nutné mít napájení obvodu v rozmezí $U_{cc} = 1,8$ V až $U_{cc} = 5,5$ V. Pro udržení reálného času musí být napájení $U_{cc} = 1,0$ V až $U_{cc} = 5,5$ V. Vývod 7, CLKOUT, generuje kmitočty $f = 32,768$ kHz, $f = 1024$ Hz, $f = 32$ Hz a $f = 1$ Hz.

Jako oscilátor je použit krystal $f_{osc} = 32,768$ kHz. Výrobce udává maximální odchylku ± 5 minut za rok. Oscilátor je možné jemně doladit kapacitním trimrem. Ze schéma zapojení je patrné že kondenzátor C2 plní funkci záložního napájení při odpojení V_{cc} . Záložní kondenzátor má kapacitu $C = 1$ F. Záložní kondenzátory mají velmi malé samovybíjení, obvykle výrobce udává, při nabití na $U = 5$ V, pokles napětí menší než $\Delta U = 1$ V za 24 hodin při pokojové teplotě.

Integrovaný obvod PCF8563 je běžně dostupný a laciný. Jeho aplikace je vhodná tam, kde dochází k výpadkům napájení. Lze jej použít i jako generátor přesného kmitočtu. Tato varianta splňuje zadání pro řídicí systém nouzového osvětlení.



Obr. 3.: Schéma zapojení PCF8563

3.3 MĚŘENÍ PROUDU A NAPĚTÍ

Mikroprocesor ATmega16 má na portu A 8 multiplexovaných deseti-bitových postupně aproximujících AD převodníků. Uváděné hodnoty jsou definovány pro pouzdro TQFP a QFN/MLF. Tyto převodníky lze přepínat do módů single ended a differential. Pro minimalizaci rušení mají AD převodníky vyvedený pin AVCC pro samostatné napájení. Výrobce doporučuje blokovat napájení převodníků cívkou $L = 10 \mu\text{H}$ a kondenzátorem $C = 100$ nF.

V režimu single ended může mikroprocesor pracovat s osmi mutliplexovanými deseti bitovými AD převodníky. Referenční napětí pro AD převod je možné nastavit interní $U = 2,56$ V nebo externí na pin AREF. Referenční napětí musí být v rozmezí $U = 2,0$ V až do napětí pinu AVCC. Pro diferenční režim je maximální napětí reference AVCC - 0,2 V. Pracuje-li převodník na frekvenci $f_{ADC} = 50$ kHz až $f_{ADC} = 200$ kHz, pak je desetibitový. Převodník je schopen v single ended módu pracovat až na frekvenci $f_{ADC} = 1$ MHz, ale s nižším rozlišením.

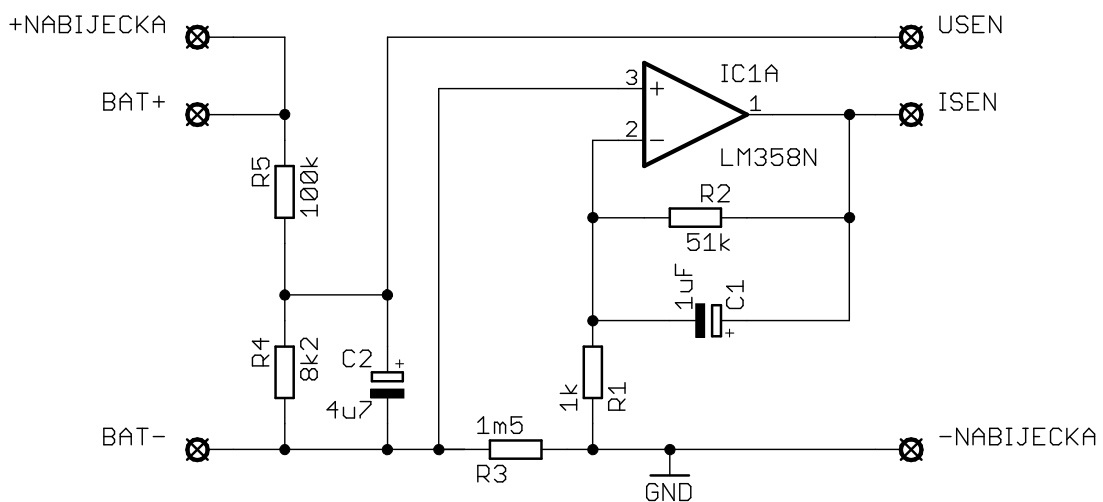
Diferenční režim umožňuje použít 7 diferenčních převodníků, z toho 2 s nastavitelným zesílením 1x, 10x a 200x. Diferenční převodníky se zesílením jsou na pinech ADC0, ADC1 a ADC2, ADC3. Rozlišení diferenčních převodníků je 8 bitů pro zesílení 1x a 10x a 7 bitů pro zesílení 200x. Maximální vstupní kmitočet diferenčních zesilovačů je $f = 4$ kHz, vyšší kmitočty mohou způsobit nelineární zesílení. Reference pro diferenční převodníky je na pinu ADC1, kromě výše uvedené možnosti nastavení.

Z parametrů baterií a nabíječky byl stanoven maximální nabíjecí proud $I = 30$ A. Proud byl snímán jako úbytek napětí na bočníku. Bočník bylo zapotřebí na tento proud dimenzovat. Při maximálním proudu by bylo zapotřebí úbytku napětí $\Delta U = 2,5$ V aby byl využit maximální rozsah AD převodníku. Odvozením z obecně známého Ohmova zákona byl vypočten ztrátový výkon na bočníku $P = 75$ W. Z energetických a ekonomických důvodů byla tato varianta nevhodná. Byl použit bočník s menším úbytkem napětí a to se následně zesílilo na požadovanou úroveň.

Byl zvolen úbytek napětí na bočníku $\Delta U = 100$ mV. Z Ohmova zákona byl vypočten ztrátový výkon $P = 3$ W. Tento ztrátový výkon už byl přijatelný. Obr. 4 znázorňuje měření napětí a proudu. Jelikož nabíjecí proud nebyl konstantní, měl průběh usměrněného sinusového průběhu, bylo tedy vhodné měřenou veličinu integrovat, nebo případně programově ošetřit. Integrovač zesilovač bylo nutné navrhnout s mezním kmitočtem výrazně pod 100 Hz. Přenos operačního zesilovače je určen rovnicí (3.1.)

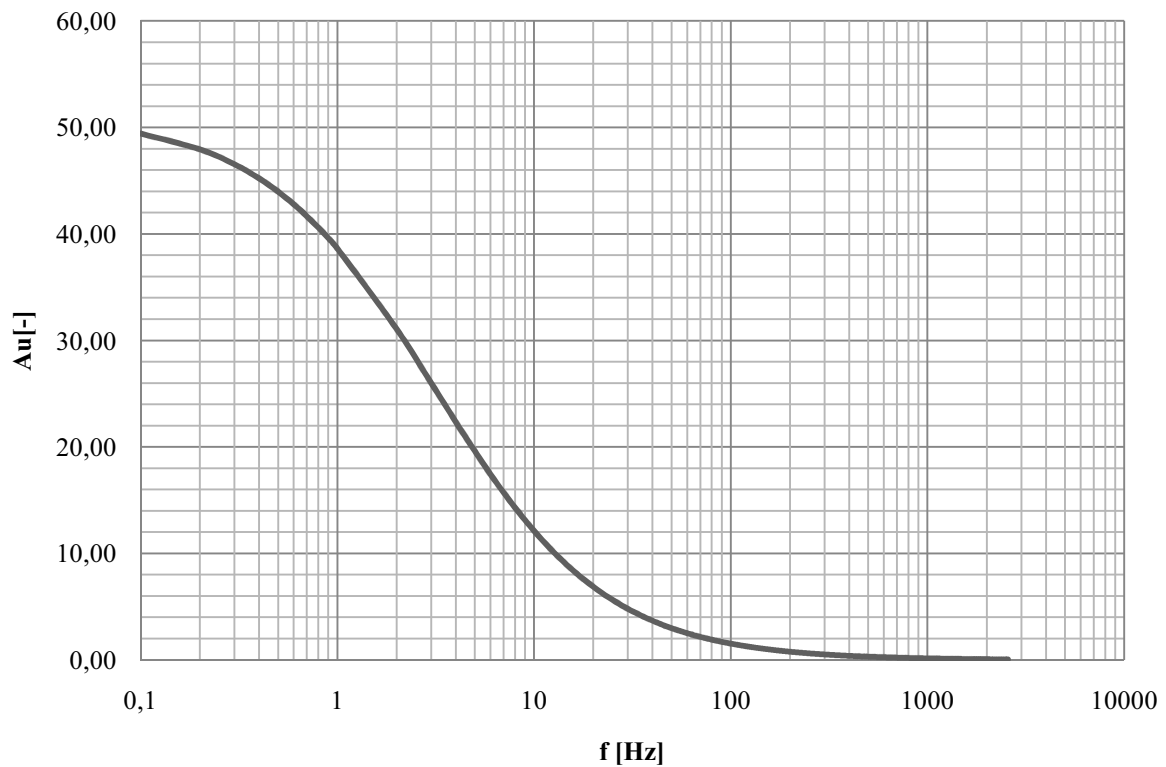
$$A_u(f) = 1 + \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2 \cdot \frac{1}{2\pi f C_1}}{R_1 + \frac{1}{2\pi f C_1}} = 1 + \frac{51000 \cdot \frac{1}{2\pi f \cdot 1 \cdot 10^{-6}}}{1000 + \frac{1}{2\pi f \cdot 1 \cdot 10^{-6}}} \quad [-] \quad (3.1)$$

Při nulovém kmitočtu je zesílení úbytku napětí $A_u(f = 0) = 52$.



Obr. 4.: Schéma měření napětí a proudu

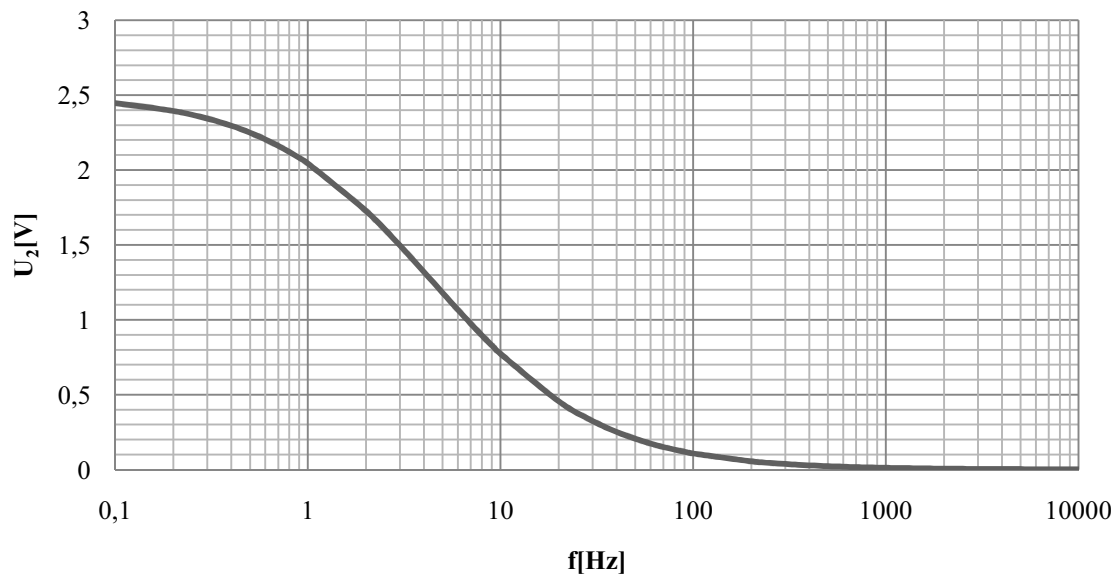
Přenos integračního operačního zesilovače



Obr. 5.: Přenos integračního operačního zesilovače

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{\frac{R_4 \cdot 2\pi f \cdot C_2}{R_4 + 2\pi f \cdot C_2}}{R_5 + \frac{R_4 \cdot 2\pi f \cdot C_2}{R_4 + 2\pi f \cdot C_2}} = 33 \cdot \frac{\frac{8,2 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}}{8,2 \cdot 10^3 + 2\pi f \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}}}{100 \cdot 10^3 + \frac{8,2 \cdot 10^3 \cdot 2\pi f \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}}{8,2 \cdot 10^3 + 2\pi f \cdot 4,7 \cdot 10^{-6}}} \quad [V] \quad (3.2)$$

Přenos frekvenčně závislého děliče

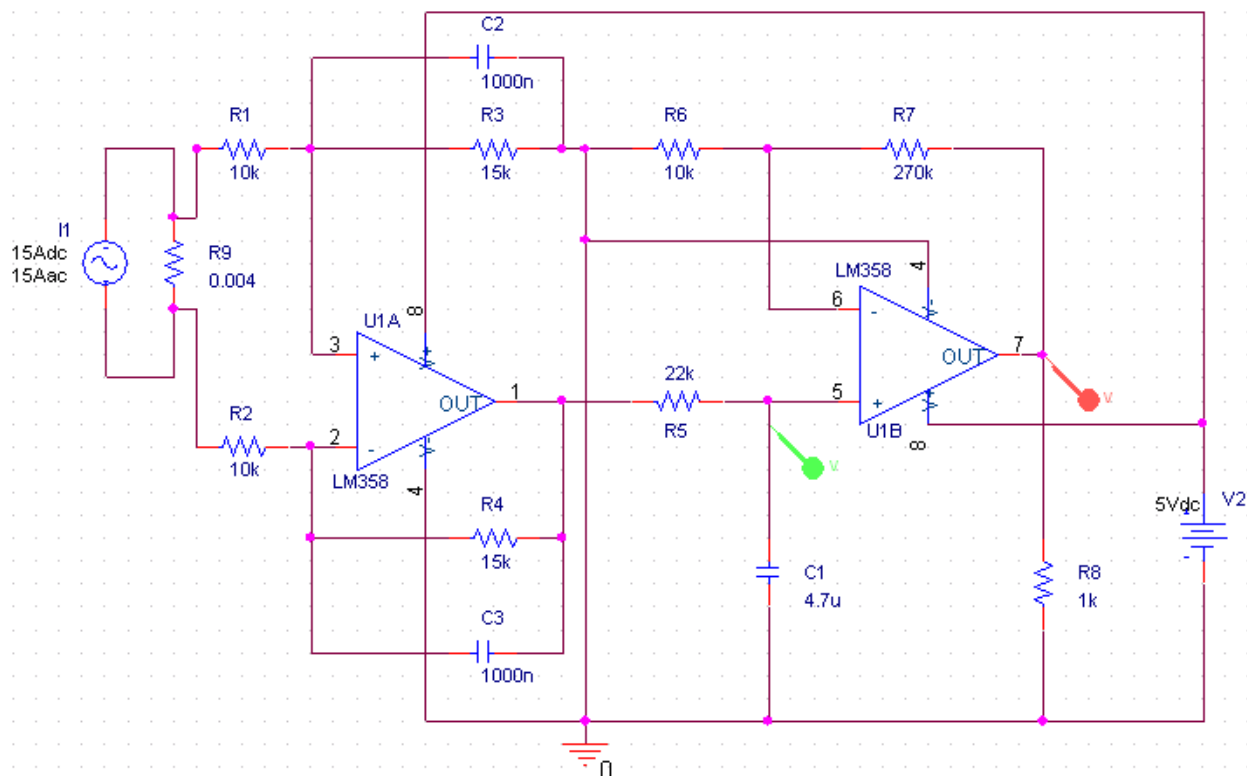


Obr. 6.: Přenos frekvenčně závislého děliče

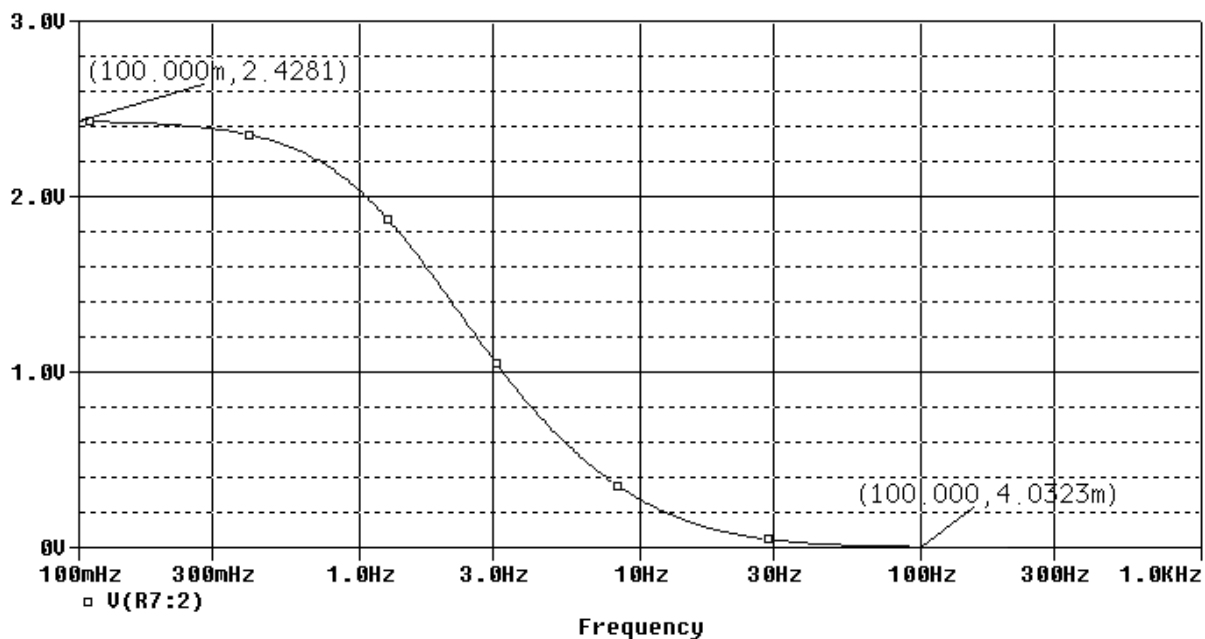
Měření pomocí uvedených integračních operačních zesilovačů je jednoduché pro výpočet a realizaci, nicméně v praxi už fungují hůře. Je totiž nutné velmi dobře navrhnout plošný spoj a jeho zemní vodiče. Z tohoto důvodu se používají diferenční integrační operační zesilovače. Jejich výhody jsou nesporné, zesilují napětí přivedené mezi dva vstupy zesilovače. Obyčejný integrační neinvertující zesilovač zesiluje přivedené napětí proti zemi. Při proudu $I = 30 \text{ A}$ vznikají na vodičích značné úbytky napětí, které se promítají do měřené veličiny. Diferenční zesilovače mají díky měření mezi dvěma vstupy tu výhodu, že bočník může být umístěn výrazně dále od operačního diferenčního zesilovače a zesiluje pouze napětí mezi vstupy. Díky těmto poznatkům bylo měření pomocí neinvertujícího operačního zesilovače zavrhnuto jako nevyhovující.

Bylo navrženo a simulováno zapojení kombinující diferenční a neinvertující zapojení. Tato kombinace se v praxi hojně využívá. První stupeň je diferenční se zesílením $A = 1,5$. Druhý stupeň je neinvertující, protože výstup z diferenčního zesilovače má jako referenci GND. Zesílení druhého stupně je $A = 28$. První stupeň má malé zesílení kvůli CMRR. Výstup je integrován a zesílen v dalším stupni. Výstup z prvního stupně je použit pro hrubé měření proudu. Změna nejnižšího bitu LSB odpovídá proudu bočníkem přibližně $I = 0,4 \text{ A}$. Rozsah tohoto stupně je 409A. Na takový proud není zařízení dimenzováno, je to jen maximální měřicí rozsah. Výstup druhého stupně má rozsah 18,3 A. Je to více než polovina požadovaného měřicího rozsahu. Jeden bit LSB převodníku odpovídá proudu $I = 17,8 \text{ mA}$. Měření má dva rozsahy, protože při velkých proudech (desítky Ampér) je hodnota proudu $I = 17,8 \text{ mA}$ zanedbatelná. Naopak při závěrečné fázi nabíjení je potřeba měřit proudy řádově menší.

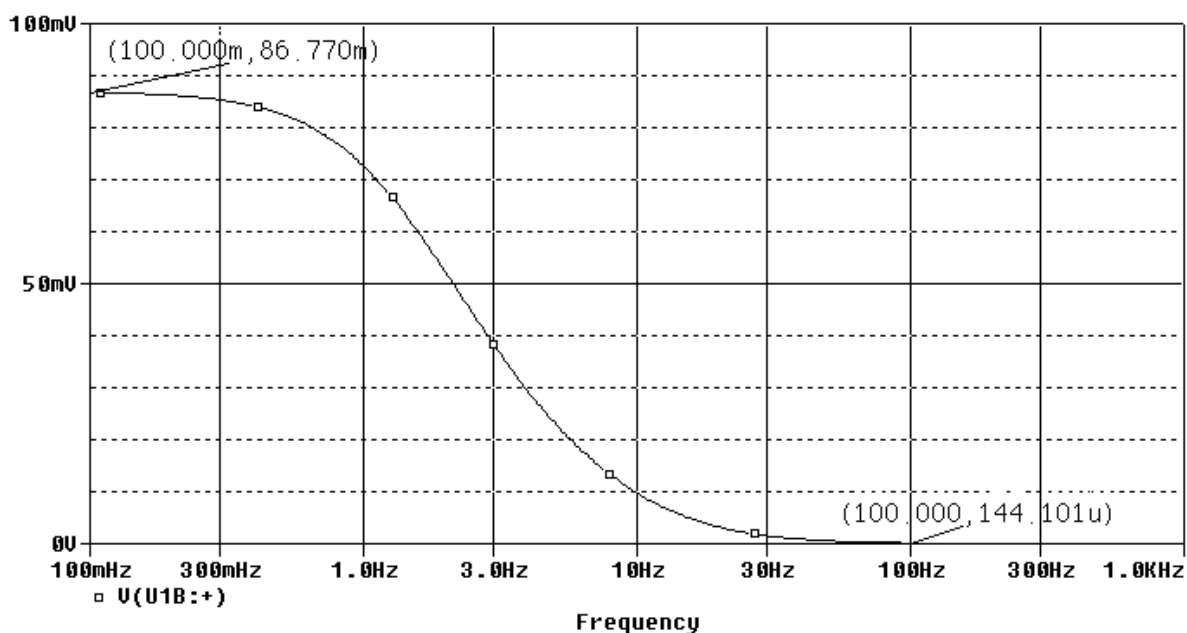
Ne každý operační zesilovač je ideální, proto je nutné projít dokumentaci vybraného zesilovače a najít krom jiných i hodnotu CMRR (Common Mode Rejection Ratio). Stručně řečeno je to potlačení souhlasného vstupního napětí v diferenčním zapojení. Tato hodnota je kritická především v medicínském zařízení. U běžných operačních zesilovačů se pohybuje od 60 dB do 90 dB u kvalitnějších od 90 dB do 110 dB. K sehnání jsou i operační zesilovače s CMRR nad 120 dB, ovšem jejich cena je opravdu vysoká.



Obr. 7.: Kombinace diferenčního a neinvertujícího zesilovače pro měření proudu



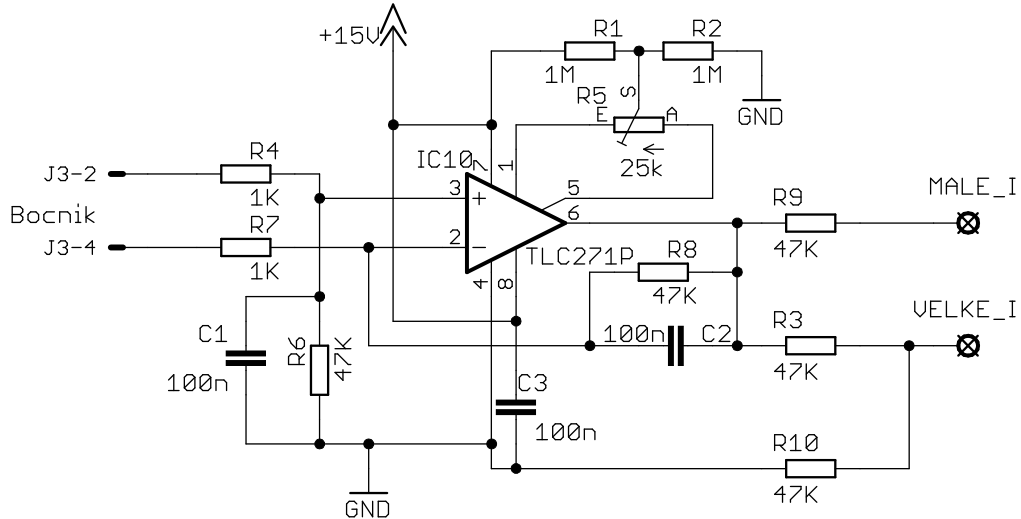
Obr. 8.: Frekvenční charakteristika zesilovače napětí na bočníku (zelený marker na obrázku 6)



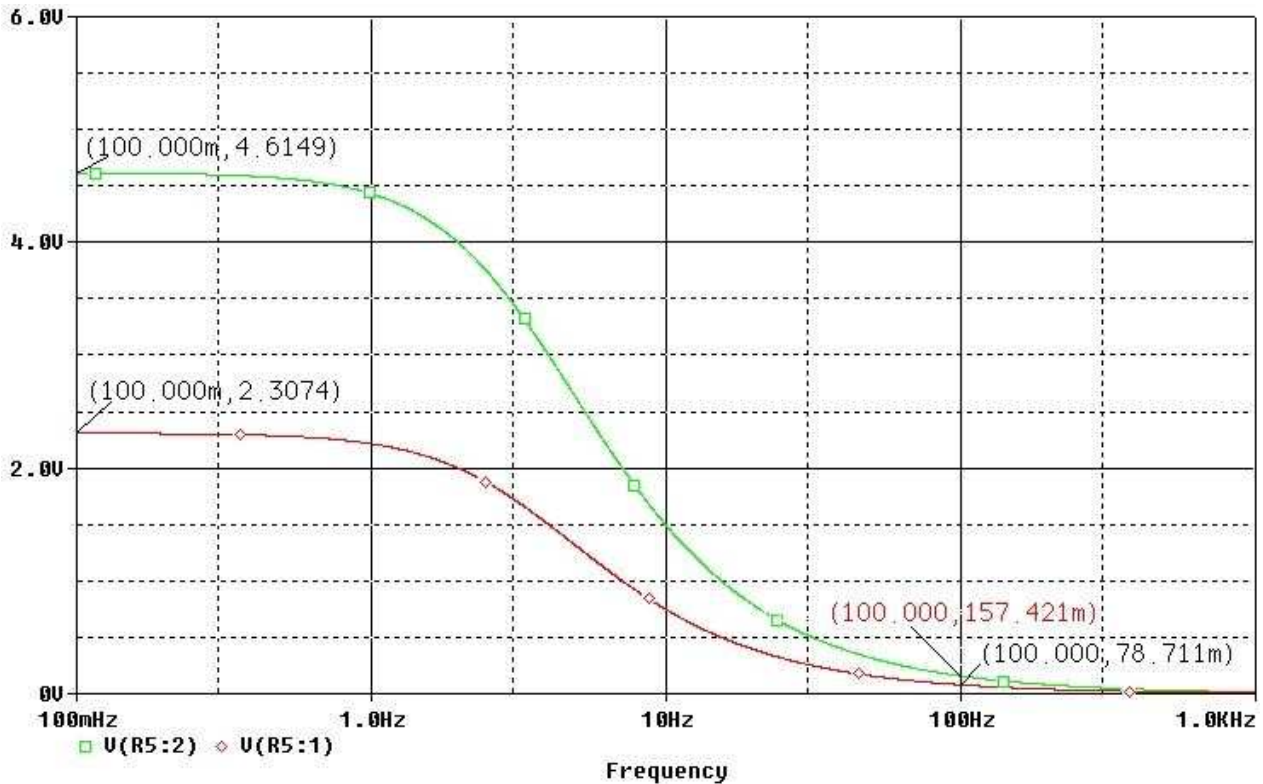
Obr. 9.: Frekvenční charakteristika prvního stupně, diferenční operační zesilovač (červený marker na obrázku 6)

Schéma z Obr. 7. bylo realizováno a měřeno. Operační zesilovače byly použity LM358. Výrobce udává vstupní napěťový offset 2 mV. Tato hodnota je zdánlivě malá, je nutné vzít v úvahu, že se přenáší na výstup se zesílením operačního zesilovače. Je-li na vstupu napětí 2 mV a zesilovač má zesílení $A = 1,5$, jsou na jeho výstupu 3 mV. Toto napětí již přesahuje napětí jednoho LSB AD převodníku. Má-li další stupeň zesílení $A = 27$, je na jeho výstupu 40,5 mV. Toto napětí odpovídá 16 digitům AD převodníku. Tato teorie se v praxi naneštěstí potvrdila. Pokud by bylo zařízení replikováno, nebo by došlo k výměně operačních zesilovačů, bylo by nezbytné provést software kompenzaci. Tato kompenzace je možná pouze v případě kladného offsetu. Záporný offset kompenzovat nelze. Z praktických poznatků bylo usouzeno, že není kritický parametr operačního zesilovače hodnota CMMR, ale vstupní offset. Operační zesilovače s velmi nízkým offsetem jsou

nákladné, proto bylo navrženo schéma s obvodem TLC271P, který má možnost manuální kompenzace vstupního offsetu. Schéma z Obr. 10 bylo simulováno a následně realizováno.



Obr. 10.: Diferenční operační zesilovač pro měření proudu

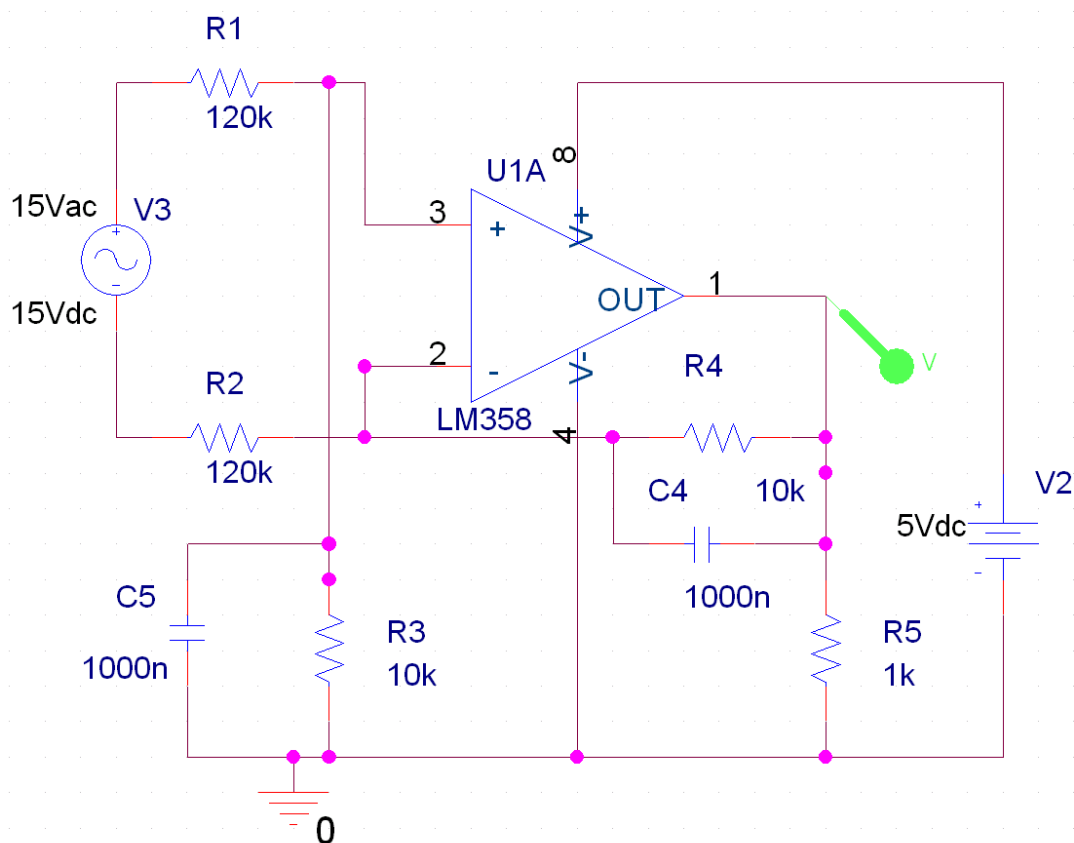


Obr. 11.: Frekvenční charakteristika diferenčního operačního zesilovače pro měření proudu (zelený marker odpovídá MALE_I na Obr. 10, červený VELKE_I)

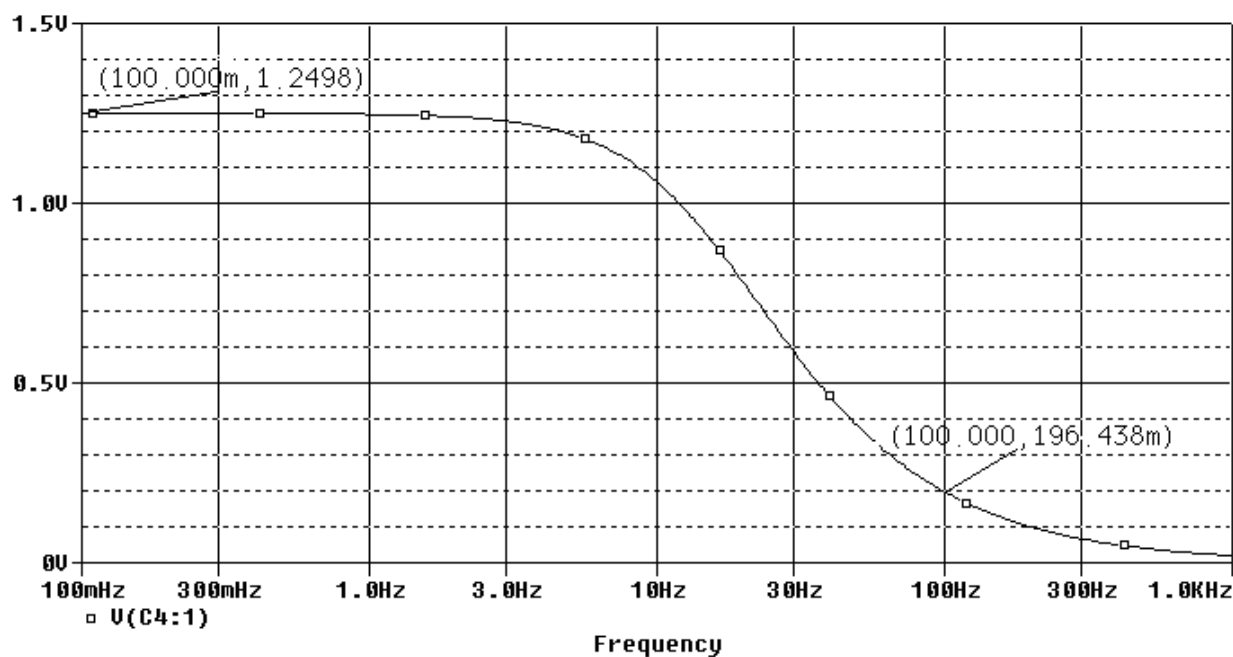
Vstupní offset se kompenzuje pomocí trimru R5. Nastavování je velice citlivé, je vhodné použít více otáčkové trimry. Zesilovač umožňuje kompenzovat vstupní offset $\pm 15\text{mV}$. Zapojení z Obr. 10 bylo vybráno jako nejlevnější a nejkvalitnější, proto bylo použito ve finálním výrobku.

