

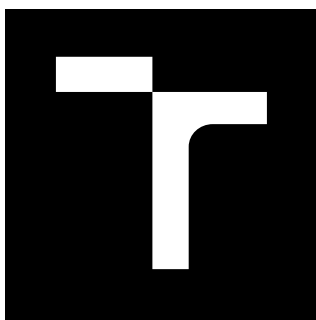
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2018

Bc. Jiří Doležel



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

**RYCHLÝ DATALOGGER S GALVANICKY ODDĚLENÝMI
MĚŘICÍMI KANÁLY**

FAST DATA LOGGER WITH GALVANICALLY SEPARATED MEASURING CHANNELS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Doležel

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Huták, Ph.D.

BRNO 2018



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Sílnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Bc. Jiří Doležel

ID: 159652

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Rychlý datalogger s galvanicky oddělenými měřicími kanály

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte vstupní analogové obvody s nastavitelným zesílením a digitální obvody s mikroprocesorem pro zápis naměřených dat na SD kartu.
2. Navrhněte DPS pro celé zařízení, nejlépe modulové koncepce.
3. Zařízení realizujte a sestavte vhodný program pro zvolený procesor. Ověřte funkci zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Vorel P.: Patocka, M.: Skripta, Průmyslová elektronika. VUT v Brně, 2007.
- [2] Matoušek D.: Práce s mikrokontroléry Atmel, BEN 2006

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 21. 5. 2018

Vedoucí práce: Ing. Petr Huták, Ph.D.


doc. Ing. Ondřej Vitek, Ph.D.
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 částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá rozbořem řešení a konstrukcí zařízení, která slouží pro sběr dat. Na začátku práce jsou popsány základní typy zařízení pro sběr dat. V dalších částech práce je provedeno srovnání několika komerčně dostupných zařízení pro sběr dat, na základě kterého budou zvoleny požadavky na konstruované zařízení pro sběr dat. V dalších kapitolách se práce věnuje návrhu elektronických obvodů a volbě součástek pro jejich zhotovení. Poslední kapitoly jsou věnovány popisu konstrukce zařízení pro sběr dat.

Klíčová slova

Zařízení pro sběr dat, operační zesilovač, mikroprocesor, SD karta, galvanické oddělení, SPI, AD převodník.

Abstract

Master's thesis deals with analysis solutions and construction of the devices for data collection. At the beginning, they describe the basic types of devices for data collection. In other parts of the work is compared few commercial devices for data collection, under which the requirements will be selected on the proposed device for data collection. In other chapters of the work devoted to the design of schemes and selecting components for their manufacture. The last chapters are devoted to describing the design of device for data collection.

Keywords

Device for data collection, operational amplifier, microprocessor, SD card, galvanic isolation, SPI, AD converter.

Bibliografická citace:

DOLEŽEL, J. *Rychlý datalogger s galvanicky oddělenými měřicími kanály*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 62s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Huták, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Zařízení pro sběr dat jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **21. května 2018**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hutákovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne **21. května 2018**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
2	Průmyslově vyráběná zařízení pro sběr dat	2
3	Požadavky na konstruované zařízení pro sběr dat	4
4	Konstrukce zařízení pro sběr dat	8
4.1	Bloková schémata	8
4.1.1	Celkové blokové schéma	8
4.1.2	Blokové schéma měřicího modulu	10
4.2	Popis obvodového zapojení	12
4.2.1	Zapojení měřicího modulu	12
4.2.1.1	Vstupní dělič	13
4.2.1.2	Řízení vstupního děliče	13
4.2.1.3	Vstupní dělič nejvyššího napětového rozsahu	14
4.2.1.4	Volba AC nebo DC měření	14
4.2.1.5	Zesílení vstupního signálu	14
4.2.1.6	Kalibrace offsetu operačního zesilovače	14
4.2.1.7	AD převodník	15
4.2.1.8	Obvody analogových spínačů	15
4.2.1.9	Přesná napětová reference	16
4.2.1.10	Napájení analogových obvodů	16
4.2.1.11	Galvanické oddělení SPI a odrušení	16
4.2.1.12	Galvanické oddělení signálů CS	16
4.2.1.13	Galvanicky oddělený DC/DC měnič	17
4.2.2	Zapojení řídicích obvodů	17
4.2.2.1	Mikroprocesor	17
4.2.2.2	Hodiny reálného času	18
4.2.2.3	Externí spouštění záznamu	18
4.2.2.4	Obsluha zařízení	19
4.2.2.5	Modul SD karty	19
4.2.2.6	Komunikace s PC	21
4.2.2.7	Měření teploty	21
4.2.2.8	Měření napájecího napětí	22

4.2.2.9	Napájení.....	22
4.2.3	Zapojení převodníku MISO signálu.....	22
4.2.3.1	Popis problematiky	22
4.2.3.2	Tři stavový buffer.....	23
4.2.3.3	Signál CS.....	23
4.2.3.4	Napájení.....	23
4.2.4	Napájecí zdroj.....	24
4.2.4.1	Požadavky na napájecí zdroj.....	24
4.2.4.2	Napájení ze sítě	24
4.2.4.3	Externí stejnosměrný napáječ.....	25
4.2.4.4	Dimenzování chladiče stabilizátoru.....	25
4.2.4.5	Napájení z USB.....	25
4.3	Návrh desek plošných spojů.....	26
4.3.1	Eagle - knihovny	26
4.3.2	DPS měřicího modulu.....	26
4.3.3	DPS řídicích obvodů.....	28
4.3.4	DPS převodníku MISO signálu	28
4.3.5	DPS napájecího zdroje.....	28
4.4	Výroba desek plošných spojů.....	28
4.5	Oživení jednotlivých obvodů.....	30
4.6	Řídicí software	30
4.6.1	Programovací vybavení.....	30
4.6.1.1	CodeVisionAVR.....	30
4.6.1.2	eXtreme Burner – AVR	31
4.6.1.3	Programátor	32
4.6.2	Ovládací program.....	33
4.6.2.1	Řídicí mikropočítač.....	33
4.6.2.2	Hodiny reálného času	33
4.6.2.3	Modul SD karty.....	34
4.6.2.4	AD převodník.....	35
4.6.2.5	Analogové spínače	35
4.7	Uživatelské rozhraní.....	36
4.8	Mechanická konstrukce.....	38
4.9	Pokusné měření.....	39

4.10	Rozpis součástí, cenová kalkulace materiálu	41
5	Závěr	46
	Literatura	48
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	50
	Přílohy	52

Seznam obrázků

Obrázek 1 Čtyřkanálový záznamník napětí T&D MCR-4V [5]	2
Obrázek 3 Celkové blokové schéma zařízení pro sběr dat.....	8
Obrázek 2 Blokové schéma měřicího modulu.....	10
Obrázek 4 Detail zapojení vstupních analogových obvodů	12
Obrázek 5 Modul čtečky SD karty s SPI sběrnici [7]	20
Obrázek 6 Obvodové zapojení použitého modulu SD karty [23]	20
Obrázek 7 Modul převodníku UART na USB [8]	21
Obrázek 8 Úprava zdrojového kódu chips.....	32
Obrázek 9 Úprava zdrojového kódu fuselayout.....	32
Obrázek 10 SPI – zápis jednoho bytu do RTC [10]	34
Obrázek 11 SPI - čtení jednoho bytu z RTC [10]	34
Obrázek 12 SPI - komunikace s ADC [14]	35
Obrázek 13 SPI – komunikace s obvodem analogový spínačů [13]	36
Obrázek 14 Ovládání uživatelského rozhraní	37
Obrázek 15 Naměřený průběh sinusového signálu.....	40
Obrázek 16 Schéma zapojení řídicích obvodů	52
Obrázek 17 Předloha pro výrobu DPS řídicích obvodů	53
Obrázek 18 Osazovací plán propojek DPS řídicích obvodů	53
Obrázek 19 Osazovací plán součástek DPS řídicích obvodů – strana vývodových součástek.....	54
Obrázek 20 Osazovací plán součástek DPS řídicích obvodů – strana spojů.....	54
Obrázek 21 Schéma zapojení měřicího modulu.....	55
Obrázek 22 Předloha pro výrobu DPS vstupních obvodů 1. strana	56
Obrázek 23 Předloha pro výrobu DPS vstupních obvodů 2. strana	57
Obrázek 24 Osazovací plán součástek DPS vstupních obvodů - SMD.....	58
Obrázek 25 Osazovací plán součástek DPS vstupních obvodů – strana vývodových součástek.....	59
Obrázek 27 Předloha pro výrobu DPS převodníku MISO signálu	60
Obrázek 26 Schéma zapojení převodníku MISO signálu.....	60
Obrázek 28 Osazovací plán součástek DPS převodníku MISO signálu.....	60
Obrázek 29 Schéma zapojení napájecího zdroje.....	61
Obrázek 30 Předloha pro výrobu DPS napájecího zdroje	61
Obrázek 31 Osazovací plán součástek DPS napájecího zdroje.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 1 Průzkum trhu se zařízeními pro sběr dat [1], [2], [3], [4], [5], [6]	3
Tabulka 2 Požadované parametry na konstruované zařízení pro sběr dat	7
Tabulka 3 Základní parametry zvoleného mikropočítače Atmel ATMega 1284P ...	18
Tabulka 4 Nastavení pojistkových bytů pro ATMega 1284P	33
Tabulka 5 Cenová kalkulace modulu analogových obvodů	41
Tabulka 6 Cenová kalkulace modulu řídicích obvodů	42
Tabulka 7 Cenová kalkulace modulu převodníku MISO signálu	43
Tabulka 8 Cenová kalkulace modulu napájecího zdroje	44
Tabulka 9 Cenová kalkulace ostatního materiálu	44

1 ÚVOD

Při diagnostice a oživování vyvíjených elektrických zařízení je v určitých případech potřeba provádět dlouhodobější měření pro ověření jejich elektrických a dalších důležitých neelektrických parametrů, které jsou závislé na čase. Doba měření se pohybuje dle jeho typu od několika sekund až po jednotky měsíců. Na základě tohoto měření lze například zjistit nabíjecí a vybíjecí charakteristiky neznámých akumulátorů, analyzovat kvalitu dodávky elektrické energie koncovým zákazníkům v sítích nízkého napětí. Při použití vhodných snímačů neelektrických veličin lze také například provádět dlouhodobější oteplovací zkoušky na konstruovaných zařízeních. Pokud bude u tohoto zařízení pro sběr dat použita vhodná kombinace snímačů elektrických a neelektrických veličin, lze snímače datového záznamníku připojit k testovanému zařízení, které pracuje v průmyslovém provozu a zpětně diagnostikovat na základě získaných dat, zda zařízení pracuje korektně. Je tedy patrné, že zařízení pro sběr dat má ve vývojové laboratoři a následně i v terénu své těžko zastupitelné místo.

Jak již bylo řečeno výše, tak tento typ zařízení má své místo v širokém spektru průmyslových odvětví a aplikací, proto i rozdělení přístrojů tohoto typu do určitých podskupin je poněkud obtížné. V základu lze datové záznamníky rozdělit podle toho, zda měří veličiny elektrické, neelektrické popřípadě přístroje, které měří oba dva typy veličin. Je tedy zřejmé, že je potřeba provést alespoň základní průzkum trhu a zjistit jakých technických parametrů dosahují komerčně dostupné datové záznamníky. S přihlédnutím k předchozímu průzkumu trhu budou stanoveny požadavky na vlastní konstrukci zařízení pro sběr dat.

V další části se práce bude věnovat návrhu blokových schémat konstruovaného zařízení, do kterých budou promítnuty požadavky na konstruovaný záznamník, které byly stanoveny v předchozí kapitole a díky blokovým schémátům budou zřejmé i základní rysy fyzického obvodového zapojení záznamníku včetně principu jeho funkce.

V poslední části diplomové práce bude slovně popsáno navrhnuté obvodové řešení zařízení pro sběr dat. Jako první budou rozebrány analogové vstupní obvody, následně bude zmíněna problematika galvanického oddělení měřených signálů a závěrem bude popsána digitální část zapojení včetně různých podpůrných digitálních obvodů.

2 PRŮMYSLOVĚ VYRÁBĚNÁ ZAŘÍZENÍ PRO SBĚR DAT

Před konstrukcí jakéhokoliv zařízení je vhodné provést alespoň základní průzkum trhu, aby bylo zjištěno, jaké výrobky jsou komerčně dostupné. Na základě tohoto průzkumu lze stanovit základní požadavky na konstruované zařízení tak, aby bylo na obchodním trhu konkurenceschopné, v lepším případě svými parametry předčilo konkurenci a v nejlepším případě zaplnilo prázdné místo na trhu.

V tabulce uvedené níže je provedeno srovnání vzorku šesti typů zařízení pro sběr dat, která jsou běžně dostupná na tuzemském popřípadě zahraničním trhu, jejichž cena je přiměřeně odstupňována. V následující kapitole bude provedeno kritické zhodnocení deklarovaných parametrů u jednotlivých zařízení pro sběr dat, na jehož základě budou stanoveny vhodné požadavky na konstruované zařízení pro sběr dat.



Obrázek 1 Čtyřkanálový záznamník napětí T&D MCR-4V [5]

Tabulka 1 Průzkum trhu se zařízeními pro sběr dat [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Výrobce	Velleman instruments	CEM	T&D Corporation	Omega Engineering Czech Republic	T&D Corporation	HT-Instruments
Typ	PCS10	DT-175CVS	VR-71	OM-PLCV	MCR-4V	XL424
Měřené veličiny	U	U, I	U, I	U, I	U	U
AC / DC měření	DC	AC	DC	AC	DC	AC
Rozsahy	3-30 V	6-600 V 2-200 A	±1 - ±15V; 4 - 20 mA	500 V 300 A	± 300 mV - ±24 V	600 V
Počet kanálů	4	2	2	2	4 (16)	3
Galvanické oddělení	Ne	jen snímač I	Ne	jen snímač I	Ano	Ne
Vstupní impedance	1 MΩ	-	-	-	1,1 MΩ	-
Počet vzorků	1 700	50 022	8 000	10 750	120 000	130 000
Šířka pásma	-	40 Hz - 1 kHz	-	-	100 Hz	3 200 Hz
Perioda vzorkování	10 ms	1 s - 24 h	20 ms - 60 min	1 s - 18 h	2 ms - 60 min	1 s - 5 min
Druh úložiště	PC	Intévní	Intévní	Intévní	Intévní, SD, SDHC	Interní
Start záznamu	PC	Automatický Manuální	Manuální	Okamžitý, zpožděný, iniciovaný	Manuální	Manuální
RTC hodiny	PC	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Akční člen	Ne	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne
Komunikace	USB	USB	RS-232	RS-232/ USB	USB	RS-232
Napájení	USB	Síť	Baterie	Baterie	Baterie, síť, USB	Baterie
Ovládací PC SW	Ano	Ano	Ano	Ano	ANO	ANO
Orientační cena	1 590 Kč	2 320 Kč	5 058 Kč	7 595 Kč	9 423 Kč	14 701 Kč
Poznámka	Zobrazení dat v reálném čase		Jednorázový nebo nekonečný záznam	Alarmy, jednorázový nebo nekonečný záznam, zobrazení dat v reálném čase	Vstupní filtr, jednorázový nebo nekonečný záznam, zobrazení dat v reálném čase, propojení zařízení	

3 POŽADAVKY NA KONSTRUOVANÉ ZAŘÍZENÍ PRO SBĚR DAT

V porovnávací *tabulce 1* uvedené v předchozí kapitole je uvedeno šest vybraných typů zařízení pro sběr dat, která jsou dostupná na našem trhu. Cena vybraných zařízení je přiměřeně odstupňována od těch nejlevnějších zařízení až po ty relativně dražší. V následující části se práce bude věnovat kritickému zhodnocení základních parametrů vybraných zařízení, na základě kterého budou stanoveny požadavky na konstruované zařízení pro sběr dat.

V zadání diplomové práce není striktně určeno, jakých parametrů má zařízení přesně dosahovat, nicméně je řečeno, že zařízení musí disponovat galvanicky oddělenými analogovými vstupy s nastavitelným zesílením, možností ukládat naměřená data na SD paměťovou kartu a musí být uplatnitelné v praxi výkonové elektroniky. Ze zadání dále vyplývá, že by bylo vhodné, aby koncepce zařízení byla v ideálním případě modulová.

V praxi je ve většině případů potřeba měřit více veličin ve stejný časový okamžik. V drtivé většině případů se jedná o měření proudu a napětí. Již zde je zřejmé, že v *tabulce* uvedené výše vyhoví tomuto požadavku pouze polovina vybraných zařízení. V některých případech je potřeba měřit zároveň i oteplovací charakteristiky jednotlivých částí testovaného přístroje, tomuto kritériu již nevyhoví žádné z vybraných zařízení. Problém by šel vyřešit použitím několika datových záznamníků, které měří požadované fyzikální veličiny a synchronizovat jejich systémové hodiny reálného času, aby měření bylo relevantní.

Stejnoseměrná měření napětí a proudu jsou vhodná převážně pro měření nabíjecích charakteristik akumulátorů, stejnosměrné wattmetry, měření na stejnosměrném meziobvodu měniče apod. Střídavá měření jsou často používána u analyzátorů sítě nízkého napětí, kde se pomocí nich měří takzvaná kvalita dodávky elektrické energie. Žádný ze srovnávaných přístrojů nedisponuje přepínáním mezi stejnosměrným a střídavým měřením. Pouze přístroje z produkce firmy T&D jsou schopny měřit stejnosměrná napětí v obou polaritách, na základě této skutečnosti lze usoudit, že pokud bude měřen střídavý signál s vhodně malou frekvencí a k ní přiměřeným vzorkováním, lze dosáhnout uspokojivých výsledků i v případě střídavých měření.

Drtivá většina testovaných přístrojů umožňuje přepínání měřících rozsahů s výjimkou záznamníků XL424 a OM-PLCV, které mají měřící rozsah pevně daný.

Z hlediska velikosti měřeného napětí lze srovnávané přístroje rozdělit na zařízení vhodná pro měření malého a nízkého napětí. Měřit v obou dvou napěťových hladinách, díky přepínání rozsahů, je schopen pouze přístroj DT-175CVS. Ten samý přístroj disponuje jako jediný přepínáním proudového rozsahu a je schopen měřit na rozsazích od 2 A do 200 A.

Počet měřicích kanálů je velice důležitý. V praxi, jak již bylo zmíněno je potřeba alespoň jeden snímač pro měření napětí a jeden snímač pro měření proudu, nicméně čím více měřicích kanálů zařízení obsahuje, tím má vyšší užitnou hodnotu a univerzálnost. Pokud by zařízení obsahovalo tři kanály pro měření střídavého napětí a tři kanály pro měření střídavého proudu, bylo by možné provádět i měření v trojfázových sítích. Zajímavé řešení nabízí záznamník MCR-4V, jehož koncepce umožňuje spojit až čtyři tato zařízení do jednoho celku a rozšířit tak počet měřicích kanálů až na 16.

S více měřicími kanály se dostává také do popředí problematika galvanického oddělení mezi jednotlivými kanály. Tomuto problému se lze elegantně vyhnout, pokud všechny měřicí kanály budou mít společnou zem, to však sebou přináší řadu úskalí a problémů. Pokud například bude potřeba měřit prvním kanálem napětí proti zemi a druhým kanálem proti jiné plovoucí zemi, typickým případem této situace je měření na bočníku, který není zapojen proti zemi. U komerčních výrobků, které jsou srovnávány v tabulce, dosahuje kompletního galvanického oddělení pouze zařízení MCR-4V.

Maximální počet vzorků, které je záznamník schopen uložit je limitováno velikostí paměti. První ze srovnávaných přístrojů není velikostí paměti omezen, neboť naměřená data jsou přímo ukládána do počítače. U přístroje MCR-4V může uživatel kapacitou připojené SD karty ovlivnit maximální počet uložených hodnot. U zbylých přístrojů je kapacita paměti pevně dána a s uživatelského hlediska neměnná.

Maximální rychlost vzorkování měřeného signálu je ovlivněna především rychlostí použitého analogově digitálního převodníku, celkovým počtem měřicích kanálů, posléze maximální rychlostí přenosu dat po datové sběrnici mezi převodníky, mikropočítačem a SD kartou a v neposlední řadě výpočetním výkonem použitého mikropočítače. Z tohoto hlediska je na tom nejlépe opět přístroj MCR-4V, kde při použití jednoho kanálu je perioda vzorkování 2 ms a při použití čtyř kanálů se perioda vzorkování prodlouží na 10 ms.

Záznam dat lze zahájit buďto manuálně pomocí příslušného tlačítka nebo v daném nastaveném čase, popřípadě start záznamu lze iniciovat pomocí externího napěťového signálu. Těmto všem třem kritériím vyhoví pouze zařízení OM-PLCV.

V případech, kdy jsou prováděna měření v delších časových úsecích je vhodné do paměťového úložiště uložit spolu s naměřenou hodnotou i údaj o čase, kdy byla hodnota změřena. Tato funkce je standardní u všech vybraných přístrojů.

Vybraná zařízení pro sběr dat s produkce firmy T&D jsou oproti jiným vybraným zařízením schopny logickým signálem ovládat externí zařízení. Toho lze využít například pro jednoduché ovládání testovaného objektu, pokud třeba dojde k překročení nastavených mezních hodnot nebo ukončení měření, je testované zařízení vypnuto.

Konstruované datové záznamníky v současné době zcela běžně komunikují s uživatelem pomocí rozhraní USB. V některých starších či průmyslových aplikacích se stále můžeme setkat se sériovým rozhraním RS-232. Z hlediska budoucího trendu lze předpokládat, že stále více se bude možné setkávat se záznamníky, které budou připojeny do internetové sítě a bude možné k nim přistupovat lokálně v rámci firemní sítě LAN, popřípadě odkudkoliv na světě.

Způsob napájení zařízení pro sběr dat do jisté míry ovlivňuje možnosti použití daného zařízení v terénu. Z tohoto hlediska je na tom nejhůře DT-175CVS, který lze napájet pouze ze sítě. Pokud bude použita například velice rozšířená powerbanka, což je přenosný bateriový modul sloužící k nabíjení přenosných zařízení prostřednictvím rozhraní USB, lze napájet v terénu záznamníky vyžadující napájení z USB. Dále pak existují záznamníky, které pracují pouze na baterie, což je vhodné v terénu, nicméně v laboratořích je v mnoha případech naopak elegantnější napájení ze sítě. Zařízení MCR-4V jako jediné z šesti porovnávaných přístrojů disponuje všemi třemi výše popsány mi možnostmi napájení.

Ovládací software je u porovnávaných přístrojů samozřejmostí. Samozřejmě zde jsou určité rozdíly v kvalitě a možnostech ovládacího softwaru, které jsou úměrné pořizovacím nákladům datového záznamníku.

Z hlediska dalších funkcí je možné se setkat se zobrazením aktuálně měřených hodnot v reálném čase prostřednictvím LCD displeje nebo ovládacího počítačového programu. Vzhledem k tomu, že počet uložených vzorků není nekonečný lze u některých přístrojů nastavit jak jednorázový záznam, který skončí

po zaplnění paměti, tak i záznam nekonečný. V druhém případě jsou po zaplnění paměti postupně přepisovány nejstarší naměřené hodnoty hodnotami novými. Další zajímavou funkcí je nastavitelný alarm, který je schopen upozornit obsluhu při překročení určité nastavené hodnoty měřené veličiny. Dále je možné připojit vstupní signálové filtry nebo propojit více datových záznamníků paralelně. Všemi těmito funkcemi disponuje pouze zařízení MCR-4V.

Při srovnání vybraných komerčních výrobků je zřejmé, že jejich cena se pohybuje od 1590 Kč až po 14 701 Kč. Cílem je, aby cena navrženého zařízení byla v ideálním případě přibližně do 5 000 Kč. Některé funkce komerčně dostupných zátěží nebudou u konstruovaného zařízení uvažovány, ale bude je možné v budoucnu získat úpravou ovládacího programu, popřípadě jednoduchou úpravou fyzického zapojení přístroje.

V tabulce uvedené níže jsou stanoveny základní požadavky na konstruované zařízení pro sběr dat, které vyplynuly z předchozího seznámení s komerčně dostupnými datovými záznamníky.

Tabulka 2 Požadované parametry na konstruované zařízení pro sběr dat

Měřené veličiny	U
AC / DC měření napětí	AC, DC
Rozsahy	33 mV - 1 kV
Počet kanálů	6
Galvanické oddělení	Ano - vždy 2 kanály mají společnou zem
Vstupní impedance	2 MΩ
Počet vzorků	Omezeno kapacitou SD karty
Perioda vzorkování	1 ms - 1 h
Druh úložiště	Interní, SD karta, PC
Start záznamu	Okamžitý, zpožděný, iniciovaný
RTC hodiny	Ano - hodiny a kalendář
Akční člen	Ne
Komunikace	USB
Napájení	USB, síť, externí baterie
Ovládací PC SW	Pouze monitor sériové linky
Orientační cena	< 5 000 Kč
Poznámka	4 analogové teplotní snímače
Možná vylepšení	Záznam ve smyčce, alarmy, vytvoření ovládacího SW v PC, akční člen

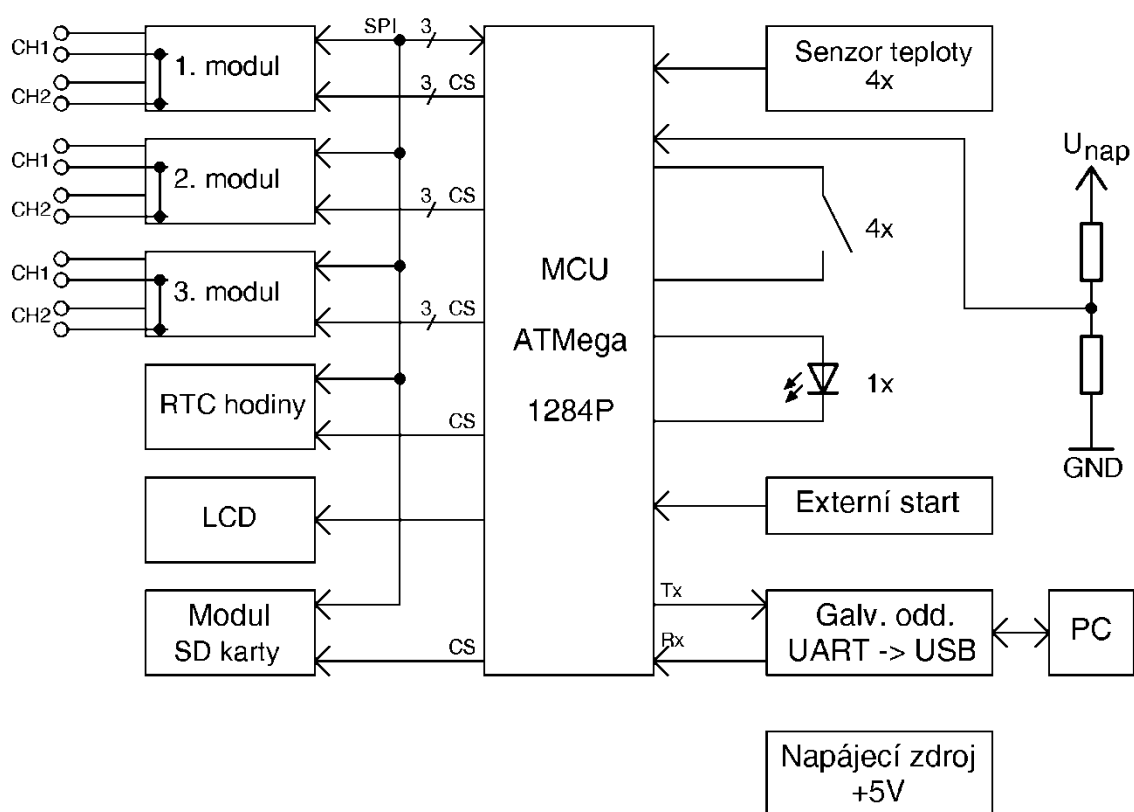
4 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO SBĚR DAT

Následující část práce se bude zabývat návrhem zapojení elektronických obvodů na základě požadavků, které byly stanoveny v předchozí kapitole.

4.1 Bloková schémata

4.1.1 Celkové blokové schéma

Nejdříve zde bude uvedeno a popsáno celkové blokové schéma zařízení pro sběr dat. V následující podkapitole se pak práce bude věnovat blokovému schématu jednoho dílčího měřicího modulu.



Obrázek 2 Celkové blokové schéma zařízení pro sběr dat

Celé zařízení pro sběr dat je řízeno mikroprocesorem firmy ATMEL, konkrétně se jedná o obvod ATmega 1284P. Tento typ procesoru disponuje dostatečným počtem programovatelných pinů, velkou kapacitou interní paměti a širokou škálou interních podpůrných obvodů. Bude například využito komunikační sběrnice SPI, AD převodníku, sériové linky USART a přerušování [9].

Zařízení pro sběr dat obsahuje celkem tři měřicí moduly, detailní blokové schéma měřicího modulu bylo popsáno výše. Každý dílčí měřicí modul je od zbytku obvodového zapojení galvanicky oddělen. Komunikace řídicího procesoru s měřicími moduly probíhá prostřednictvím komunikační sběrnice SPI a signálů pro výběr obvodu CS.

Aby bylo možné zjistit, kdy byla každá změřená hodnota zaznamenána je potřeba znát přesnou informaci o aktuálním čase. Pro tuto funkci lze s výhodou použít obvod hodin reálného času (RTC). Tento obvod kromě hodin poskytuje i kalendář, který lze s výhodou využít při dlouhodobějších měřeních. Tento obvod je ovládán prostřednictvím sběrnice SPI.

Pokud bude naměřených dat malé množství, lze využít pro ukládání dat interní paměť mikropočítače. Při větším objemu měřených dat je vhodné využít pro jejich uložení SD paměťovou kartu. Vzhledem k jisté složitosti přímého propojení SD karty s mikropočítačem, byl použit komerčně dostupný modul paměťové karty, který vhodně upravuje napěťové úrovně na komunikační lince a lze s tímto modulem pohodlně komunikovat prostřednictvím sběrnice SPI.

Zařízení bude s uživatelem komunikovat prostřednictvím LCD displeje s radičem připojeného k mikropočítači prostřednictvím čtyř bitové komunikační linky. Dále pak pomocí čtyř ovládacích tlačítek a jedné LED diody.

Start měření bude možné provést externím napěťovým signálem, který bude galvanický oddělen pomocí optočlenu.

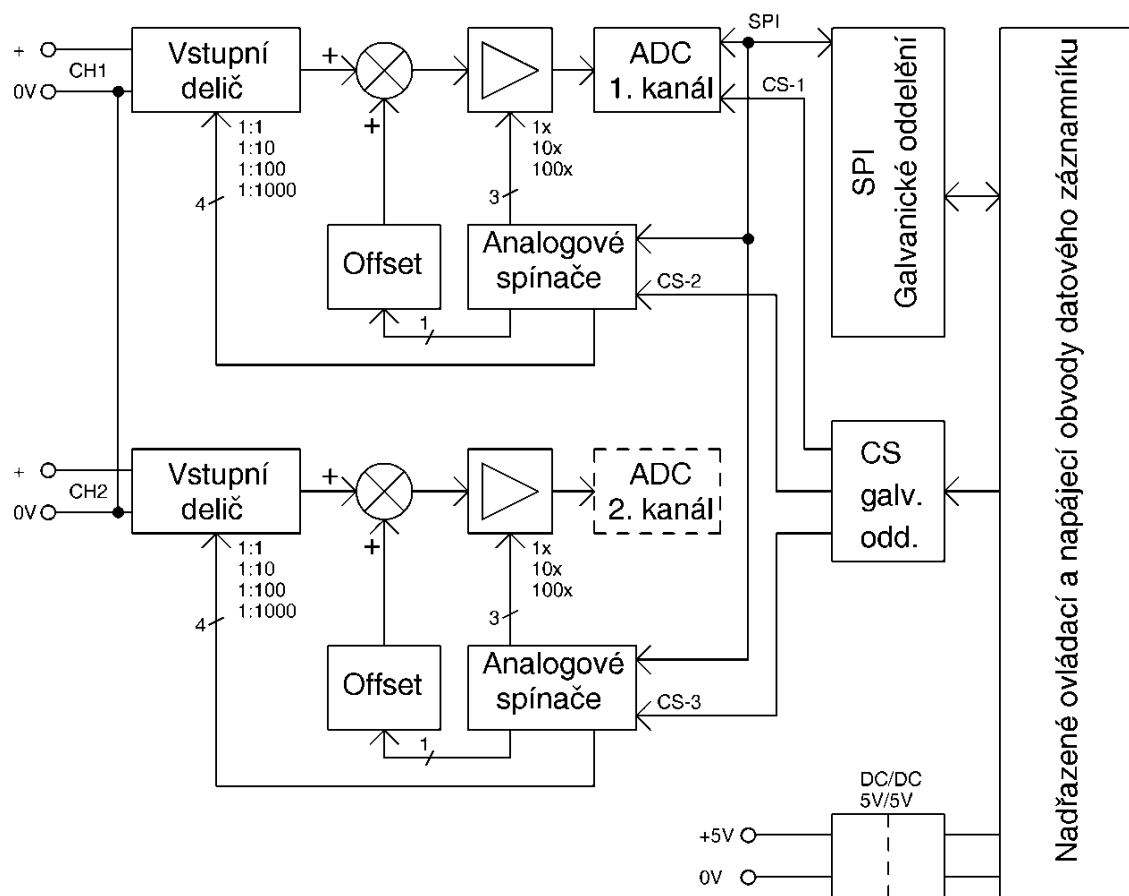
Dále je plánována obousměrná komunikační linka s osobním počítačem. Zde je potřeba galvanický oddělit signály Rx a Tx na sériové lince UART, následně bude použit komerčně dostupný modul převodníku UART na USB, které již lze standardně připojit k počítači. V počítači bude nainstalován program, který monitoruje a zaznamenává komunikaci na dané sériové lince. Nahraná data lze následně uložit na pevný disk počítače a provést zpracování dat v Matlabu popřípadě v Excelu. V budoucnu se předpokládá napsání vlastního programu pro počítač a zprovoznění obousměrné komunikace přes USB se zařízením pro sběr dat.