Výše uvedené schéma a průběhy simulují nejnepříznivější možnost nabíjení, kdy se baterie chová jako odporová zátěž. Pokud by se reálná baterie dostala až do takového stavu, je vysoce pravděpodobné, že se jí již nepovede nabít. Taková baterie by vyžadovala výměnu. Nicméně pro simulaci filtrů je tento stav ideální.

Schéma na Obr. 4 znázorňuje způsob měření napětí. Tato metoda odporového děliče by v tomto zapojení byla prakticky nepoužitelná. Mikroprocesor měří napětí vůči GND. Pokud by bočníkem tekl maximální proud, napětí na bočníku by bylo $U = 100 \text{ mV}$. Tato hodnota by se přičetla k podělenému napětí baterie. Pokud by byl proud stejnosměrný konstantní velikosti, bylo by možné programové ošetření, bohužel tomu tak není. Přičtení napětí $U = 100 \text{ mV}$ odpovídá přibližně 50 digitům převodníku. Vezme-li se v úvahu, že přičtené napětí není konstantní, je naprosto zřejmé, že je tento způsob měření nepoužitelný. Z tohoto důvodu bylo navrženo a simulováno nové zapojení s integračním diferenčním operačním zesilovačem. V tomto zapojení má zesilovač výrazně menší zesílení než $A = 1$. Jedná se o zeslabovač. Tato náhrada děliče odstraňuje výše zmíněné neduhy. Ze simulace obvodu je patrné poměrně nízké potlačení kmitočtu $f = 100 \text{ Hz}$. Tato vlastnost není na škodu, naopak umožňuje detekci odpojené baterie. Baterie slouží jako filtr. Při nabíjení se její napětí mění pozvolna. V takovém případě bude na vstupu převodníku napětí se zanedbatelným zvlněním. Naopak, dojde-li k poruše a baterie není připojena, bude na vstupu převodníku napětí nabíječky na prázdko. Toto napětí má průběh usměrněné sinusoidy s frekvencí $f = 100 \text{ Hz}$. Tento stav je možno díky nedokonalosti integračního zesilovače detekovat a systém na něj může reagovat. Zohledníme-li že nabíjení je spínáno dle napětí na baterii, které je bez zvlnění, je zřejmé, že kvalita toho filtru není kritická.



Obr. 12.: Schéma zapojení integračního zesilovače pro měření napětí



Obr. 13.: Frekvenční charakteristika integračního zesilovače pro měření napětí

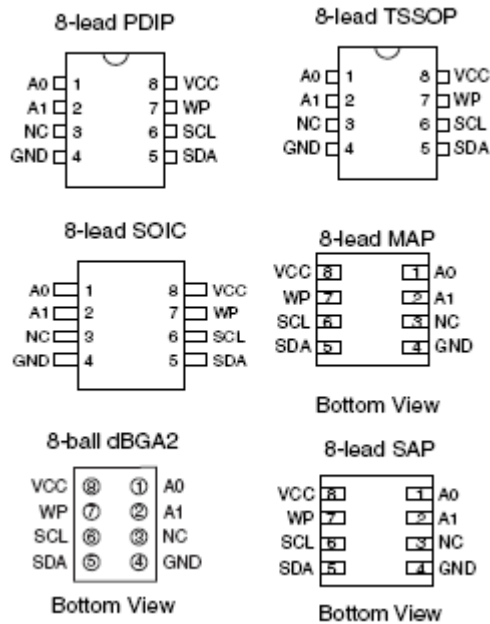
3.4 PAMĚŤ

Naměřené průběhy napětí a proudů je zapotřebí ukládat. Paměť mikroprocesoru není pro toto ukládání příliš vhodná, protože se svojí velikostí 512 B by systém umožňoval uložit jen 42 záznamů s délkou 12 B. To je příliš málo. Je potřeba zvolit paměť, která uchová data při odpojení napájení a je možné je přepisovat. Tomuto požadavku vyhovují paměti typu FLASH a EEPROM. Paměti typu FLASH jsou rychlejší než EEPROM, ale také výrazně dražší. Ke splnění zadaných požadavků vyhoví paměť typu EEPROM. Dále se tyto paměti dělí na sériové a paralelní. Z hlediska omezeného počtu pinů je vhodné volit sériové paměti EEPROM. Obvykle tyto paměti komunikují rozhraním SPI nebo I2C. Rozhraní SPI má ATmega16 na portu B. Na sběrnici I2C už je připojen obvod pro reálný čas, je tedy vhodné na stejnou sběrnici připojit další zařízení. Zvolí se sériová paměť EEPROM se sběrnici I2C. Port B zůstane volný pro případné budoucí rozšíření.

Z běžně dostupných pamětí se vybere rozumný kompromis mezi cenou a kapacitou. Byla vybrána paměť 24C256 [4].

Tab. 2.: Popis funkcí pinů paměti 24C256

Číslo pinu	Popis pinu	Funkce
1	A0	Adresa
2	A1	Adresa
3	NC	Nezapojen
4	GND	Zem
5	SDA	I2C data
6	SCL	I2C hodiny
7	WP	Ochrana proti zápisu
8	Vcc	Napájení

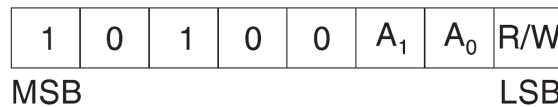


Obr. 14.: Popis pinů paměti 24C256 (převzato z [4])

Paměť má velikost 262144 bitů, to odpovídá 32678 B. Zápis je možný po jednom byte, nebo po stránkách, kdy se adresuje první byte a následuje sled několika 8 byte slov. Výrobce udává 1.000.000 přepisů a životnost dat 40 let [4].

3.4.1 Adresace zařízení

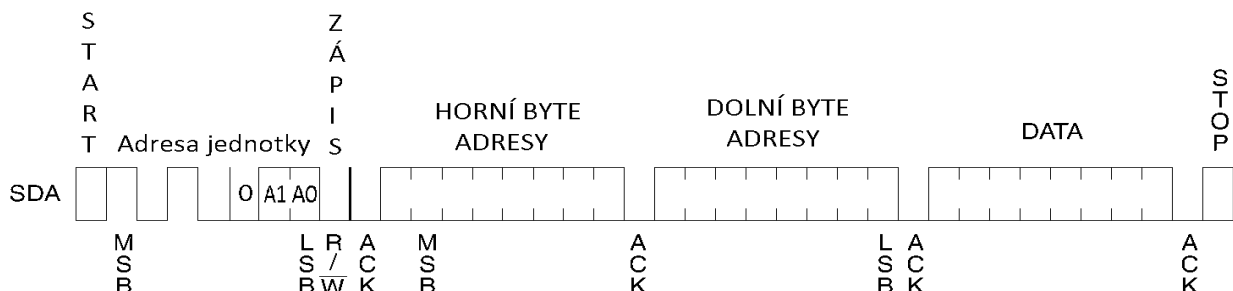
Adresace zařízení se provádí pomocí pěti pevných a dvou hardwarově nastavitelných bitů. Poslední osmý bit řídí zápis nebo čtení z jednotky. Hardwarově nastavitelné bity jsou na pinech A0 a A1. Napětí U_{cc} na pinech A0 a A1 znamená vysokou logickou úroveň v adrese.



Obr. 15.: Adresace jednotky (převzato z [4])

3.4.2 Zápis jednoho byte

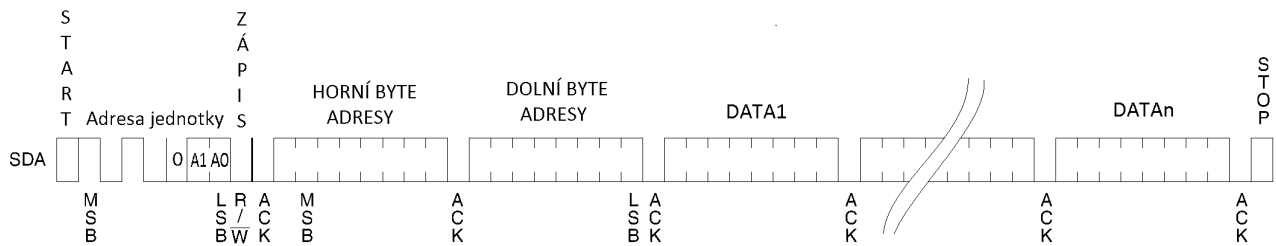
Při zahájení komunikace se nejdříve vyšle start bit, následuje adresa zařízení, potvrzovací bit ACK od slave jednotky a teprve nyní se vyšle adresa paměťové buňky. Adresa buněk je čtrnácti bitová, protože je zapotřebí adresovat 32678 B paměti, $2^{16} = 65487$. Těchto 16 bitů se rozdělí na dva byte. Při adresaci buňky se nejdříve vyšle horní byte, přijme se ACK, vyšle se spodní byte a opět přijmeme potvrzení ACK. Nyní je naadresovaná konkrétní buňka v jednotce a čeká na vyslání jednoho byte dat, úspěšný příjem jednotka potvrdí bitem ACK. Zápis je ukončen stop bitem.



Obr. 16.: Zápis jednoho byte do paměti EEPROM

3.4.3 Zápis několika byte

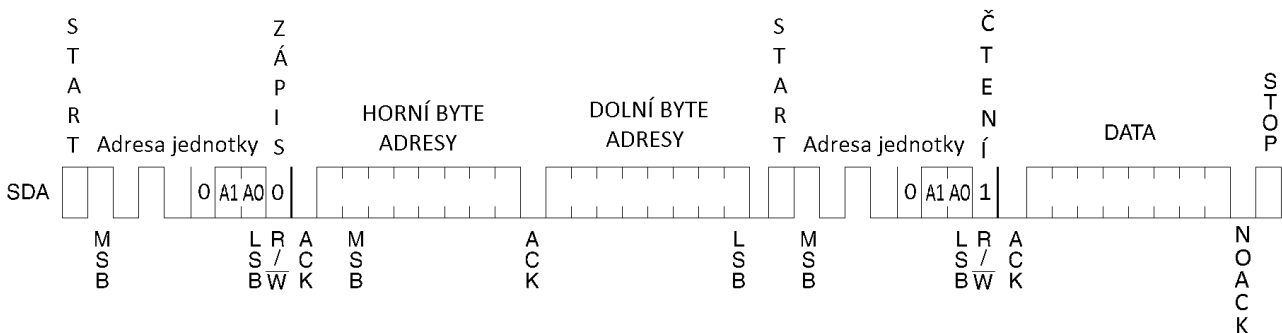
Zápis několika byte do buněk jdoucích po sobě je podobný zápisu jednoho byte. Po naadresování první buňky je zapsán první byte, potvrzen bitem ACK a následuje několik dalších bytů s potvrzením ACK. Stop bit ukončuje komunikaci.



Obr. 17.: Sekvenční zápis do paměti EEPROM

3.4.4 Čtení jednoho byte

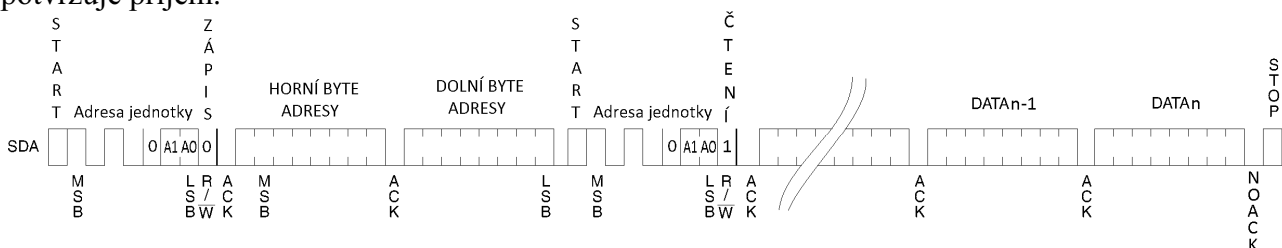
Čtení z paměti je částečně podobné zápisu. Při zahájení komunikace se nejdříve vyšle start bit, následuje adresa zařízení, poslední bit je logická 0 (zápis). Následuje potvrzovací bit ACK od slave jednotky a teprve nyní se vyšle adresa paměťové buňky. Adresa je opět čtrnácti bitová. Následuje inicializace jednotky pro čtení. Vyšle se start bit a adresa jednotky, kde je poslední bit logická 1 (čtení). Slave jednotka odpoví ACK a vyšle obsah adresované buňky. Po odeslání dat master jednotka nevysílá potvrzení ACK. Ukončení čtení je stejně jako u zápisu provedeno stop bitem. Obr. 17 názorně ukazuje postup při čtení z paměťové buňky.



Obr. 18.: Čtení jednoho byte

3.4.5 Sekvenční čtení

Sekvenční čtení se od čtení po jednom byte liší pouze odpovědí master jednotky na přijatá data. Pokud jednotka master nepotvrdí příjem ACK, je čtení ukončeno. Odpoví-li master ACK, slave inkrementuje o jedničku adresu buňky a tu následně vyšle. Tento způsob čtení může velmi urychlit vyčtení paměti. Při přístupu ke každé buňce zvlášť je nutno vyslat čtyři byty a jeden byte se vrátí jako odpověď. Při sekvenčním čtení jsou vyslány čtyři byty a pak už jen master přijímá data a potvrzuje příjem.



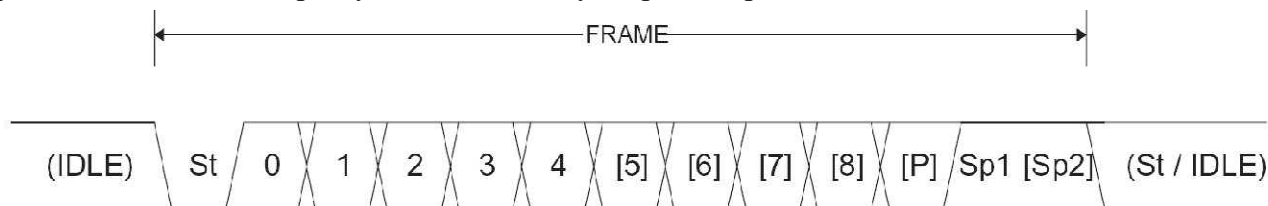
Obr. 19.: Sekvenční čtení

3.5 KOMUNIKACE S PC

Dle zadání musí být systém schopen přeposílat uložená data o stavu baterií a systému na COM port. Kromě čtení je požadováno nastavování některých rozhodovacích úrovní. Port COM je tedy nutno připojit na mikroprocesor. Mikroprocesor ATmega16 je vybaven jednotkou USART. Na tu se připojí převodník MAX232. Výstup obvodu MAX232 je možno připojit na COM port PC.

3.5.1 USART

Jednotka USART, integrovaná v ATmega16 [1], může pracovat jako synchronní nebo asynchronní. Podporuje rámeček s jedním start bitem a pěti až devíti datovými bity ukončenými jedním nebo dvěma stop bity. Rámeček může být doplněn o paritní bit.

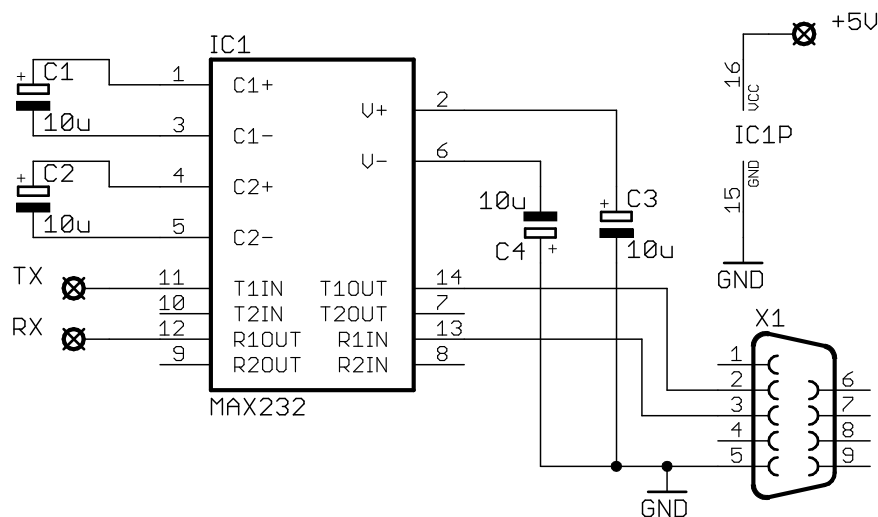


Obr. 20.: Formát rámečku jednotky USART (převzato z [1])

3.5.2 MAX232

Jednotka USART vysílá a přijímá data v logice TTL. Port COM používá odlišnou logiku. Jedná se o sběrnici RS232, kde je logická 0 reprezentována napětím +3 V až +25 V při příjmu, +5 V až +15 V při vysílání. Logická 1 je reprezentována napětím -3 V až -25 V při příjmu, -5 V až -15 V při vysílání. Tato sběrnice je díky velkým napěťovým úrovním vhodná do průmyslu, kde může docházet k velkému rušení.

Obvod MAX232 [5] je dvojitý převodník logických úrovní TTL/RS232. Obsahuje dva vysílače a dva přijímače. Jeho maximální přenosová rychlost je 120 kbit/s. Logiku TTL převádí při napájení $U_{cc} = 5\text{ V}$ na logiku RS232 s napětím $\pm 8,5\text{ V}$. Tento fakt je zapotřebí zohlednit v systémech s vysokým rušením. Logika RS232 s úrovněmi $\pm 8,5\text{ V}$ je výrazně méně odolná než s úrovněmi $\pm 25\text{ V}$.



Obr. 21.: Schéma zapojení obvodu MAX232

3.6 NABÍJEČKA

Nabíječka bude použita typu E230G 24/30 BWe – F1D22P (NB 22 P) [6]. Nabíječka má následující parametry (převzato z [6]):

- Napájecí napětí 230V (+10% -10%) 50 Hz
- Maximální odběr ze sítě 6 A
- Maximální příkon 1,5 kVA
- Výstupní jmenovité napětí 6 V, 12 V, 24 V
- Jmenovitý stejnosměrný proud 30 A
- Rozsah kapacit baterií 30-400 Ah
- Nabíjecí charakteristika W_a pro 12 V a 24 V
- Nabíjecí charakteristika W pro ostatní baterie 6 V až 24 V
- Regulace nabíjecích hodnot plynulá od 0 do jmenovitých hodnot
- Světelná indikace, zelená doutnavka – „KONEC“
Červená doutnavka – „RUČNÍ UKONČENÍ“
Žlutá LED - byla překročena úroveň plynovacího napětí $U > 14,4V$ nebo $U > 28,8V$
- Radiové odrušení stupeň B dle ČSN EN 55011
- Vnější vlivy prostředí AB4 dle ČSN 33 20000-3
- Teplota okolí $-5^{\circ}C$ až $+40^{\circ}C$
- Relativní vlhkost 5% až 95%
- Stupeň krytí IP xxB (IP20)
- Třída spotřebiče I
- Účinnost 82%
- Účinník 0,75
- Chlazení přirozené
- Rozměry 495 x 260 x 420mm
- Hmotnost 29,5kg

Systém ovládá nabíječku jen povely zapnout, vypnout. Z toho důvodu je zapotřebí nabíječku pečlivě nastavit a vyzkoušet. Dle zadání je nutno nabíjet baterie NiCd. Nabíječka je optimalizována na nabíjení olověných akumulátorů. Při nabíjení NiCd je většina jejich automatických funkcí nefunkční. V tomto případě je nutno přepnout přepínače na nabíječce do polohy „RUČNĚ“ a „RUČNÍ UKONČENÍ“. Toto nastavení umožňuje regulovat pouze maximální proud, ten bude monitorován systémem a při poklesu pod rozhodovací úroveň se nabíječka odpojí od napájení.

3.6.1 Nabíjení U charakteristikou

Nabíjení U charakteristikou je nabíjení baterií nabíječkou s konstantním napětím. Tato metoda je vhodná pro dobíjení olověných akumulátorů. Jejich jmenovité napětí je 2 V na článek. Při nabíjení začne článek nejdříve plynout, jeho napětí se zvýší na 2,4 V a poté se teprve začne nabíjet. Plně nabitý článek má napětí 2,5 V až 2,7 V.

Nabíjení je možno ukončit časovým vypínačem, nebo lépe podle příznaků nabitého olověného akumulátoru jako jsou napětí a proud, které se po dobu nejméně dvou hodin nemění.

Nabíjení NiCd článků touto metodou může znamenat jejich zničení. Akumulátory NiCd od okamžiku plného nabití začnou snižovat napětí na článku, což má za následek zvětšení nabíjecího proudu. Jelikož článek není schopen dále akumulovat energii, začne ji přeměňovat na teplo. Řetězovou reakcí může dojít až k poškození článku a újmě na zdraví a majetku!

Jednou z nevýhod této metody je velký počáteční nabíjecí proud. Výhoda je naopak poměrně rychlé nabití akumulátoru na 75% jeho kapacity.

3.6.2 Nabíjení I charakteristikou

Nabíjení I charakteristikou je nabíjení baterií nabíječkou s konstantním proudem. Tato metoda je velmi rozšířená u nabíječek NiCd, u olověných akumulátorů méně. Nabíječka

s konstantním proudem dodává do připojeného akumulátoru konstantní proud bez ohledu na počet článků akumulátoru. Obrovskou výhodou této metody je snadné zjištění, kolik energie akumulátor pojal, to nepřímou sděluje v jakém stavu akumulátor je.

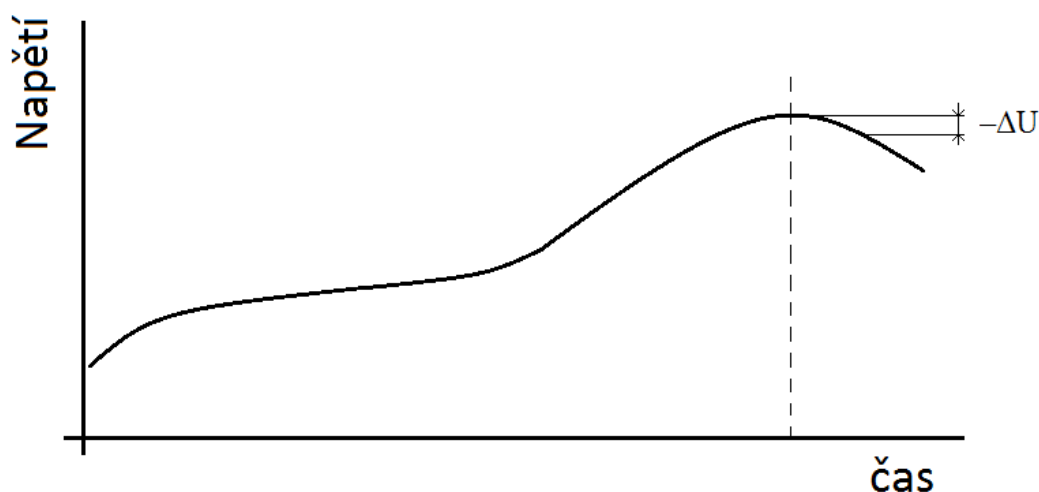
Jelikož tato metoda nabíjí konstantním proudem bez ohledu na stav akumulátoru, je nutné zajistit ukončování nabíjení. Ukončení je kritické zejména u NiCd článků. Jejich přebíjení může mít destruktivní účinky.

3.6.3 Nabíjení W charakteristikou

Nabíjení W charakteristikou je vhodné pro olověné akumulátory, protože se obtížně určuje, kolik energie akumulátor pojal. Olověné akumulátory nejsou tolik choulostivé na přebíjení. Typická vlastnost nabíječek s W charakteristikou je snižování nabíjecího proudu se zvyšujícím se napětí akumulátoru. Nevýhodou může být velký proud na počátku nabíjení. Nabíječka NB 22 P využívá W charakteristiku.

3.6.4 Ukončení nabíjení metodou záporného napětí

Tato metoda je často označována jako $-\Delta U$. Jedná se o způsob ukončení nabíjení NiCd článků. Obvykle se kombinuje s nabíjením konstantním proudem. Pro tento způsob nabíjení byl vyvinut integrovaný obvod MC33340. Ten je ve většině nabíječek NiCd střední cenové kategorie. Řídící obvod vyhodnocuje rozdíl dvou po sobě jdoucích vzorků napětí. Pokud je rozdíl záporný, ukončí nabíjení.



Obr. 22.: Nabíjecí křivka NiCd akumulátorů při nabíjení konstantním proudem

3.6.5 Varování

Při manipulaci s nabíječkou je zapotřebí důkladně přečíst manuál k obsluze [6]! Při nedodržení podmínek provozu může dojít k úrazům a škodám na majetku!

3.7 RELÉ

Relé je zapotřebí volit s ohledem na zařízení, které bude spínáno a také jak bude relé ovládáno. V systému budou relé dvě, respektive dvě dvojité relé. Každé relé bude ovládat jednu nabíječku. Z parametrů nabíječky [6] je známo proudové zatížení spínacích kontaktů $I = 6 \text{ A}$. Z tohoto faktu se zvolí relé s proudovým zatížením minimálně $I = 8 \text{ A}$.

Ovládací napětí je zvoleno 12 V DC. Hodnota 24 V by nebyla vhodná kvůli velkým ztrátám při stabilizaci na 5 V pro elektroniku. Naopak relé na 5 V také není vhodné. Potřebuje poměrně velký proud a může způsobit poklesy napětí, které by mohly zapříčinit nestabilitu systému, případně poruchu.

Stanoveným požadavkům vyhovuje relé RT424012 [7]. Pro sepnutí cívka vyžaduje minimální napětí 8,4 V. Maximální dovolené napětí na cívce je 18 V. Při jmenovitém napětí cívka spotřebovává 400 mW. Vzhledem k ostatním komponentům je tato spotřeba dominantní.

3.8 NÁVRH ZDROJE

Napájecí zdroj celého systému plní funkci napájecí ale i indikační. Za předpokladu, že nedošlo k výpadku síťového napětí, je systém napájen ze sítě. Síťové napětí je transformováno na napětí $U = 12$ V. Po usměrnění a filtrování je na kondenzátorech přibližně $U = 14,4$ V. Jmenovité napětí relé je $U = 12$ V. Započte-li se úbytek napětí na diodě D2 $\Delta U = 0,7$ V a ovládacím tranzistoru pro relé $U_{CEsat} = 0,5$ V bude na cívce relé $U = 13,2$ V. Vzhledem k tomu, že použitý transformátor je poměrně měkký zdroj, při sepnutí obou relé bude napětí zdroje o něco nižší než $U = 12$ V. Relé spolehlivě spínají i při napětí na cívce $U = 8,4$ V [7].

Pokud jsou kondenzátory C1 a C2 nabity, je otevřen tranzistor Q1, ten sráží napětí na gate T1, Q2 se zavírá a zdroj odepíná napájení z baterií.

Při výpadku sítě se vybijí kondenzátory a zavře se tranzistor Q1. Na bázi T1 stoupne napětí na $U = 12$ V. Tranzistory Q2 a T1 se otevrou. Měnič IC1 stabilizuje napětí na $U = 5$ V. Zdroj je zapotřebí navrhnout s ohledem na příkon systému. Příkony komponent jsou v Tab. 3.: Energetická náročnost systému

Tab. 3.: Energetická náročnost systému

Komponenta	Napětí [V]	Proud [mA]	Příkon [W]
-			
Přídavné zařízení	5	200	2,40
Relé1	12	33,3	0,40
Relé2	12	33,3	0,40
Mikroprocesor	5	30	0,36
MAX232	5	10	0,12
TLC271P	12	10	0,12
24C256	5	3	0,04
Součet		319,6	3,84

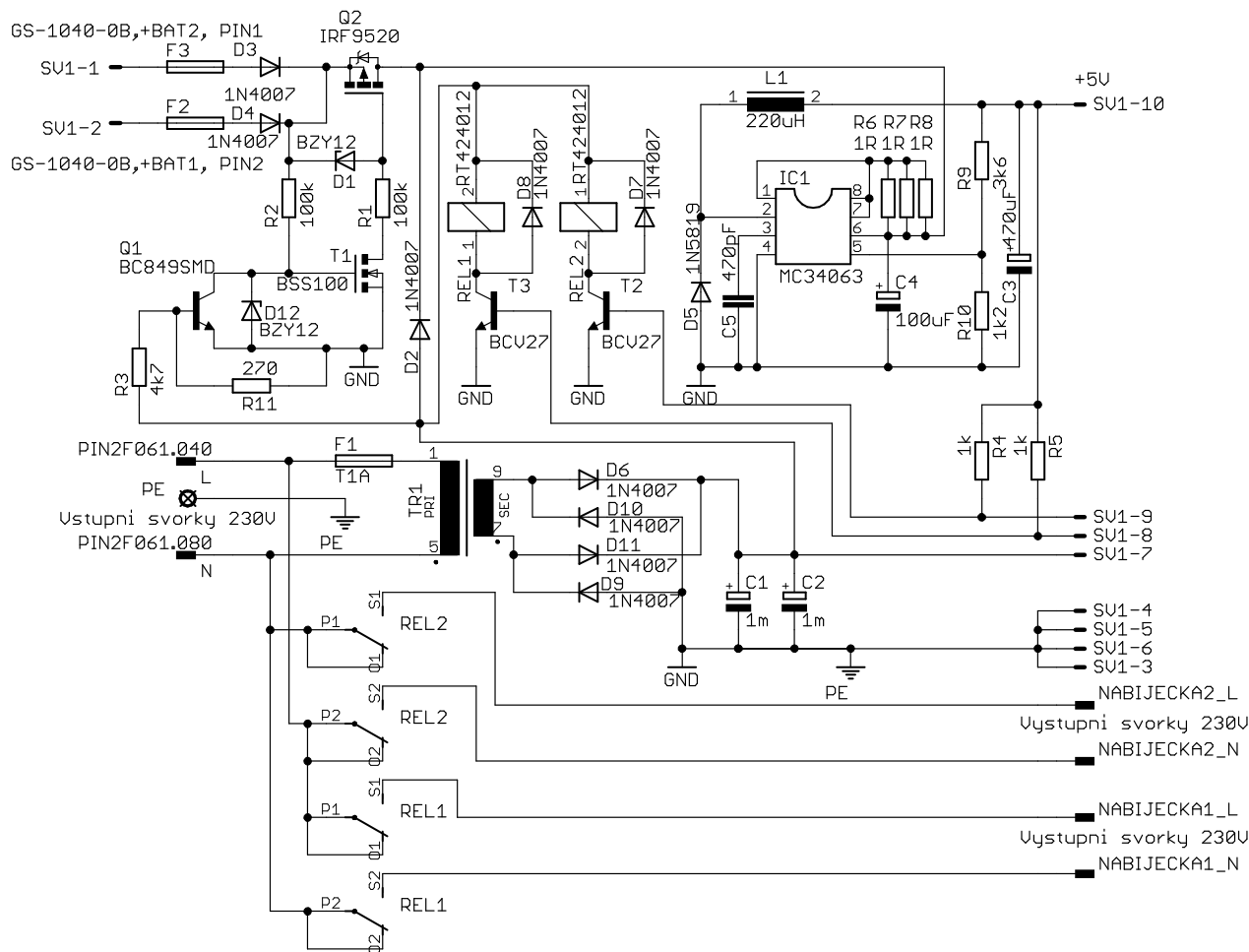
V tabulce jsou uvedeny pouze prvky s dominantní spotřebou.

Nabíječky jsou napájeny ze stejné fáze jako napájecí zdroj. Tudíž při výpadku proudu je zbytečně spínat relé. Relé a operační zesilovače jsou napájeny $U_{cc} = 12$ V, ostatní komponenty jsou napájeny pouze $U_{cc} = 5$ V.

Každá komponenta odebírá potřebný proud při jmenovitém napětí $U_{cc} = 12$ V nebo $U_{cc} = 5$ V. Rozdíl mezi napětím zdroje a $U_{cc} = 5$ V způsobuje ztrátový výkon. Ten je nutné započítat do požadavků na zdroj. Jelikož slabý zdroj je příčinou velmi špatně dohledatelných chyb typu nestabilita systému, je zapotřebí zdroj mírně předdimenzovat. K vypočtenému výkonu se připočte 10%. Požadovaný výkon zdroje nyní činí $P = 4,22$ W. Je zvolen transformátor TRHEI382-1X12V [8]. Výrobce udává výstupní napětí $U = 12$ V a výstupní proud $I = 375$ mA, výkonové a proudové požadavky systému jsou splněny.