Vzhledem k postupným optimalizacím obvodových zapojení došlo k úspoře programovatelných pinů mikropočítače. Proto bylo využito čtyř kanálů interního AD převodníku k měření teploty. Pátý kanál AD převodníku byl připojen

k odporovému děliči, který bude připojen k vlastnímu napájecímu napětí zařízení pro sběr dat. To znamená, že řídicí procesor si bude umět sám hlídat svoje napájecí napětí a v případě jeho poklesu rychle a správně ukončí ukládání dat tak, aby nedošlo k jejich ztrátě.

Na závěr je v blokovém schématu zmíněn napájecí zdroj +5V, který by měl být schopen splnit požadavky, které byly stanoveny na napájení zařízení pro sběr dat.

4.1.2 Blokové schéma měřicího modulu



Obrázek 3 Blokové schéma měřicího modulu

Nyní se práce bude věnovat popisu blokového schématu jednoho měřicího modulu. Zařízení pro sběr dat obsahuje celkem tři tyto moduly. Měřicí modul je vybaven dvěma analogovými vstupy, jejichž obvodové země jsou navzájem galvanicky propojeny. Tento kompromis byl zvolen z důvodu vysoké ceny obvodů pro následné galvanické oddělení komunikační sběrnice SPI, a napájení měřicího modulu. V mnoha případech tato konfigurace zcela vyhovuje požadavkům v praxi.

Za vstupními svorkami je zapojen odporový dělič napětí, který v požadovaném poměru pomocí analogových spínačů vhodně upraví vstupní napětí pro další zpracování. Vstupní dělič musí být vhodně napěťově dimenzován, neboť je požadavek měřit napětí až do 1 kV.

Aby bylo možné měřit střídavé vstupní napěťové signály, bude zde zařazen vypínatelný stejnosměrný offset. To znamená, že při zapnutí stejnosměrného offsetu bude nulové vstupní napětí na výstupu tohoto bloku reprezentováno napětím, které je rovno polovině napětí referenčního.

Následně je signál přiveden do analogového zesilovače, který má skokově nastavitelné zesílení. Velikost požadovaného zesílení je nastavována pomocí tří analogových spínačů.

Zcela analogicky pracuje až do tohoto bodu i druhý kanál v daném měřicím modulu.

Analogové signály jsou posléze připojeny na vstupy dvoukanalového analogově digitálního převodníku. Z blokového schématu je zřejmé, že komunikace se dvěma moduly analogových spínačů a AD převodníkem probíhá prostřednictvím komunikační sběrnice SPI. Tento typ komunikačního protokolu vyžaduje samostatné adresování každého dílčího obvodu, se kterým má být po dané sběrnici komunikováno, proto jsou ve schématu naznačeny tři tyto ovládací signály CS.

Nyní jsou signály ze vstupních svorek vhodně napěťově upraveny a převedeny do digitální podoby a odeslány na datovou sběrnici SPI. Je zřejmé, že galvanicky oddělit digitální signály je mnohem snadnější, než galvanicky oddělovat signály analogové. Na trhu jsou běžně dostupné oddělovací obvody pro různé komunikační sběrnice a to včetně obvodů pro galvanické oddělení sběrnice SPI. Zde je potřeba zajistit, aby oddělovací obvod byl dostatečně rychlý a dokázal přenášet požadovaný datový tok mezi měřicím modulem a nadřazenými řídicími obvody. Galvanické oddělení je potřeba zajistit také pro signály CS sloužící pro výběr obvodu, zde je vhodné použít optočleny s logickým výstupem.

Měřicí modul jako celek musí mít také zajištěno napájení, které musí být galvanicky odděleno od ostatních obvodů daného zařízení s požadovanou

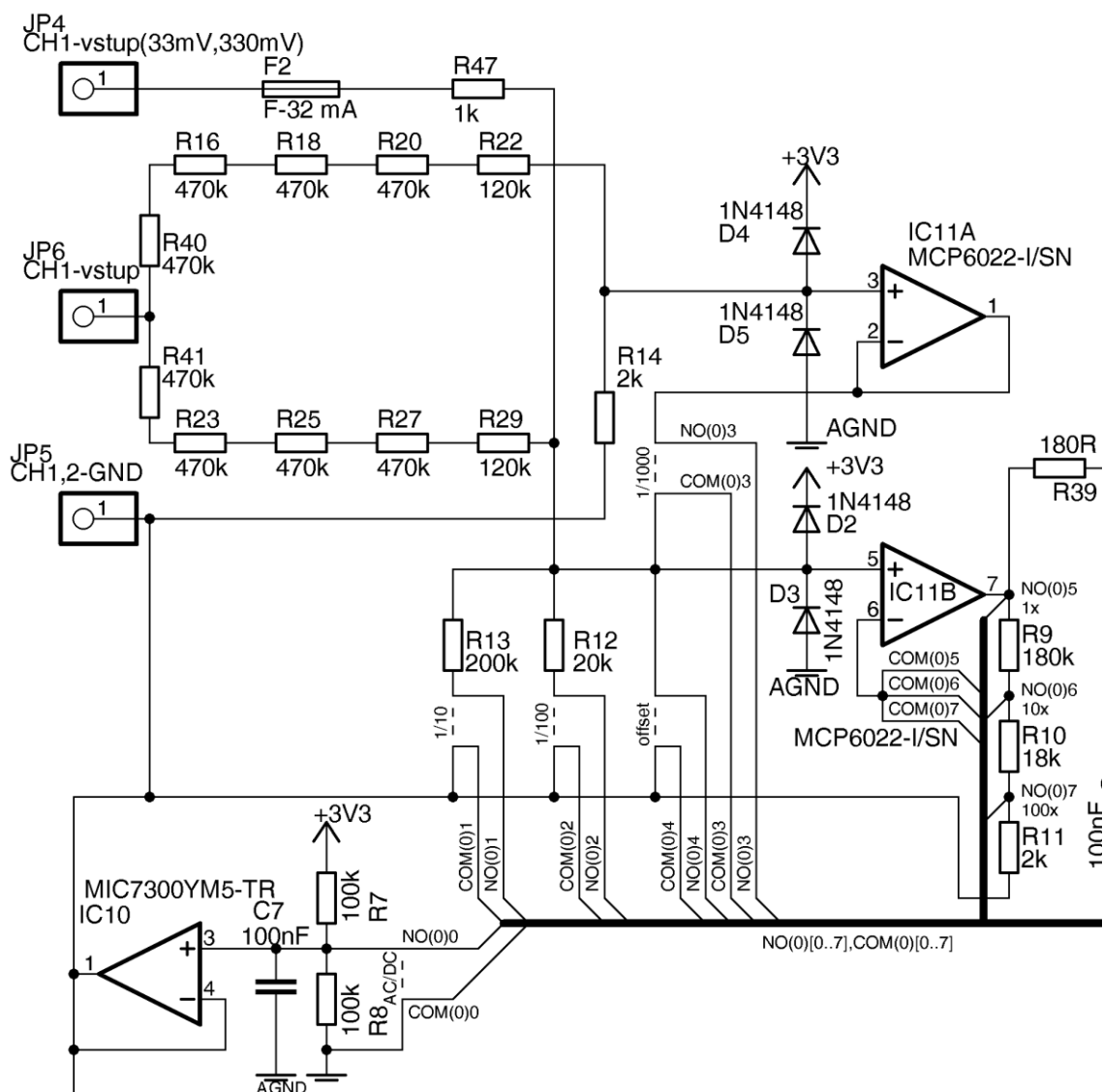
elektrickou pevností. Vzhledem k malé spotřebě měřicího modulu je zde použit izolovaný DC/DC měnič malého výkonu.

4.2 Popis obvodového zapojení

Tato část práce se bude věnovat detailnímu popisu realizovaných obvodových zapojení zařízení pro sběr dat.

4.2.1 Zapojení měřicího modulu

Nejprve bude vysvětlen princip funkce jednoho měřicího modulu. Na obrázku níže je zobrazen detail vstupních analogových obvodů pro jeden kanál daného modulu. Celkové schéma měřicího modulu je uvedeno v příloze.



Obrázek 4 Detail zapojení vstupních analogových obvodů

Měřený napěťový signál je přiveden na vstupní svorky JP6 a JP5. Mezi tyto svorky jsou připojeny dva napěťové děliče.

4.2.1.1 Vstupní dělič

Na horních rezistorech napěťových děličů se může objevit napětí až 1 kV. Standardní používaný rezistor toto přiložené napětí sám o sobě nesnese a dojde dříve nebo později k jeho elektrickému průrazu a zavlčení nebezpečného napětí do měřicích obvodů, což má za následek poškození analogových obvodů. Z tohoto důvodu bylo využito pro konstrukci horního rezistoru pět dílčích rezistorů, díky kterým dojde ke snížení napěťového namáhání jednotlivých rezistorů na rozumnou úroveň. Zároveň vysoké hodnoty odporů horních rezistorů zajišťují určitou formu pseudogalvanického oddělení. Při praktických zkouškách bylo zjištěno, že takto vysoká hodnota vstupního odporu je zcela nevhodná pro měření na dvou nejnižších napěťových rozsazích 33 mV a 330 mV. Nejhorší případ nastává logicky na rozsahu 33 mV, kdy při zkratování vstupních svorek docházelo po stonásobném zesílení operačním zesilovačem a následném přečtení analogového napětí AD převodníkem o rozlišení 10 bitů ke zcela nesmyslným naměřeným hodnotám v rozkmitu plného měřicího rozsahu AD převodníku. Následně bylo zjištěno, že se snížením vstupního odporu z 2 M Ω na nižší hodnotu dochází ke snižování rozkmitu naměřené hodnoty AD převodníkem. Po vyloučení různých externích rušení bylo konstatováno, že se s nejvyšší pravděpodobností jedná o chybu způsobenou šumovým napětím na rezistorové kombinaci. Pokud by byl dominantní tepelný šum, bylo by šumové napětí přibližně úměrné odmocnině z elektrického odporu rezistorové kombinace. To znamená, že pokud je použit rezistor o elektrickém odporu 1 k Ω , tak by úroveň šumu byla přibližně 45 krát nižší oproti rezistoru o elektrickém odporu 2 M Ω . Takto nízký vstupní odpor pro nejnižší dva rozsahy vytváří na ADC rozptyl měřené hodnoty přibližně 1 LSB, což je dle katalogového listu AD převodníku zcela zanedbatelná chyba měření, neboť se jedná zároveň i o vlastní chybu AD převodníku. Takto nízký vstupní odpor na nejnižším rozsahu však musí být rozumně ošetřen proti připojení vyššího napětí. Nejjednodušší možností je nadimenzovat tento rezistor na rozumný ztrátový výkon, který v kombinaci s předřazenou pojistkou s malým jmenovitým proudem a antiparalelně zapojenými ochrannými diodami dokáže ochránit měřicí modul před nežádoucím přepětím.

4.2.1.2 Řízení vstupního děliče

Střed dolního napěťového děliče je připojen na neinvertující vstup operačního zesilovače IC11B. Spodní rezistor daného napěťového děliče lze přepínat pomocí analogových spínačů. Pokud nebude připnut žádný spodní rezistor, je napětí ze vstupní svorky přivedeno přímo přes vysokou impedanci

do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače IC11B. Pokud bude připnut rezistor R13, bude vstupní napětí 10x zmenšeno. Pokud bude připnut rezistor R12, bude vstupní napětí zmenšeno 100x. Dioda D2 a D3 slouží k limitaci vstupního napětí do neinvertujícího vstupu obvodu IC11B.

4.2.1.3 Vstupní dělič nejvyššího napětového rozsahu

U horního napětového děliče je vstupní napětí sníženo 1000x. Aby toto snížení bylo zajištěno, musí být hodnota spodního rezistoru R14 relativně nízká, v tomto případě je 2k Ω . Pokud by byl tento dělič zapojen ve stejném stylu jako dělič předchozí, došlo by vlivem sériového spojení rezistoru R14 s analogovým spínačem k nezanedbatelné chybě měření. Z tohoto důvodu je nutný samostatný dělič napětí. Střed děliče je připojen na neinvertující vstup operačního zesilovače IC11A, který je zapojen jako sledovač napětí. Výstup napětového sledovače je připojen přes na analogový spínač číslo 3 do neinvertujícího vstupu IC11B. Při tomto způsobu zapojení je chyba měření minimalizována. Polovodičové diody D4 a D5 zapojené proti napájení slouží k ochraně neinvertujícího vstupu operačního zesilovače IC11A.

4.2.1.4 Volba AC nebo DC měření

Operační zesilovač IC10 je zapojen jako sledovač napětí. Na jeho neinvertující vstup je přivedeno napětí z odporového děliče R7 a R8 vyfiltrované keramickým kondenzátorem C7. Pokud je analogový spínač číslo nula rozepnut, je na výstupu sledovače polovina napájecího napětí, v opačném případě je na jeho výstupu nulové napětí. Tímto výstupním napětím je napětově podepřena minusová vstupní svorka, a je tak umožněno provádět střídavá měření, přičemž při nulovém vstupním napětí bude napětí na analogovém vstupu AD převodníku rovno polovině referenčního napětí.

4.2.1.5 Zesílení vstupního signálu

Operační zesilovač IC11B je zapojen jako neinvertující zesilovač napětí, jehož zesílení lze nastavit ve třech skocích. Pokud je sepnut analogový spínač číslo pět, je neinvertující zesilovač ponížen na sledovač napětí a jeho zesílení je rovno jedné. Pokud bude sepnut analogový spínač číslo šest, bude již operační zesilovač pracovat jako neninvertující zesilovač. Jeho zesílení je rovno 10. Pokud bude sepnut analogový spínač číslo sedm, bude zesílení neinvertujícího zesilovače rovno 100.

4.2.1.6 Kalibrace offsetu operačního zesilovače

Vzhledem ke skutečnosti, že každý operační zesilovač vnáší do měření ve vyšší či nižší míře chybu ve formě jeho stejnosměrného offsetu je potřeba ji

před měřením kompenzovat. Kompenzace se provádí sepnutím analogového spínače číslo tři, tím dojde k připojení neinvertujícího vstupu operačního zesilovače IC11B k zemi svorce JP5 a na výstupu operačního zesilovače bude napětí odpovídající stejnosměrnému offsetu operačního zesilovače. Toto výstupní napětí je následně změřeno pomocí AD převodníku, přečteno mikroprocesorem a uloženo na SD kartu. Při následném zpracování dat v počítači se musí od naměřené hodnoty vždy odečíst tento stejnosměrný offset. V opačném případě by měření nebylo korektní.