Při napájení systému z baterií, se jmenovitým napětím 24 V, je na drainu tranzistoru Q2 napětí o úbytek na diodě nižší, 23,3 V. Úbytek na tranzistoru Q2 můžeme zanedbat. Do snižujícího měniče IC1 vstupuje napětí 23,3 V. Zapojení IC1 je katalogové [18]. Jeho vstupní napětí se dle výrobce může pohybovat od 3 V do 40 V. Absolutně maximální hodnota vstupního napětí je 50 V. Maximální výstupní proud výrobce udává 1,5 A. Cena měniče je srovnatelná s lineární stabilizací. Účinnost se u měniče předpokládá podstatně vyšší než u lineární stabilizace. Zdroj s lineární stabilizací byl postaven a vyzkoušen. Výsledky byly uspokojivé. Příkon systému při napájení

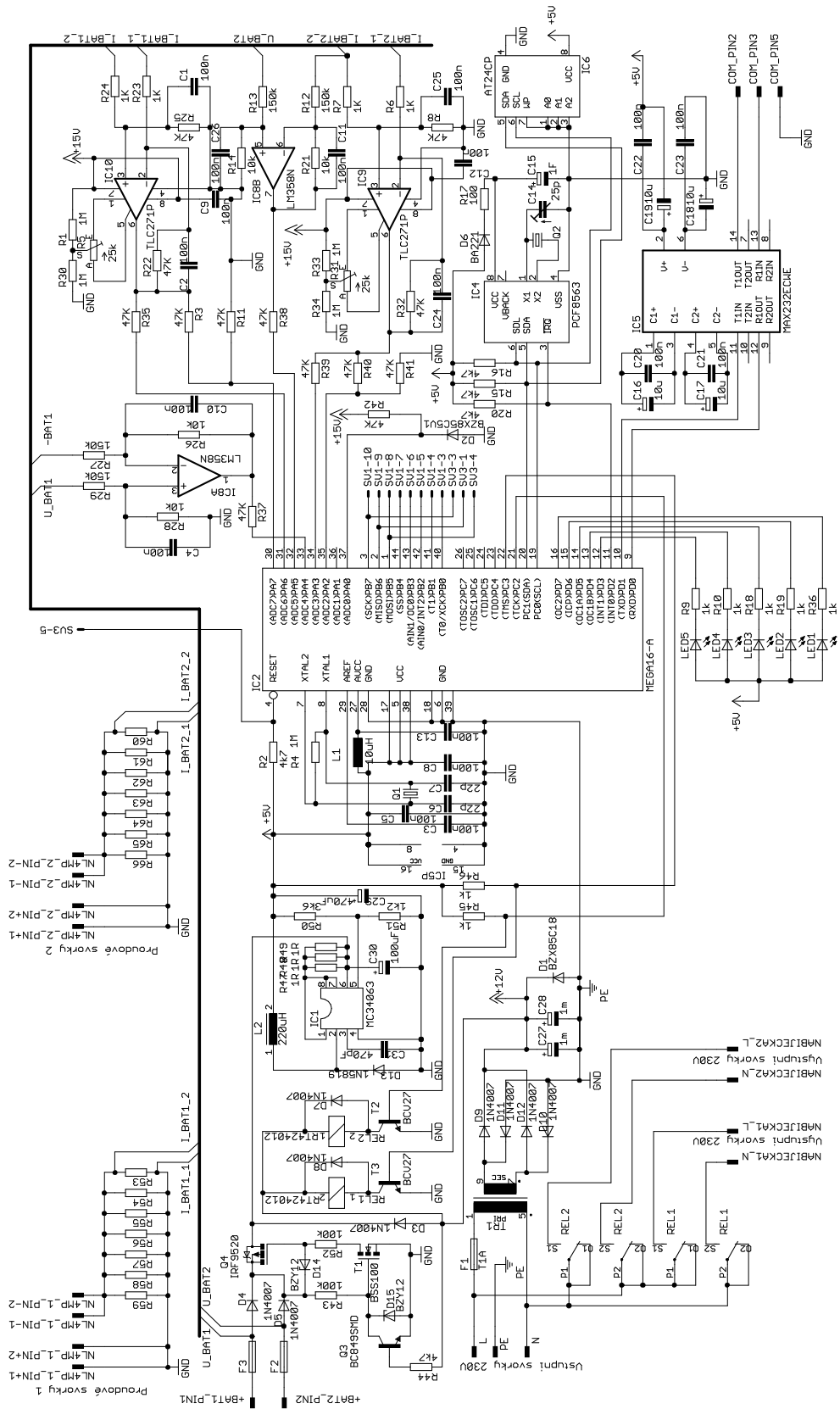
z 24 V baterií byl 693 mW. Tento příkon není nijak velký, ale není zanedbatelný. Zdrojem s měničem by se dal příkon ještě snížit. První varianta zdroje s lineární stabilizací měla problém při přepínání napájení zapájení ze sítě na baterie. Tranzistor Q1 byl řízen proudově. Odpor R11 nebyl zapojen. Toto zapojení bylo velice nevhodné, protože docházelo k několikaminutovému výpadku napájení elektroniky. Pokud je systém napájen ze sítě, jsou kondenzátory C1 a C2 nabitý. Při výpadku sítě se kondenzátory C1 a C2 vybíjejí. Vezme-li se v úvahu proudové řízení, tranzistor zůstával otevřený až do doby kdy se kondenzátory C1 a C2 nevybily pod napětí 0,65V. Při napětí pod 6 V na kondenzátorech C1 a C2 již docházelo k výpadku napájení. K tomuto stavu nesmělo docházet, proto se obvod upravil na napěťové řízení. Aby bylo zajištěno spolehlivé přepínání, byla nastavena hranice přepínání mezi napájeními na napětí 10 V na kondenzátorech C1 a C2.



Obr. 23.: Napájecí zdroj pro řídicí systém záložního osvětlování

4 Kompletní obvodové schéma

Kompletní obvodové schéma je souhrn všech předchozích kapitol. Systém včetně nabíječek bude napájen z jedné fáze. Schéma na formátu A3 je součástí přílohy [F].



Obr. 24.: Kompletní obvodové schéma

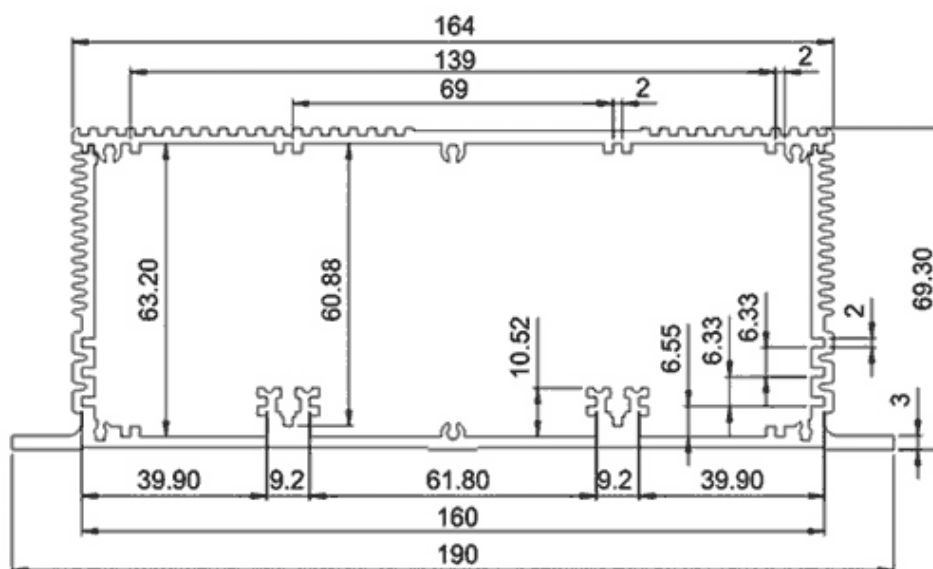
5 Realizace

5.1 VOLBA KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

Zařízení musí být konstruováno ve shodě s normou ČSN EN 61010-1 Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky.

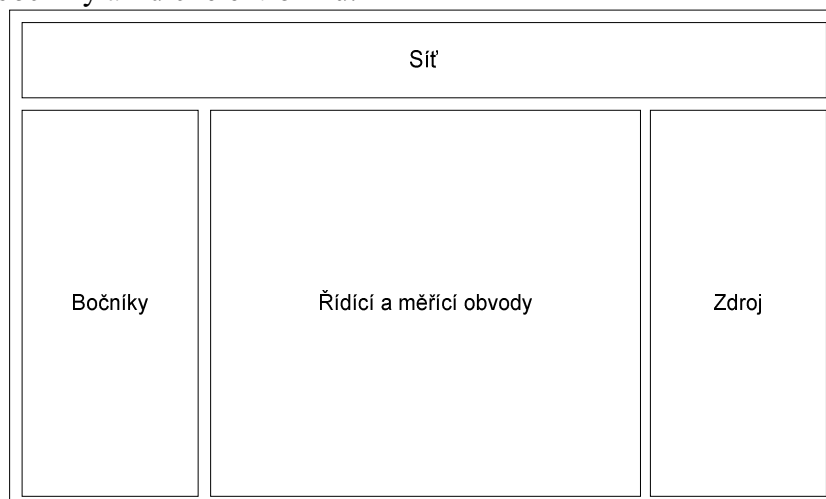
Z obvodového schéma bylo nutno odhadnout potřebné místo pro desku plošných spojů (dále jen „DPS“). Systém má spínat síťové napětí a rozbočovat jej do dvou nabíječek. V krabici jsou umístěny dvě síťové zásuvky, které vyžadují jisté prostory. Nabíječky umožňují nabíjet až proudem 30 A. Bočník pro měření proudu byl umístěn uvnitř přístrojové krabice. Je zřejmé, že tomuto proudu je nutné přizpůsobit konektory. Na panelu musí být dále prostor na pojistková pouzdra, konektor pro RS232 a konektor pro měření napětí.

Byla zvolena přístrojová krabice CP-17-15B [11].



Obr. 25.: Přístrojová krabice CP-17-15B převzato z [11]

Na Obr. 1 není rozměr hloubky, popis internetového obchodu TME [11] byl matoucí. Celkový rozměr hloubky krabice je 160 mm. Horní díl je odnímatelný. Krabice umožňuje velkou variabilitu upevnění DPS pouhým zasunutím do drážky. Konektory je vhodné rozdělit tak aby datové a napájecí vodiče síťového napětí nebyly u sebe. V zařízení je potřeba prostorově oddělit síťové napájení, bočníky a řídicí elektroniku.



Obr. 26.: Rozdělení přístrojové krabice dle silových a datových obvodů

Obr. 26 není vázán na fyzické rozměry, pouze naznačuje způsob rozvržení silových a datových obvodů.

Je patrné, že řídicí a měřicí obvody jsou obklopeny výkonovou částí. Z toho důvodu je vhodné navrhnout stínící přepážku. Tato přepážka byla navržena až po plošných spojích, nicméně kvůli celistvosti kapitoly o kondukčních prvcích je vhodné zmínit návrh nyní. Stínit je vhodné především proti elektrické složce. Blízká přítomnost síťového napětí je zdrojem silného rušení. Dalším, mnohdy i nepříjemnějším rušením, je rozepínání relé. K odstranění elektrického rušení postačuje i poměrně tenká vrstva hliníku. Nicméně vhodnějším materiálem je pozinkovaný plech, ten oproti hliníku více tlumí magnetické rušení. Je nutné podotknout, že odstranění magnetického rušení vyžaduje masivní ocelové, nebo feritové konstrukce. Obě řešení jsou nákladná, proto byla zvolena varianta pozinkovaný plech. Ten je cenově dostupný a má přijatelné vlastnosti.

Přístrojová krabice je zhotovena z hliníku. Zařízení je třídy I. Šroub ochranné svorky (svorek) musí být minimálně M4. Dle ČSN EN 61010-1 čl. 6.5.1.3: Impedance ochranného spojení mezi ochrannou svorkou a každou z přístupných částí, pro které je ochranné spojení použito, nesmí přesáhnout 0,1 Ω . Shoda s požadavky se kontroluje zkušebním proudem po dobu 1 minuty a výpočtem impedance. Zkušební proud je 25 A.

Tab. 4.: Impedance ochranného spojení mezi ochrannou svorkou a každou z přístupných částí

Přístupná část přístrojové krabice	Impedance proti ochranné svorce [Ω]
Spodní díl	0,0200
Čelní panely	0,0208
Horní díl	0,0210

5.2 KONEKTORY

S ohledem na zvolenou krabici je nutné volit jednotlivé konektory. Na trhu je poměrně široký sortiment, nicméně je nutné dodržet primárně elektrické vlastnosti a sekundárně mechanické. V případě nedostatku prostoru pro umístění konektorů je nutné vybrat větší krabici.

Nejdříve se vyberou konektory s největšími předpokládanými rozměry. Tedy síťové zásuvky. Z katalogů se volí síťové zásuvky s montáží na panel. [12]



Obr. 27.: I-ZASUVKA VESTAVNA CERNA 1461 převzato z [12]

Tato zásuvka je dimenzována na 250 V/16 A, vyrobena z termoplastu dle CEE7/V, krytí IP54, příводы má zezadu. Tyto parametry jsou vyhovující, cena je také přijatelná.

Další kritickou volbou jsou konektory pro bočníky. Je nutné dimenzování na proud $I = 30 \text{ A}$. Jinak bohatý sortiment trhu je v tomto ohledu již méně přívětivý, obvykle se konektory vyrábí s proudovým zatížením do $I = 16 \text{ A}$ na kontakt. Průmyslové konektory jsou spíše určeny pro pevnou instalaci. Tuto variantu je možné využít. Naopak konektory pro audiotechniku jsou uzpůsobené pro velké proudy a častou manipulaci. Pro montáž do panelu byl vybrán konektor Speakon NEUTRIK NL4MP. [13] Maximální zatížení je $250 \text{ V}/30 \text{ A}$ na kontakt, izolační pevnost 4 kV . Konektor je čtyřpinový, tudíž by pro oba bočníky stačil pouze jeden konektor. Z důvodu lepšího dimenzování a přehledné kabeláže byl zvolen pro každý bočník samostatný konektor. Na vnitřní kabeláž byly použity vodiče s proudovým zatížením $I = 16 \text{ A}$. Na každý pin byl připojen jeden takový vodič. Díky paralelnímu zapojení je proudové zatížení přijatelné. Kabely, které jsou zapojeny paralelně, by měly mít stejnou délku, aby nedocházelo k nerovnoměrnému zatížení vodičů.



Obr. 28.: Konektor *Speakon NEUTRIK NL4MP* převzato z [13]

K tomuto konektoru patří samec *Speakon NEUTRIK NL4FX*



Obr. 29.: Konektor *Speakon NEUTRIK NL4FX* převzato z [15]

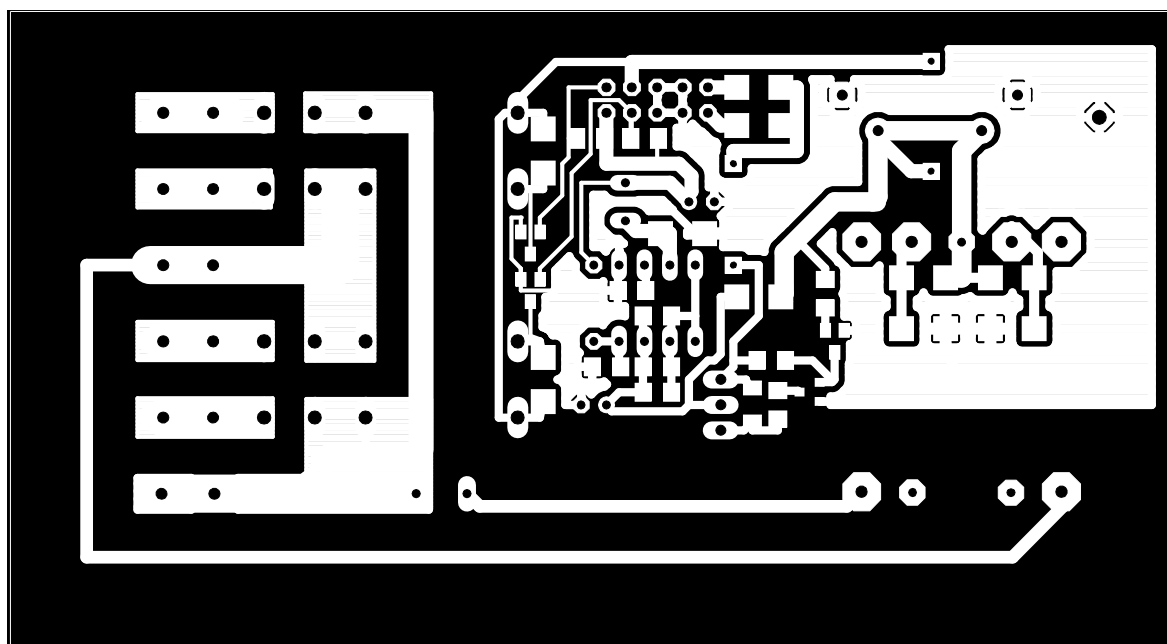
Tento konektor má přechodový odpor pinu menší než $2 \text{ m}\Omega$. Izolační pevnost 4 kV stejnosměrného napětí. Proudové dimenzování kontinuálně 40 A na kontakt. Podrobnosti jsou v literatuře [16].

Volba dalších kontaktů není již tak kritická jako u výše zmíněných. Kompletní obvodové schéma se rozdělí na tři části: Zdroj, indikační panel, bočníky a řídicí jednotka.

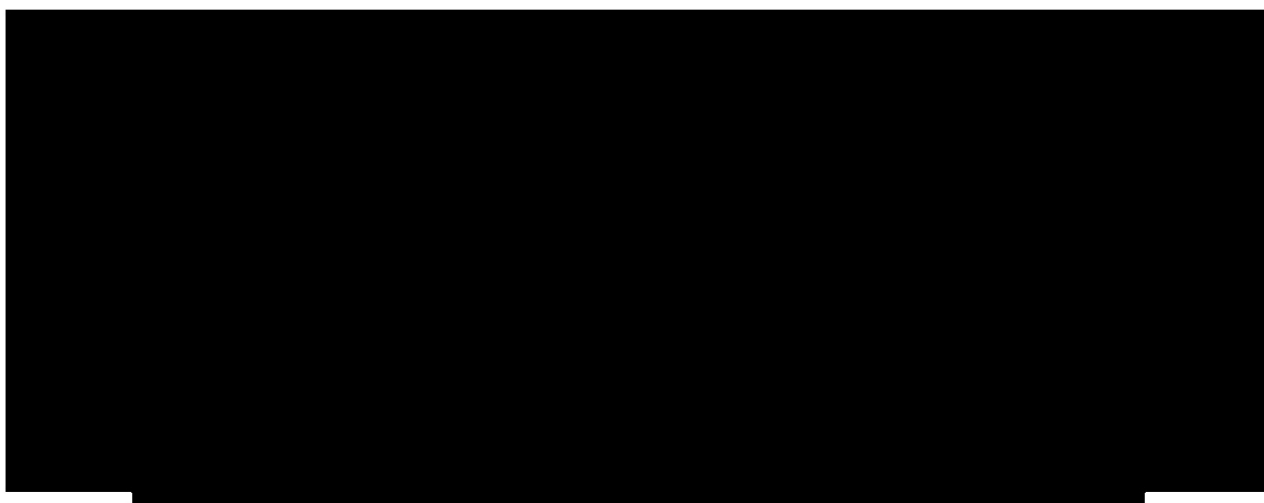
5.3 ZDROJ

Schéma zdroje je na Obr. 23. Z něj byla navržena deska plošných spojů s ohledem na zvolenou přístrojovou krabičku. Deska plošných spojů zdroje byla realizována dle obecných

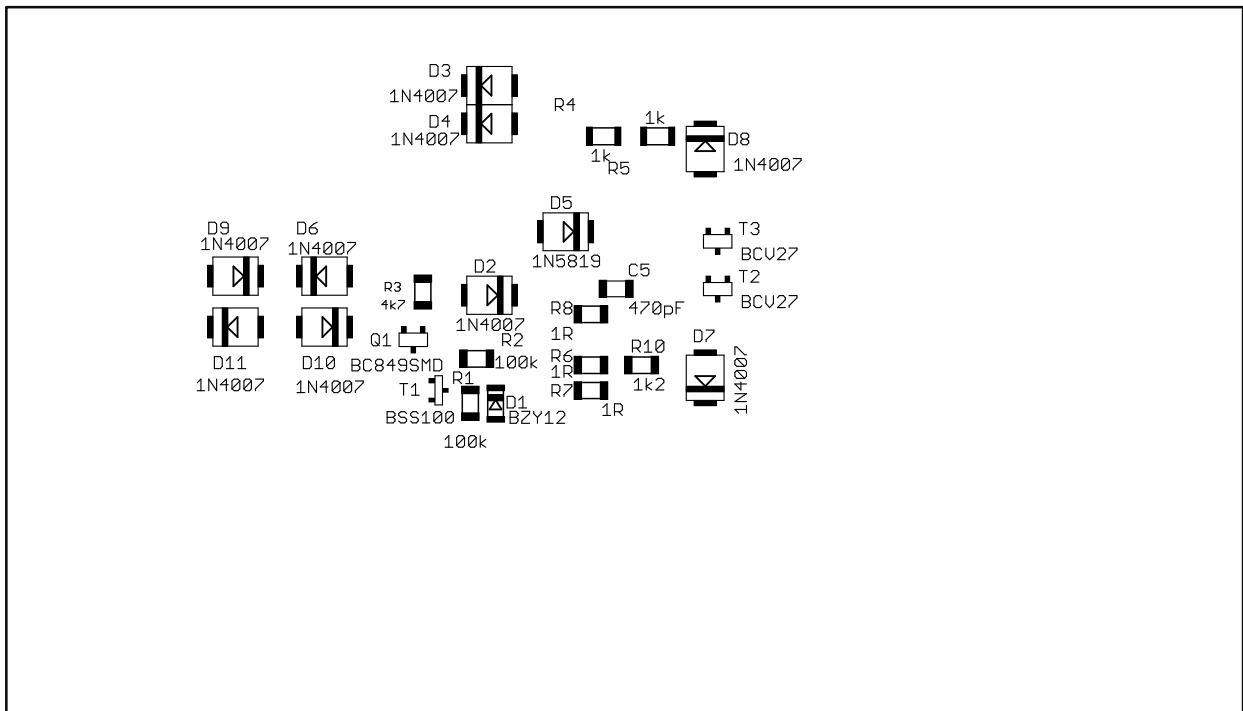
pravidel návrhu plošných spojů. Byla umístěna svisle do drážky u stěny krabičky. Z důvodu bezpečnosti bylo nutné, aby kontakty živých vodičů byly na plošném spoji od sebe minimálně 4 mm. Vzdálenost živých vodičů primární strany na DPS a vodičů sekundární strany DPS od sebe musejí být minimálně 6 mm. Vzdálenost mezi živými a neživými částmi se vzduchovou mezerou musí být nejméně 3 mm. Při montáži zdroje se kontakty živých částí na DPS přibližovaly k hraniční vzdálenosti 3 mm od neživé části. Požadavky normy ČSN EN 61010-1 byly splněny. Vzhledem ke hmotnosti některých součástek by při hrubé manipulaci mohlo dojít k porušení normy ČSN EN 61010-1 a případně i k poruše. Z tohoto důvodu byla navržena izolační deska z materiálu FR4. Tento materiál má průrazné napětí v oleji při 90 °C 10 kV/mm [17]. Při tloušťce izolační podložky 0,8 mm je průrazné napětí 8 kV. Tato hodnota bohatě vyhoví zkoušce při 4 kV. Plošný spoj se po osazení ošetří ochranným izolačním lakem.



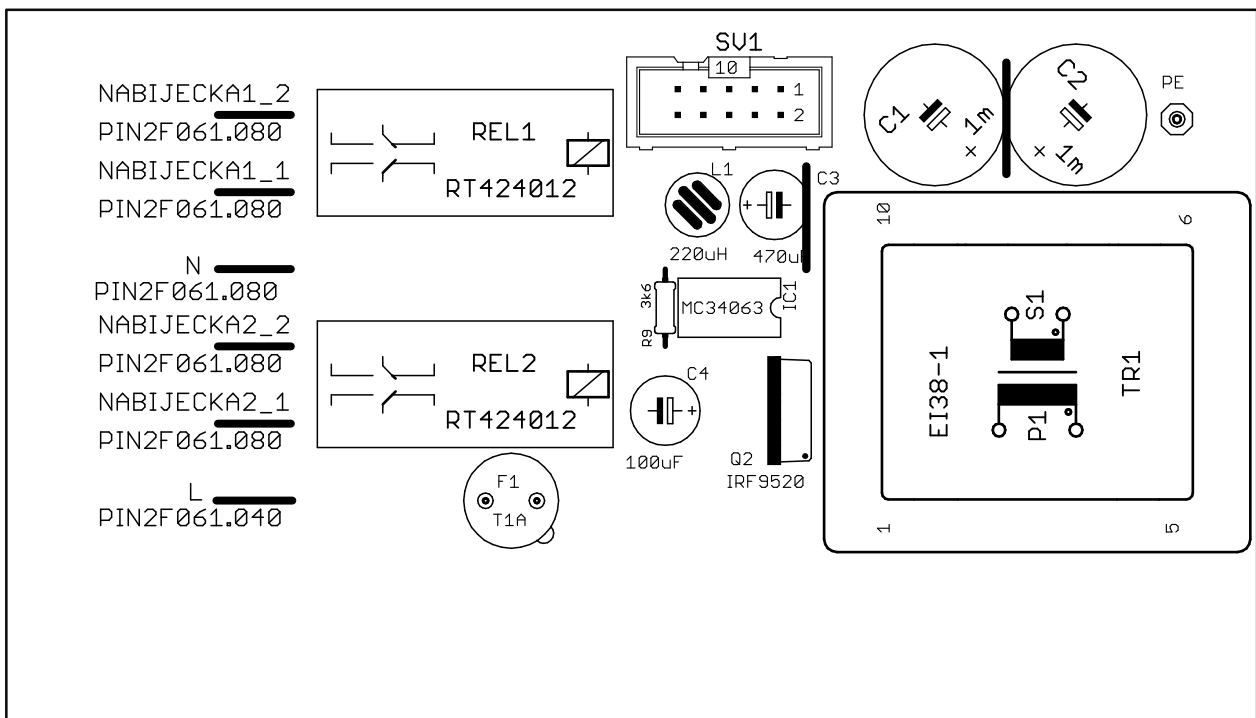
Obr. 30.: Deska plošných spojů napájecího zdroje (rozměry 104 x 63,5).



Obr. 31.: Izolační deska, která se umístí mezi DPS zdroje a stěnu přístrojové krabičky (rozměry 160 x 63)



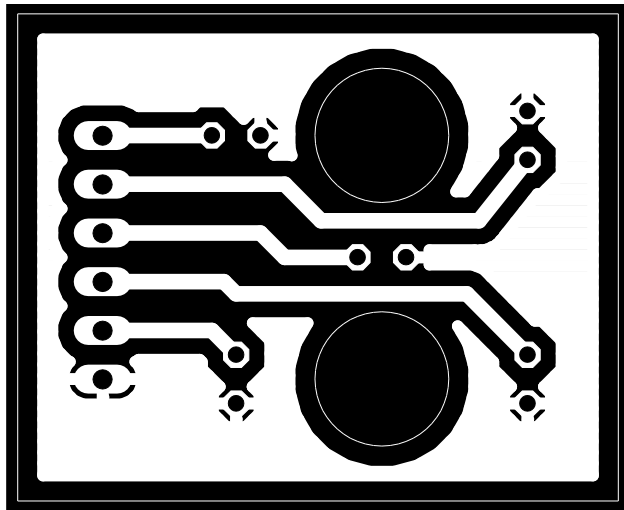
Obr. 32.: Zdroj, osazovací plán BOTTOM (strana spojů)



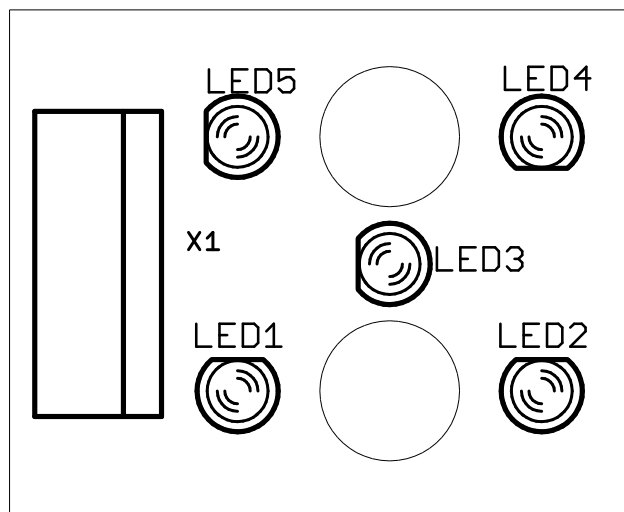
Obr. 33.: Zdroj, osazovací plán TOP (strana součástek)

5.4 INDIKAČNÍ PANEL

Funkce indikačního panelu je prostá, zobrazuje stav systému a baterií. Byl připevněn dvěma šrouby k hornímu dílu přístrojové krabičky. Od ní byl galvanicky oddělen. Panel byl osazen dvěma zelenými LED diodami o průměru 3 mm a třemi červenými LED diodami, které mají také průměr 3 mm. Tento rozměr byl volen kvůli spotřebě LED diod. Vybrané diody jsou nízkopříkonové. Každá pro nominální svit vyžaduje pouze proud $I = 2 \text{ mA}$. Pokud by došlo k výpadku proudu, systém by byl napájen pouze ze záložních baterií, proto je vhodné, aby systém v tomto stavu spotřebovával jen minimum energie. Na DPS je konektor X1, ten nebude osazen, plochý kabel se připájí přímo na DPS. Odpojitelná je druhá strana kabelu vedoucí do řídicí jednotky. Plošný spoj se po osazení ošetří ochranným izolačním lakem.



Obr. 34.: DPS indikačního panelu (rozměry 30 x 23)



Obr. 35.: Osazovací plán indikačního panelu (strana součástek)

5.5 BOČNÍKY

Pro snímání proudu byly použity bočníky. Hotový bočník je možno koupit, jeho cena není však nijak lákavá, pohybuje se ve stovkách korun českých. Z finančních důvodů byl bočník navržen a zkonstruován. Jedna z variant bočníku je použití běžných drátových rezistorů. Tato varianta byla realizována a odzkoušena. Praxe ukázala, že i při větším množství paralelních rezistorů není vhodné tento způsob používat. Rozptyl parametrů drátových rezistorů byl příliš velký. Důsledkem nerovnoměrného zatížení rezistorů docházelo k jejich poškození, proto byl navržen bočník z odporového drátu. Konstrukční náklady takového bočníku byly opravdu minimální. Na trhu je několik odporových materiálů, ne každý je vhodný pro bočník. Například konstantan odolá teplotě až 1500 °C, to je dobrý předpoklad pro bočník, protože se obtížně přepálí. Tím bohužel výhody pro bočník končí. Materiál má větší tepelnou roztažnost než měď a prakticky se nedá pájet. Mnohem vhodnějším materiálem je manganin. Vydrží sice jen 150 °C, ale je snadno pájitelný, tvárný a má 35x nižší tepelnou roztažnost než měď. Na proud $I = 30 \text{ A}$ bylo potřeba opravdu tlustý odporový drát. Bohužel je ve větších průměrech nedostupný. Z nabídky internetového obchodu GME byl vybrán nejsilnější manganinový drát. Jeho průměr je $d = 0,56 \text{ mm}$, průřez $0,88 \text{ mm}^2$, měrná rezistivita $\rho = 1,761 \text{ } \Omega\text{m}$. Požaduje se úbytek napětí $\Delta U = 100 \text{ mV}$ při proudu $I = 30 \text{ A}$, z Ohmova zákona vyplývá, že je potřeba bočník s odporem $R = 3,33 \text{ m}\Omega$. Zvolíme proudovou hustotu $J = 5 \text{ A/mm}^2$. Zadaný proud 30A se rovnoměrně rozloží na sedm paralelních vodičů s proudovou hustotou $J = 4,87 \text{ A/mm}^2$. Pro zjednodušení výpočtů se rezistivita převede na vodivost. Po výpočtu je měrná vodivost sedmi paralelních vodičů $0,251571 \text{ } \Omega\text{m}^{-1}$. Pro odpor $R = 3,33 \text{ m}\Omega$ musí mít svazek odporových vodičů délku 13,22 mm. Dle tohoto požadavku byla navržena DPS. Délka se zaokrouhlila směrem dolů na 13 mm. Substrát byl tlustý 1 mm. Na ohyb odporových drátů bylo potřeba přibližně 1mm, ohyby byly dva na každém drátu. Po odečtu byla zvolena rozteč děr 10 mm. Z praktických zkušeností byl předpokládán nepatrně vyšší odpor, než bylo navrženo, proto byla délka hned na začátku výpočtů zaokrouhlena směrem dolů.

$$\Delta U = 100 \text{ mV}$$

$$\rho_{\text{drát}} = 1,761 \text{ } \Omega\text{m}$$

$$S_{\text{manganin}} = 0,88 \text{ mm}^2$$

$$J = 5 \text{ A/mm}^2$$

$$S_{\text{bočníku}} = \frac{I [\text{A}]}{J [\text{A/mm}^2]} [\text{mm}^2] = \frac{30 \text{ A}}{5 \text{ A/mm}^2} = 6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Počet paralelních manganinových drátů} = N = \frac{S_{\text{bočníku}}}{S_{\text{manganin}}} = \frac{6 \text{ mm}^2}{0,88 \text{ mm}^2} \doteq 7 \text{ drátů}$$

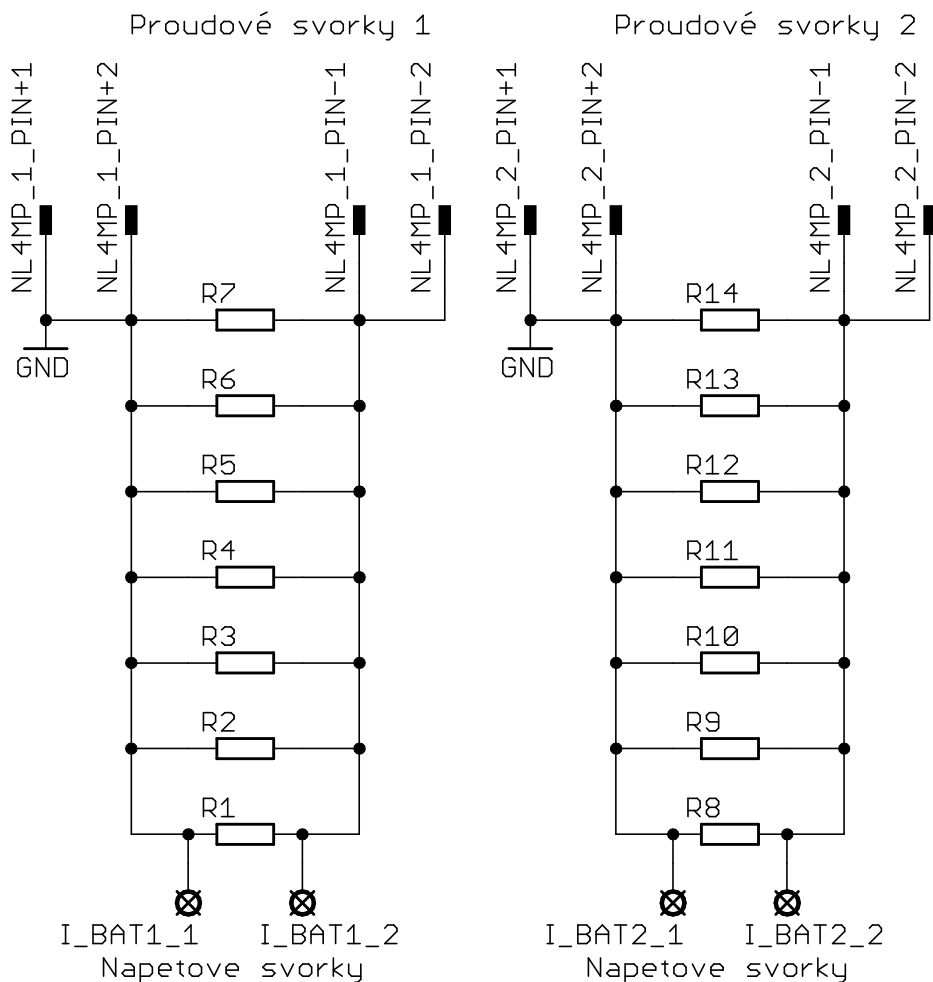
$$Y_{7\text{drátů}} = N \cdot \frac{1}{\rho_{\text{drát}} \text{ } \Omega\text{m}} = 7 \cdot \frac{1}{1,761 \text{ } \Omega\text{m}} = 3,975 \text{ Sm}^{-1}$$

$$\rho_{7\text{vodičů}} = \rho_{\text{bočníku}} = \frac{1}{Y_{7\text{drátů}} \text{ Sm}^{-1}} = \frac{1}{3,975 \text{ Sm}^{-1}} = 0,252 \text{ } \Omega\text{m}$$

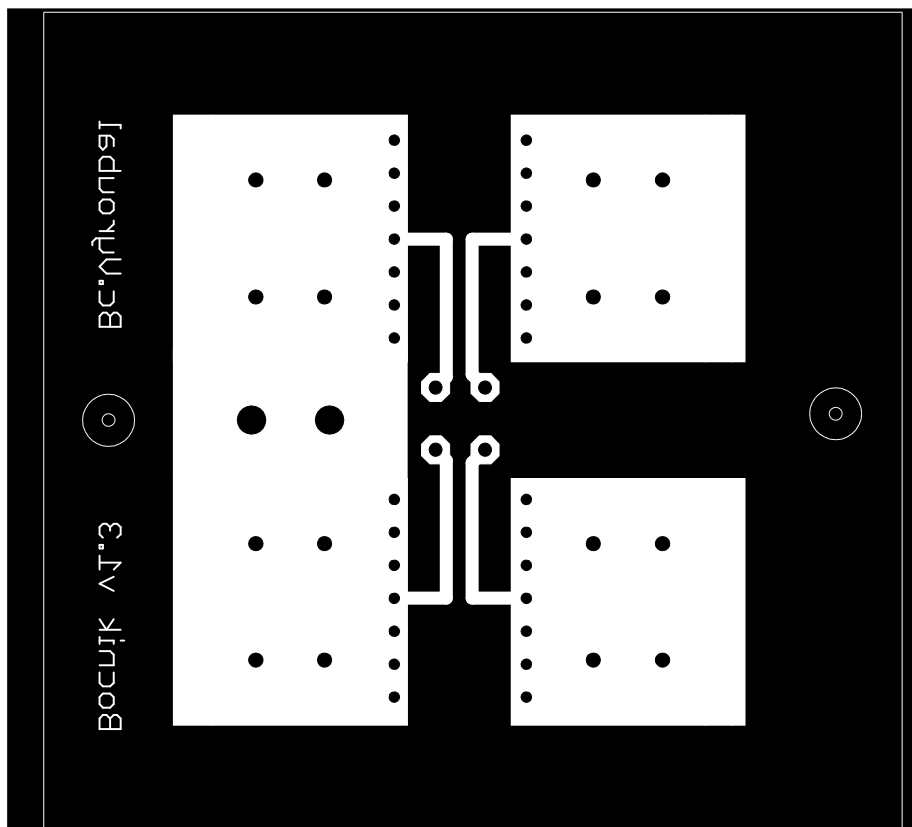
$$R_{\text{bočníku}} = \frac{\Delta U [\text{V}]}{I [\text{A}]} = \frac{0,1 \text{ V}}{30 \text{ A}} = 3,33 \text{ m}\Omega$$

$$l = \frac{R [\Omega]}{\rho_{\text{bočníku}} [\Omega\text{m}]} [\text{m}] = \frac{0,00333}{0,252} = 0,01322 \text{ m} = 13,22 \text{ mm}$$

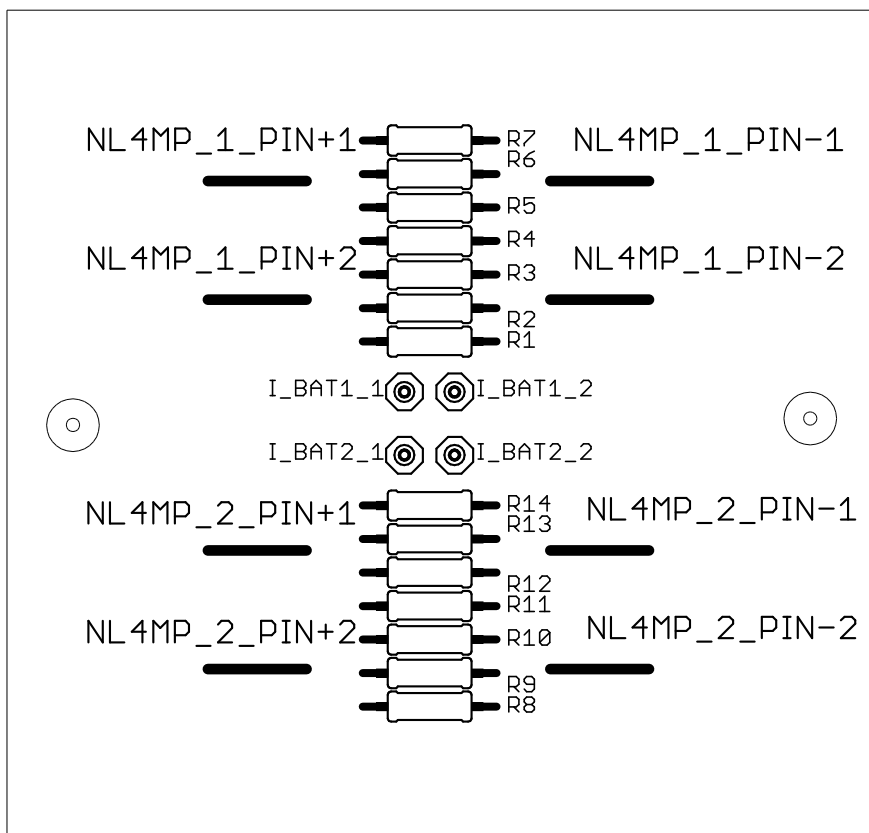
Bočníky byly zkonstruovány a měřeny nepřímou metodou. Proudovými svorkami protékal proud $I = 5 \text{ A}$ po dobu deseti minut. Od první minuty byly zaznamenávány hodnoty napětí a proudů. Změřená hodnota obou bočníků byla $R = 3,46 \text{ m}\Omega$. Oproti požadované hodnotě $R = 3,33 \text{ m}\Omega$ je změřená hodnota o $0,13 \text{ m}\Omega$ vyšší. Díky praktickým zkušenostem byla tato hodnota umenšena, nicméně i tak se projeví. Bočník bude mít při proudu $I = 30 \text{ A}$ úbytek napětí $\Delta U = 103,8 \text{ mV}$. Tato odchylka odpovídá třem digitům na hrubém měření. Systém by naměřil proud o $1,48 \text{ A}$ vyšší než skutečný. Tento rozdíl je nezanedbatelný a bude nutno jej softwarově eliminovat. Plošný spoj se po osazení ošetří ochranným izolačním lakem.



Obr. 36.: Schéma zapojení bočníků



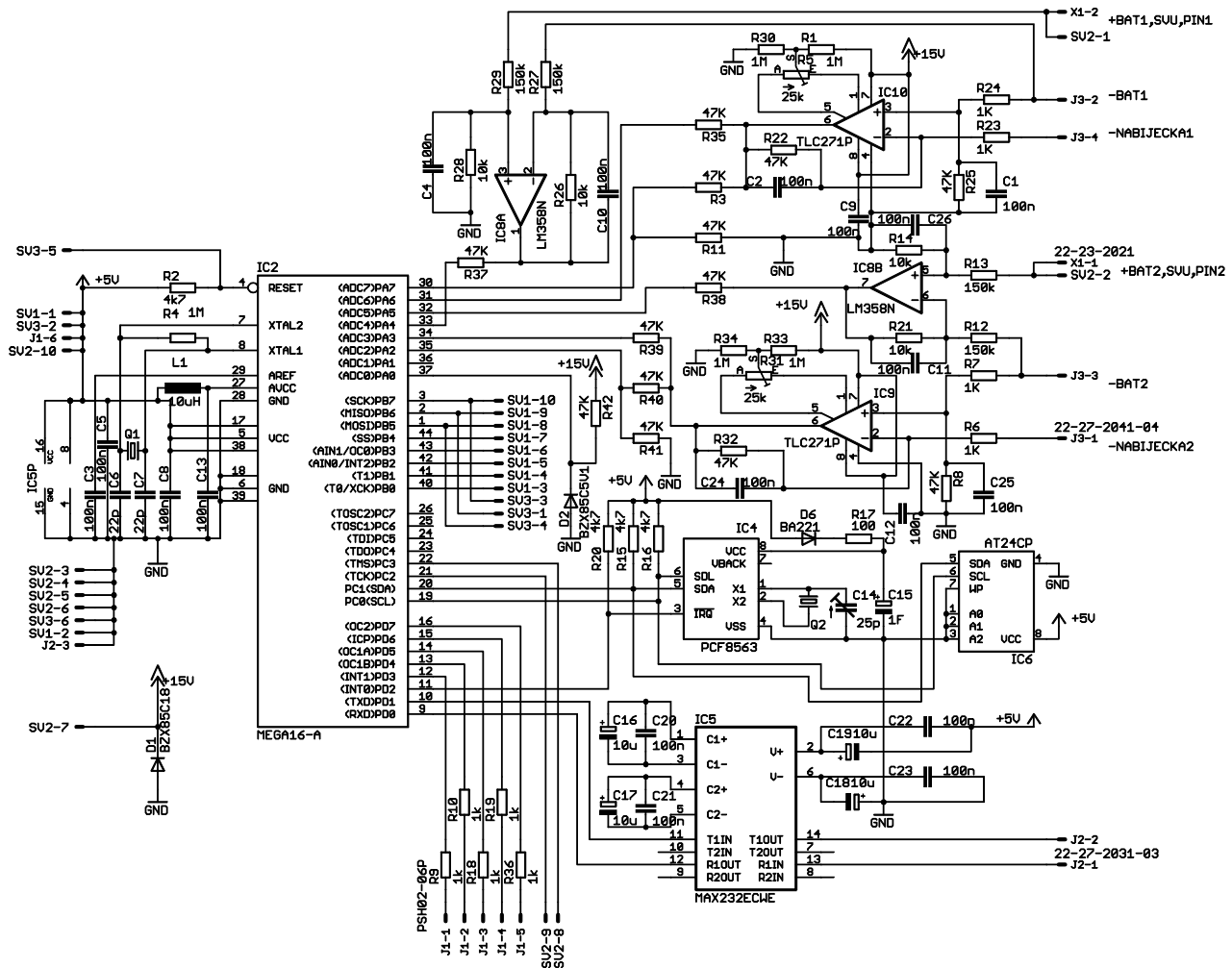
Obr. 37.: DPS bočnicků (rozměry 66 x 63)



Obr. 38.: Osazovací plán bočnicků TOP, odpory substituují odporový drát.

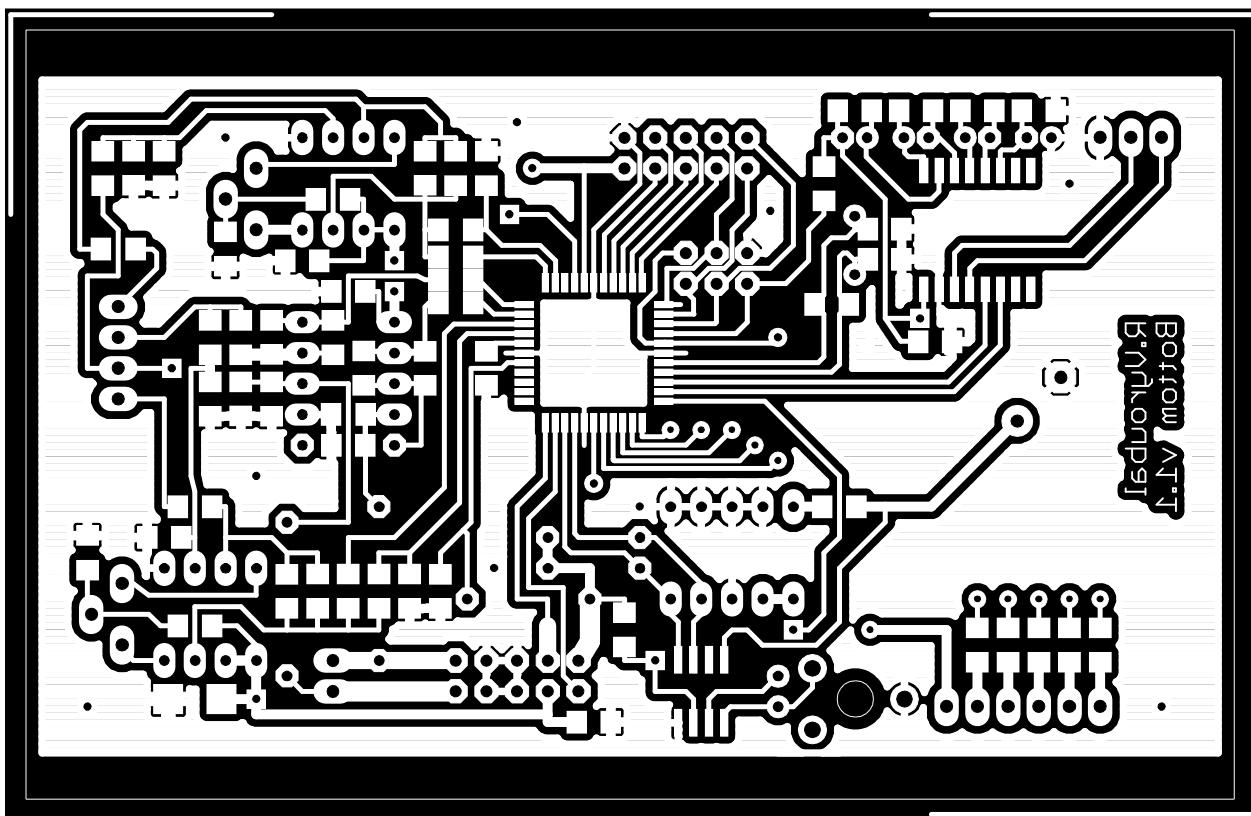
5.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Řídící jednotka je hlavní částí celého systému.

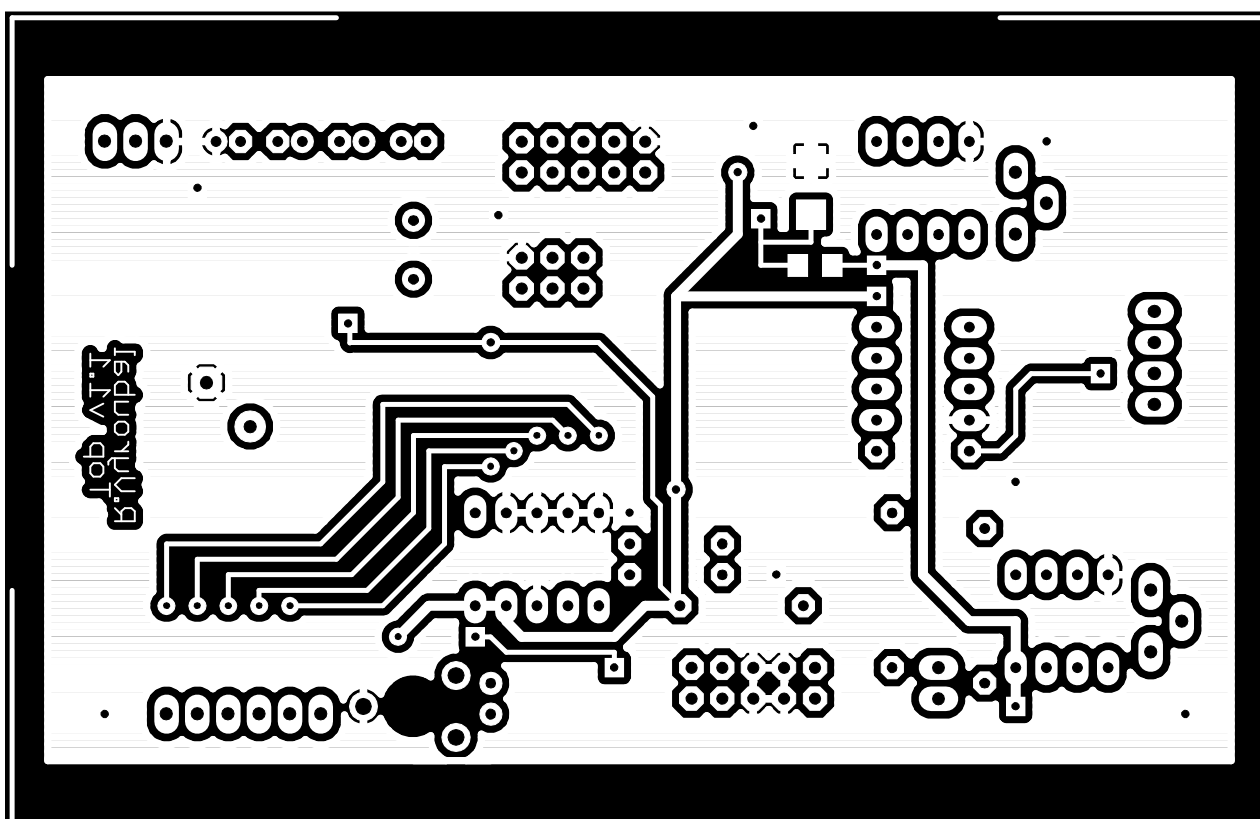


Obr. 39.: Schéma řídicí jednotky

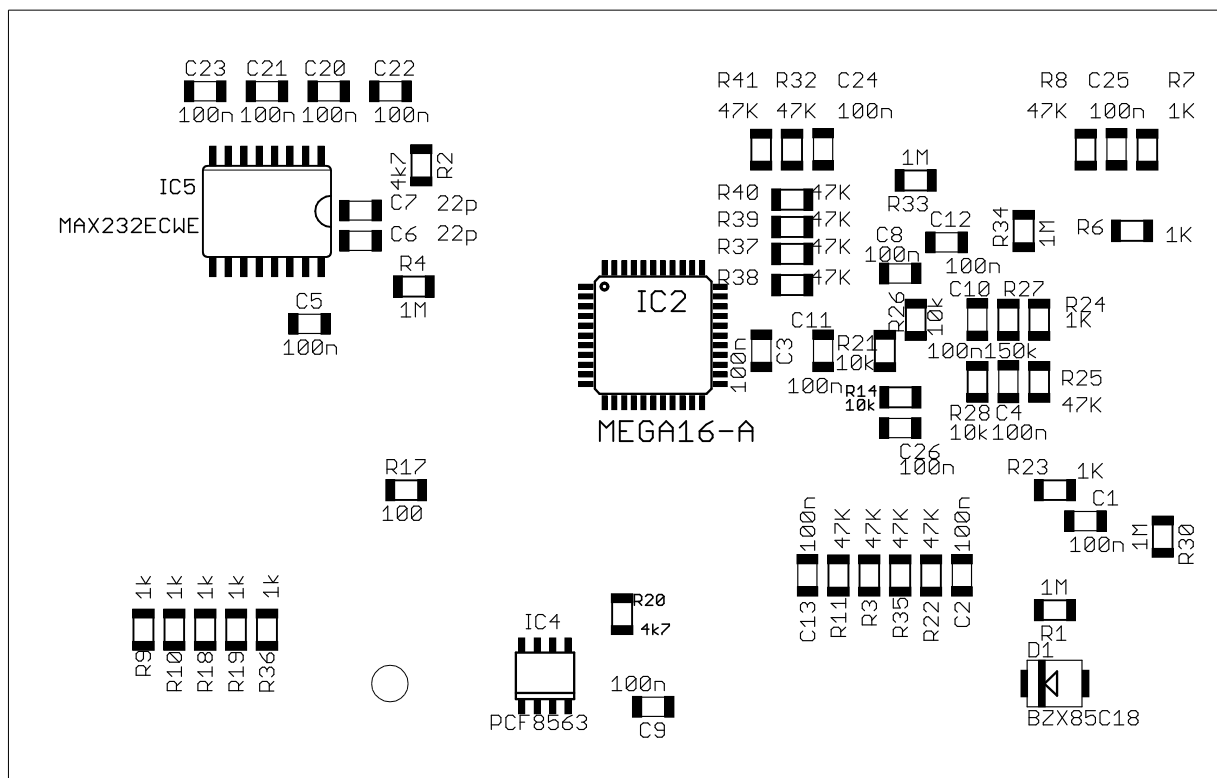
Ze schéma bylo nutné navrhnout DPS. Správný návrh DPS nebyl jednoduchý úkol, a to především jedná-li se o kombinaci digitálních a analogových obvodů. Bylo nutné brát na zřetel návrh zemnicích vodičů, blokovacích kondenzátorů a vzájemné rušení. Obzvláště choulostivá bývá zpětná vazba operačních zesilovačů, proto bylo nutné tuto smyčku udržovat co nejkratší a co nejdál od rušivých elementů, jakými jsou například oscilátory nebo datové vodiče. Na Obr. 40 přibližně uprostřed jsou patrné pájecí plošky pro mikroprocesor ATmega16. Od něj pravá polovina DPS obsahuje výhradně analogové prvky, operační zesilovače. Každému pouzdru operačního zesilovače přísluší jeden blokovací keramický kondenzátor $C = 100 \text{ nF}$. Tento kondenzátor odstraňuje rušení v napájení od digitálních prvků. Při překlápení hradel dochází k proudovým špičkám, ty jsou zdrojem rušení v napájení. Levá strana, dle Obr. 40, byla vyhrazena digitálním prvkům. Jelikož jsou digitální prvky odolnější vůči rušení, bude umístěna blíže k potenciálnímu zdroji rušení. Strana s analogovými prvky se umístí na stranu bližší čelnímu panelu. Plošný spoj se po osazení ošetřil ochranným izolačním lakem.



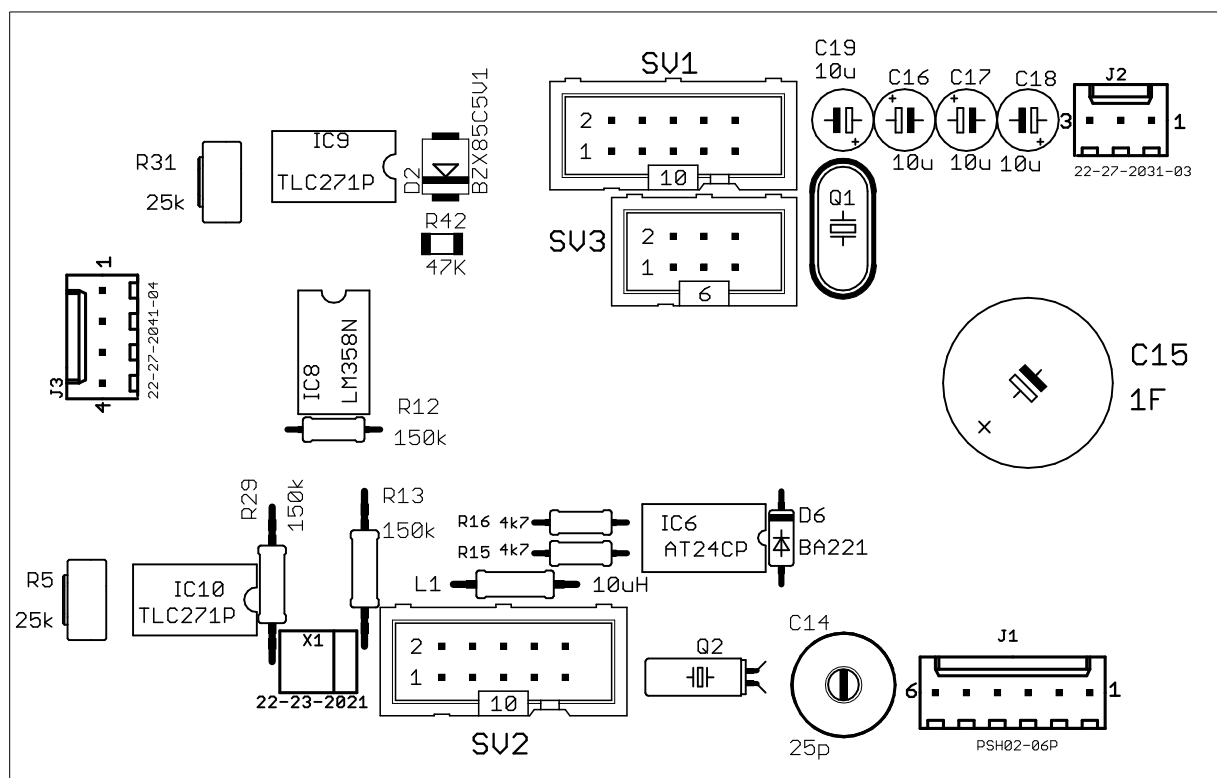
Obr. 40.: DPS řídící jednotky BOTTOM (spodní strana, rozměry 100 x 63,5)



Obr. 41.: DPS řídící jednotky TOP (spodní strana, rozměry 100 x 63,5)



Obr. 42.: Osazovací plán řídicí jednotky BOTTOM, spodní strana



Obr. 43.: Osazovací plán řídicí jednotky TOP, horní strana

6 Oživení

Zařízení bylo nutno oživovat postupně. Obvykle se začíná napájecími zdroji.

6.1 OŽIVENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE

Zařízení je napájeno ze sítě. Pokud v danou chvíli není k dispozici oddělovací transformátor nebo je známo, že se bude s DPS zdroje manipulovat, je vhodné místo sítě na primární vinutí transformátoru připojit za usměrňovač předpokládané stejnosměrné napětí. Pro oživení je vhodné volit napětí od 8 V do 12 V. Na rozdíl od sítě má většina laboratorních zdrojů možnost omezení proudu. Během ožívování nebyla ke zdroji připojena řídicí deska. Dominantní spotřebu určují relé, která jsou ve výchozím stavu sepnuta. Každé si vyžádalo proud $I = 33 \text{ mA}$. Proud zdroje byl omezen přibližně na $I = 100 \text{ mA}$. Při zapnutí se musely nabít filtrační kondenzátory, což způsobilo proudovou špičku. Dalším průvodním jevem bylo sepnutí obou relé, při spínání vydávaly charakteristický zvuk. Po ustálení přechodných jevů se odebíraný proud do ožívovaného zdroje bez zátěže se sepnutými relé pohyboval kolem $I = 70 \text{ mA}$. Byl-li proud řádově vyšší, bylo nutné odpojit laboratorní zdroj a překontrolovat DPS a osazení. Pohyboval-li se proud kolem $I = 70 \text{ mA}$, bylo vše v pořádku a můžou se vykonat další postupy oživení.

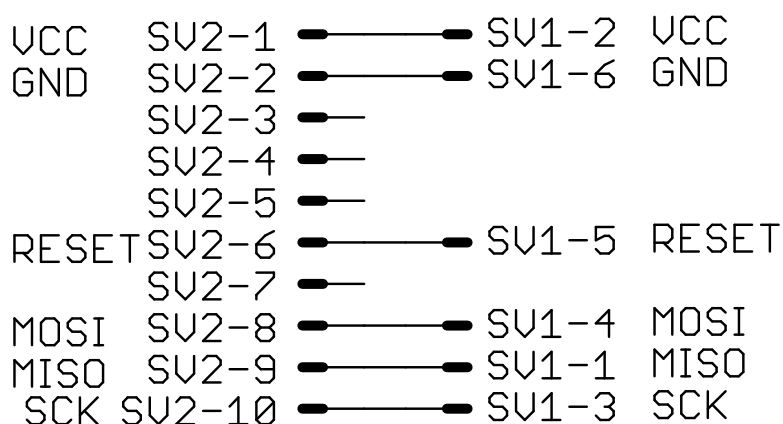
Dle schématu z Obr. 23 musí být na výstupní svorce SV1-1 napětí $U = 5 \text{ V}$. Toto napětí se může pohybovat s tolerancí 10%. Přibližně stejné napětí musí být na pinu SV1-3. Na pinech SV1-8 a SV1-9 nesmí být napětí větší než $U = 2 \text{ V}$. Pokud ano, pravděpodobně byly zničeny tranzistory T2 a T3. Bylo-li vše v pořádku, odpojil se laboratorní zdroj a přes oddělovací transformátor se zdroj připojil k síti dle schématu. Opět se přeměří napětí na zmíněných svorkách.

Nyní se ověřila funkce přepínání na záložní napájení při výpadku sítě. Zdroj byl napájen ze sítě a zároveň se přivedl na pin SV1-1 nebo SV1-2 napětí $U = 12 \text{ V}$ z laboratorního zdroje. Z laboratorního zdroje netekl téměř žádný proud. Současně se monitorovalo napětí na pinu SV1-10, které muselo být stále kolem $U = 5 \text{ V}$. Při neustálém monitorování tohoto pinu se odpojila síť. Pokud vzrostl proud z laboratorního zdroje a současně bylo požadované napětí na pinu SV1-10, bylo vše v pořádku a ožívovaný zdroj byl funkční. V poslední fázi oživení bylo nutné zatížit zdroj proudem $I = 350 \text{ mA}$ a na laboratorním zdroji nastavit napětí $U = 40 \text{ V}$. Pokud zdroj vydržel nepřetržitě hodinu funkční, byl oživen. Tento zátěžový test byl náročnější než reálná aplikace zdroje.

6.2 OŽIVENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

6.2.1 Naprogramování pomocí 10 pinového konektoru

Klíčem k oživení řídicí jednotky bylo nahrát do mikroprocesoru program. K tomuto účelu byla nutná úprava DPS a vytvoření kabelu.

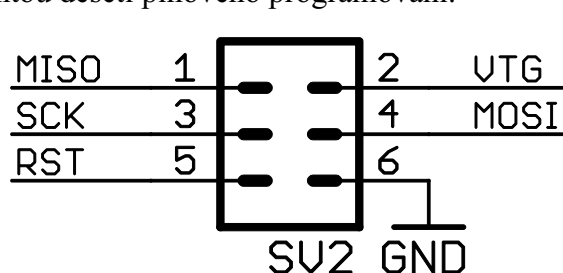


Obr. 44.: Schéma zapojení kabelu propojující řídicí jednotku a programátor

Pro nahrání programu do mikroprocesoru bylo nutné propojit pin 4 mikroprocesoru (reset) s pinem 6 volného portu. Kabel se vytvoří dle schématu na Obr. 44. Jako programátor byl použit školní biprog. Bylo možné použít i jakýkoliv jiný kompatibilní programátor. Pro vývoj software bylo vhodné použít AVR studio. Jeho licence je volně šiřitelná, tudíž každému dostupná.

6.2.2 Naprogramování pomocí 6ti pinového konektoru

Programování pomocí 6ti pinového konektoru nevyžadovala žádné hardwarové úpravy. Pin pro reset mikrokontroléru byl vyveden přímo na pin konektoru. Programátor i programovací software je totožný s variantou deseti pinového programování.