Popis zapojení analogové části druhého měřicího kanálu tohoto modulu nebude již popisován, jelikož pracuje zcela analogicky. Nyní budou popisovány další části obvodového zapojení měřicího modulu, které však již nejsou uvedeny v zobrazeném detailu zapojení výše, ale v příloze.

4.2.1.7 AD převodník

Výstupní napětí ze zesilovače IC11B je přivedeno na dolní propust prvního řádu tvořenou rezistorem R39 a kondenzátorem C28 s časovou konstantou 10 μ s. Za dolní propustí již následuje dvoukanálový analogově digitální převodník.

Výstupní napětí z obou kanálů je pomocí AD převodníku MCP3002D převedeno do digitální podoby. Napájecí napětí převodníku je zároveň napětím referenčním, a proto je filtrováno LC dolní propustí L1, C17, C8, C18. Analogová a digitální zem může být spojena přímo, ale v případě rušení je lze spojit před impedancí R37. AD převodník je ovládán prostřednictvím komunikační sběrnice SPI a signálem CS0 pro výběr daného obvodu [14].

4.2.1.8 Obvody analogových spínačů

Obvody IC5 a IC8 jsou analogové spínače MAX395 od firmy MAXIM. Každý obvod obsahuje celkem osm těchto spínačů, jimiž je řízen vstupní napěťový dělič, stejnosměrný offset, zesílení neinvertujícího zesilovače a kalibrace stejnosměrného offsetu operačních zesilovačů. Integrovaný RC článek, jehož výstup je připojen na resetovací pin integrovaného obvodu slouží k hardwarovému rozpojení všech spínačů v okamžiku zapnutí zařízení, kdy ještě nejsou softwarově ošetřeny, aby nemohly vznikat hazardní stavy v analogových obvodech. Keramický kondenzátor připojený paralelně k napájení integrovaného obvodu slouží k blokování napájení. Obvody analogových spínačů jsou řízeny prostřednictvím komunikační sběrnice SPI a výběrových signálů CS1 a CS2 [13].

4.2.1.9 Přesná napěťová reference

Referenční napětí pro analogovou část je vytvořeno pomocí obvodu IC6. Vstupní napájení je blokováno kondenzátory C26, C13, C19. Výstupní napětí je blokováno kondenzátorem C14. Povolovací pin SHDN musí být zapojen do logické jedničky. [16].

4.2.1.10 Napájení analogových obvodů

Napájení operačních zesilovačů IC10, IC 11 a IC12 je řádně filtrováno dílčími LC dolními propustmi. Bez patřičného odrušení analogových obvodu by docházelo k zavlečení rušivých signálů od digitálních obvodů, které jsou napájeny ze stejné napěťové reference.

4.2.1.11 Galvanické oddělení SPI a odrušení

Galvanické oddělení komunikace po sběrnici SPI je řešeno pomocí obvodu MAX14935, který je ve schématu označen jako IC3 a je obecně používán ke galvanickému oddělení různých typů komunikačních sběrnic. Tento obvod disponuje čtyřmi kanály, přičemž tři je možné nastavit jako vstupní a jeden jako výstupní a díky obvodové symetrii to lze provést i naopak. Ze strany měřicího modulu jsou do integrovaného obvodu IC3 připojeny všechny tři vodiče potřebné pro SPI komunikaci. Jako vstup je připojen signál DOUT a jako výstupy jsou připojeny signály DIN a SCLK. Na výstupu tohoto obvodu jsou již galvanicky oddělené digitální signály, které jsou přivedeny k řídicím obvodům. Napájení primární a sekundární strany oddělovače bylo původně blokováno keramickými kondenzátory C11 a C12. Nicméně v praxi se ukázalo, že je vhodné na straně analogových obvodů napájet tento obvod přes LC filtr, jehož tlumivka je společná i pro optočleny IC2 a IC9. Před použitím tohoto filtru docházelo k vyšší úrovni rušení v napájení modulu a posléze analogových vstupních obvodech. Pro požadovanou funkci obvodu je potřeba připojit povolovací piny do logické jedničky [12].

4.2.1.12 Galvanické oddělení signálů CS

SPI komunikace je již oddělena, nicméně je ještě potřeba adresovat mikroprocesorem obvod, se kterým se má v daný časový okamžik komunikovat. Adresace obvodu je zajištěna pomocí IC2 a IC9, jedná se optočleny s logickým výstupem. Na straně řídicích obvodů je umístěna LED dioda s předřazeným rezistorem a výstup optočlenu je řešen pomocí tranzistoru s otevřeným kolektorem. Z tohoto důvodu je potřeba výstupy optočlenů připojit přes zdvihací rezistory k +3,3 V a následně připojit na adresovací piny CS jednotlivých integrovaných obvodů. Napájení optočlenů je blokováno keramickými

kondenzátory C9 a C10 s předřazenou tlumivkou o malé indukčnosti, o které bylo psáno v předchozím odstavci [20].

4.2.1.13 Galvanicky oddělený DC/DC měnič

Celý měřicí modul je napájen pomocí oddělovacího DC/DC měniče malého výkonu IC6 s dostatečnou elektrickou pevností. Zapojení obvodu je řešeno dle doporučení výrobce. Na vstupu je osazen odrušovací LC filtr L6, C5, C16. Výstup byl standardně blokován kondenzátory C6 a C15, což se ukázalo jako nedostatečné, neboť docházelo k vyššímu rušení v napájení a následně citlivých analogových obvodech. Proto se za výše zmíněné kondenzátory zařadil navíc LC filtr, tím byl vytvořen na výstupu měniče C-L-C filtr ve formě π článku. Po této úpravě se zvlnění napájecího napětí rapidně snížilo a opět se zvýšila přesnost měření analogových napětí na malých rozsazích. Mezi vstupem a výstupem je doporučeno zapojit kondenzátor C29 s požadovanou elektrickou pevností, který slouží k omezení rušení stejnosměrného měniče. Na přívodu napájení do modulu je antiparalelně zapojená polovodičová dioda D1, která slouží jako ochrana proti případnému prepólování měřicího modulu [18].

4.2.2 Zapojení řídicích obvodů

Řídicí obvody zajišťují komunikaci s jednotlivými galvanicky oddělenými měřicími moduly, ukládání naměřených dat a v neposlední řadě komunikaci s dalšími podpůrnými obvody daného zařízení pro sběr dat. Schéma zapojení řídicích obvodů je uvedeno v příloze.

4.2.2.1 Mikroprocesor

Celý datový záznamník je řízen prostřednictvím mikropočítače firmy Atmel, konkrétně se jedná o typ ATmega 1284P. Jak již bylo zmíněno při popisu blokového schématu, tak tento obvod byl vybrán na základě svých vhodných katalogových parametrů a funkcí. Stručný přehled jeho funkcí a vlastností je uveden v následující tabulce.

Programování procesoru může být provedeno přes svorku JP15 pomocí USBASP programátoru. Hodinový kmitočet mikroprocesoru je taktován krystalem 16 MHz, který je ve schématu označen jako Q2. Resetovací pin procesoru je přes R2 připojen na kladné napájecí napětí. V případě poruchy běhu programu lze pomocí tlačítka S5 provést hardwarový reset mikropočítače.

Tabulka 3 Základní parametry zvoleného mikropočítače Atmel ATmega 1284P

Architektura a paměti:
Osmibitový mikropočítač
Maximální taktovací kmitočet je 20 Mhz
Architektura typu RISC
Interní programová paměť je 128 kB
Paměť EEPROM je 4 kB
Interní paměť SRAM je 16 kB
Vestavěné periferie:
2x časovač/čítač 8 bitový
2x časovač/čítač 16 bitový
6x PWM
8x AD převodník 10 bitový
2x sběrnice UART
1x sběrnice SPI
1x sběrnice TWI
programovatelný wathdog
analogový komparátor
podpora přerušení (interní/externí)
Pouzdro:
32 programovatelných vstupů/výstupů
Pouzdro: PDIP(40), TQFP(44), QFN/MLF(44)

4.2.2.2 Hodiny reálného času

Hodiny reálného času (RTC) jsou řešeny pomocí integrovaného obvodu DS1305, který je ve schématu označen jako IC2. RTC obvod je taktován pomocí krystalu Q1, jehož kmitočet je 32,768 kHz. Primární napájení tohoto obvodu je blokováno keramickým kondenzátorem C9. Aby nedošlo ke ztrátě informace o aktuálním času a datu, je obvod vybaven sekundárním napájením, které je řešeno pomocí lithiové baterie CR2032, která je ve schématu označena jako G1. Obvod komunikuje s nadřazeným mikroprocesorem prostřednictvím komunikačního protokolu SPI. Do paměti obvodu lze uložit až 96 Bytů dat, která budou zálohována i po výpadku primárního napájení prostřednictvím lithiové baterie [10].

4.2.2.3 Externí spouštění záznamu

V současné verzi není tato problematika řešena. Ale v případě potřeby lze snadno vyrobit modul, který by se implementoval do již hotové konstrukce. Zhotovený modul by obsahoval optočlen, který by zajišťoval galvanické oddělení externího spouštěcího signálu. Fototranzistor optočlenu by byl následně připojen paralelně k ovládacímu tlačítku, které slouží mimo jiné i k odstartování záznamu

dat. Pro vyšší spolehlivost by mohlo být pro dané tlačítko povolené přerušení v mikroprocesoru [21].

4.2.2.4 Obsluha zařízení

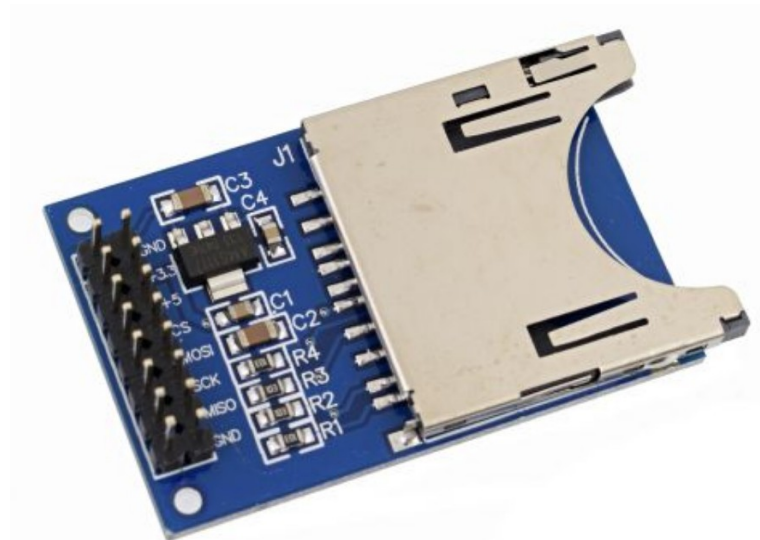
Zařízení je nastavováno prostřednictvím tlačítek S1 až S4 zapojené ze vstupního pinu mikroprocesoru proti zemi. Zdvihačí rezistory do kladného napájení pro jednotlivá tlačítka jsou integrovány v řídicím mikropočítači.

Nastavované parametry jsou zobrazovány prostřednictvím modulu LCD displeje. Komunikace s LCD probíhá po čtyřbitové komunikační lince. Kontrast LCD displeje je nastavován napětovou úrovní na daném pinu LCD za pomoci napětového děliče. Zde je potřeba zmínit, že kontrast použitého LCD displeje se může samočinně měnit v závislosti na okolní teplotě a bylo by vhodné se tímto problémem v budoucnu zabývat. Podsvícení LCD displeje odebírá poměrně značný proud, to může být problém při bateriovém napájení. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zapínat a vypínat podsvícení LCD alespoň prostřednictvím vypínače umístěného na čelním panelu zařízení. V budoucnu by bylo možné zapínat podsvícení softwarově na základě uživatelské interakce se zařízením. Dále je osazena LED dioda LED1, která může být využita například k signalizaci aktuálního ukládání dat na SD kartu [11].

4.2.2.5 Modul SD karty

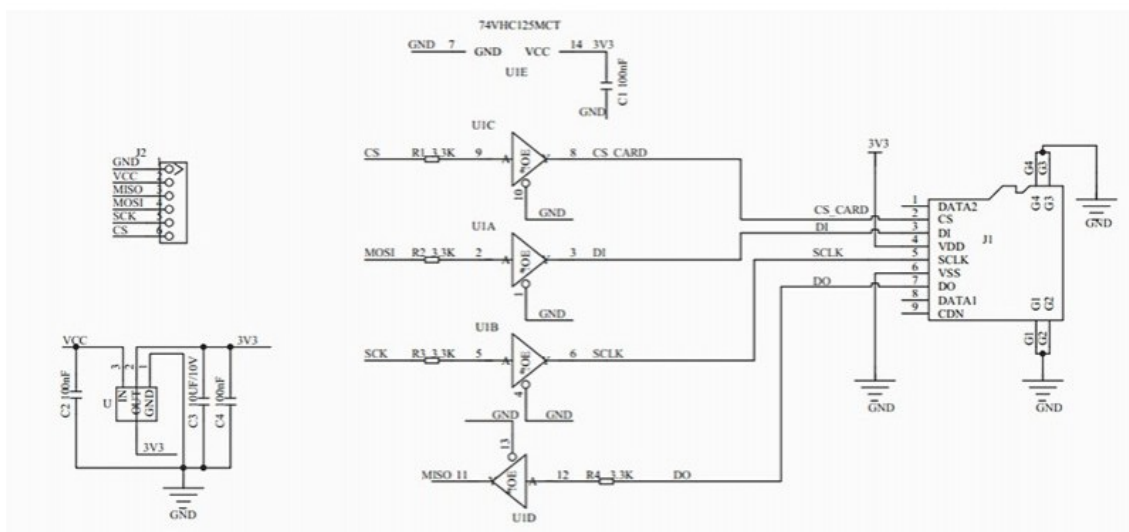
Naměřená data jsou ukládána na SD paměťovou kartu. Přímě připojení karty do zařízení by bylo obvodově složité. Proto bylo využito externího modulu, do kterého je paměťová karta připojena. Tento modul komunikuje s mikropočítačem prostřednictvím komunikační sběrnice SPI.

Nicméně bylo zjištěno, že ne všechny moduly SD karet jsou vhodné pro použití v této konstrukci, neboť SD karta vyžaduje stejnosměrné napájení 3,3 V, o které se v drtivé většině stará stabilizátor napětí integrovaný na plošném spoji modulu SD karty. Důsledkem požadavku na toto napájecí napětí je vyžadována komunikace po SPI lince v napětových úrovních 3,3 V. Zde nastal konflikt, neboť z hlediska vysokého výpočetního výkonu mikropočítače musí být napájen 5 V a SPI linka tedy funguje v 5 V logice. Přestože prodejce modulu SD karty uvedené v [7] uváděl, že je modul vhodný pro obě napětové úrovně, tak jeho tvrzení bylo mylné. V tomto modulu pouze bylo řešeno snížené napájecí napětí pro SD kartu, ale komunikační sběrnice SPI nebyla osazena vhodným převodníkem napětových úrovní, který by umožňoval korektní propojení obvodů na SPI lince z rozdílnými napětovými úrovněmi [7].



Obrázek 5 Modul čtečky SD karty s SPI sběrnici [7]

Modul SD karty, který vyhovuje požadavkům této konstrukce, obsahuje kromě napěťového stabilizátoru, také převodník napěťových úrovní pro komunikační linku SPI, který je zapojen s obvodem SN74LVC125A. Jedná o čtyřnásobný tři stavový buffer, který je napájen stejnosměrným napětím 3,3 V a na svých vstupech akceptuje 5 V logické úrovně a samočinně je převádí na logické úrovně 3,3 V. Jedinou podmínkou pro jeho činnost je, že povolovací vstupy dílčích bufferů musí být v logické nule. Jediný signál, u kterého není provedena korekce napěťové úrovně, je signál MISO, pomocí kterého modul SD karty vysílá data do mikropočítače, nicméně 5 V SPI sběrnice mikropočítače v tomto případě akceptuje danou napěťovou úroveň, neboť je kompatibilní se stanovenými mezemi napětí pro logické úrovně v 5 V logice [23].



Obrázek 6 Obvodové zapojení použitého modulu SD karty [23]

Dále je potřeba zmínit, že SD karta jako taková má při zápisu velké špičkové odběry z napájecího zdroje, které přesahují 100 mA. Z hlediska koncepce celého zařízení lze konstatovat, že proudový odběr SD karty představuje majoritní odběr, který při dimenzování celkového výkonu napájecího zdroje nelze zanedbat.