Obr. 45.: Popis pinů pro naprogramování mikrokontroléru

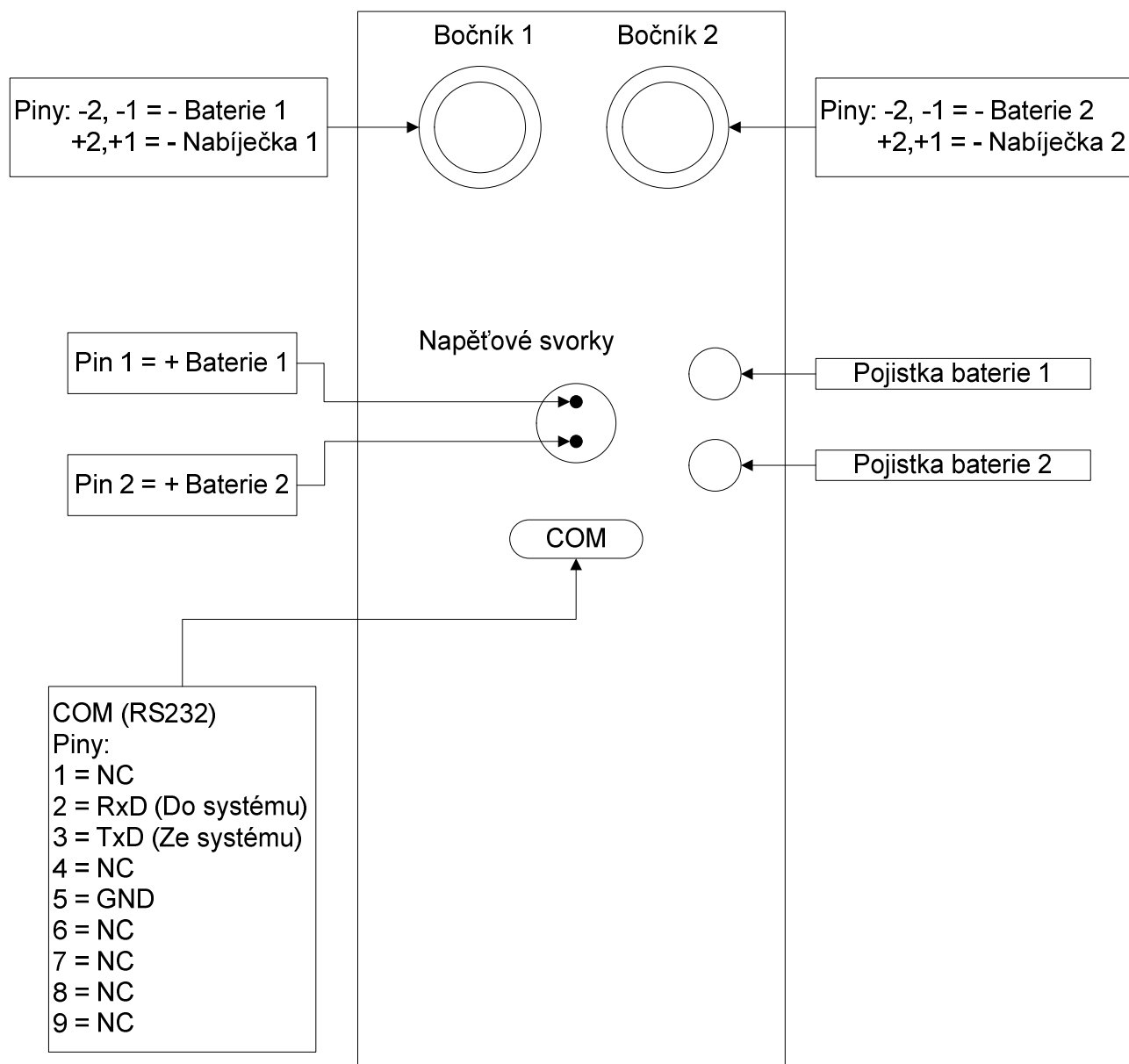
6.2.3 Oživení

Zařízení disponuje pěti LED diodami ovládanými mikroprocesorem. Nejjednodušší způsob ověření základní funkce mikroprocesoru bylo rozsvícení a zhasnutí LED diod. Po úspěšném zdolání prvního kroku bylo vhodné oživit USART a komunikaci s terminálem přes RS232. Přes terminál je možné posílat do PC data ve srozumitelnější formě, než rozsvícením pěti LED diod. Po USARTu bylo vhodné oživit RTC a EEPROM připojené na sběrnici I2C. Při oživování RTC se vyskytl velmi nepříjemný neduh. RTC má vlastní napájení ze záložního kondenzátoru, díky tomu při ztrátě napájení mikroprocesoru a současné komunikaci s RTC došlo k chybě na straně RTC. Obvykle tato chyba změnila nastavení času. Hodiny RTC běžely dále na záložní kondenzátor. Po opětovném zapnutí mikroprocesoru měl RTC chybný čas. Jediný způsob jak této chybě předejít bylo hlídat, zda-li běží napájecí síť a současně napětí záložních baterií. Bylo-li zařízení napájeno z baterií a dojde k poklesu pod jistou mez, byla úplně vyřazena sběrnice I2C, aby se předešlo chybným zápisům do EEPROM a zmíněné chybě času v RTC.

Další fatální chyba byla zjištěna při AD převodech. Externí referenční napětí způsobovalo chybu převodů až 37 digitů. Příčina nebyla podrobně zkoumána. Je možné, že se LC filtr rozkmital a způsobil tuto enormní chybu. Byl proveden experiment, kdy byla externí reference odpojena a použito interní referenční napětí mikroprocesoru. V kombinaci s potlačením šumu (dle doporučení výrobce) fungoval převodník přesně dle specifikace. Podrobnějším zkoumáním AD převodů bylo zjištěno, že interní reference je dostatečně přesná a časově stálá pro běžné použití. Na základě poznatků bylo zjednodušeno schéma. Byla vynechána externí napěťová reference. Tím se docílilo zjednodušení a zlevnění výroby.

7 Popis konektorů a významu světelné indikace

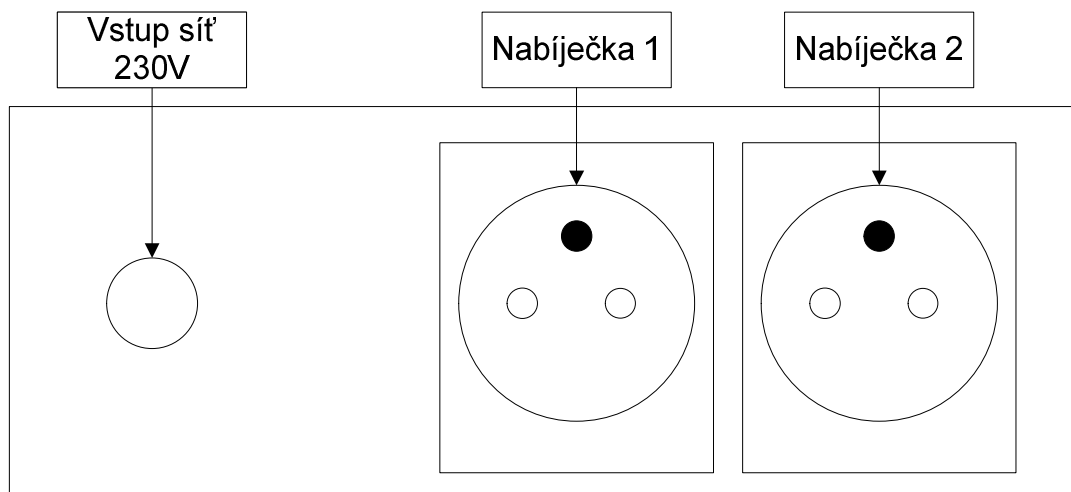
7.1 POPIS KONEKTORŮ



Obr. 46.: Popis vývodů systému levá strana

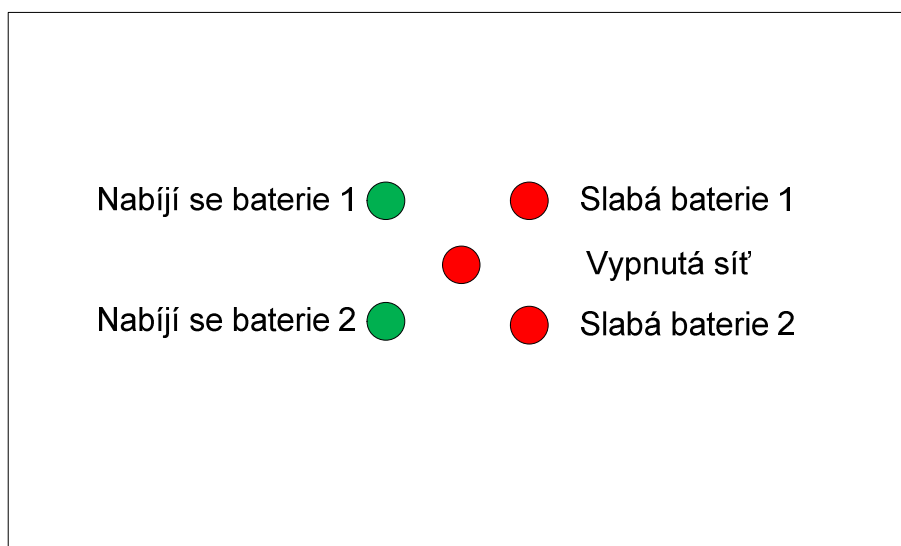
Popis vývod je poměrně vyčerpávající. Nutno podotknout, že nesmí dojít k záměně jakéhokoliv vývodu mezi baterií jedna a baterií dvě. Piny na konektorech bočniců nejsou z vnější strany nijak označeny. Je nutné se orientovat dle popisu pinů koncovky přívodního konektoru. U ostatních konektorů je značení na obou částech.

Opačná, pravá strana obsahuje konektory spojené s napájecí sítí 230 V. Při pohledu na panel je levý neodnímatelný kabel přívodní napájecí. Levá zásuvka je určena pro nabíječku jedna, která nabíjí bateriový blok jedna. Pravá zásuvka je určena pro nabíječku dvě. Opět je nutné připomenout, že nesmí dojít k záměně zásuvek.



Obr. 47.: Popis vývodů systému pravá strana

7.2 VÝZNAM SVĚTELNÉ INDIKACE



Obr. 48.: Popis světelné signalizace

Nesvítlí-li žádná ze světelných signalizací (slabá baterie, nabíjí se baterie, vypnutá síť), je vše v pořádku a systém periodicky monitoruje stav sítě a napětí baterií. Dojde-li k výpadku sítě, systém se přepne na napájení ze záložních baterií a rozsvítí červenou světelnou signalizaci popsanou: „Vypnutá síť“. Dojde-li při vypnuté síti k podpětí na bateriích, rozsvítí se příslušná červená světelná signalizace: „Slabá baterie“. Po zapnutí sítě zhasne signalizace vypnuté sítě a se zpožděním se začne nabíjet slabý bateriový blok. Nabíjení indikuje zelená světelná signalizace: „Nabíjí se baterie“, současně svítí signalizace slabé baterie. Ta zhasne až je baterie nabita a nabíjení se dostane do závěrečné fáze nabíjení. Po úplném ukončení nabíjení se vypne i zelená signalizace nabíjení baterií.

8 Program mikroprocesoru

8.1 VÝVOJOVÉ DIAGRAMY PROGRAMU MIKROPROCESORU

Vývojový diagram pro mikroprocesory znázorňuje, jakým způsobem by měl program pracovat. Programátor si tímto diagramem vytvoří ideu řešení úlohy. Od zdrojového kódu se diagram pochopitelně liší, nicméně struktura programu a diagramu by měla být velmi podobná, někdy i stejná.

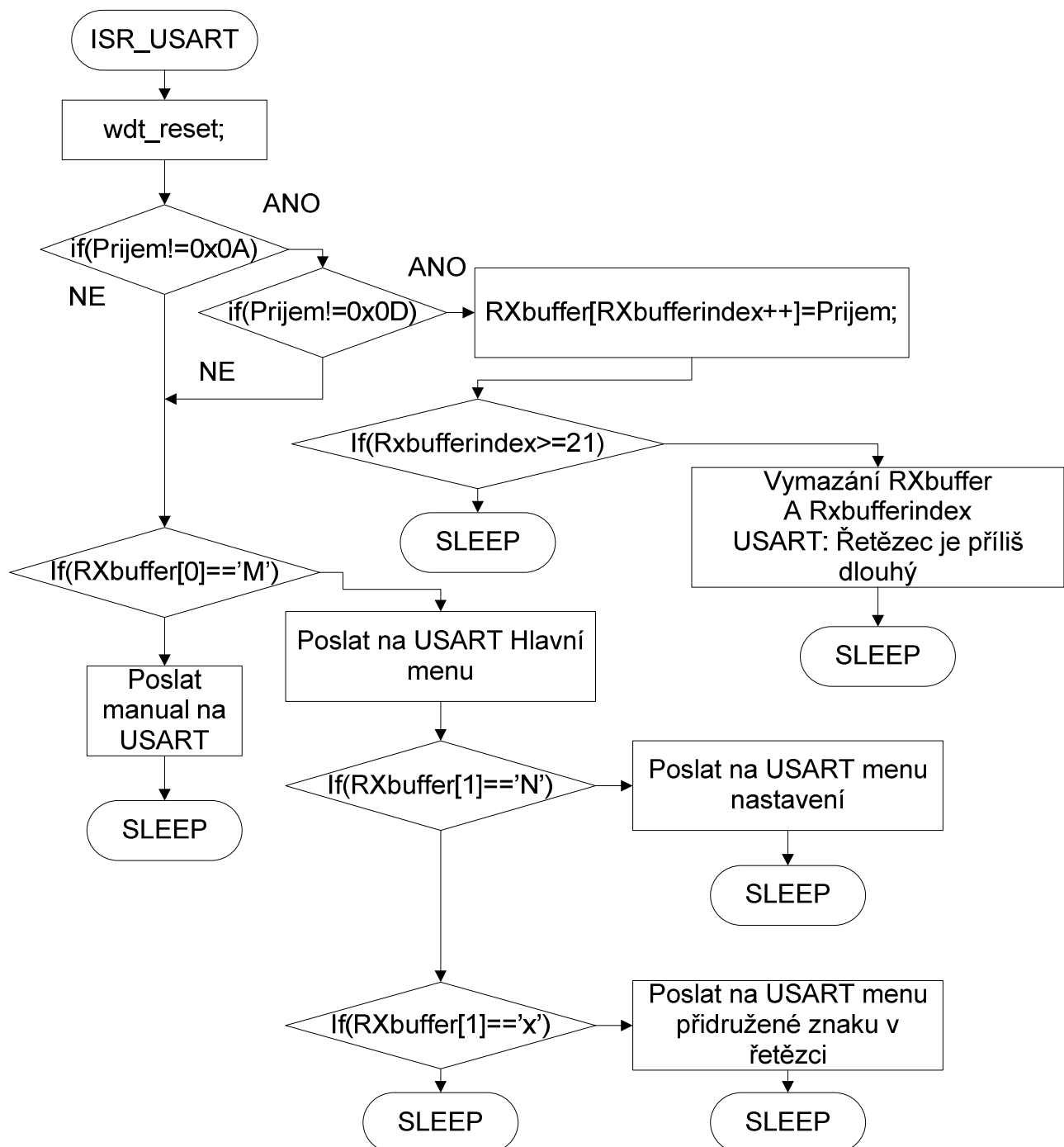


Obr. 49.: Vývojový diagram hlavní (main) funkce programu

Hlavní funkce programu je poměrně strohá. Většinu času mikroprocesor tráví v režimu spánku. Je to z důvodu úspory energie. V jiných aplikacích je možné se setkat s nekonečnou čekací

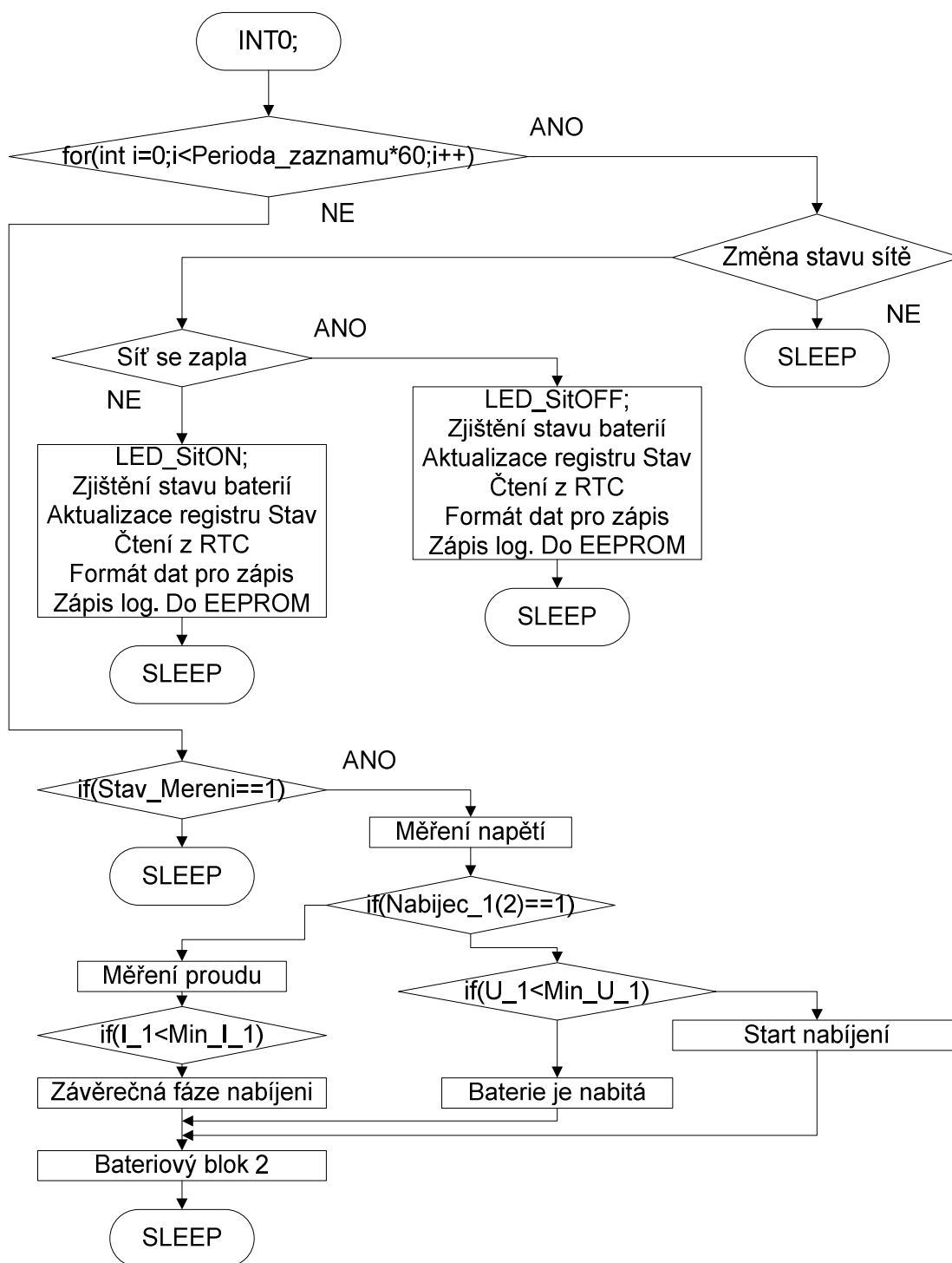
smyčkou. Tato smyčka však nevyužívá žádná úsporná opatření. Mikroprocesor se probouzí ze spánku přerušením. ATmega má několik úsporných módů, každý mód vypíná jiné periferie.

Při prvotním spuštění mikroprocesoru je nutné co nejdříve vypnout nabíječky. ATmega má defaultně nastavené porty jako vstupní. Pro vypnutí nabíječek je nutné příslušné piny nastavit jako výstupní a přivést na ně logickou 0. ATmega má možnost výběru z několika rozběhů. Krystal, tvořící oscilátor, potřebuje jistý čas pro ustálení oscilací. Proto je nutné v AVR studiu představit fuse SUT_CKSEL na volbu: Ext. Crystal/Resonator High Freq: Start-up time: 1k CK + 0 ms. Tato volba zajistí naběhnutí programu mikroprocesoru již po 125μs po přivedení napájecího napětí. Sepnutí relé trvá 7 ms. Za předpokladu, že přenastavení pinů bude jedna z prvních instrukcí programu, nedojde k sepnutí relé. Po tomto kritickém kroku následuje nastavení USART a I2C. Po provedení konfigurace a deklarace se mikroprocesor uspí a čeká na přerušeni generované jednotkou USART nebo RTC(INT0).



Obr. 50.: Vývojový diagram přerušeni od jednotky USART

Periferie USART generuje přerušení při dokončeném příjmu dat. Připojí-li se PC k běžícímu systému, musí se obsluha vyvarovat chaotickému mačkání kláves. Nejdříve PC musí systém zažádat o hlavní menu. To je vyvoláno zasláním znaku „M“ na standardní klávesnici PC. Přijme-li systém znak, který nemá žádnou funkci v daném menu, zobrazí jednoduchý manuál nebo chybovou hlášku a uspí se. Přijme-li znak, kterému je přidružena nějaká funkce, posune se v nabídce menu nebo vykoná příslušný příkaz. Následně se opět uspí. Systém je schopen pomocí posuvu v menu přenastavovat některé proměnné programu, například kritické úrovně napětí baterií. Nedílnou funkcí je i výpis záznamů z paměti EEPROM. Co se týče výpisu do terminálu, je vhodné formátovat jeden záznam na jeden řádek. Délka jednoho řádku by neměla být delší než 80 znaků. Není to nutné, ani nijak technicky omezené, je to pouze zažitý styl formátu.



Obr. 51.: Vývojový diagram přerušení od RTC

Obvod RTC generuje přerušení v ATmega přes INT0. Je-li řečeno přerušení od RTC, je myšleno přerušení od INT0, na který je RTC připojen. Pro periodické probouzení v delších časových intervalech je vhodné použít RTC. Jeho pin 3 slouží jako zdroj přerušení. Tento zdroj časových intervalů je velmi přesný. Jako méně přesný zdroj časových intervalů lze použít čítač v mikroprocesoru ATmega. Pro spolehlivý chod systému je vhodné zkombinovat RTC a watchdog. RTC bude generovat přerušení každou sekundu. Watchdog, v režimu reset, bude nastaven na 2,1 s. Při obsluze přerušení vyvolaném RTC periodicky dochází k resetu čítače watchdog. Resetování watchdog je součástí funkce *delayRTC*. Dojde-li k nějakému nestandardnímu stavu nebo zaseknutí programu, nebude čítač watchdog vynulován a dojde k resetu mikroprocesoru. Tento způsob ošetření stability programu není zakreslen v žádném vývojovém diagramu. Vývojové diagramy jsou pro zachycení nápadu řešení úlohy. Zmíněný postup řešící samoresetování je spíše ošetření a běžně se používá. Přerušení bude vyvoláváno periodicky jednou za sekundu. Při každém přerušení se inkrementuje registr. Dojde-li ke shodě s registrem *Perioda_zaznamu*, provede se prověření stavu systému. Registr *Perioda_zaznamu* obsahuje čas prováděné rutiny v sekundách. První instrukce v prováděné rutině je vynulování registru *Perioda_zaznamu*. Následují AD převody, měření napětí baterií a měření nabíjecích proudů. Pokud je nabíjení zapnuto, zjišťuje se proud tekoucí do baterií. Napětí je také změřeno, ale na ukončení nabíjení nemá žádný vliv, je pouze uloženo do logu.

8.2 FORMÁT UKLÁDANÝCH DAT DO PAMĚTI EEPROM

Je-li potřeba ukládat data, musí se navrhnout systém uspořádání. Nejprve je nutné si ujasnit, jaká data se budou ukládat. Těmi jsou naměřené veličiny, čas, stavy. Aby nevznikl chaos, musí se zajistit jejich přesné formátování. Jsou-li známa ukládaná slova včetně délek, zváží se, jestli ji vhodné použít statické či dynamické formátování.

Použije-li se dynamické formátování, na začátku paměti se uloží adresa hlavičky záznamu, která obsahuje krom jiného délku zapsaného záznamu. Po posledním byte prvního záznamu by následovala hlavička dalšího záznamu, která by zase obsahovala délku druhého záznamu. Tímto způsobem by bylo možné následně pokračovat. Výhoda tohoto dynamického formátu je v šetření místa paměti. Bohužel je to jediná výhoda. Popsaný způsob je velmi náchylný na poškození. Dojde-li k poškození hlavičky záznamu, především informace o délce záznamu, systém přečte chybný počet byte. Po ukončeném chybném čtení systém očekává v následujícím uloženém slově hlavičku dalšího záznamu. Všechny následující záznamy jsou ztraceny, protože systém ztratil pojem o uložení hlaviček záznamů. Další nevýhodou popsaného dynamického formátu je v přístupu k datům. Při čtení od začátku paměti není žádný problém, ten nastává ve chvíli, kdy je požadováno přečtení několika posledních záznamů. Systém nemá informace o jednotlivých záznamech, ví pouze kde je první záznam. Zjištění polohy posledního nebo několika posledních záznamů by vyžadovalo přečtení celé paměti od začátku. Způsob vyhledávání v paměti by velmi zpomalil veškeré práce s pamětí.

Při použití statického formátování může dojít k plýtvání úložného prostoru. Oproti výše popsanému způsobu má statické formátování řadu výhod. Díky tomu, že každý záznam má stejnou délku a stejné pořadí ukládaných hodnot, čas, stavy, napětí a proudy, má systém rychlý přístup k jednotlivým uloženým veličinám. Při statickém formátování odpadá nutnost mít hlavičku ke každému záznamu.

Pro tuto práci bylo zvoleno statické formátování paměti, protože práce s uloženými daty je výrazně rychlejší a méně náchylná k chybám. Vzhledem k charakteru ukládaných dat je dynamické formátování zbytečně složité a pomalé.

V řídicím systému záložního osvětlování je zapotřebí zaznamenávat čas, stavy systému, napětí a proudy. Jelikož se předpokládá ukládání dat v několika-minutových intervalech, není nutné do záznamu zahrnovat sekundy. Velikost dostupné paměti umožňuje při jednom záznamu za 10 minut logovat přibližně 18 dní. Z tohoto důvodu nejsou do záznamu zahrnuty roky. Čas a datum je ve formátu *ssmmDDMM*, kde *ss* představuje sekundy, *mm* minuty, *DD* dny a *MM* měsíce.

Hodnoty všech údajů jsou vždy dvojciferné. Ukládat každou cifru jako samostatný symbol by bylo enormní plýtvání místa. Bylo by potřeba 8 B jenom na čas.

Tab. 5.: Přehled potřebných bitů na záznam času a stavu systému

Veličina	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Počet potřebných bitů
Minuty	0	59	6
Hodiny	0	23	5
Dny	1	32	6
Měsíce	1	12	4
Stavy systému	-	-	7
Součet	-	-	28

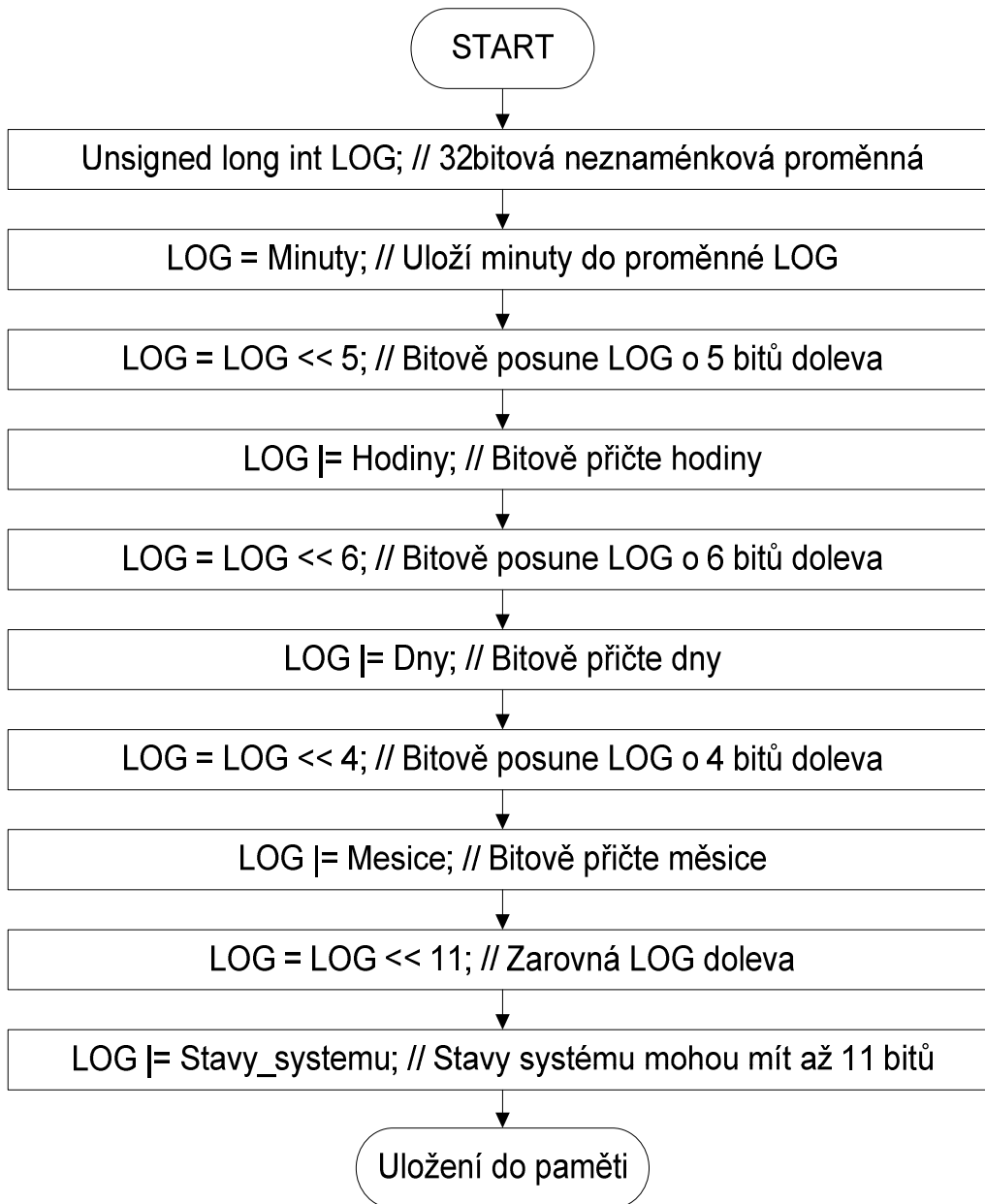
Z Tab. 5 patrně minimální potřebné množství úložného prostoru pro záznam času a stavu systému. Pro uložení hodin je potřeba 21 bitů, respektive budou zabrány 3 B v paměti. Tři bity by zůstaly volné, proto se sloučí čas a stavy systému a obsadí 4 B se 4mi volnými bity. Tato volba je výhodná pro další rozšíření systému. Při záznamu/čtení jsou v obou sekcích použity bitové operace. Při operování s časem je nutné vytvořit 21 bitový registr, takový ovšem neexistuje, nejbližší vyšší je 32bitový. To je další podnět k práci s časem a stavy systému zároveň.

Další zaznamenávané hodnoty jsou napětí a proudy. Výsledky převodů jsou uloženy do paměti jako 16 bitové. Jednotky napětí jsou mV, jednotky proudu mA. Šestnáctibitový neznaménkový registr umožňuje uložit až číslo 65535, což je jak u napětí, tak i u proudu více než dvojnásobná hodnota potřebného rozsahu. Převodníky jsou 10 bitové, je možné ukládat i výsledek přímo z převodníku. Tento způsob ukládání by vyžadoval při každém přečtení převedení hodnoty převodníku na jednotky měřené veličiny. Měření proudu má dva rozsahy. Kromě hodnoty by bylo nutné ukládat také informaci o použitém rozsahu. Tento způsob je také možný, ale použit nebude.

0x00	2B poslední záznam
0x01	
0x02	4B čas +stavy systému
0x03	
0x04	
0x05	2B Napětí baterie 1
0x06	
0x07	2B Napětí baterie 2
0x08	
0x09	2B Nabíjecí proud bat. 1
0x0a	
0x0b	2B Nabíjecí proud bat. 2
0x0c	
0x0d	4B čas +stavy systému
0x0e	
0x0f	
0x10	
0x11	2B Napětí baterie 1
0x12	
0x13	2B Napětí baterie 2
0x14	
0x15	2B Nabíjecí proud bat. 1
0x16	
0x17	2B Nabíjecí proud bat. 2
0x18	
0x19	

Obr. 52.: Znárodnění způsobu ukládání do paměti EEPROM

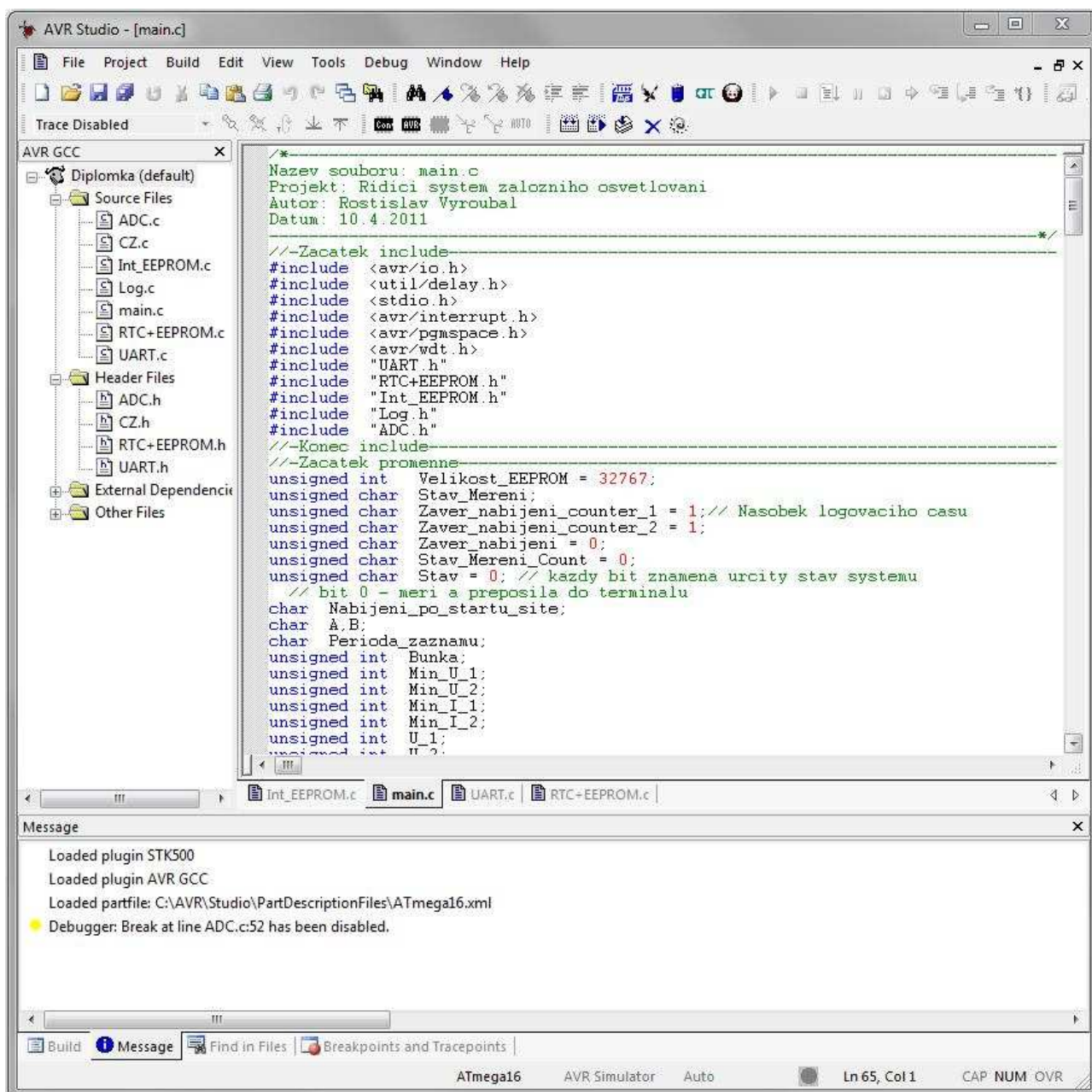
V paměti EEPROM jsou první 2 B vyhrazeny pro uložení adresy posledního záznamu. Ostatní data jsou cyklicky přepisována. Dojde-li k požadavku vyčtení celé paměti, program nejprve přečte první dva byte paměti EEPROM a začne číst od této adresy dále. Dojde až na konec paměti EEPROM a pokračuje od adresy 0x02 až do adresy posledního záznamu. Tímto postupem je možné vypsát chronologicky po sobě jdoucí záznamy. Obdobně, dojde-li k požadavku „přečti několik posledních záznamů“, program přečte první 2 B paměti EEPROM a od načtené adresy dekrementuje a postupuje až k adrese 0x02. Poté skočí na konec paměti EEPROM a dekrementací se pohybuje k začátku, dokud nepřečte zadaný počet záznamů.