4.2.2.6 Komunikace s PC

Zařízení pro sběr dat komunikuje s počítačem obousměrně. Z mikroprocesoru jsou vyvedeny signály Rx a Tx sběrnice UART. Tyto signály jsou galvanicky odděleny optočleny OK1 a OK2. Optočleny obsahují na svém výstupu hradlo, díky kterému je výstupní signál kompatibilní s TTL logikou. Následně je použit komerčně dostupný modul převodníku UART na USB a pak lze již vysílaná data pohodlně zpracovávat prostřednictvím počítačových programů[20],[8].



Obrázek 7 Modul převodníku UART na USB [8]

4.2.2.7 Měření teploty

Zařízení disponuje obvody, které umožňují až čtyřkanálové měření teploty. Vzhledem k tomu, že může nastat situace, kdy bude teplota měřena například v zarušeném prostoru výkonového měniče, byly zvoleny analogové snímače teploty TMP36. Výrobce teplotního snímače doporučuje provádět blokování napájení pomocí kondenzátorů co nejbližší u snímače. Výstupní napětí ze snímače reprezentující teplotu je vyfiltrováno RC dolní propustí druhého řádu s mezním kmitočtem 1,591 kHz. Výstup každého snímače teploty je ošetřen dvojicí

antiparalelně zapojených diod proti napájení. Výstup snímače nelze připojit na vstup AD převodníku přímo, protože by malý vstupní odpor AD převodníku neúměrně zatěžoval výstup snímače teploty. Tento problém byl vyřešen přidáním čtyřnásobného operačního zesilovače TLC274CN zapojeného jako sledovač napětí, který má velký vstupní odpor a malý výstupní odpor. Tím je dosaženo impedanční přizpůsobení teplotního čidla ke vstupu AD převodníku integrovaného v mikropočítači [19], [22].

4.2.2.8 Měření napájecího napětí

Napěťový dělič složený s rezistorů R21 a R22 slouží k měření vlastního napájecího napětí zařízení pro sběr dat. Polovodičové diody D10 a D11 slouží k ochraně vstupního pinu AD převodníku.

4.2.2.9 Napájení

Napájení řídicí desky je připojeno na svorkovnici JP23. Polovodičová dioda D9 v kombinaci s předřazeným jištěním zajišťuje ochranu proti nechtěnému přepólování napájecího napětí a následnému poškození elektronických obvodů. Následně je napájecí napětí blokováno větší kapacitou a přivedeno na sadu svorkovnic určených pro rozvod napájecího napětí pro podružná periferní zařízení a neposlední řadě i pro rozvod napájení po desce plošných spojů řídicích obvodů.

4.2.3 Zapojení převodníku MISO signálu

Při oživování dílčích obvodů a zapojení komunikujících po SPI sběrnici docházelo k evidentním chybám při přenosu dat na této sběrnici a to pouze za situace, kdy bylo k datové sběrnici připojeno více obvodů.

4.2.3.1 Popis problematiky

Bližším zkoumáním bylo zjištěno, dochází ke konfliktům na MISO signálu. Standardně se zařízení připojená jako slave na této sběrnici chovají tak, že pokud nejsou signálem CS vybrána mají svůj MISO výstup ve stavu vysoké impedance a umožňují tak nerušenou komunikaci právě jednoho vybraného zařízení pomocí signálu CS. Bohužel modul SD karty díky převodníku napěťových úrovní vnucuje trvale na MISO vodič svoji logickou úroveň a neumí pouze naslouchat ve stavu vysoké impedance, když není vybrán. Zcela identický problém vzniká při připojení modulu vstupních analogových obvodů, který díky vestavěnému oddělovači SPI sběrnice disponujícího logickým výstupem na straně řídicích obvodů, také tvrdě vnucuje svoji logickou úroveň MISO signálu na SPI sběrnici.

4.2.3.2 Tři stavový buffer

Schéma navrženého modulu převodníku MISO signálu je uvedeno v příloze a v následujícím odstavci bude stručně popsána jeho funkce. Jak již bylo řečeno výše je potřeba přivést obvody na MISO lince, se kterými není aktuálně komunikováno do stavu vysoké impedance a obvodu, se kterým je pracováno umožnit vysílat data na MISO linku. K tomuto účelu lze s výhodou použít čtyřnásobný tři stavový buffer SN74AHCT125N. Na vstupy dílčích bufferů jsou připojeny MISO signály přivedené z problematických periferních slave obvodů. Výstupy bufferů jsou sdruženy do jednoho a ten je přiveden na MISO linku SPI sběrnice mikropočítače. Výběr obvodů, který bude připojen k MISO lince mikropočítače je prováděn prostřednictvím povolovacích vstupů jednotlivých bufferů. Pokud je na povolovacím vstupu daného bufferu logická jednička, je jeho výstup ve stavu vysoké impedance. Pokud bude na dílčí povolovací vstup nastavena logická nula, tak dojde k připojení MISO signálu periferního zařízení k mikropočítači a podružný obvod smí do mikropočítače vysílat data.

4.2.3.3 Signál CS

Logický signál pro povolovací vstupy bufferu je ovládán pomocí výběrového signálu CS dílčích obvodů. Modul SD karty lze signálem CS ovládat přímo. Moduly vstupních analogových obvodů však nelze vybírat přímo, přestože jsou vybírány logickou nulou, jelikož dochází na optočlenech galvanického oddělení signálů CS k jeho negování, a proto pro vybrání daného obvodu musí vystavit na daný CS pin logickou jedničku. Z tohoto důvodu jsou všechny tři výběrové signály pro daný modul vstupních analogových obvodů přivedeny na číslicový obvod realizující logickou funkci NOR. Pokud tedy bude vybrán kterýkoliv obvod na daném modulu vstupních obvodů, dojde automaticky k propojení požadovaných MISO linek a konflikt na sběrnici nenastane.

4.2.3.4 Napájení

Napájecí část modulu je řešena standardně. Napájecí napětí je 5 V stejnosměrných. Je zde osazena polovodičová dioda, která s výše předřazenou pojistkou chrání modul proti přepólování. Za diodou je provedeno blokování napájecího napětí pomocí elektrolytického a keramického kondenzátoru. Vzhledem k velké impulzní spotřebě logických obvodů jsou těsně u jednotlivých obvodů umístěny keramické kondenzátory 100 nF a elektrolytické kondenzátory 10 μ F.

4.2.4 Napájecí zdroj

4.2.4.1 Požadavky na napájecí zdroj

Volba topologie napájecího zdroje byla zvolena ohledem na dříve stanovené požadavky na různé typy napájení. Koncepce napájecího zdroje tak musí umožňovat napájení síťovým napětím v elektrifikovaných prostorách. Dále pak musí být schopno napájení z externího zdroje stejnosměrného napětí a v neposlední řadě napájení prostřednictvím USB kabelu, které lze s výhodou použít v místech, kde není dostupná elektrická síť. Z hlediska výkonového dimenzování napájecího zdroje je potřeba, aby modul zdroje poskytoval na svých výstupních svorkách stejnosměrné napětí o hodnotě +5 V. Proud potřebný pro napájení obvodů zařízení pro sběr dat byl experimentálně změřen a stanoven na přibližně 300 mA. V následujících řádcích bude stručně popsána funkce navrženého napájecího zdroje, jehož obvodové zapojení je uvedeno v příloze. Přepínání zdrojů napájení je prováděno prostřednictvím přepínačů S1 a S2.

4.2.4.2 Napájení ze sítě

První možnost napájení je použití elektrické sítě. Zde je napájecí zdroj tvořen standardním síťovým transformátorem se sekundárním napětím 9 V a jmenovitým výkonem 6 VA. Svorky primárního vinutí jsou připojeny na dvojpólový síťový vypínač následovaný EURO konektorem do panelu s integrovaným držákem trubičkové pojistky. Výstup sekundárního vinutí transformátoru je jistěn pomalou trubičkovou pojistkou. Následně je odjistěné střídavé napájecí napětí usměrněno pomocí usměrňovacího můstku, který je tvořen čtyřmi polovodičovými diodami 1N4007. Následuje filtrační elektrolytický kondenzátor. Spínač S1 musí mít propojeny kontakty tři a dva, aby bylo napájecí napětí přivedeno na stabilizátor napětí 7805, který sníží stejnosměrné napětí na požadovaných +5 V. Vstupní a výstupní napájecí napětí stabilizátoru je blokováno keramickými kondenzátory 330 nF a 100 nF. Stabilizátor napětí musí být pro svůj vyšší ztrátový výkon doplněn vhodným chladičem, který bude dimenzován později. Pro přivedení napájecího napětí ze stabilizátoru na výstupní svorky modulu zdroje je zřejmé, že musí být přepínač S2 sepnut tak, aby byly propojeny kontakty 3 a 2. Paralelně k výstupním svorkám je zapojen ochranný transil 1N5908, který by měl v kombinaci s předřazenými pojistkami jednotlivých napájecích vstupů zamezit případnému přepětí, které by vzniklo poruchou napájecích obvodů a ochránit tak drahé číslicové a analogové obvody.

4.2.4.3 Externí stejnosměrný napáječ

Druhá možnost napájení je přivedení stejnosměrného napájecího napětí v rozsahu 8 V až 16 V mezi svorky J3-1 a J3-2. Spodní hranice tohoto napětí je limitována minimálním napětovým rozdílem mezi vstupem a výstupem stabilizátoru 7805, který činí přibližně 3 V. Horní hranice je dána rozumnou výkonovou ztrátou na daném napětovém stabilizátoru. Je zřejmé, že tento napájecí vstup je vhodný například pro automobilové olověné akumulátory, které disponují velkou kapacitou a je možné je zálohovat externím nabíječem. Tento napájecí vstup je jištěn rychlou trubičkovou pojistkou a antiparalelně zapojenou polovodičovou diodou. Tato kombinace pojistky a polovodičové diody chrání zařízení pro sběr dat proti přepólování napájecího napětí a také proti případnému zkratu ve vlastních obvodech. Následně je napájecí napětí přivedeno na přepínač S1, který musí být přepnut do požadované polohy a napětí je tak přivedeno na stabilizátor napětí 7805 a zbytek zapojení byl již popsán v předchozím odstavci.

4.2.4.4 Dimenzování chladiče stabilizátoru

Je patrné, že pro návrh chladiče pro stabilizátor napětí bude kritičtější případ, kdy bude použito externího napájení o velikosti až 16 V. Odběr z napájecího zdroje byl stanoven na 300 mA. Při výpočtu chladiče bude uvažována teplota okolí 40 °C, maximální teplota polovodičového čipu 100°C. V katalogovém listu pro jedno ampérový stabilizátor 7805 výrobce uvádí, že tepelný odpor mezi polovodičovým přechodem a pouzdrem součástky je 5 K/W. Stabilizátor napětí bude připevněn přímo na chladič a pro lepší tepelnou vodivost bude použita teplovodivá pasta, díky které bude tepelný odpor mezi pouzdrem součástky a chladičem 0,1 K/W. Po předchozím stanovení požadavků na chladič je již možné provést výpočet požadovaného tepelného odporu chladiče [26].

$$P_{ztr} = (U_{EXT-max} - U_{stab}) \cdot I = (16 - 5) \cdot 0,3 = 3,3 \text{ W}$$

$$R_{\theta H} = \frac{T_{jmax} - T_o}{P_{ztr}} - R_{\theta jc} - R_{\theta CH} = \frac{100 - 40}{3,3} - 5 - 0,1 = 13,08 \text{ K/W}$$

S jistou rezervou byl zvolen chladič SK104-51STC z produkce firmy FISCHER ELEKTRONIK, který disponuje tepelným odporem 9 K/W.

4.2.4.5 Napájení z USB

Poslední z možností, jak toto zařízení napájet, je použití USB kabelu. Z hlediska zapojení je tento napájecí vstup opět opatřen trubičkovou pojistkou a antiparalelně zapojenou polovodičovou diodou, následně je toto napětí přes přepínač S1 přivedeno přímo na výstupní svorky modulu zdroje.

4.3 Návrh desek plošných spojů

Návrh desek plošných spojů je proveden v programu Eagle.

4.3.1 Eagle - knihovny

Tento program disponuje rozsáhlou knihovnou různých elektronických součástek a obvodů, bohužel ne všechny obvody použité v této diplomové práci byly dostupné v této vestavěné knihovně součástek. Existují dvě základní možnosti, jak tento problém vyřešit. Nejjednodušší a nejvíce pohodlné se jeví získat funkční knihovnu z různých internetových stránek, kde jejich autoři umísťují buďto dílčí knihovny k jednotlivým obvodům anebo svoje rozsáhlé knihovny. Uživatel si tuto knihovnu stáhne a přidá si ji do svého projektu. Hlavní problém u tohoto postupu je, že téměř žádný autor nenese zodpovědnost za to, že se v knihovně v extrémních případech vyskytují hrubé chyby, které uživatel v lepším případě odhalí v průběhu návrhu zapojení na počítači a horším případě až při zkoumání, proč mu na vyrobeném prototypu nesedí rozteče součástek nebo má nesmyslně prohozené piny na integrovaném obvodu apod.

Druhá cesta je poněkud obtížnější. Jedná se tvorbu vlastní knihovny svépomocí ve vývojovém prostředí programu Eagle. Ale v případě pečlivosti a vytrvalosti má konstruktér jistotu, že vytvořená knihovna pro daný obvod bude funkční a nemusí se potýkat s problémy, které by vznikly při použití chybné knihovny.

4.3.2 DPS měřicího modulu

Deska plošného spoje měřicího modulu je osazena převážně součástkami pro povrchovou montáž. Návrh desky plošného spoje je koncipován jako oboustranný. Přičemž na horní straně jsou umístěny všechny SMD součástky a většina vodivých cest. Oproti tomu na spodní straně plošného spoje jsou situovány klasické vývodové součástky. Jelikož modul obsahuje velké množství dílčích součástek, bylo přikročeno k použití velkého množství drátových propojek na druhé straně DPS. Drtivá většina těchto drátových propojek je pro zjednodušení při osazování vyleptána do DPS a následně propojena za pomoci prokůvů s horní stranou DPS.

Horní kombinace odporů vstupních děličů musí být vhodně geometricky rozmístěna, neboť je potřeba zajistit řádnou elektrickou izolaci mezi měřicími kanály.

Požadavek galvanického oddělení měřicího modulu přináší při návrhu vlastního plošného spoje jistá specifika. Primární obvody od galvanicky oddělených musí být z geometrického hlediska prostorově odděleny, aby nemohlo dojít k zavlečení rozdílného napětí do dalších obvodu. Obecně je doporučována minimální izolační vzdálenost přibližně 5 mm v případě síťového napětí 230 V. Galvanické oddělení SPI sběrnice má vzdálenost mezi primárními a sekundárními piny přibližně 8 mm, DC měnič 6 mm, optočleny pro výběr obvodu pouze 4 mm. Z důvodu zvýšení elektrické pevnosti DPS mezi vstupem a výstupem těchto optočlenů je pod optočleny strojně vyfrézována drážka, jejíž vzduchová mezera zvýší elektrickou pevnost DPS v tomto místě.

Vzhledem ke skutečnosti, že na daném plošném spoji dochází k použití citlivých analogových obvodů společně s rychlými digitálními obvody navíc napájenými ze stejného referenčního napětí, musí být při návrhu plošného spoje této skutečnosti věnována náležitá pozornost. V žádném případě nesmí vzniknout situace, kdyby se sekce analogových obvodů na desce volně prolínaly s digitálními obvody. Z tohoto důvodu má navržená DPS protáhlý obdélníkový tvar, přičemž ve směru zleva doprava jsou umístěny vstupní děliče, analogové obvody s operačními zesilovači, analogové digitální obvody následované čistě digitálními obvody a stejnosměrným izolujícím měničem. Další pravidlo, které je potřeba dodržet se týká striktního oddělení analogových a digitálních zemí. Všechny země by měly být ideálně navrhnuté co nejkratší v hvězdicové topologii a spojeny v jednom bodě, aby se eliminovaly zemní smyčky a snížila se indukčnost zemních cest na DPS na minimum. Obdobně to platí i pro referenční napětí 3,3 V, ze kterého jsou napájeny všechny analogové i digitální obvody v opačném případě by docházelo ke změně referenčního napětí pro AD převodník a pro stejnosměrný offset používaný při střídavých měřeních. Dále je vhodné na zbylou plochu DPS rozlít polygon, který se následně spojí se zemí v jednom bodě u měniče. Při vytváření polygonu je potřeba respektovat izolační mezeru u obvodů pro galvanické oddělení, dále je zcela nevhodné z izolačního hlediska rozlévat polygon v oblasti horního odporu vstupního děliče. Na straně SMD součástek nezbylo pro polygon mnoho místa, proto bylo přikročeno k řešení, že se po obvodu DPS vytvořila silná vodivá cesta, která byla zvláště pro primární a sekundární obvody. Tyto vodivé cesty se na mnoha místech za pomoci prokův propojili s plošnými polygony na druhé straně DPS. Toto opatření by mělo snížit zarušení citlivých obvodů vnějšími zdroji rušení a zároveň omezit vyzařování rušení vlastního měřicího modulu do okolí.