Obr. 53.: Diagram formátování času a systémových stavů pro zápis do paměti

9 Zdrojový kód

Zdrojový kód je součástí přiloženého datového média. Jeho délka odpovídá rozsahu přibližně čtyřiceti stran čistopisu. Zdrojový kód je průběžně komentován a psán v jazyce C. Jako vývojové studio bylo zvoleno AVR studio.



Obr. 54.: AVR Studio

Celý zdrojový kód je složen z dílčích funkcí. Tyto funkce mohou být pro přehlednost kódu umístěny do souborů. Obvykle jsou dva stejné soubory jeden s příponou `.c` a druhý s `.h`. V souboru s příponou `.c` jsou umístěny kódy jednotlivých funkcí. Soubor s příponou `.h` obsahuje hlavičky funkcí, proměnné a makra společná pro funkce v připojeném souboru.

9.1 KNIHOVNA ADC

Knihovna ADC obsahuje primárně funkci pro obsluhu AD převodu. Převodník pracuje v režimu jednoduchého převodu. Nejdříve se zakáže přerušení od periferie USART. Následně se vybere požadovaný kanál pro převod, nakonfiguruje se převodník pro jednoduchý převod, zvolí se sleep mode pro ADC převod a uspí se procesor. Při dokončení převodu je vyvoláno přerušení, které probudí procesor a ten pokračuje ve vykonávání instrukcí. Těmi je datová konverze. Nakonec je povolena periferie USART. Tato metoda zajišťuje nejpřesnější měření s integrovanými AD převodníky, protože se převod vykonává v době, kdy je většina mikrokontroleru vypnuta. Tím je minimalizováno rušení promítané z mikrokontroleru do AD převodníku.

9.2 KNIHOVNA CZ

Tato knihovna je vyhrazena pro znakové řetězce, ze kterých je tvořena nabídka menu. Standardně AVR studio ukládá textové řetězce do FLASH paměti programu a při startu si je zkopíruje do pracovních registrů, paměť SRAM. Vezme-li se v úvahu, že ATmega16 má jen 1 kB paměti SRAM a každý znak zabere jeden byte, je možné uložit méně než tisíc znaků. Což je pro rozsáhlé menu málo, nehledě na fakt, že samotný běh programu vyžaduje také jistou paměť. Za předpokladu, že se řetězce nebudou kopírovat do SRAM, je možné uložit až 16 kB znaků. K tomu slouží knihovna *pgmspace.h* z AVR studia. Tato metoda úspory má nevýhodu v delším přístupu k paměti FLASH, což v této aplikaci není nijak kritické.

9.3 KNIHOVNA INT_EEPROM

ATmega16 má integrovanou paměť EEPROM o velikosti 512 B. Pokud je potřeba do ní zapisovat při běhu programu, musí být v AVR studiu vložena a slinkována knihovna *eeeprom.h*. Do interní EEPROM je ukládáno uživatelské nastavení. Tím je myšleno nastavení periody logování, kritických hranic napětí a proudů, spuštění nabíjení po startu systému a závěrečné nabíjení. Každý tento parametr je ukládán jako 2 B slovo. Uživatelské nastavení obsadí celkem 14 B interní paměti EEPROM. Výrobce garantuje životnost sto tisíc přepisů paměti. Vzhledem k charakteru použití je tato životnost více než dostačující.

9.4 KNIHOVNA LOG

Knihovna *Log* obsahuje dvě funkce. Aby se předešlo kolizím, jako první se vypne příjem dat z USART. Funkce pro zápis logovaných dat nejprve zjistí adresu, kde v externí paměti EEPROM může začít zapisovat. To zjistí přečtením prvních dvou byte externí paměti EEPROM. Ty jsou vyhrazeny pro uložení adresy dalšího možného záznamu. Následně jsou uložena data dle kapitoly: „Formát ukládaných dat do paměti EEPROM“. Po uložení logu se zapíše do prvních dvou byte externí paměti EEPROM adresa dalšího volného prostoru. V poslední řadě je opět spuštěn USART.

Druhá funkce je čtení logovaných záznamů. Je to reverzní postup zápisu. Výstup přečtených dat je poslán do terminálu přes USART.

9.5 KNIHOVNA PRO OBSLUHU RTC A EEPROM

Tato knihovna je společná pro zdroj reálného času a externí paměť EEPROM, protože jsou oba obvody na sběrnici I2C. Pro funkci samotné sběrnice je třeba vložit a slinkovat knihovnu *twimaster.c*. Zápis a čtení z externí paměti EEPROM se provádí dle kapitoly: „3.4 Paměť.“ Knihovna nepoužívá sekvenční čtení a zápisy. Každý požadovaný byte, který je zapotřebí přečíst/zapsat se musí samostatně adresovat. Tento způsob je málo efektivní, ale velice jednoduchý. V této aplikaci se zpomalení může projevit pouze při výčtu většího množství dat z paměti.

Knihovna obsahuje také obslužné funkce zdroje reálného času. Přístup je k němu téměř totožný s přístupem do EEPROM. Adresa čipu se pochopitelně od adresy EEPROM liší. Při

adresaci buňky se použije pouze jeden byte. Třetí rozdíl je v nutnosti zapisovat data do RTC v BCD kódu. To se týká nastavení hodin.

Důležitou funkcí obvodu RTC je funkce zpoždění. Obvod RTC se nakonfiguruje na generování přerušení. Nejdříve se do registru *Timer control* zapíše hodnota 0x82. To odpovídá čítání sekund. Následně se do registru *Timer countdown value* vepíše hodnota, za kolik sekund bude generováno přerušení. Následně se v registru *Control status 2* povolí bit *TIE* (povolení přerušení od čítače). Nyní je RTC nakonfigurován. Následně se uspí ATmega16 a čeká na probuzení od přerušení z RTC. Po probuzení je v RTC vypnut čítač. Jelikož má ATmega16 nakonfigurován watchdog na 2,1 s, nesmí se RTC nastavit na delší časový interval než 2 s. Kdyby se tak stalo, systém by se restartoval. Přerušení INT0 vyvolá obsluhu přerušení. Jedná se o dvě vnořené smyčky. Jedna se opakuje každou sekundu, ta slouží pro rychlou detekci sítě. Při změně stavu sítě bezprostředně loguje událost. Druhá smyčka se vykonává jednou za dobu stanovenou uživatelem. V ní jsou detekce napětí a proudů do baterií. Při vstupu do tohoto cyklu je nejprve zjišťováno, jestli má systém zadán příkaz pro měření. Změří se napětí baterie a následně se zjišťuje stav nabíječky.

Je-li zapnuta, změří se proudy tekoucí do baterií. Měření proudu má dva rozsahy. Nejdříve se změří citlivějším rozsahem, pokud je naměřena hodnota nad 10 A, měření se opakuje s vyšším rozsahem. Po změření proudu se porovnává, jestli je proud menší, než minimální uživatelem stanovená hranice. Pokud ano, systém začne čítat, kolikrát naměřil menší hodnotu proudu než nastavený minimální proud. Uživatel může nastavit, kolikrát smí systém naměřit podkritickou hodnotu, než ukončí nabíjení.

Je-li nabíječka vypnuta, systém dle naměřeného napětí zjišťuje, jestli došlo k poklesu pod jistou uživatelem nastavenou mez. Pokud ano, zapne nabíječku a světelnou signalizaci, zapíše událost do registru *Stav*. Počká celkem dvě sekundy na rozběhnutí nabíječky a změří nabíjecí proud. Následně se zapíší události z obou bateriových bloků do paměti.

9.6 KNIHOVNA USART

Knihovna USART je jednoznačně nejrozsáhlejší. Obsahuje funkce pro příjem a vysílání dat a především funkci vytvářející nabídku menu. Přijaté znaky jsou postupně ukládány do řetězce o maximální délce 21 znaků. Je-li zjištěn znak *CR* (0x0d, carriage return), je ignorován. Při detekci *LF* (0x0a, line feed), je ukončeno bufferování a uložený řetězec je zpracován. Zpracování dat principiálně odpovídá blokovému schématu na obrázku Obr. 49. Kompletní blokové schéma této funkce je velmi košaté, pro pochopení principu však postačuje Obr. 49. Funkce přijatý řetězec zpracovává znak po znaku od prvního přijatého. První znak je vždy *M*, pokud ne, je na USART poslán základní manuál.

```
Manual ridiciho systemu nouzoveho osvetleni.  
Pro pohyb v menu je nutne zachovat posloupnost predchozich znaku.  
Na priklad pro zakladni nabidku menu napiste M a potvrďte entrem.  
Pro zobrazeni casu zadejte Mc a potvrďte entrem. Jako oddelovací prvek  
pri zadavani casu, napeti nebo proudu je mozne pouzit libovolny znak.  
Ridici system nouzoveho osvetleni  
Pro menu stiskni M  
  
Menu  
Start mereni.....[R]  
Stop mereni.....[r]  
Cas.....[c]  
Manual.....[m]  
Nastaveni.....[N]  
Chyby systemu.....[e]  
Externi pamet EEPROM.[M]  
Dobit baterie.....[D]
```

Obr. 55.: Základní menu a manuál z terminálu

Je-li druhý znak jedním ze znaků v hranatých závorkách, dojde ke vnoření nabídky. Například je-li přijatý řetězec složen ze znaků *MN*, funkce vypíše do terminálu menu odpovídající nastavení.

```
Menu
Nastaveni
Nastaveni casu a data.....[C]
Minimalni napeti baterie.....[V]
Minimalni nabijeci proud.....[I]
Dobijeni baterii po zapnuti site.[S]
Perioda ukladani dat.....[P]
Zaverecny nabijeni.....[Z]
```

Obr. 56.: Odezva systému na zadaný příkaz *MN* do terminálu

Při absenci znaku odpovídajícímu položce menu systém odpoví chybovou hláškou, který znak umístěný nejbližše kořenu menu je chybný. Například při zadání příkazu *Mx* systém odpoví: „Spatny 2. znak“. Systém má menu natolik bohaté, aby uživatele informoval o chybném kroku a navrhl mu způsob správného zadání příkazu.

Jelikož systém obsahuje paměť EEPROM, jejíž životnost je omezena, bylo vhodné implementovat funkci na kontrolu vadných buněk externí paměti EEPROM. Test paměti je přístupný uživateli z podmenu: „Externi pamet EEPROM“. Test kontroluje paměť v rozsahu zadaném ve funkci *main*. Změna tohoto rozsahu není uživateli přístupná a je nastavena na 32767 B. Pokud je paměť funkční, uložená data jsou po dokončeném testu v původním stavu. Tato funkce nejdříve přečte první byte paměti a obsah zazálohuje do volného registru. Následně je na danou adresu zapsána minimální a maximální hodnota, tedy 0x00 a 0xff. Zápis je ověřen přečtením. Při nalezení chyby se inkrementuje registr čítající chyby. V posledním kroku testu daného byte je zapsání zpět zazálohované hodnoty. Následně se funkce posune na další byte. Jelikož test trvá několik desítek sekund a systém během této doby nereaguje na příkazy z terminálu, bylo vhodné jej doplnit o výpis dokončených procent. Po dokončeném testu je vypsán počet nalezených chyb. Při nalezení i jedné chyby je důrazně doporučeno paměť vyměnit. Systém je schopen funkce s vadnou pamětí, ale logované události nejsou věrohodné. Nejvyšší náchylnost na poškození mají první 2 B pro uložení adresy posledního záznamu.

```
Menu
EEPROM
Vypis pameti EEPROM.....[v]
Format pameti EEPROM.....[f]
Kontrola pameti EEPROM.....[k]
Vypis pameti EEPROM dle masky.[m]

Kontrola externi pameti EEPROM:
Kontrola dokoncena: 1%
Kontrola dokoncena: 2%
Kontrola dokoncena: 3%
Kontrola dokoncena: 4%
```

Obr. 57.: Kontrola externí paměti EEPROM

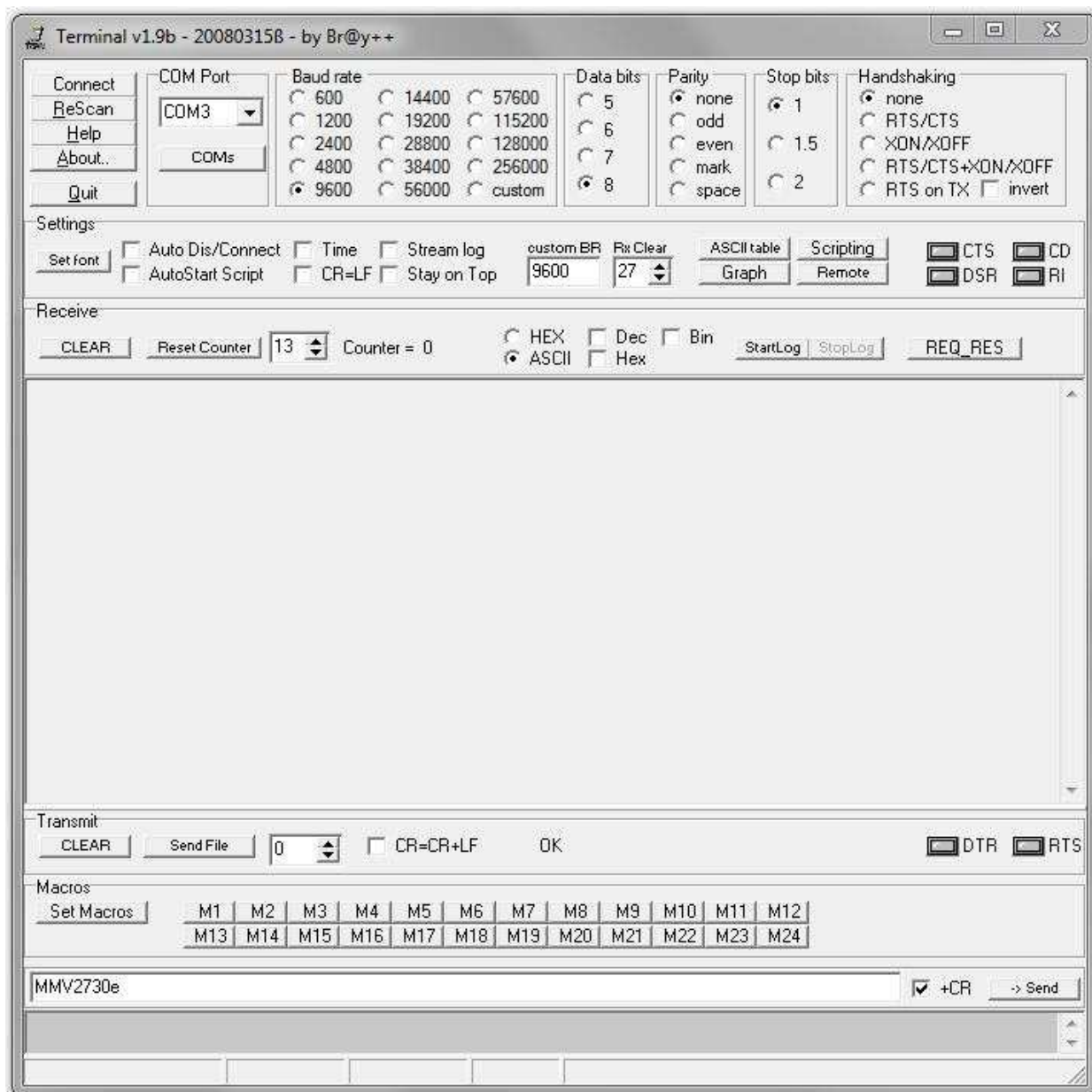
9.7 HLAVNÍ FUNKCE MAIN

Hlavní funkce využívá výše popsané funkce a knihovny. Při spuštění se nejdříve vypnou nabíječky, nakonfiguruje periferie USART a vypne JTAG. Následně je načteno uživatelské nastavení z interní paměti EEPROM. Následuje vypnutí světelných signalizací, konfigurace watchdog a zapsání události o restartu systému do registru *Stav*. Následuje uspání mikroprocesoru. To odpovídá blokovému schéma na Obr. 49. Hlavní funkce končí uspáním mikroprocesoru. Ten pak čeká na probuzení od RTC nebo USART. Tato metoda vede k minimalizaci spotřeby systému během čekání. Oproti softwarovému zpoždění, má systém během čekání o 3 mA nižší odběr ze zdroje 5 V.

10 Import a zpracování naměřených údajů

Systém vypisuje naměřená data do terminálu v čistě textové podobě. Při větším objemu dat je výpis záznamu méně přehledný. Mnohem přehlednější je grafické zpracování pomocí grafů. Součástí této práce je příložené datové médium, na němž je uložen soubor: „*Import a zpracování naměřených údajů z řídicího systému záložního osvětlení*“. Následujících pár odstavců popisuje import dat do programu Microsoft Excel 2007.

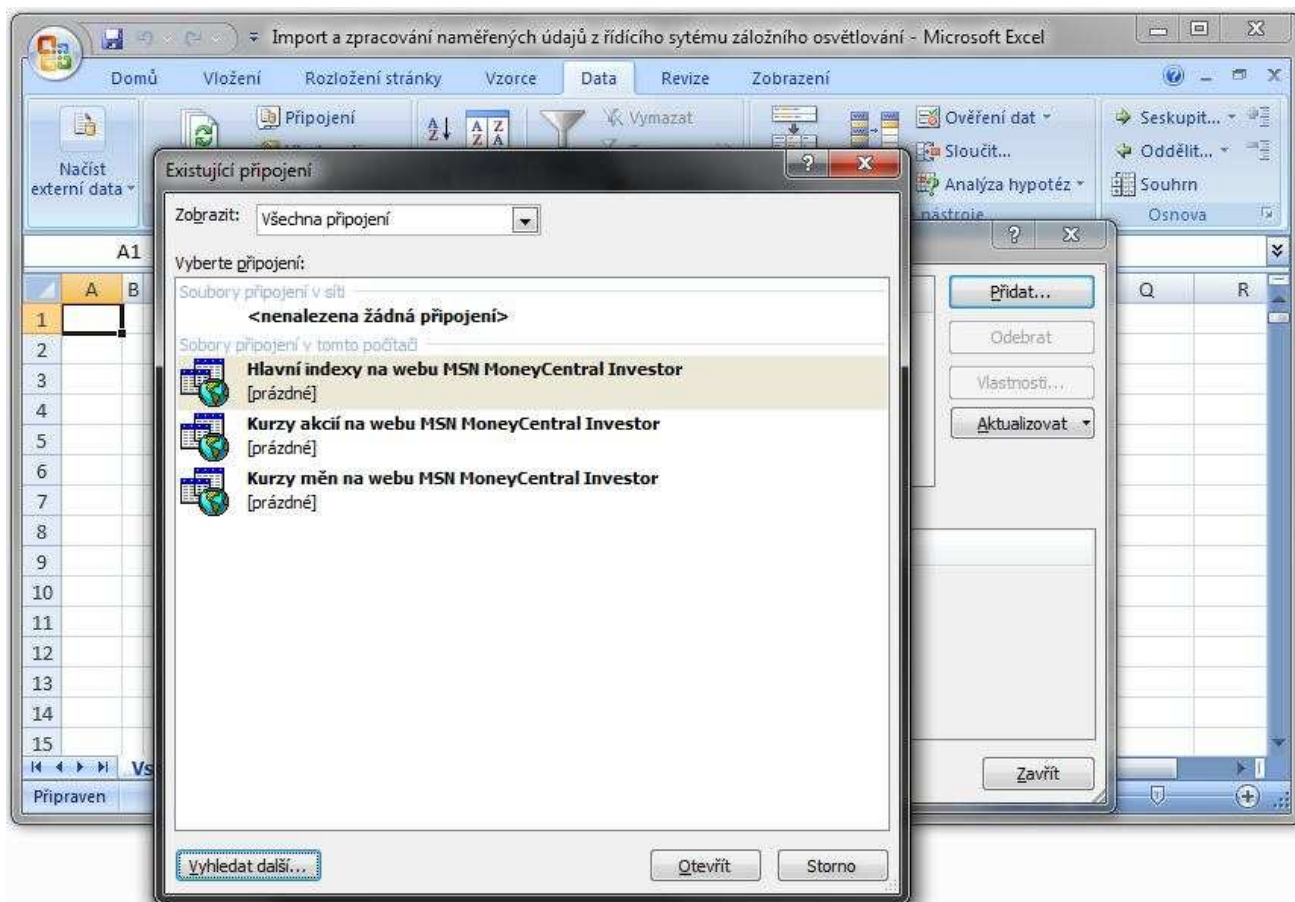
Nejdříve je nutné vyexportovat data ze systému do textového souboru. K tomu se použije terminál. Nejprve se vybere příslušný port, nastaví se rychlost na 9600 Baud/s, data bits na 8 bitů, paritu žádnou, jeden stop bit a poslední, handshaking none. Komunikace se spustí tlačítkem *Connect*. Záznam komunikace se spustí tlačítkem *StartLog*. Soubor se pro názornost pojmenuje *Import.txt*. Nyní stačí zadat do terminálu příkaz *MMv2730e*.



Obr. 58.: Nakonfigurovaný terminál

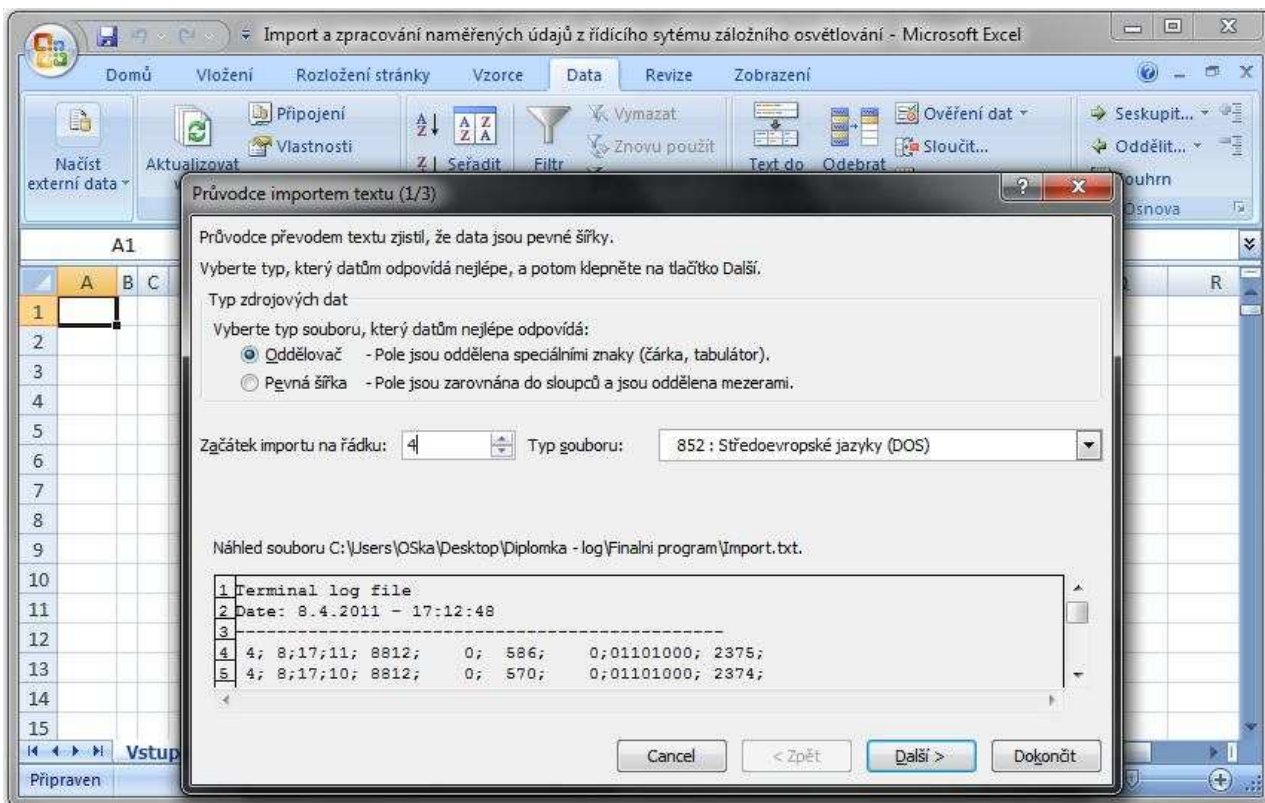
Terminál vytváří do logovacího souboru hlavičku, se kterou je nutné při import dat do Excelu počítat. Hlavička je celkem na tři řádky. Pro zpracování dat je vytvořen Excelový soubor pojmenovaný: „*Import a zpracování naměřených údajů z řídicího systému záložního osvětlování.xlsx*“. Tento soubor je vytvořený v sadě programů Microsoft Office 2007.

Po spuštění souboru se zvolí záložka *Data, Připojení*.

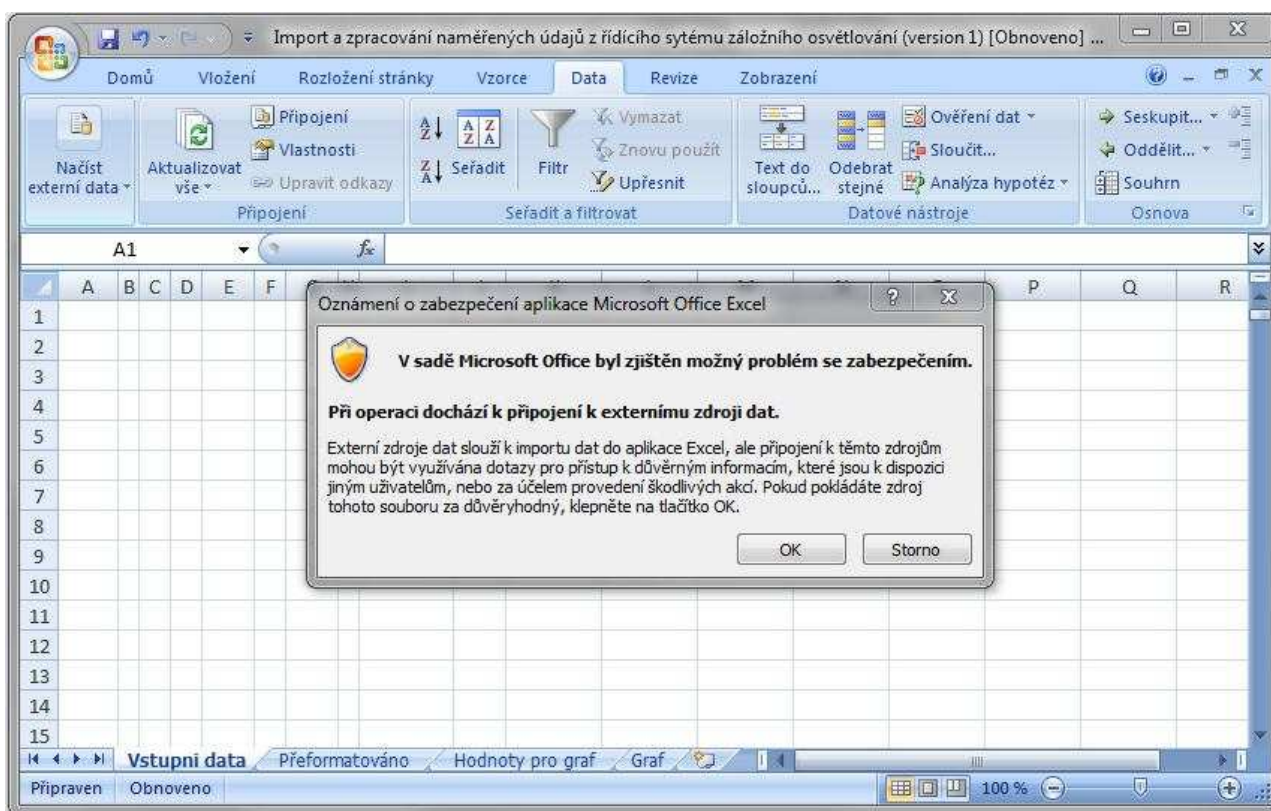


Obr. 59.: Import dat z textového souboru do Excelu

Ve volbě *Přidat, Vyhledat další* se zadá cesta k souboru *Import.txt*. V dalším kroku se zobrazí Průvodce importem textu. V prvním kroku se vybere volba *Oddělovač*. Začátek importu na řádku je volen s ohledem na hlavičku v souboru *Import.txt*. Data se začnou zpracovávat až od čtvrtého řádku. Typ souboru je vhodný DOS (Středoevropské jazyky). V druhém kroku se nechá zaškrtnutý pouze oddělovač *Středník*. Poslední třetí krok se pouze potvrdí. Po importu je vhodné provést aktualizaci dat. To se provede volbou v menu *Data, Aktualizovat vše*. Případné hlášení o zabezpečení je nutno potvrdit.

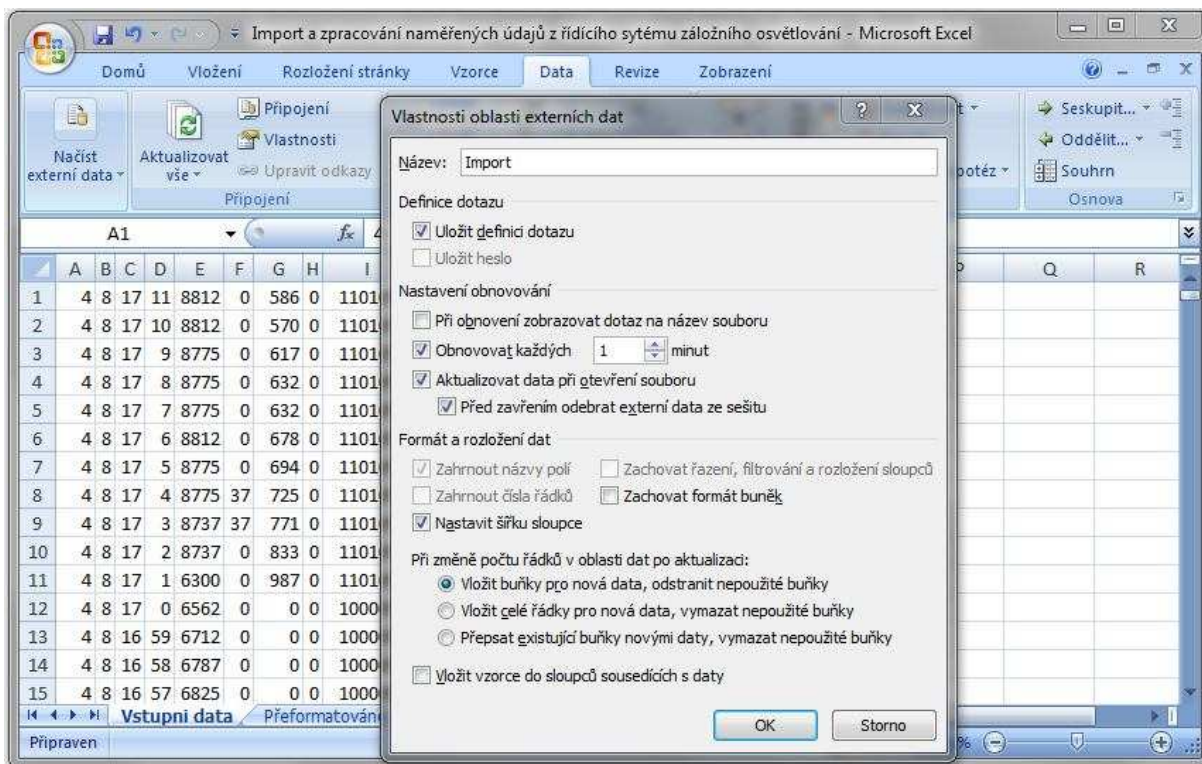


Obr. 60.: Průvodce importem



Obr. 61.: Oznámení o zabezpečení aplikace Microsoft Office Excel

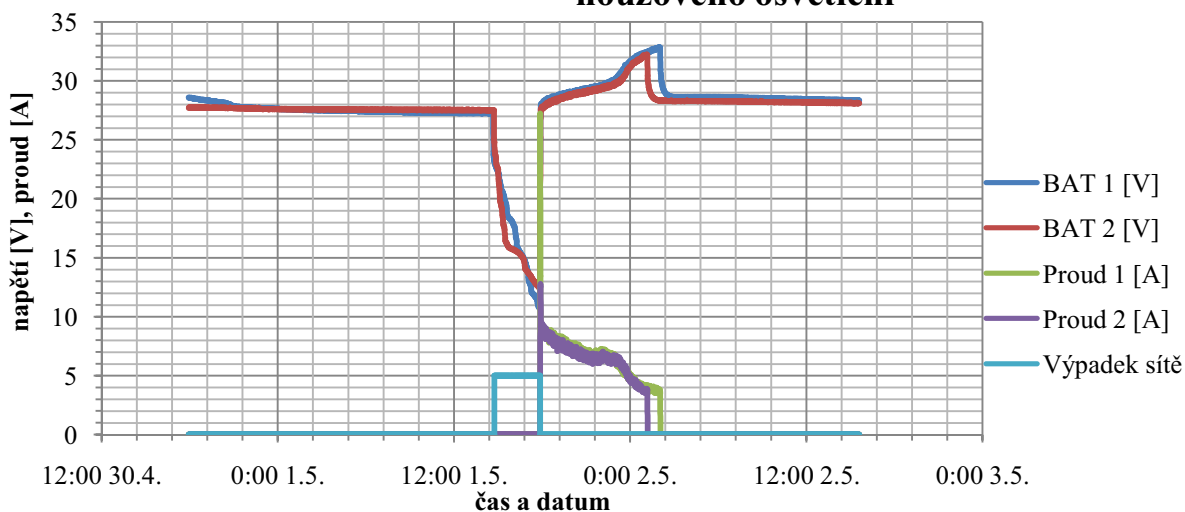
Zajímavou funkcí Excelu je možnost automatické aktualizace importovaných dat. Tu je možno nastavit v menu *Data, Připojení, Vlastnosti*.