4.3.3 DPS řídicích obvodů

Deska plošného spoje řídicích obvodů je konstruována převážně z vývodových součástek a několika součástek pro povrchovou montáž. Tento plošný spoj je navržen jako jednostranný a ve volných prostorách DPS je pro snížení vyzařovaného rušení digitálních obvodů použit polygon, který je připojený na zemní potenciál GND. Na daném plošném spoji opět dochází ke kombinaci analogových a digitálních obvodů. Analogovými obvody se zde rozumí použití AD převodníku mikropočítače pro měření teploty a vlastního napájecího napětí. Zde již však oproti desce analogových obvodů nejsou kladeny tak přísné nároky na minimalizaci rušení od digitálních obvodů, ale i přesto je vhodné dodržovat základní pravidla pro návrh desky plošného spoje stanovené v odstavci výše věnujícímu se návrhu plošného spoje analogových obvodů.

4.3.4 DPS převodníku MISO signálu

Jedná se o menší jednostranný plošný spoj osazený výhradně vývodovými součástkami. Pro integrované obvody tvořící logické funkce jsou použity precizní patice DIL14. Na volných částech DPS je opět rozlity polygon připojený na zemní potenciál.

4.3.5 DPS napájecího zdroje

Tento plošný spoj je proveden jako jednostranný osazený pouze vývodovými součástkami. Při návrhu tohoto plošného spoje musí být věnována patřičná pozornost vhodnému rozmístění součástek a izolačním vzdálenostem mezi nimi s ohledem na přítomnost nebezpečného nízkého napětí. Dalším úskalím je vhodné umístění chladiče, jehož teplota může být vysoká. Je zcela nevhodné umísťovat do blízkosti horkého chladiče filtrační elektrolytické kondenzátory, které by díky vysokému teplotnímu namáhání podléhaly rychlému stárnutí.

4.4 Výroba desek plošných spojů

Pro výrobu desek plošných spojů existuje celá řada postupů. Nejjednodušší způsob je kreslit motivy DPS ručně za pomoci nálevkového pera nebo pomocí lihové fixy. Výsledek však v mnoha případech není uspokojivý a při použití SMD součástek se jedná o nereálný úkol. V současnosti se však mezi nejlepší výrobní postupy řadí použití takzvané fotocesty.

Jelikož byly všechny plošné spoje vyráběny v domácích podmínkách a autor práce se nikdy prakticky nesetkal s výrobou plošných spojů fotocestou, nezbyvalo nic jiného, než nastudovat problematiku a pustit se do výroby pokusných DPS.

Předloha plošného spoje navržená v programu EAGLE musí být vytištěna na fólii pomocí laserové tiskárny. Je důležité nastavit tisk ve skutečné velikosti, aby byly zachovány požadované rozměry DPS. Sytost toneru je potřeba nastavit na maximální hodnotu, aby se minimalizovala průhlednost potištěných míst fólie. Předloha musí být vytištěna zrcadlově, aby tonerem ležela při osvitu přímo na DPS.

Následně musí výrobce DPS disponovat osvitovou jednotkou, která poskytuje UV záření, prostřednictvím kterého je přes krycí sklo a vytištěnou předlohu nasvícen plošný spoj. Tloušťka krycího skla je kritická, neboť pohlcuje UV záření. Vhodná tloušťka krycího skla byla stanovena na 2 mm. Jako zdroj UV záření byla zvolena 200 W halogenová žárovka umístěná v halogenovém svítidle. Zdroj UV záření by se měl v ideálním případě chovat jako bodový zdroj světla, proto je vhodné, aby vzdálenost mezi plošným spojem a svítidlem byla přibližně 35 cm. Doba osvitu je kritická. Pokud je doba osvitu krátká, tak nám nepůjde v dalším kroku motiv vyvolat a pokud bude nepřiměřeně dlouhá, tak se motiv z DPS po ponoření do vývojky okamžitě smyje. Pomocí proužkového testu tedy byla stanovena optimální doba osvitu na přibližně 24 minut.

V dalším kroku je potřeba si do fotografické misky připravit vývojku. Zde bude potřeba 300 ml vody a jedna čajová lžička hydroxidu sodného, který se v domácnostech používá k čištění odpadů. Po rozpuštění granulátu hydroxidu sodného opatrně vložíme plošný spoj do vývojky a jemně s ním pohybuje. Doba vyvolání by měla být přibližně dvě minuty. Poté je potřeba plošný spoj umýt vodou, aby byly odstraněny zbytky naleptaného fotocitlivého laku, v opačném případě plošný spoj nepůjde vyleptat.

Následujícím krokem je suchý plošný spoj vyleptat za pomoci chloridu železitého. Plošný spoj musí ležet na hladině motivem směrem ke dnu a nesmí pod ním zůstat vzduchová bublina. Doba leptání je úměrná teplotě a vyčerpanosti leptací lázně a pohybuje do 30 minut.

Poslední krok je vyvrtat montážní otvory pro součástky, provést finální mechanické opracování, odmastit, přegumovat tvrdou gumou a následně nalakovat ochranným lakem z kalafuny rozpuštěné v acetonu.

Při určité praxi a pečlivosti lze tímto způsobem vyrábět jednostranné i oboustranné plošné spoje, které svým vzhledem a kvalitou konkurují profesionálně vyráběným plošným spojům.

4.5 Oživení jednotlivých obvodů

Po pečlivém osazení desek plošných spojů jednotlivými součástkami s výjimkou drahých integrovaných obvodů bylo provedeno postupné oživení dílčích obvodů daného modulu. Modul byl připojen vždy na stejnosměrný napájecí zdroj +5 V s přiměřeně nastaveným proudovým omezením. Pokud byl proudový odběr modulu v rozumných mezích, bylo přikročeno k proměřování jednotlivých pinů a plošek na plošném spoji, které slouží k napájení integrovaných obvodů, byla prověřována velikost napájecího napětí a zároveň jeho správná polarita. Postupně byly osazovány dílčí obvody a byla zkoumána jejich funkčnost. Pokud vše bylo v pořádku, byly ručně (bez mikropočítače) vystavovány základní řídicí signály pro otestování navržené koncepce daného modulu.

Problémy, které vznikaly při ožiování celého zařízení, již byly popsány a řešeny výše v podkapitole zabývající se popisem obvodového zapojení a návrhem desek plošných spojů. Jednalo se především o problém s odrušením citlivých analogových obvodů v modulu vstupních obvodů a konfliktu MISO signálu na komunikační sběrnici SPI.

Dalším krokem při ožiování bylo softwarové oživení mikropočítače a postupné navázání komunikace s podružnými obvody.

4.6 Řídicí software

4.6.1 Programovací vybavení

Pro návrh programu a následný zápis programu do mikroprocesoru bylo použito několik počítačových programů. Konkrétně se jednalo o CodeVisionAVR, eXtreme Burner – AVR a případně o volně šiřitelný překladač jazyka C. Dále je potřeba vlastnit vhodný typ programátoru.

4.6.1.1 CodeVisionAVR

Počítačový program CodeVisionAVR je velmi uživatelsky příjemný program pro softwarové vývojáře. Jeho integrované knihovny disponují širokou škálou různých mikroprocesorů od firmy Atmel, dále nabízí použití již předem naprogramovaných funkcí pro základní podružné obvody. Z uživatelského hlediska je velice příjemný průvodce, který provede uživatele jednotlivými kroky, ve kterých postupně nastaví požadované funkce programovaného mikroprocesoru.

Po zdárném ukončení průvodce je automaticky vytvořena základní kostra programu, do které uživatel doplní svůj programový kód.

Toto vývojové prostředí má volně šiřitelnou verzi pro vzdělávací účely, která je však omezena výslednou velikostí zdrojového kódu, který lze zkompileovat a následně nahrát do mikroprocesoru. V běžných situacích toto omezení není z uživatelského hlediska příliš limitující. Nicméně, při vývoji řídicího softwaru pro toto zařízení problém s výslednou velikostí zdrojového kódu nastal, jelikož knihovna sloužící pro komunikaci s SD kartou je velice rozsáhlá. Řešením tohoto problému je zakoupit si plnou licenci programu popřípadě použít zdarma dostupné překladače jazyka C do zdrojového kódu pro mikroprocesor. Přeložený zdrojový kód již lze pomocí dalšího počítačového programu nahrát do řídicího mikropočítače.

Pro toto vývojové prostředí byla panem Vladimírem Váňou napsána kniha Mikrokontroléry ATMEL AVR – programování a práce v jazyce C – Popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C. Tato publikace popisuje jednotlivé příkazy jazyka C na příkladech, které jsou doplněny o nezbytnou teorii a pro začínajícího programátora je tato publikace velice užitečný zdroj informací [24].

4.6.1.2 eXtreme Burner – AVR

Jedná se o program firmy eXtreme Electronics, který prostřednictvím USBASB programátoru navazuje obousměrnou komunikaci s řídicím mikropočítačem. Zde nastal další problém, v rozbalovacím menu, ve kterém se vybírá typ mikrokontroléru, který bude programován, chybí ATmega 1284P, která je použita v konstrukci zařízení pro sběr dat a pro naprogramování daného čipu nelze vybrat z předložené nabídky čip jiný, neboť každý typ mikroprocesoru disponuje jedinečným označením, které si programátor při komunikaci s mikropočítačem přečte. Pokud označení nejsou shodná, ovládací program uživateli sdělí, že spojení s mikroprocesorem se nepodařilo navázat.

Řešení tohoto problému je možné doplněním potřebných údajů o cizím mikropočítači do zdrojových kódů obsažených v podadresáři data daného programu. Konkrétně se jedná o položky chips a fuselayout. Aby bylo možné tyto zdrojové kódy upravit, je potřeba mít v počítači nainstalovaný nějaký typ XML editoru. V tomto editoru se otevře nejprve položka chips, do které se na konec programu připsá konfigurace mikropočítače ATmega 1284P s potřebnými náležitostmi.

```
- <CHIP>
  <NAME>ATmega1284P</NAME>
  <FLASH>131072</FLASH>
  <EEPROM>4096</EEPROM>
  <SIG>0x0005971E</SIG>
  <PAGE>256</PAGE>
  <LFUSE layout="4">YES</LFUSE>
  <HFUSE layout="4">YES</HFUSE>
  <EFUSE layout="4">YES</EFUSE>
  <LOCK>YES</LOCK>
  <CALIB>YES</CALIB>
  <PLACEMENT>.\Images\Placements\ZIF_DIP_40.bmp</PLACEMENT>
</CHIP>
```

Obrázek 8 Úprava zdrojového kódu chips

Následně je potřeba v XML editoru upravit soubor fuselayout, do kterého je potřeba přidat konfiguraci jednotlivých pojistek mikropočítače. Zde je již situace jednodušší, neboť použitý mikropočítač má shodné nastavení s jinými procesory a je pouze potřeba dopsat, že dané nastavení je určeno i pro mikropočítač ATmega 1284P. Po úspěšném přepsání těchto dvou zdrojových kódů se v nabídce obvodů objeví ATmega 1284P a lze ji již pomocí softwaru eXtreme Burner úspěšně naprogramovat.

```
- <LAYOUT comment="For
ATmega640,ATmega1280,ATmega1281,ATmega2560,ATmega2561,ATmega1284P"
id="4">
  <BIT default="1" details="Brown-out Detector trigger level" name="BODLEVEL0"
position="0"/>
  <BIT default="1" details="Brown-out Detector trigger level" name="BODLEVEL1"
position="1"/>
  <BIT default="1" details="Brown-out Detector trigger level" name="BODLEVEL2"
position="2"/>
  <BIT default="1" details="---" name="UNIMPLEMENTED" position="3"/>
  <BIT default="1" details="---" name="UNIMPLEMENTED" position="4"/>
  <BIT default="1" details="---" name="UNIMPLEMENTED" position="5"/>
  <BIT default="1" details="---" name="UNIMPLEMENTED" position="6"/>
  <BIT default="1" details="---" name="UNIMPLEMENTED" position="7"/>
</LAYOUT>
```

Obrázek 9 Úprava zdrojového kódu fuselayout

4.6.1.3 Programátor

Pro programování mikroprocesoru musí být kromě softwaru i potřebný hardware. Velice populární je v současnosti použití USBasp programátoru, který navrhl Thomas Fischl z Německa. Pro provoz pod operačním systémem Microsoft Windows je potřeba nainstalovat potřebné ovladače, které jsou k dispozici na stránkách autora projektu. Tento programátor komunikuje s počítačem prostřednictvím USB rozhraní. Programovaný procesor musí být s programátorem propojeny signály reset, MISO, MOSI, SCK a zem GND. Pro programování lze nastavit nižší a vyšší frekvenci signálu SCK pomocí propojky na plošném spoji programátoru.

4.6.2 Ovládací program

V této části se práce bude zabývat komunikačními protokoly, které jsou vyžadovány pro přenos dat mezi dílčími obvody. Tyto obvody komunikují s řídicím mikropočítačem převážně prostřednictvím datové sběrnice SPI. Tento typ sběrnice umožňuje velmi rychlou a zároveň z uživatelského hlediska jednoduchou komunikaci.

4.6.2.1 Řídicí mikropočítač

Jako první je potřeba u řídicího mikropočítače nastavit takzvané pojistkové byty, pomocí kterých jsou nastavovány elementární funkce mikropočítače. ATmega 1284P disponuje celkem čtyřmi pojistkovými byty, které je potřeba nastavit prostřednictvím počítačového programu eXtreme Burner. Z následující tabulky je patrné, že došlo k přepsání pouze nízkého pojistkového bytu, kterým byl změněn zdroj hodinového signálu pro mikroprocesor, nastavena frekvence externího krystalového oscilátoru a vyřazena dělička hodinového signálu [9].

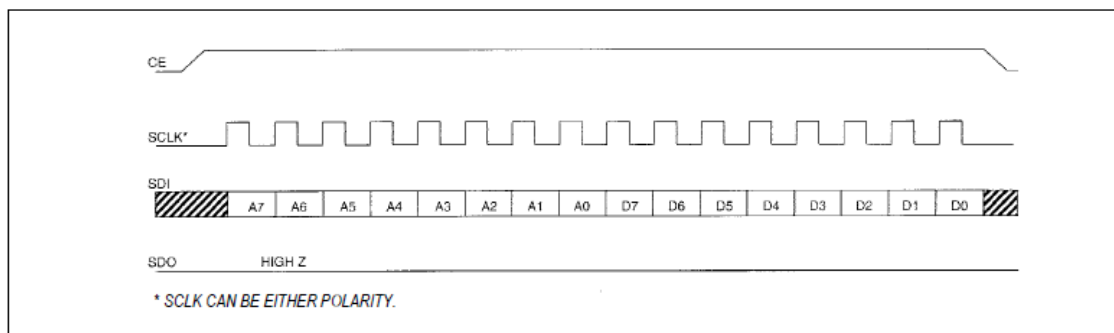
Tabulka 4 Nastavení pojistkových bytů pro ATmega 1284P

	Tovární [hex]	Nastavený [hex]
Low fuse	0x62	0xF7
High fuse	0x99	0x99
Extended fuse	0xFF	0xFF
Lock fuse	0xFF	0xFF

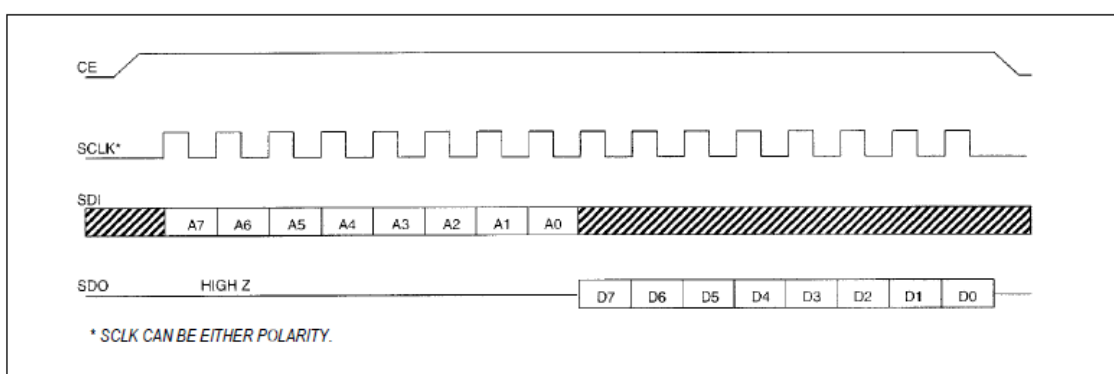
Další nastavení mikrokontroléru zde nebude popisováno, neboť je k dispozici v kostře zdrojového kódu, která byla automaticky vygenerována průvodcem ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR – C.

4.6.2.2 Hodiny reálného času

Hodiny reálného času jsou tvořeny obvodem DS1305+. Tento obvod komunikuje po SPI sběrnici nastavené do módu 1 nebo módu 3. Komunikace s obvodem je iniciována přivedením logické jedničky na povolovací pin CE obvodu RTC. Při zápisu dat do obvodu je potřeba nejdříve poslat po SPI sběrnici adresovací byte, který určuje, do kterého registru bude zapisováno. Adresní byte je vzápětí následován datovým bytem, který obsahuje data pro zápis. Pro přečtení dat z obvodu reálného času je potřeba opět zapsat Adresní byte a posléze v dalším bytu mikropočítač obdrží požadované údaje z RTC. Data, která jsou zapisována nebo čtena z tohoto obvodu reálného času musí být zakódována prostřednictvím BCD kódu [10].



Obrázek 10 SPI – zápis jednoho bytu do RTC [10]



Obrázek 11 SPI - čtení jednoho bytu z RTC [10]

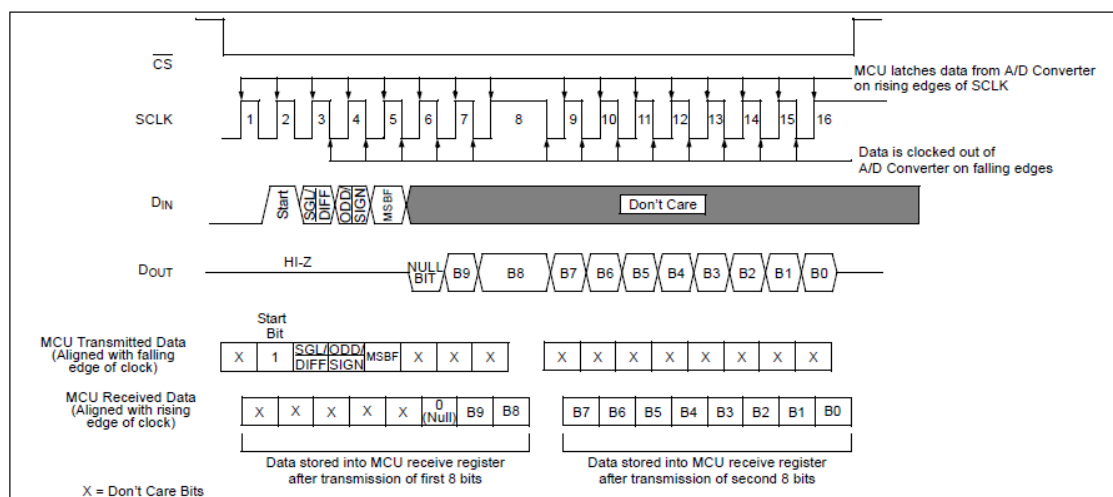
4.6.2.3 Modul SD karty

Tento modul komunikuje opět prostřednictvím SPI sběrnice. Dle technické dokumentace umí SD karta komunikovat v SPI módu nula a tři a je vybírána logickou nulou. I zkušenému profesionálnímu programátorovi by napsání vlastní funkce pro modul SD karty se souborovým systémem FAT trvalo velice dlouho. Naštěstí byla vývojovým inženýrem z Japonska napsána velice rozsáhlá knihovna pro modul SD karty se souborovým systémem FAT. Pro použití této knihovny stačí použít pouze několik příkazů z této knihovny. Je potřeba provést softwarové připojení SD karty, vytvořit textový soubor, do kterého budou během měření ukládány naměřená data. Po ukončení měření je potřeba soubor zavřít. Pro standardního uživatele jazyka C je téměř nerealizovatelné se zorientovat ve zdrojovém kódu funkce obsluhujícího SD kartu. Z tohoto důvodu dochází k jistým nejasnostem a problémům při prvních pokusech o navázání komunikace s SD kartou. Předně je potřeba zmínit, že použitím této knihovny dojde k samočinnému přepsání konfiguračních registrů pro SPI sběrnici a povolení přerušení. Tyto zásahy funkce do řídicího programu musí brát programátor v potaz a po použití funkce pro SD

kartu si registry pro SPI sběrnici a přerušení nastavit do požadované konfigurace [25].

4.6.2.4 AD převodník

Jeden měřicí modul disponuje jediným dvoukanálovým AD převodníkem MCP3002 s rozlišením 10 bitů. Tento obvod je schopen komunikovat v SPI módu nula a tři a maximální kmitočet taktovacího hodinového signálu na komunikační sběrnici je pro tento obvod omezen na 1 MHz kvůli jeho nízkému napájecímu napětí. Komunikace s obvodem je navázána přivedením logické nuly na povolovací pin CS daného obvodu. Je potřeba říci, že kvůli zapojení optočlenů, které galvanicky oddělují výběrový signál, dochází k negaci řídicího signálu. Ve skutečnosti tedy musí mikropočítač pro komunikaci s AD převodníkem vystavit na svém výstupu logickou jedničku. Následuje vyslání horního bytu do AD převodníku. Horní byte nastavuje požadovanou konfiguraci analogových vstupů AD převodníku. Po vyslání horního bytu je již v posuvném registru sběrnice SPI mikropočítače uložena horní dva bity převodu, kterým předchází nulový bit. Vysláním druhého bytu do AD převodníku (například 0x00) dojde k zaslání spodního bytu AD převodu do mikropočítače. Tyto dva přijaté byty jsou sloučeny a uloženy do patřičné proměnné. Po dokončení všech AD převodů dílčích kanálů dojde k jejich převedení do jednoho řetězce (bufferu), který je následně uložen do textového souboru otevřeného na SD kartě [14].

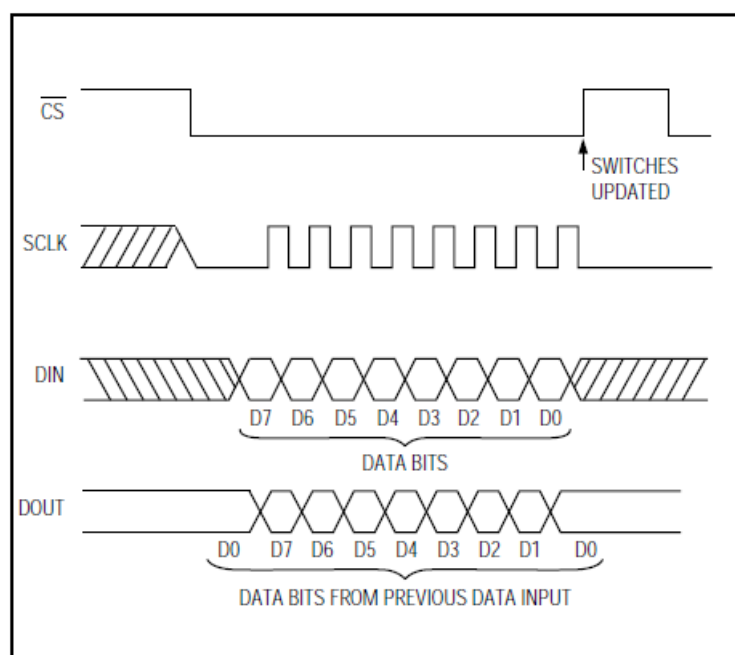


Obrázek 12 SPI - komunikace s ADC [14]

4.6.2.5 Analogové spínače

Každý měřicí modul je vybaven dvěma integrovanými obvody analogových spínačů. Každý dílčí obvod je vybaven osmi těmito spínači. Pro navázání komunikace s obvodem je potřeba na jeho povolovací CS pin přivést

logickou nulu, respektive díky negaci řídicího signálu logickou jedničku z mikropočítače. Obvod analogových spínačů komunikuje opět v třetím SPI módu. Ovládání jednotlivých analogových spínačů je z programátorského hlediska velice jednoduché. Po vybrání obvodu CS signálem je potřeba vyslat pouze jeden konfigurační byte a ukončit komunikaci s obvodem. Jednotlivé bity (0 – 7) tohoto odeslaného bytu reprezentují požadované nastavení dílčích analogových spínačů (0 – 7). Pokud je daný bit logická jednička, příslušný analogový spínač je sepnut, pokud je pro daný byt vystavena logická nula je analogový spínač rozepnut. Signál DOUT z obvodu není nijak využíván. [13].



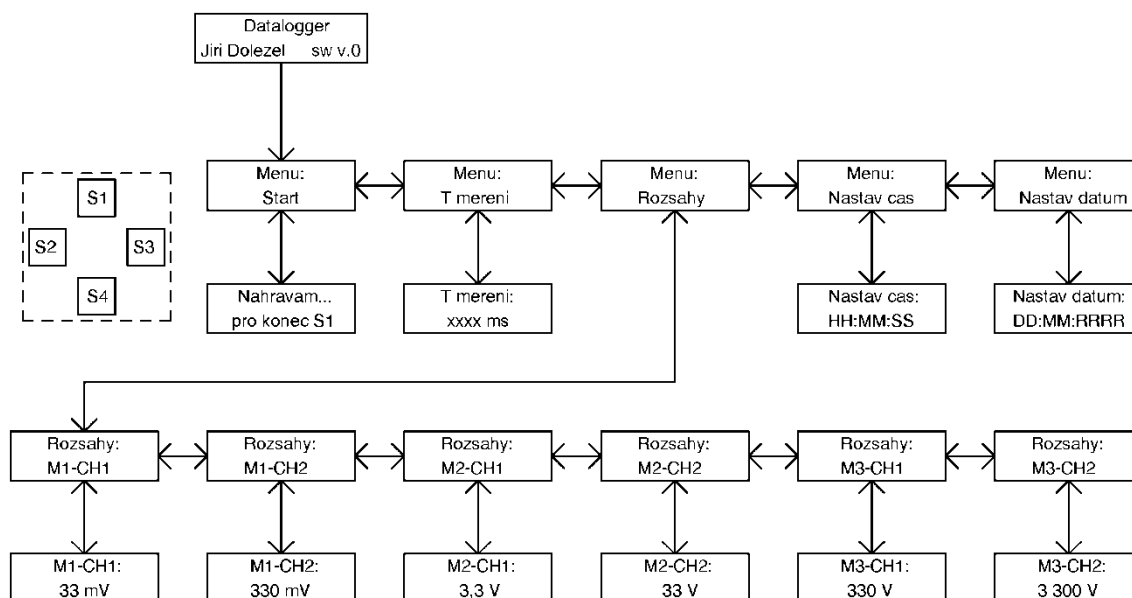
Obrázek 13 SPI – komunikace s obvodem analogový spínačů [13]

4.7 Uživatelské rozhraní

Zařízení pro sběr dat je díky uživatelskému menu snadno nastavitelné. Ovládání je prováděno prostřednictvím křížového ovladače skládajícího se ze čtyř tlačítek. Tlačítka S2 a S3 slouží k horizontálnímu pohybu v menu a tlačítka S1 a S4 jsou určena ke vstupu a výstupu z podnabídek menu. Tento styl ovládání se používá u drtivé většiny spotřební elektroniky, a proto by mělo být pro většinu potencionálních uživatelů intuitivní.

Po uvítací obrazovce je zobrazena první ovládací obrazovka. Tlačítka S2 a S3 se lze pohybovat v dané nastavovací rovině menu. Pokud je potřeba vstoupit hlouběji do nabídky je použito tlačítko S4 a pro vystoupení z podnabídky musí být stisknuto tlačítko S1. Perioda měření lze nastavovat tlačítka S2 a S3 od 1 ms do

60 s. S krokem, který je typický například pro digitální osciloskopy 1 ms, 2 ms, 5 ms, 10 ms, 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms, 500 ms, 1 000 ms, 2 000 ms, 5 000 ms, 10 000 ms, 20 000 ms, 50 000 ms, 60 000 ms.



Obrázek 14 Ovládání uživatelského rozhraní

V sekci nastavení času je zobrazován aktuální čas. Pro korekci hodin slouží tlačítko S2, pro korekci minut tlačítko S3 a pro nulování sekund je použito tlačítko S4. Obdobný styl ovládání je v sekci nastavení času. Tlačítkem S2 jsou přidávány dny v měsíci, tlačítkem S3 jsou přidávány měsíce a tlačítkem S4 jsou přičítány roky. Zařízení disponuje kalendářem do roku 2100.

Pokud je potřeba provést nastavení rozsahů jednotlivých měřicích kanálů, je potřeba vstoupit do podnabídky rozsahy a následně si tlačítky S2 a S3 navolit požadovaný kanál a tlačítkem S4 vstoupit do nastavení rozsahu daného kanálu. Měřicí rozsahy jdou na jednotlivých kanálech nastavit na 33 mV, 330 mV, 3,3 V, 33 V, 330 V, 3 300 V.

4.8 Mechanická konstrukce

Po zhotovení všech dílčích plošných spojů bylo možné stanovit požadované rozměry krabice, do které bude všechna elektronika nainstalována. Vzhledem k požadované poněkud větší velikosti krabice a případnému použití v terénu byla plastová krabička zamítnuta. Jako vhodný materiál pro výrobu krabičky byl zvolen pozinkovaný plech tloušťky jeden milimetr, nicméně komerčně dostupné kovové krabičky v obchodech s elektromateriálem jsou relativně drahé a celé zařízení by se citelně prodražilo. Z tohoto důvodu byla zadána výroba krabičky v místní firmě, která se zabývá kovovýrobou a bylo dosaženo výhodnější ceny za danou plechovou krabici. Vyrobená krabice je složena ze plechových dílců, které jsou zahýbány do tvaru U a pro vyšší tuhost vyztuženy bodovanými L profily.

Dále bylo nutné provést mechanické opracování přístrojové krabice. V zadní části přístrojové krabice bylo potřeba vytvořit otvory pro napájecí EURO konektor s integrovanou pojistkou, další dva otvory pro napájení prostřednictvím externího napáječe a USB. Na zadní straně je také situován konektor, na který budou v budoucnu připojeny signály komunikační sběrnice UART pro komunikaci s počítačem.

V přední části pak byly vyrobeny otvory pro hlavní dvoupólový vypínač síťového napájení, ovládací tlačítka, signalizační LED diodu, LCD displej a v neposlední řadě pro měřicí vstupní svorky a pojistková pouzdra pro nejnižší rozsahy.

Dno krabice bylo na patřičných místech osazeno plastovými izolačními distančními sloupky, na které byly připevněny jednotlivé desky plošných spojů. Distanční sloupky jsou také použity k připevnění LCD displeje.

Po umístění všech komponent do krabice bylo provedeno jejich elektrické propojení a posupné oživení celého zařízení.