Obr. 62.: Nastavení automatického obnovování dat

Nyní je možné procházet zpracovaná data Excelem. Sešit *Vstupní data* pouze přeformátovává data z *Import.txt* do buněk Excelu. Oddělovací prvek v textovém souboru vyjadřuje konec zápisu do buňky Excelu. Sešit *Přeformátováno* přeformátovává vstupní data do srozumitelné a úhledné tabulky. V sešitě *Hodnoty pro graf* jsou přepočítávány průběhy napětí a proudů pro zobrazení v grafu. Poslední sešit *Graf* obsahuje grafické vyjádření sešitu *Hodnoty pro graf*.

Průběhy napětí a proudů ze systému řídicího systému nouzového osvětlení

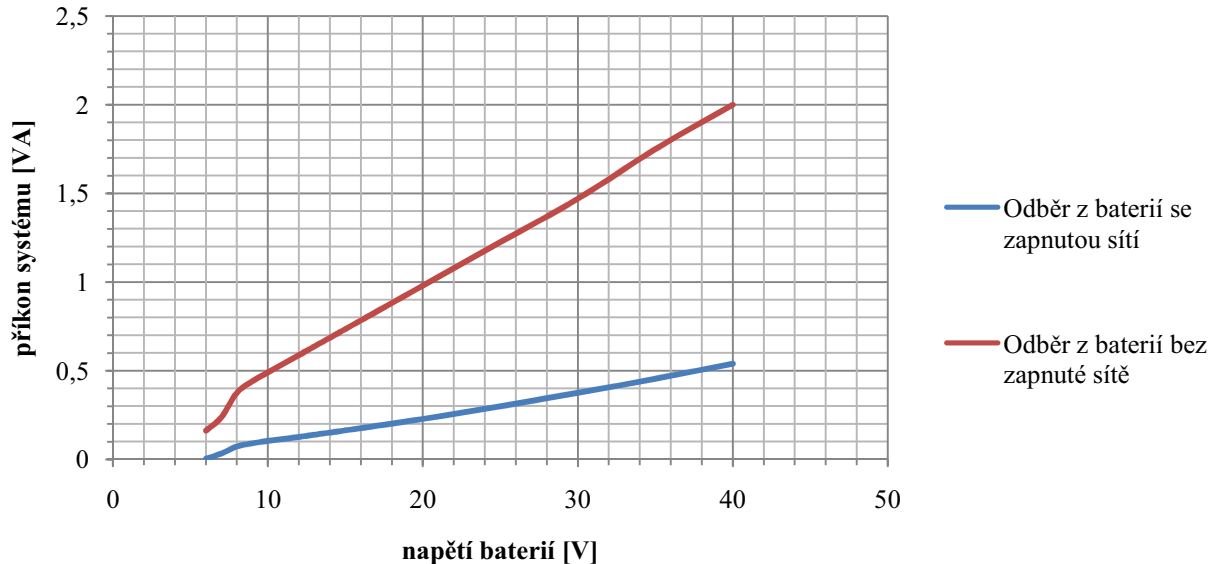


Graf 1.: Grafický výstup dat řídicího systému

11 Měření

11.1 MĚŘENÍ ZDROJE S LINEÁRNÍ STABILIZACÍ

Závislost příkonu systému na napětí baterií



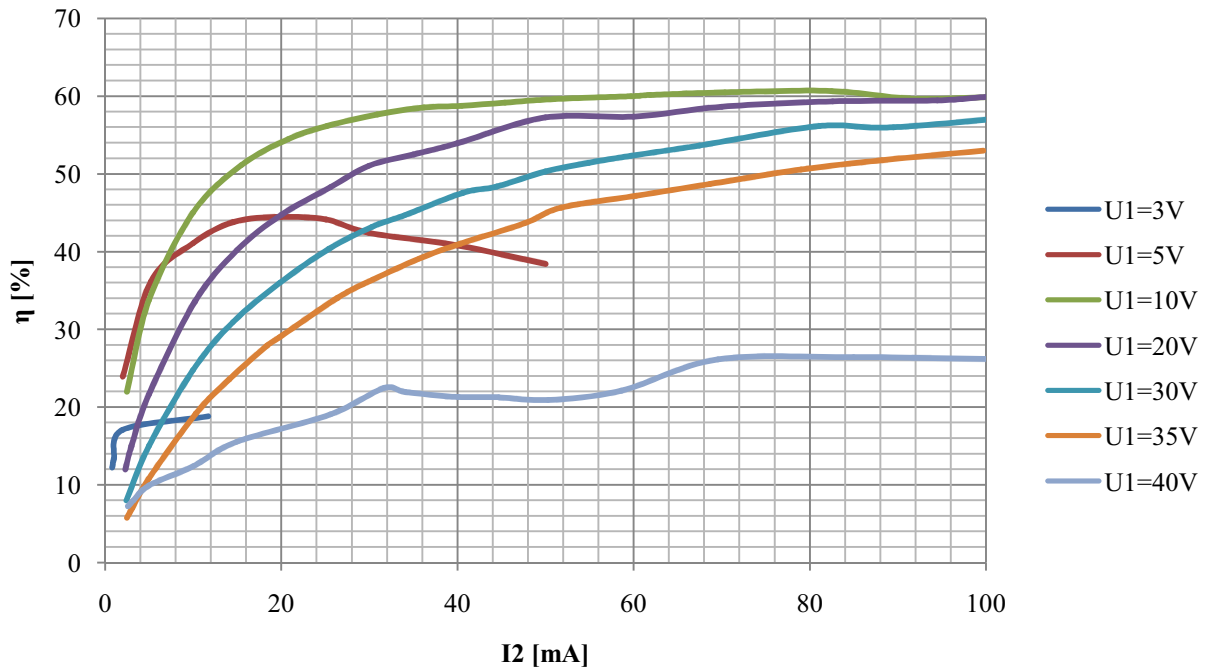
Graf 2.: Závislost příkonu systému na napětí baterií

Jak je patrné z grafů systém s lineární stabilizací, při napájení ze sítě, má jen minimální odběr z baterií. Důležitější je příkon při napájení z baterií. Maximální naměřený odběr je 2 VA při napětí 40 V na bateriích. Při jmenovitém napětí baterií má systém odběr 1,2 VA. Minimální napětí baterií, při kterém je systém ještě funkční je 7 V. Tyto naměřené údaje jsou v praxi použitelné, nicméně je vhodné najít neoptimálnější zapojení pro minimalizaci spotřeby. Za tímto účelem byl navržen zdroj se snižujícím měničem na místě lineární stabilizace.

11.2 MĚŘENÍ ZDROJE S MĚNIČEM

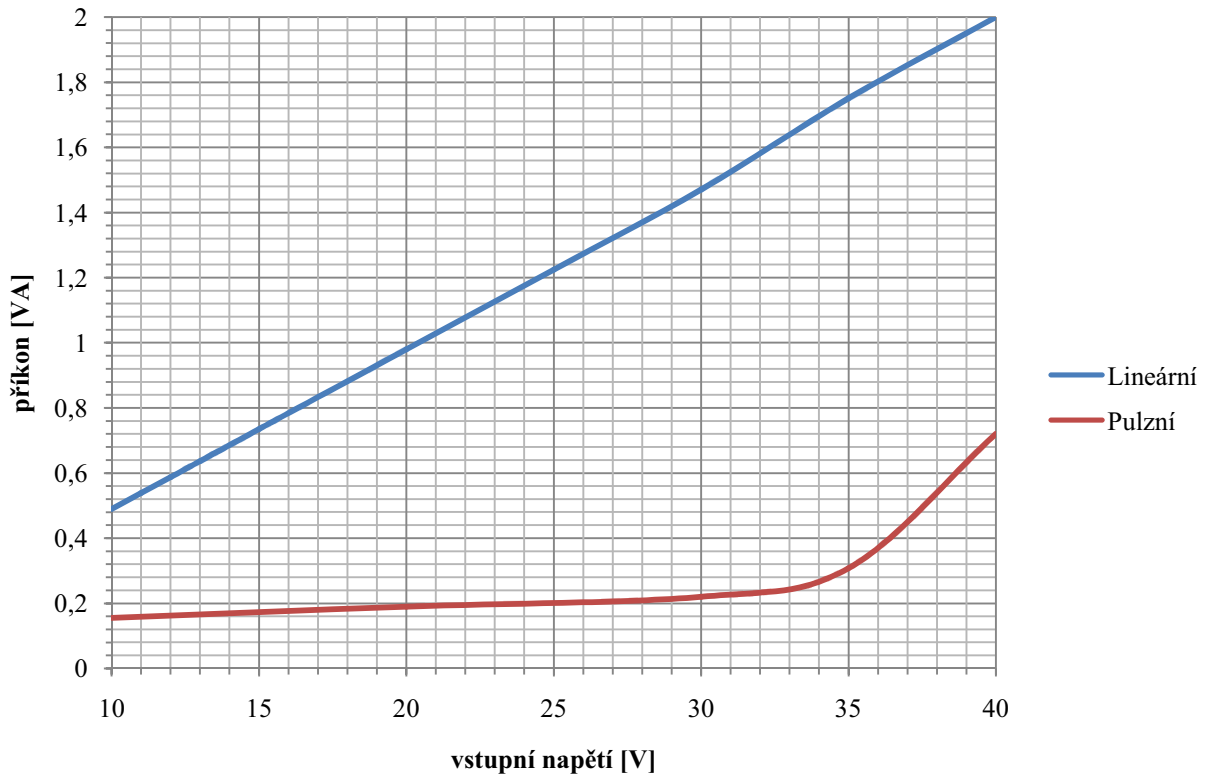
Jedním z nejdůležitějších parametrů spínaného zdroje je účinnost. Primárně pro tento parametr byl navržen nový zdroj. Výrobní náklady jsou téměř totožné se zdrojem s lineární stabilizací. Maximální vstupní napětí do zdroje je omezeno měničem MC34063 [18] na 40 V. Vezme-li se v úvahu úbytek na vstupních diodách 0,6 V, může být vstupní napětí až 40,6 V. U lineárního zdroje bylo maximální vstupní napětí omezeno stabilizátorem na 37 V. Minimální napájecí napětí je u obou typů zdroje shodné, 7 V včetně úbytků na diodách. Z grafu 3 je možné vyčíst účinnosti měniče v závislosti na vstupním napětí a výstupním proudu. Při napájení z baterií elektronika ze zdroje odebírá průměrně 20 mA při napětí 4,6 V. Teoretický předpoklad, že měnič bude nejlépe pracovat při střídě 0,5, se potvrdil. Při vstupním napětí 10 V a výstupním proudu 20 mA dosahuje účinnosti 55 %. Tato hodnota je relativně dost nízká, srovnatelná s lineárním stabilizátorem. Z grafu 4 je možné vidět reálný příkon systému běžícího na baterie. Vstupní napětí se při normálním provozu pohybuje v rozmezí 20 V až 30 V. Při jmenovitém napětí baterií má systém s lineárním zdrojem šestkrát větší příkon. Výhoda měniče je v tomto případě naprosto převažující. Snížení spotřeby z 1,2 VA na 0,2 VA je citelná změna k lepšímu i navzdory špatné účinnosti měniče.

Účinnost spínaného zdroje



Graf 3.: Účinnost spínaného zdroje

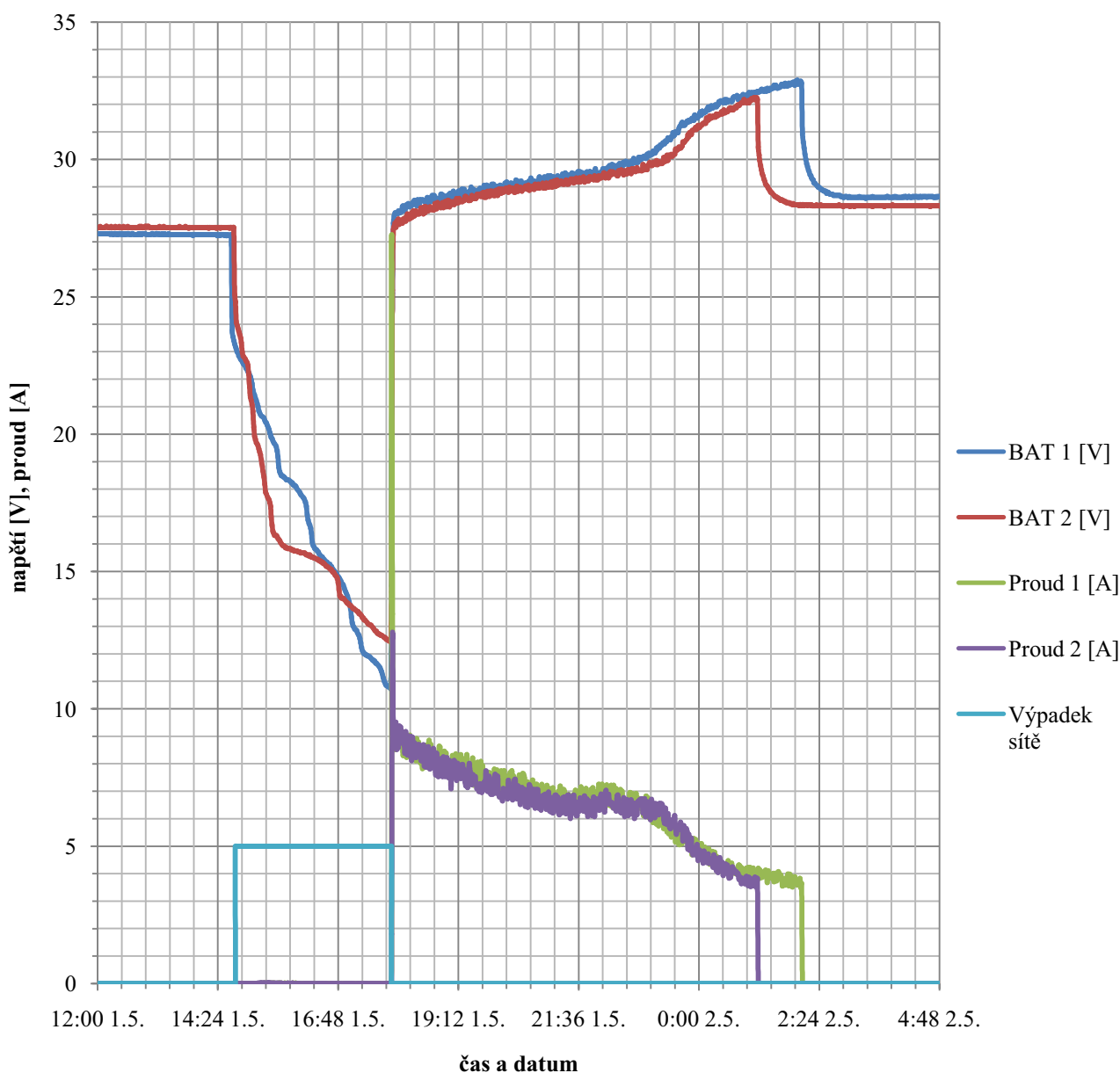
Srovnání příkonu systému s lineárním a pulzním zdrojem při napájení z baterií



Graf 4.: Srovnání příkonu systému s lineárním a pulzním zdrojem

11.3 NAMĚŘENÁ PROVOZNÍ DATA

Průběhy napětí a proudů ze systému řídicího systému nouzového osvětlení



Graf 5.: Průběhy napětí a proudů exportované z řídicího systému nouzového osvětlení

Exportovaná a graficky zpracovaná data jsou jedním z popsaných výstupů systému. Pro přesnější odečítání hodnot je vhodnější textový výstup. V grafu 5 je výpadek sítě vyznačen světle modrou barvou. Výpadek sítě odpovídá napětí 5 V v grafu, naopak, zapnutá síť je signalizována nulovou úrovní. Je patrné, že po výpadku sítě se začaly baterie vybíjet. Bylo zapnuto nouzové osvětlení. V tuto chvíli je systém napájen z baterií. Jelikož systém využívá v exportu k popisu události kolonku *Stat*, je vhodné si vysvětlit význam této položky. Je vhodné dodat, že sedmý bit je ve výpisu na levé straně slova.

Tab. 6.: Význam bitů exportovaného registru *Stav*

Bit	Význam hodnoty
7	1 = Sít vypnuta
6	1 = Chyba hodin
5	1 = Nabíječ 1 sepnut
4	1 = Nabíječ 2 sepnut
3	1 = Slabá baterie 1
2	1 = Slabá baterie 2
1	1 = Došlo k restartu systému
0	Rezerva pro rozšíření systému



Obr. 63.: Výpis posledního záznamu s popisem bitů registru *Stav*

Tab. 7.: Reakce systému na výpadek sítě

Datum	Čas	Napětí [V]		Proud [A]		Stav	Buňka
		Baterie 1	Baterie 2	Nabíječ 1	Nabíječ 2		
m.d.	hh:mm					-	-
1.5.	14:44	23,29	25,09	0,00	0,00	00000000	2700
1.5.	14:45	23,18	24,83	0,00	0,00	00000000	2701
1.5.	14:45	23,18	24,79	0,00	0,00	10000000	2702
1.5.	14:46	23,10	24,08	0,00	0,00	10000000	2703

V tabulce 7 je vidět jak systém reaguje na výpadek sítě. Při zjištění výpadku provede změnu příslušného bitu ve slově *Stav*, změří napětí a proudy a s aktuálním časem uloží záznam do paměti. Cyklus kontroly výpadku sítě se provádí jednou za sekundu. Toto nastavení je pevně dáno a nelze jej uživatelem měnit. Uživatel si může nastavit periodu logování dat od 1 do 99 minut. Ovšem výpadek sítě toto nastavení ignoruje a zaznamenává událost neprodleně po její detekci.

Tab. 8.: Reakce systému na podpětí baterií při výpadku sítě

Datum	Čas	Napětí [V]		Proud [A]		Stav	Buňka
		Baterie 1	Baterie 2	Nabíječ 1	Nabíječ 2		
m.d.	hh:mm					-	-
1.5.	15:01	22,24	22,20	0,00	0,00	10000000	2718
1.5.	15:02	22,16	21,71	0,00	0,00	10000100	2719
1.5.	15:03	22,09	21,34	0,00	0,00	10000100	2720
1.5.	15:04	21,98	21,23	0,00	0,00	10001100	2721
1.5.	15:05	21,83	21,08	0,00	0,00	10001100	2722

Detekuje-li systém slabou baterii, vznikne požadavek na zahájení nabíjení. Pokud ovšem došlo i k výpadku sítě, systém jen uloží do paměti požadavek na nabíjení, za podmínky, že nastavení okamžitého nabíjení po výpadku. Viz. Tab. 8. Zde je patrné, že baterie dosáhly kritické hodnoty napětí ve vzájemném časovém rozestupu dvou minut. Kritická hodnota napětí byla nastavena na 22,0 V.

Tab. 9.: Reakce systému na zapnutí sítě a podpětí baterií

Datum	Čas	Napětí [V]		Proud [A]		Stav	Buňka
		Baterie 1	Baterie 2	Nabíječ 1	Nabíječ 2		
m.d.	hh:mm					-	-
1.5.	17:52	14,48	14,25	0,00	0,00	10001100	149
1.5.	17:52	19,43	15,86	27,00	1,80	00111100	150
1.5.	17:53	25,13	25,24	13,45	12,56	00111100	151
1.5.	17:54	27,68	27,45	9,19	9,10	00111100	152

Po opětovné detekci zapnuté sítě může nastat dvojitá situace. Jsou-li baterie vybity pod uživatelem nastavenou mez, systém zahájí dobíjení. Pokud jsou po detekci zapnuté sítě baterie dostatečně nabity, systém může anebo nemusí zahájit nabíjení. Tuto volbu může uživatel nastavit v menu. V tabulce 9 nastala situace podpětí baterií. Je patrné, že systém po detekci sítě zahájil nabíjení a stále signalizoval slabou baterii. Slabá baterie je signalizována, až do doby kdy nabíjecí proud poklesne pod jistou uživatelem stanovenou mez.

Tab. 10.: Ukončení nabíjení

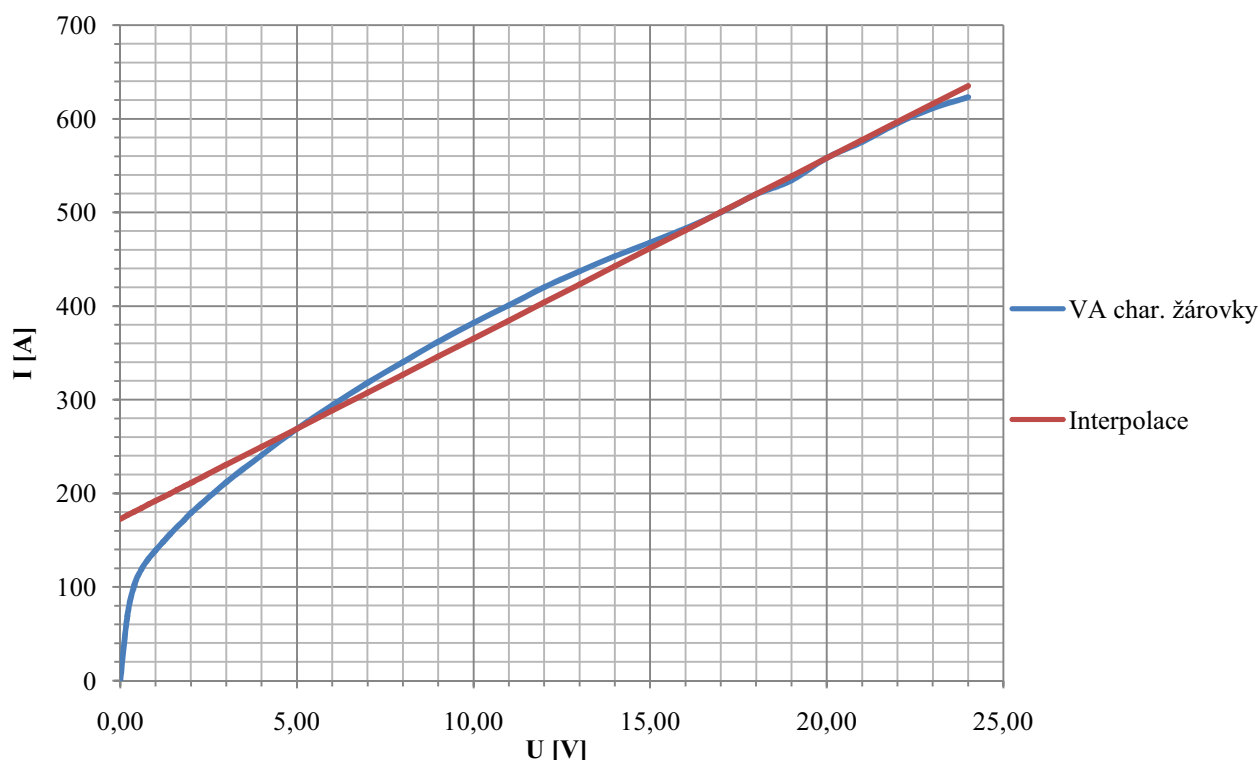
Datum m.d.	Čas hh:mm	Napětí [V]		Proud [A]		Stav -	Buňka -
		Baterie 1	Baterie 2	Nabíječ 1	Nabíječ 2		
2.5.	01:06	32,44	32,25	3,76	3,57	00111100	584
2.5.	01:07	32,40	32,18	4,04	3,87	00111100	585
2.5.	01:08	32,44	32,18	3,92	3,84	00111100	586
2.5.	01:09	32,44	32,25	3,89	3,50	00111000	587
2.5.	01:10	32,48	32,18	3,89	3,80	00101000	588
2.5.	01:11	32,44	30,45	4,20	0,00	00100000	589
- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
2.5.	02:00	32,81	28,31	3,58	0,00	00100000	638
2.5.	02:01	32,78	28,35	3,83	0,00	00100000	639
2.5.	02:02	32,85	28,35	3,49	0,00	00100000	640
2.5.	02:03	32,78	28,31	3,64	0,00	00000000	641
2.5.	02:04	30,94	28,35	0,00	0,00	00000000	642

Po vypnutí signalizace slabé baterie se systém dostane do poslední fáze nabíjení, viz Tab. 10. Systém je uživatelem nastaven na ukončení nabíjení při poklesu proudu pod 3,5 A pro oba bateriové bloky. Dále může uživatel nastavit, kolikrát systém naměří hodnotu menší než 3,5 A, než vypne nabíjení. Tato funkce eliminuje předčasné ukončení nabíjení vlivem nepřesného měření. Pokud by byla závěrečná fáze řízena pouze časem od první detekce kritického proudu a současně by došlo k sepnutí záložního osvětlování, systém by ukončil nabíjení dle času bez ohledu potřeby většího nabíjecího proudu. Toto je nežádoucí, proto je systém naprogramován tak, aby se detekovalo několik podkritických proudů a teprve poté se vypnulo nabíjení. Je vhodné připomenout, že systém je napájen z jiné fáze, než monitorují záložní světla. Tudíž může nastat situace, že svítí záložní osvětlení a zároveň jsou dobíjeny záložní baterie.

12 Diskuse stavu baterií

Stav baterií je vhodné diagnostikovat podle vybíjecí křivky. Jelikož systém neměří vybíjecí proudy, je třeba znát Volt-Ampérovou charakteristiku zátěže a z ní určit kolik energie bylo do zátěže dodáno. Zátěž je tvořena žárovkami s jmenovitým napětím 24 V a s výkonem 15 W. První sekce je zatížena 35 žárovkami, druhá sekce pouze 28 žárovkami. Volt-Ampérová charakteristika není lineární, což ztěžuje diagnostiku baterií. Aby bylo možné s naměřenou nelineární charakteristikou počítat, je nutné ji matematicky popsat. Nejjednodušší metoda je proložení přímkou. Vezme-li se v úvahu pracovní rozsah napětí baterií 10 V až 24 V, může s relativně malou chybou křivku proložit přímkou. Pokročilejší metody používají interpolaci nebo aproximaci pomocí polynomů. Pro tuto diskusi stačí proložení přímkou.

Volt-Ampérová charakteristika žárovky s interpolací



Graf 6.: Volt-Ampérová charakteristika žárovky s interpolací

Jelikož je známý průběh napětí a hledá se proud, výsledná funkce musí být $I(u)$. Nejdříve se na křivce zvolí výchozí bod. Ve výše zmíněné Volt-Ampérové charakteristice se zvolil bod protínající křivku v ose x s hodnotou napětí 5 V. Odečtením z grafu je při napětí 5 V zjištěn proud 269 mA. Následně se zvolí druhý bod tak aby přímka procházející oběma body byla co nejbližší Volt-Ampérové charakteristice. Z grafu je určen bod odpovídající napětí 20 V. Tomuto bodu odpovídá proud 558 mA.

$$I(u_z) = I_1 + \frac{u_z}{\frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}} = 0,269 + \frac{u_z}{\frac{20 - 5}{0,558 - 0,269}} = 0,269 + u_z \cdot 0,0193 \quad \left| \begin{array}{l} u_z \in (10;24) \\ (12.1) \end{array} \right.$$

Kde U_2 je bod s vyšším napětím pro aproximaci. Proud I_2 odpovídá proudu odečtenému z Volt-Ampérové charakteristiky v bodě s napětím U_2 . Napětí U_1 je také zvoleno z grafu, tak aby byla

aproximační přímka co nejpodobnější naměřené Volt-Ampérové charakteristice. Pomocí vzorce 12.1 je možné získat hodnoty proudů a odporů v závislosti na naměřeném napětí. Bateriová sekce jedna má 35 žárovek zapojených paralelně. Odčerpanou energii z baterií určíme pomocí určitého integrálu z proudu po dobu zapnutých světel.

$$E = \int_{t_{\text{výpadek sítě}}}^{t_{u_z=16V}} u_z \left[I_1[A] + \frac{u_z[V]}{\frac{U_2[V] - U_1[V]}{I_2[A] - I_1[A]}} \right] t dt$$

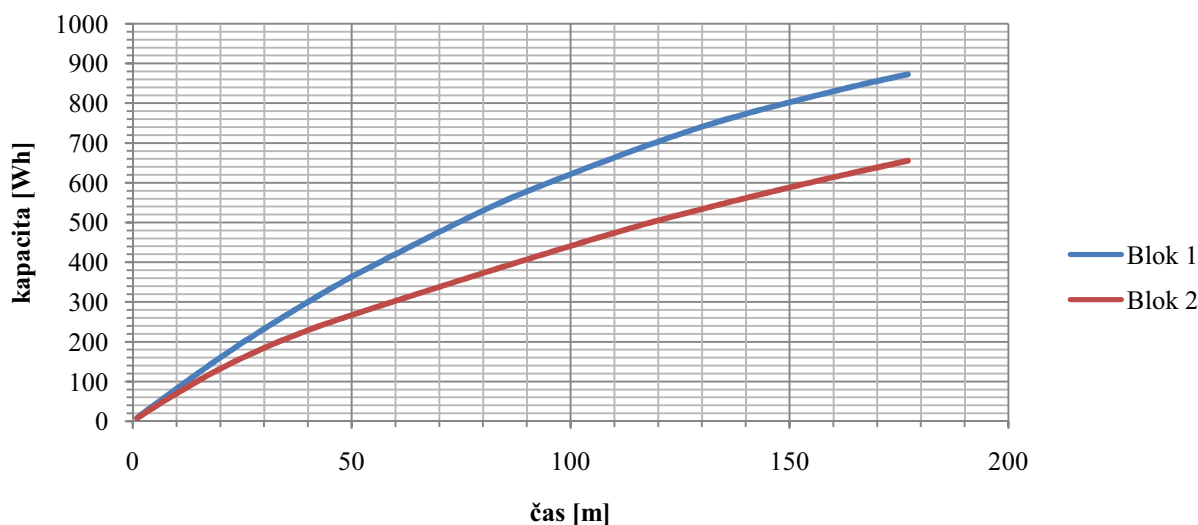
$$= \int_{t_{\text{výpadek sítě}}}^{t_{u_z=16V}} u_z [0,269 + u_z \cdot 0,0193] t dt [Wh]$$
(12.2)

Kde E je odčerpaná energie. Doba vypnutí je dána poklesem napětí baterií na 16 V pro oba bloky. Ostatní prvky jsou totožné s vzorcem 12.1. Jelikož měření není spojitě, výpočet se provádí pomocí sumy.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{t_{\text{výpadek sítě}}}^{t_{u_z=16V}} \left[I_1[A] + \frac{u_z[V]}{\frac{U_2[V] - U_1[V]}{I_2[A] - I_1[A]}} \right] u_z [Wh]$$
(12.3)

Kde N je počet měření od $t_{\text{výpadek sítě}}$ do $t_{u_z=16V}$.

Průběh dodané energie zátěži při vybíjení



Graf 7.: Průběh dodávané energie zátěži při vybíjení

Tab. 11.: Odevzdaná energie z baterií

-	Blok 1			Blok 2		
Napětí baterie [V]	10,37	16,00	20,00	12,45	16,00	20,00
Odevzdaná energie z baterií [Wh]	872	573	306	655	281	148

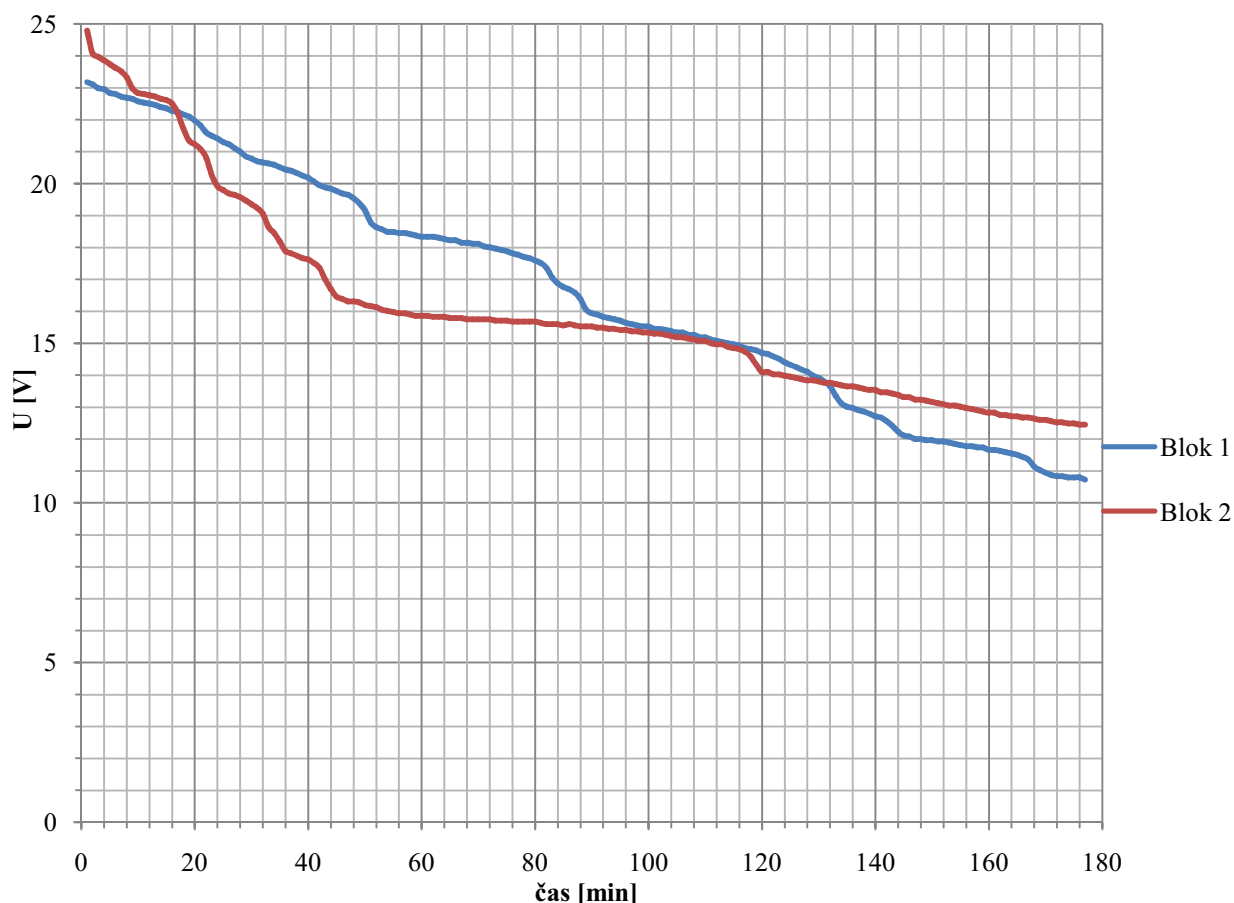
Za použití vzorce 12.3 vznikla tabulka Tab. 11. Z ní je zřejmé, že bateriový blok 2 je výrazně slabší než blok 1. Vybíjení trvalo 177 minut a do sekce s 35 žárovkami dodaly baterie 872 Wh. Do bloku 2 s 28 žárovkami bylo dodáno 655 Wh. Maximální vybíjecí proud sekce 1 byl 21,67 A. Výrobce udává normální vybíjecí proud 24 A. Při hodnotách proudu blízcího se k této hranici nejsou baterie schopny odevzdat všechnu svoji energii.