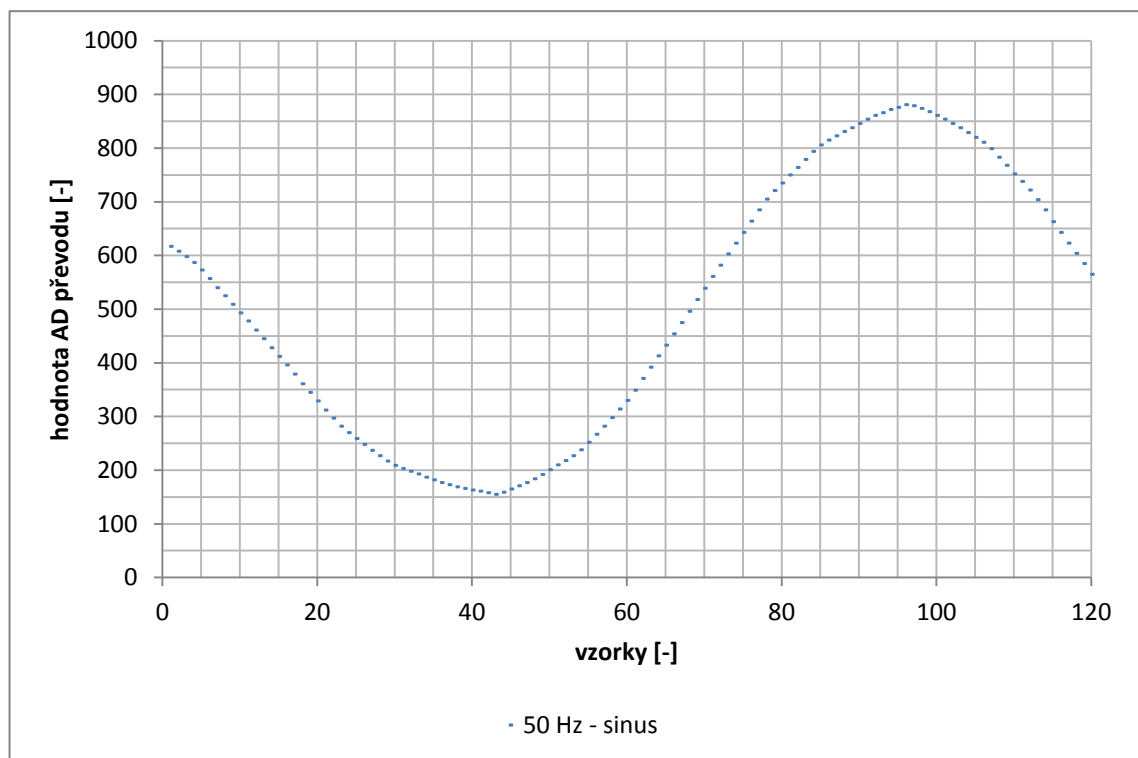
4.9 Pokusné měření

Po kompletaci většiny obvodů bylo provedeno pokusné měření. Při tomto měření byl mikropočítačem vyčítán pouze jeden kanál z jednoho měřicího modulu. Software mikropočítače byl upraven tak, aby nevznikala úmyslná zpoždění při běhu programu. Výsledná perioda měření je tedy dána rychlostí SPI sběrnice a výpočtovým výkonem mikropočítače.

Při pokusném měření byl na vstupní svorky záznamníku připojen signální generátor, na kterém byl nastaven sinusový výstupní signál o vhodné amplitudě s frekvencí 50 Hz. Zpočátku ovládací program fungoval tak, že po každém naměřeném vzorku následovalo jeho ukládání na SD kartu. Bylo zjištěno, že tento přístup je špatný, neboť SD karta nezvládne provádět opakovaný zápis dat jdoucích rychle za sebou. Z hlediska SD karty to vypadalo tak, že data se velmi rychle zapisovala bez časových latencí do daného paměťového sektoru o velikosti 512 Bytů. V okamžiku, kdy byl sektor zaplněn daty, došlo k onomu časovému zpoždění při přechodu do jiného sektoru paměti. Tento problém nastával pouze při vysokých požadavcích na rychlost přístupu k SD kartě. Z tohoto důvodu bylo potřeba pro rychlá měření s periodou menší jak 100 ms vyhradit v paměti mikropočítače dostatečně velký prostor pro buffer, do kterého se budou průběžně ukládat naměřená data z AD převodníků a po jeho zaplnění dojde k ukončení měření a následnému převodu dat z bufferu mikropočítače na SD paměťovou kartu. Po tomto opatření už při rychlých měřeních nedochází mezi vzorky k nežádoucím latencím.

Nyní bude provedeno vyhodnocení pokusného měření. Na obrázku níže je uveden naměřený průběh sinusového napětí o frekvenci 50 Hz. Měřicí rozsah je nastaven na 3,3 VAC. Rychlost vzorkování je bez umělých zpoždění, tedy maximální možná. Na svislé ose je reprezentována číselná hodnota AD převodu. Na vodorovné ose je vynesena počet vzorků. Jelikož je známá délka trvání periody tj. 20 ms, je možné z počtu vzorků za jednu periodu a času periody určit časový interval mezi odběrem dvou sousedních vzorků. Za jednu periodu bylo naměřeno přibližně 118 vzorků. Výsledný časový interval mezi měřeními je tedy 170 μ s, což představuje vzorkovací kmitočet 5,9 kHz. Mírné zkreslení sinusového signálu v amplitudě je pravděpodobně způsobeno méně kvalitním signálním generátorem.

Je zřejmé, že z uživatelského hlediska jsou surová naměřená data hůře srozumitelná, a proto bude potřeba v Excelu vztáhnout naměřené hodnoty k danému měřicímu rozsahu a zároveň naměřené hodnoty vynásobit korekčními koeficienty pro daný rozsah dílčích měřicích kanálů.



Obrázek 15 Naměřený průběh sinusového signálu

4.10 Rozpis součástek, cenová kalkulace materiálu

Většina použitých součástek byla zakoupena v prodejnách GME a TME s výjimkou speciálních integrovaných obvodů, které byly zakoupeny u společnosti Farnell. Cenová kalkulace vychází z cen, které prodejci uvádí na svých webových stránkách.

Tabulka 5 Cenová kalkulace modulu analogových obvodů

Označení	Název	ks	Cena/ks	Cena celkem
C1-C4, C7-C13, C15, C20, C23, C25	Keramický kondenzátor 100 nF/ 50V (1206)	15	2,08 Kč	31,20 Kč
C14, C17	Keramický kondenzátor 1 μ F/ 50V (1206)	2	2,08 Kč	4,16 Kč
C16, C18, C21, C22, C24, C26	Keramický kondenzátor 10 μ F / 10 V (1206)	6	0,95 Kč	5,70 Kč
C6, C19	Elektrolytický kondenzátor 100 μ F / 25 V	2	1,10 Kč	2,20 Kč
C5	Elektrolytický kondenzátor 470 μ F / 25 V	1	3,80 Kč	3,80 Kč
C29	Keramický odrušovací kondenzátor 470 pF / 400 V (4 kV)	1	4,86 Kč	4,86 Kč
C27, C28	Keramický kondenzátor 56 nF/ 50 V (1206)	2	0,52 Kč	1,04 Kč
R7, R8	Rezistor 100 k Ω ; 1% (1206)	2	0,24 Kč	0,48 Kč
R5, R6	Rezistor 10 k Ω ; 1% (1206)	2	0,26 Kč	0,52 Kč
R22, R29, R32, R36	Rezistor 120 k Ω ; 1%	4	0,29 Kč	1,16 Kč
R9, R15	Rezistor 180 k Ω ; 1% (1206)	2	0,34 Kč	0,68 Kč
R38, R39	Rezistor 180 Ω ; 1% (1206)	2	0,23 Kč	0,46 Kč
R10, R17	Rezistor 18 k Ω ; 1% (1206)	2	0,24 Kč	0,48 Kč
R47, R48	Rezistor 1 k Ω ; 2W	2	2,21 Kč	4,42 Kč
D1	Polovodičová dioda 1N4007	1	1,91 Kč	1,91 Kč
D2-D9	Polovodičová dioda 1N4148	8	0,35 Kč	2,80 Kč
R13, R24	Rezistor 200 k Ω ; 1% (1206)	2	0,235	0,47 Kč
R12, R21	Rezistor 20 k Ω ; 1% (1206)	2	0,30 Kč	0,60 Kč
R11, R14, R19, R26	Rezistor 2 k Ω ; 1% (1206)	4	0,24 Kč	0,96 Kč
R44 - R46	Rezistor 330 Ω ; 1% (1206)	3	0,24 Kč	0,72 Kč
R16, R18, R20, R23, R25, R27, R28, R30, R31, R33 - R35, R40 - R43	Rezistor 470 k Ω ; 1%; 0,6 W	16	0,48 Kč	7,68 Kč
R1 - R4	Rezistor 4,7 k Ω ; 1% (1206)	4	0,36 Kč	1,44 Kč
L1-L5, R37	Axiální tlumivka 330 μ H / 100 mA	6	2,63 Kč	15,78 Kč

Pokračování tabulky				
L6, L7	Axiální tlumivka 4,7 μ H / 530 mA	2	2,35 Kč	4,70 Kč
IC1	DC/DC měnič RECOM RKE-0505 S/H	1	106,91 Kč	106,91 Kč
IC2, IC9	Optočlen VO0630T; SOIC	2	40,40 Kč	80,80 Kč
IC3	MAX 14935 BAWE; WSOIC	1	147,28 Kč	147,28 Kč
IC5, IC8	MAX 395 CWG+; WSOIC	2	126,16 Kč	252,32 Kč
IC6	MCP1824T-3302E/OT; SOT 23-5	1	12,99 Kč	12,99 Kč
IC4	AD převodník MCP3002D; SOIC	1	56,87 Kč	56,87 Kč
IC10	Operační zesilovač MIC7300YM5-TR; SOT 23-5	1	8,67 Kč	8,67 Kč
IC11, IC12	Operační zesilovač MCP6022-I/SN	2	36,98 Kč	73,96 Kč
F1, F2	Rychlá pojistka 5x20 mm; 32 mA	2	30,27 Kč	60,54 Kč
F1, F2	Pojistkové pouzdro do panelu 5x20 mm	2	14,30 Kč	28,60 Kč
JP1, JP2	Konektor signálový NS25-W3K	2	1,36 Kč	2,72 Kč
JP3	Konektor signálový NS25-W2K	1	1,85 Kč	1,85 Kč
JP5, JP7, JP6, JP4, JP8, JP9	Oboustranný kolík S1G20	0,3	6,20 Kč	1,86 Kč
-	Fotocuprexít oboustranný FR4 200 x 300 mm	0,33	343,00 Kč	113,19 Kč
-	Fólie s předlohou pro výrobu DPS fotocestou	1	17,00 Kč	17,00 Kč
Cena za modul				1 063,78 Kč

Tabulka 6 Cenová kalkulace modulu řídicích obvodů

Označení	Název	ks	Cena/ks	Cena celkem
R7, R9, R12, R13	Rezistor 100 k Ω ; 0,5 W	4	0,61 Kč	2,44 Kč
R2, R6, R8, R10, R11, R22	Rezistor 10 k Ω ; 0,6 W	6	0,61 Kč	3,66 Kč
R16, R18	Rezistor 2,7 k Ω ; 0,6 W	2	0,61 Kč	1,22 Kč
R21	Rezistor 91 k Ω ; 0,6 W	1	0,61 Kč	0,61 Kč
R1, R15, R17	Rezistor 330 Ω ; 0,6 W	3	0,61 Kč	1,83 Kč
C9, C10, C15, C16, C20, C21	Keramický kondenzátor 100 nF / 50 V	6	2,12 Kč	12,72 Kč
C14, C18, C19	Keramický kondenzátor 100 nF / 50V (1206)	3	2,08 Kč	6,24 Kč
C1, C3, C5, C7	Keramický kondenzátor 10 nF / 50 V	4	0,78 Kč	3,12 Kč
C11	Elektrolytický kondenzátor 10 μ F / 35V	1	1,10 Kč	1,10 Kč
C2, C4, C6, C8, C12, C13	Keramický kondenzátor 1 nF / 50 V	6	1,04 Kč	6,24 Kč
C17	Elektrolytický kondenzátor 470 μ F / 25 V	1	3,80 Kč	3,80 Kč
D1 - D8, D10, D11	Polovodičová dioda 1N4148	10	0,80 Kč	8,00 Kč
D9	Polovodičová dioda 1N5408	1	3,44 Kč	3,44 Kč
L1	Axiální tlumivka 330 μ H / 100 mA	1	2,63 Kč	2,63 Kč
L3	Tlumivka 10 μ H / 25 mA (1206)	1	2,74 Kč	2,74 Kč

Pokračování tabulky				
Q1	Krystalový oscilátor 32,768 kHz	1	8,66 Kč	8,66 Kč
Q2	Krystalový oscilátor 16 MHz	1	13,85 Kč	13,85 Kč
OK1, OK2	Optočlen 6N137	2	28,87 Kč	57,74 Kč
IC1	Mikropočítač ATMEGA1284P-PU	1	181,77 Kč	181,77 Kč
IC1	Patice DIL 40 precizní pro IC1	1	30,13 Kč	30,13 Kč
IC2	Obvod RTC DS1305+	1	160,18 Kč	160,18 Kč
IC2	Patice DIL 16 precizní pro IC2	1	11,38 Kč	11,38 Kč
IC3	Operační zesilovač TLC274CN	1	40,62 Kč	40,62 Kč
IC3	Patice DIL 14 precizní pro IC3	1	7,47 Kč	7,47 Kč
G1	Lithiová baterie CR2032	1	29,19 Kč	29,19 Kč
G1	Bateriový držák pro G1	1	46,25 Kč	46,25 Kč
S1 - S4	Tlačítkový spínač do panelu P-PB303B	4	11,00 Kč	44,00 Kč
-	Oboustranný kolík S1G20	1,75	6,20 Kč	10,85 Kč
JP11 - JP14, JP5 - JP7	Konektor signálový NS25-W3P	7	1,68 Kč	11,76 Kč
JP23, S5	Konektor signálový NS25-W2P	2	1,60 Kč	3,20 Kč
LED1	LED 5 mm červená	1	2,43 Kč	2,43 Kč
JP11 - JP14	Teplotní čidlo TMP36GT9Z	4	36,13 Kč	144,52 Kč
JP24	Konektor signálový MOLEX 4 piny	1	10,48 Kč	10,48 Kč
-	Fólie s předlohou pro výrobu DPS fotocestou	1	17,00 Kč	17,00 Kč
-	Fotocuprexit FR4 jednostranný 300 x 250 mm	0,22	360,00 Kč	79,20 Kč
-	Modul čtečky SD karty	1	89,00 Kč	89,00 Kč
-	LCD displej s řadičem MC1602E-SBL/H	1	169,00 Kč	169,00 Kč
Cena za modul				1 228,47 Kč

Tabulka 7 Cenová kalkulace modulu převodníku MISO signálu

Označení	Název	ks	Cena/ks	Cena celkem
IC1	Tří stavový buffer SN74AHCT125N	1	5,95 Kč	5,95 Kč
IC2	Logický obvod s funkcí NOR 74LS27	1	25,24 Kč	25,24 Kč
D1	Polovodičová dioda 1N4007	1	1,53 Kč	1,53 Kč
C1	Elektrolytický kondenzátor 100 µF / 35V	1	1,10 Kč	1,10 Kč
C5, C6	Elektrolytický kondenzátor 10 µF / 35V	2	1,10 Kč	2,20 Kč
C1, C3, C4	Keramický kondenzátor 100 nF / 50 V	3	2,12 Kč	6,36 Kč
JP2 - JP7	Konektor signálový NS25-W3P	6	1,68 Kč	10,08 Kč
JP1	Konektor signálový MOLEX 4 piny	1	10,48 Kč	10,48 Kč
JP8, JP10	Konektor signálový NS25-W2P	2	1,60 Kč	3,20 Kč
JP9	Oboustranný kolík S1G20	0,05	6,20 Kč	0,31 Kč
-	Precizní patice DIL 14	2	7,47 Kč	14,94 Kč
-	Fotocuprexit jednostranný FR4 300 x 250 mm	0,11	360,00 Kč	39,60 Kč
-	Fólie s předlohou pro výrobu DPS fotocestou	0,5	17,00 Kč	8,50 Kč
Cena za modul				129,49 Kč

Tabulka 8 Cenová kalkulace modulu napájecího zdroje

Označení	Název	ks	Cena/ks	Cena celkem
TR1	Transformátor do DPS HAHN 230 V/9 V/ 6 VA	1	120,20 Kč	120,20 Kč
D1 - D6	Polovodičová dioda 1N4007	6	1,53 Kč	9,18 Kč
D7	Transil 1N5908	1	9,14 Kč	9,14 Kč
C1	Elektrolytický kondenzátor 1000 µF/35 V	1	7,10 Kč	7,10 Kč
C4	Elektrolytický kondenzátor 100 µF/35 V	1	1,10 Kč	1,10 Kč
C2	Keramický kondenzátor 330 nF/