Dle normy ČSN EN 1838 je minimální doba osvětlování nouzových únikových cest a protipanických osvětlení stanovena na 1 hodinu. Baterie byly schopny dodávat dostatek energie po dobu 2 hodin a 57 minut. Je naprosto zřejmé, že současný stav baterií je více než dostačující.

Graf 8.: Minimální doba provozu nouzového osvětlení (převzato z [19])

Druh prostoru	Požadovaná doba	Dle normy
CHÚC A	15 minut	ČSN 73 0802
CHÚC B	30 minut	ČSN 73 0802
CHÚC C	45 minut	ČSN 73 0802
Zásahové cesty HZS	60 minut	ČSN 73 0802, ČSN 73 0810
Všeobecně	1 hodina	ČSN EN 1838
Kina a divadla	2 hodiny	ČSN 33 2140, ČSN 33 2420
Zdravotnictví	3 hodiny	ČSN 33 2140
Prostory s velkým rizikem	Pokud trvá nebezpečí	ČSN EN 1838

Průběh napětí baterie na vybíjecím čase



Graf 9.: Průběh napětí baterie na vybíjecím čase

Baterie daného typu není vhodné vybit pod 0,8 V/článek. Z grafu 9 je možné určit, jak dlouho jsou baterie schopny udržet napětí nad 0,8 V/článek. Blok 1 vydrží 90 minut, blok 2 pouze 53 minut. Rychlý pokles napětí na bloku 2 vypovídá o špatném stavu několika článků. Ostatní články jsou ještě schopny dodat zátěži dostatek energie. V grafu 9 v průběhu bloku 2 je v oblasti 120. minuty patrný schod. Tento rychlý skokový pokles napětí signalizuje úplné vybití jednoho článku.

13 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout kompletní obvodové schéma řídicího systému nouzového osvětlení, diskutovat vhodnost použitých součástek, navrhnout DPS a následně jej sestavit z vybraných komponent. Systém se napájí pouze z jedné fáze, při výpadku sítě se napájí z baterií. Záložní osvětlení se spíná automaticky a systém do něj nijak nezasahuje. Nabíječky se zvolily továrně vyráběné NB 22 P. Ty se ovládají pouze povely zapnout vypnout.

Záznamy systému se ukládají do sériové paměti typu EEPROM 24LC256 [14] velikost paměti je 32768 B. Původně měla být použita paměť EEPROM 24C128 s 16384 B. Kromě velikosti paměti se dané obvody neliší. Formát zápisu se zvolil statický, snáz se v něm vyhledává a je odolnější proti chybám. Dynamický formát by výrazně zkomplikoval a zpomalil program. Uložená data se vyčítají přes sériovou linku RS232. Jako převodník mezi USART a RS232 byl vybrán obvod MAX232. Zdroj reálného času pro systém se zvolil obvod PCF8563, ten se dle potřeby synchronizuje. Zdroj reálného času může mít odchylku přibližně 5 minut za rok. Bez napájení si obvod udrží čas až 7 dní se zálohovacím kondenzátorem $C = 1 \text{ F}$. Mikroprocesor se použil ATmega16, má dostatek IO pinů a periférií, pro případné rozšíření se vyvedl port B, ten po přidání propojky mezi reset ATmegy a pin 6 konektoru posloužil i pro nahrání programu do procesoru. Plošné spoje se navrhly dle krabičky CP-17-15B [11]. Krabička byla obrobena dle výkresů v příloze [A], [B] a [D]. Kvalita odlitku krabičky byla velmi nízká, stupeň krytí IP40. Zařízení se konstruovalo ve shodě s normou ČSN EN 61010-1 bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Část 1: Všeobecné požadavky.

Bočníky a zdroj se navrhly na samostatné DPS. Bočník z důvodu velkých proudů a zdroj kvůli síťovému napětí. Pro spolehlivou funkci se řídicí jednotka oddělila přepážkou. Materiál přepážky se zvolil pozinkovaný plech. Chrání proti elektrickému rušení ze sítě a od spínání relétek.

V normě ČSN EN 61010-1 je stanoveno, že přístupné kovové části zařízení třídy I nesmí mít impedanci k ochranné svorce větší než $0,1 \Omega$. Měření se provedlo zkušebním proudem 25A po dobu jedné minuty. Impedance se určila přepočtem z naměřeného napětí. Nejvyšší naměřenou impedanci $0,021 \Omega$ měl horní díl krabičky. Zařízení splňuje normu ČSN EN 61010-1.

Při ožívování řídicí jednotky se vyskytlo pár špatných vlastností. RTC je vybaven vlastním napájením ze záložního kondenzátoru, díky tomu při ztrátě napájení mikroprocesoru a současné komunikaci s RTC došlo k chybě na straně RTC. Obvykle tato chyba změnila nastavení času. Hodiny RTC běžely dále na záložní kondenzátor. Po opětovném zapnutí mikroprocesoru měl RTC chybný čas. Další fatální chyba byla zjištěna při AD převodech. Externí referenční napětí, způsobovalo chybu převodů až 37 digitů. Příčina nebyla podrobně zkoumána. Je pravděpodobné, že se LC filtr rozkmital a způsobil tuto enormní chybu. Byl proveden experiment, kde byla externí reference odpojena a použito interní referenční napětí mikroprocesoru. V kombinaci s potlačením šumu dle doporučení výrobce fungoval převodník přesně dle výrobní specifikace. V realizaci se použilo interní referenční napětí. Je dostatečně přesné a časově stálé.

Vývojové diagramy stručně vystihují myšlenku řešení programu. Při zapnutí zařízení byly standardně nakonfigurovány porty ATmegy16 jako vstupní. Při tomto nastavení se spínaly nabíječky, což bylo nežádoucí. Proto bylo nutné v AVR studiu změnit nastavení spouštění mikroprocesoru tak, aby naběhl dříve, než se relé sepnou.

Pokud by se obě nabíječky zapnuly zároveň, mohl by vzniknout proudový ráz, který by vypnul jističe. Vhodné bylo zapínat nabíječky s časovou prodlevou nebo nejlépe až po nabití první baterie. Tento způsob je sice šetrný k jističům, ale prodlužoval dobu, kdy byly baterie vybity a to bylo nepřijatelné. Baterie musí být dobity v co nejkratší době, proto byl vybrán první způsob, sepnutí nabíječek s malou časovou prodlevou.

Z měření vybíjecí křivky a Volt-Ampérové charakteristiky zátěže, se podařilo diagnostikovat bateriové bloky. Dle normy ČSN EN 1838 je minimální doba osvětlování nouzových únikových cest a protipanických osvětlení stanovena na 1 hodinu. Baterie byly schopny dodávat dostatek energie po dobu 2 hodin a 57 minut. Je naprosto zřejmé, že současný stav baterií je dostačující. Z průběhu vybíjecí napěťové křivky bylo možné pozorovat pomocí malých prudkých

poklesů napětí vybíjení jednotlivých článků bateriových bloků. I přes množství slabých článků je napájení schopno vyhovět normě ČSN EN 1838, všeobecné prostory. Z měření bylo patrné, že bateriový blok 2 je výrazně slabší než blok 1. Blok 2 má větší počet slabých článků. To se projevilo rychlým poklesem napětí při zatížení. I přes to, že baterie splňují požadavky normy, bylo by vhodné slabé články vyměnit. Systém byl zapojen a testován v ostrém provozu po dobu jedenácti dní. Během této doby nevykazoval žádné poruchy a fungoval přesně dle předpokladů.

14 Použitá literatura

- [1] ATmega16 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/958/958-099/dsh.958-099.1.pdf>
- [2] ATmega8 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/958/958-109/dsh.958-109.1.pdf>
- [3] PCF8563 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.pira.cz/pdf/PCF8563.pdf>>
- [4] 24C128 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/414/414-053/dsh.414-053.1.pdf>
- [5] MAX232 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/329/329-036/dsh.329-036.1.pdf>
- [6] NB 22 P [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.eprona.cz/doc/nb22_nav.pdf>
- [7] RT424012 [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.tme.eu/html/CZ/prumyslova-rele-rady-rt/ramka_2111_CZ_pelny.html>
- [8] TRHEI382-1X12V [online], [cit. 27. 4. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/610/610-792/dsh.610-792.1.pdf>
- [9] VÁŇA, V., Mikrokontroléry *ATMEL AVR-Programování v jazyce C*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 206 s. ISBN 80-7300-102-0
- [10] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. *Nabíječky a nabíjení. 2.* Aktualizované vydání, Praha: BEN - technická literatura, 1997. 104 s. ISBN 80-86056-29-5.
- [11] CP-17-15B [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.tme.eu/cz/katalog/artikyuly.phtml?search=CP-17-15B&idp=1#search%3DCP-17-15B>>
- [12] I-ZASUVKA VESTAVNA CERNA 1461 [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.gme.cz/cz/i-zasuvka-vestavna-cerna-1461-p070-136.html>>
- [13] NEUTRIK NL4MP [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.gme.cz/cz/neutrik-nl4mp-p806-232.html>>
- [14] 24LC256 [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/414/414-041/dsh.414-041.1.pdf>
- [15] NEUTRIK NL4FX [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.gme.cz/cz/neutrik-nl4fx-p806-146.html>>
- [16] NEUTRIK NL4FX [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/806/806-146/dsh.806-146.1.pdf>

- [17] Manganinový drát RG-ODP-MAN01 [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<<http://www.gmc.cz/cz/rg-odp-man01-p653-014.html>>
- [18] MC33046 [online], [cit. 27. 12. 2010]. Dostupné na WWW:
<http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF>
- [19] Nouzové osvětlení [online], [cit. 13. 5. 2011]. Dostupné na WWW:
<<http://www.tzb-info.cz/4463-nouzove-osvetleni-i>>

15 Seznam symbolů

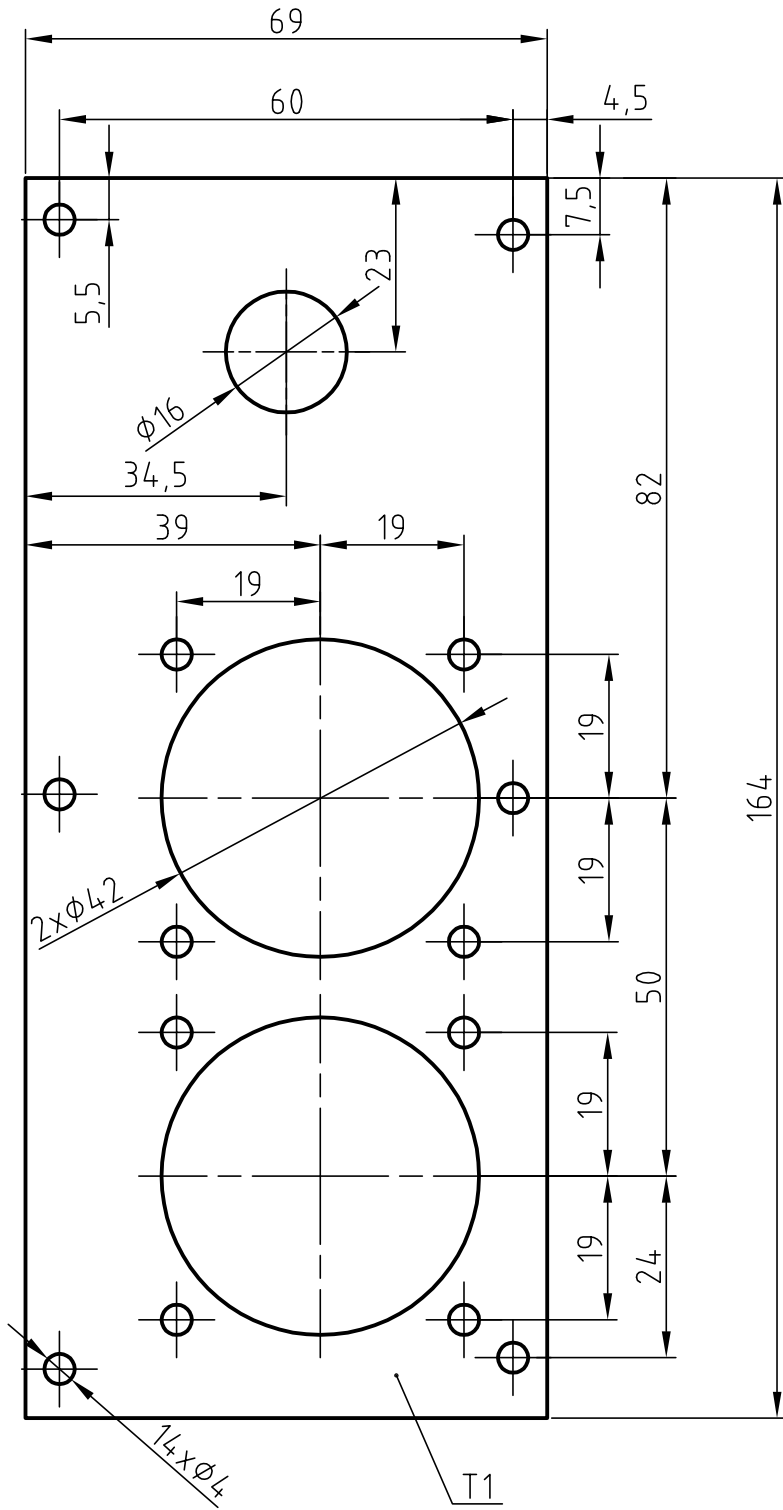
C	Kapacita
f	Kmitočet
f_{ADC}	Vzorkovací kmitočet analogově digitálního převodníku
f_{osc}	Kmitočet oscilátoru
G	Vodivost
I	Proud
J	Proudová hustota
L	Indukčnost
P	Výkon
R	Rezistivita
U	Napětí
U_2	Výstupní napětí
U_{cc}	Napájecí napětí
U_{CEsat}	Napětí mezi vývody kolektor emitor při saturaci tranzistoru
Δf	Rozdíl frekvencí
ΔU	Úbytek napětí
ρ	Měrná rezistivita

16 Seznam zkratek

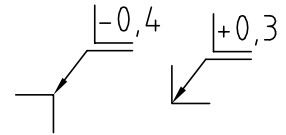
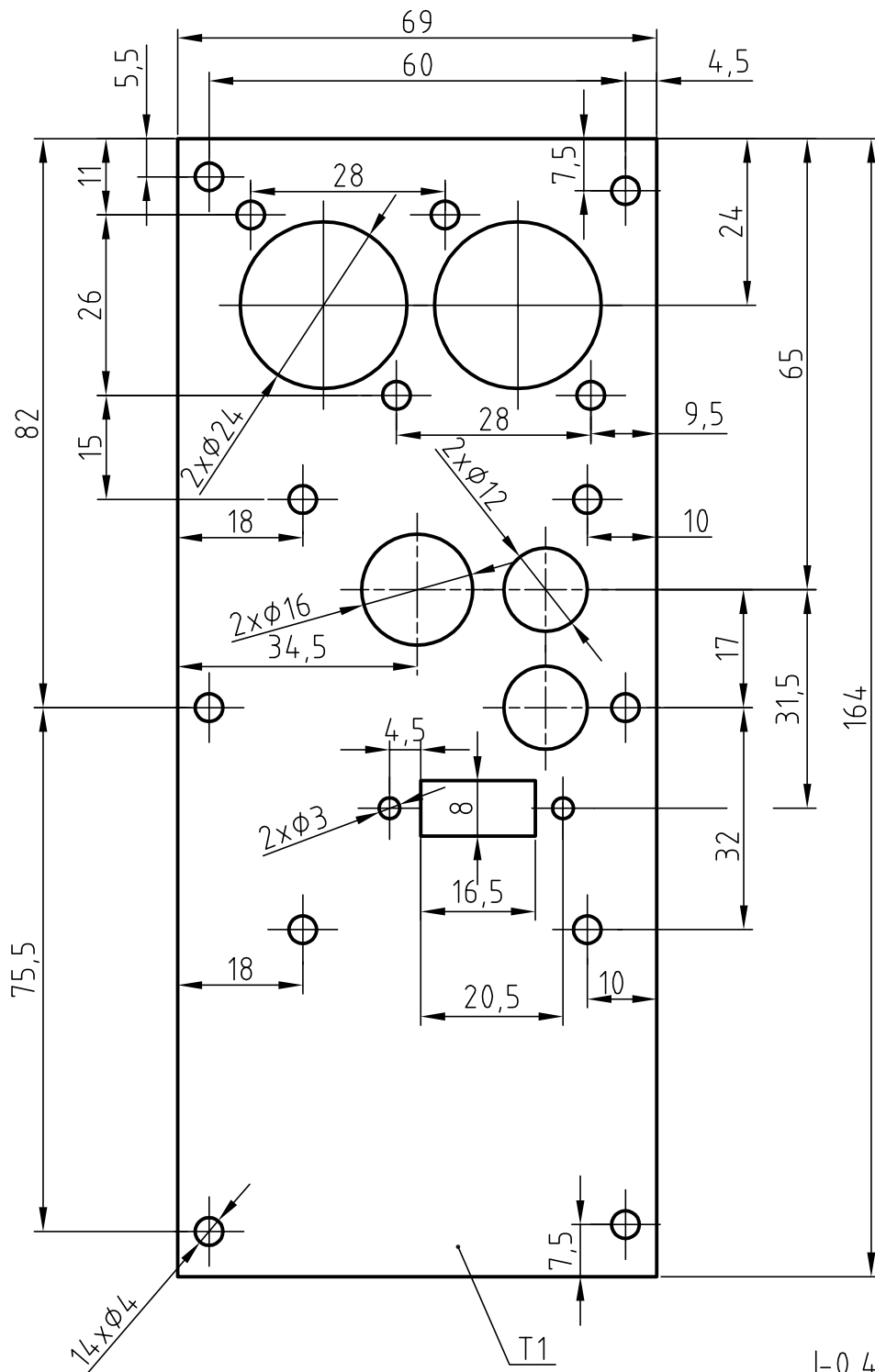
ACK	Acknowledged (potvrzení příjmu)
AD	Analogově digitální
CMRR	Common Mode Rejection Ratio
COM	Konektor sběrnice RS-232
CR	Carriage return
DPS	Deska plošných spojů
I2C	Inter-integrated circuit
LF	Line feed
LSB	Least significant bit (Nejméně významný bit)
MSB	Most significant bit (Nejvýznamnější bit)
PC	Personal computer
RTC	Real time clock
SMD	Surface mount device (součástky pro povrchovou montáž)
TTL	Transistor-transistor-logic
U _{Isen1} U _{Isen2}	Snímání napětí a proudu
USART	The universal synchronous and asynchronous serial transmitter

17 Seznam příloh

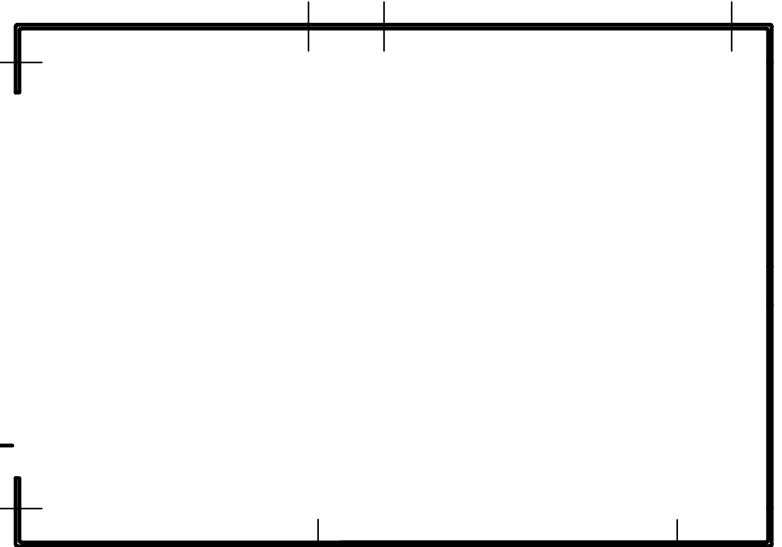
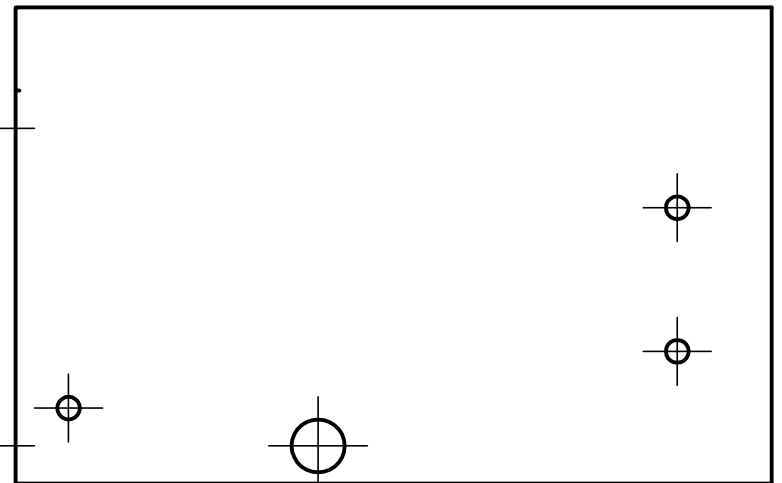
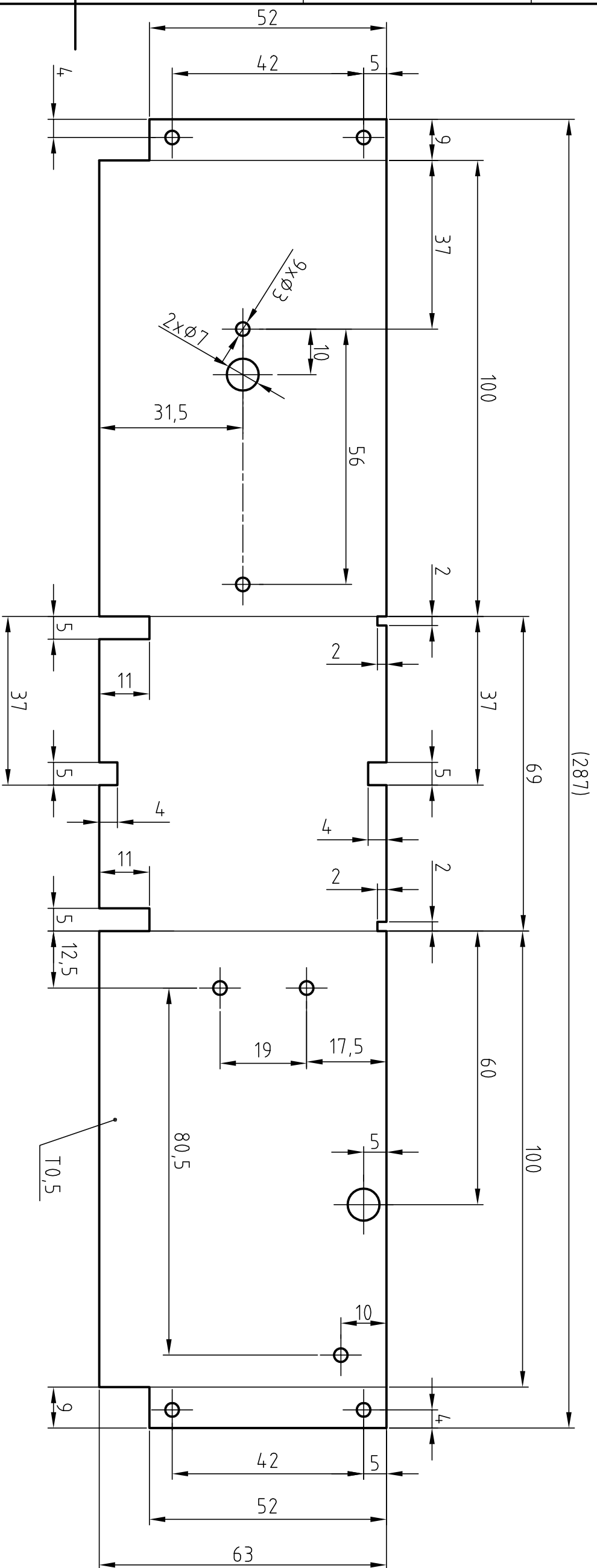
- [A] Čelo 1
- [B] Čelo 2
- [C] Stínící přepážka
- [D] Horní strana krabičky
- [E] Seznam součástek
- [F] Kompletní obvodové schéma
- [G] Fotky realizace



				Materiál AL		Tř. odpadu	Úprava hran ISO 13715	Měřítko 1.1
				Polotovár			Přesnost ISO 8015	
				Čistá hmotnost	Hrubá hmotnost	 Tolerování ISO 2768mK		
Index	Popis změny	Dne	Podpisy					
Škola VUT-BRNO	Technický referent	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Status dokumentu ODEVZDÁNO	Soubor	Č. sestavy	Č. seznamu položek		
	Kreslil VYROUBAL	Název, doplňující název ČELNÍ PANEL 1			Č. dokumentu 1			
	Přezkoušel	Změna	Datum vydání 21.12.2010	Jazyk cs	Formát A4	List 1/1		

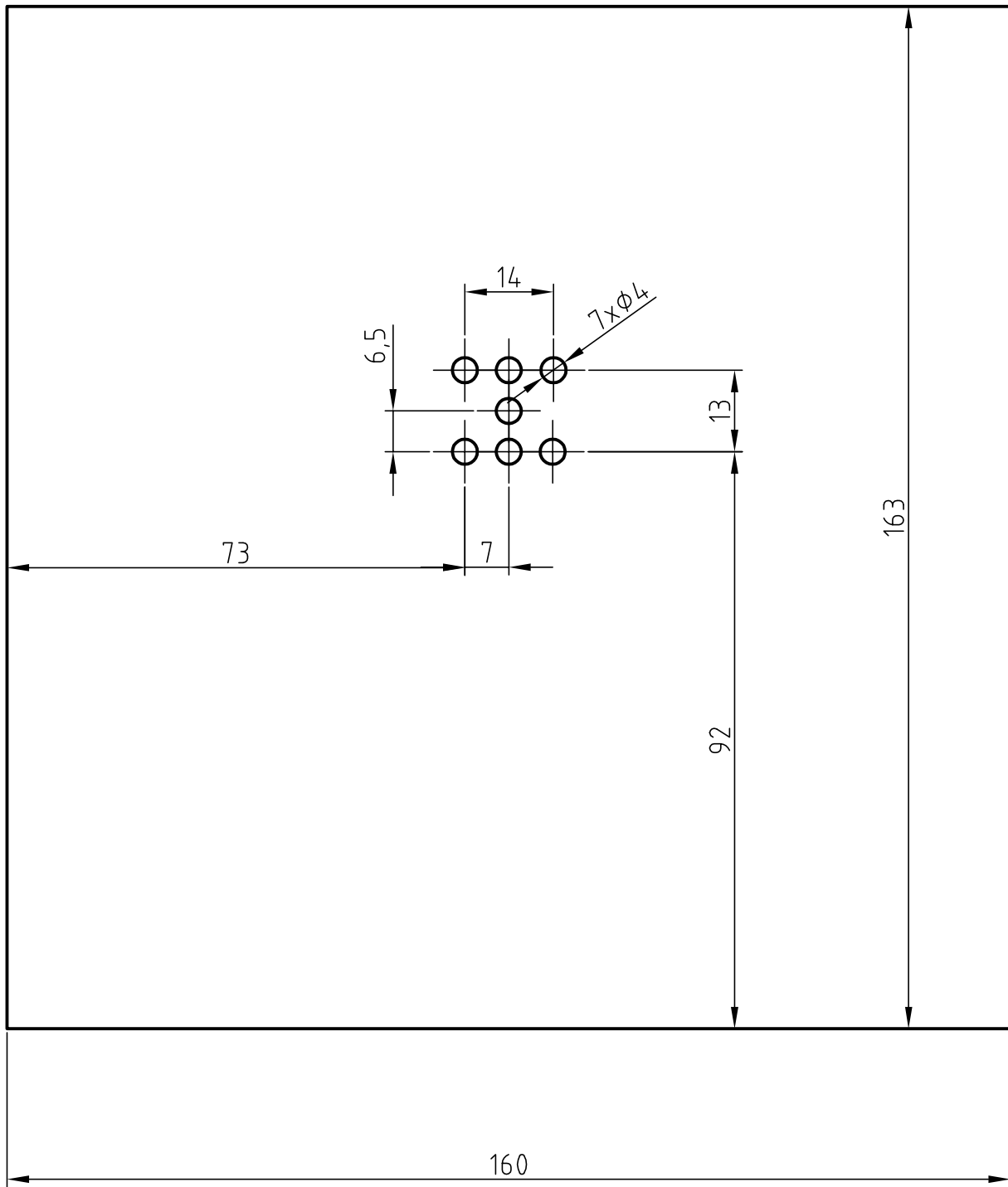


				Materiál	AL	Tř. odpadu	Úprava hran	Měřítko
				Polotovary			ISO 13715	1.1
				Čistá hmotnost	Hrubá hmotnost		Promítání	Přesnost
							ISO 8015	ISO 2768mK
Index	Popis změny	Dne	Podpisy					
Škola	Technický referent	Druh dokumentu	Status dokumentu	Soubor	Č. sestavy	Č. seznamu položek		
VUT-BRNO		VÝROBNÍ VÝKRES	ODEVZDÁNO					
	Kreslil	Název, doplňující název			Č. dokumentu			
	VYROUBAL	ČELNÍ PANEL 2			2			
	Přezkoušel	Změna	Datum vydání	Jazyk	Formát	List		
			21.12.2010	cs	A4	1/1		



Index		Popis změny		Materiál		Tř. odpadu		Úprava hran ISO 13715		Měřítko 1:1	
Škola VUT - BRNO		Technický referent		Polotovar				Promítání		Presnost ISO 8015	
Kreslil VYROUBAL		Druh dokumentu		Čistá hmotnost		Hrubá hmotnost		Tolerování ISO 2768mK			
Přezkoušel		VÝROBNÍ VÝKRES		Stav dokumentu		Soubor		Č. sestavy		Č. seznamu položek	
		Název, doplňující název PREPÁZKA		ODEVZDÁNO				Č. dokumentu			
		Datum vydání 24.12.2010		Jazyk CS		Formát A3		List 1/1			

A



				Materiál AL		Tř. odpadu	Úprava hran ISO 13715	Měřítko 1.1	
				Polotovár		CP-17-15B		Přesnost ISO 8015	
				Čistá hmotnost	Hrubá hmotnost		Promítání 	Tolerování ISO 2768mK	
Index	Popis změny	Dne	Podpisy						
Škola VUT-BRNO	Technický referent	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Status dokumentu ODEVZDÁNO	Soubor	Č. sestavy		Č. seznamu položek		
	Kreslil VYROUBAL	Název, doplňující název Horní strana krabičky			Č. dokumentu				
	Přezkoušel				Změna	Datum vydání 28.12.2010	Jazyk cs	Formát A4	List 1/1

Součástka	Kusů	Obchod TME	Obchod GME
R1206			
100	1		GME
10k	4		GME
120k	8		GME
1k	11		GME
1M	4		GME
4k7	8		GME
47k	12		GME
100k	2		GME
1R	3		GME
1k2	1		GME
R0204			
4k7	4		GME
3k6	1		GME
Trimry			
100k	2		PT625K100
Kondenzátory SMD			
C1206			
100n	18		GME
22p	2		GME
470p	1		GME
Kondenzátory			
10u	4		E10M/25V
1F	1	BUC-1F	
1m	2		E1000M/25VT-HB
4u7	2		E4M7/50V
470uF/25V	2		CE-470/25PLC
Tlumivka			
10uH	1		TL.10uH-M
Kapacitni trimr			
25p	1		CKT 3-50PF
Diody SMT			
1N4007	10	SM4007	
BZX83V5.1	2		BZX83V005.1
LED			
LED3MM červená	3		LED 3MM 2MA/R
LED3MM zelená	2		LED 3MM 2MA/G
Polovodiče			
MC3406	1		GME
IRF952	1		GME
MAX232ECWE	1	MAX232ECWE	
MEGA16-A (TQFP44)	1	ATMEGA16L-8AU	
PCF8563	1	PCF8563T-SMD	

BSS100	1		GME
AT24CP (DIL08)	1	24C256	
1N5819	3		GME
BC849 (SOT23)	3		BC849C
BZX85C18	1		GME
BZX85C5V1	1		GME
BZX85C39	2		GME
TLC271P	2		
Ostatní			
RT424012 (relé)	2	RT424012	
CP-17-15B (krabice)	1	CP-17-15B	
GS-1040-0B (zasuvky šroubovací)	2	GS-1040-0B	
NTR-NL4MP	4	NTR-NL4MP	
NTR-NL4FC	2	NTR-NL4FC	
Hodinový krystal	1	32.768K-A103AR	
Krystal 8MHz	1	8.00M HC49-S	
Pruchodka	1		F0604AG-12L
Pruchodka pro LED	5		LDC300
Pojistka	1		MST 250,034,6608
Odporový drát	1		RG-ODP-MAN01
COMka	1	CAN.9 Z	
Zásuvka mikrofonní	1	MIC332	
Zásuvka mikrofonní na kabel	1	MIC322	
Síťová zásuvka	1	WT-16U/WH	
Trafo	1	TEZ4/D/12V	
Vodiče		LIFY 6.00MM2 SW	
Síťová trojlinka		OMY3/1.50-B	

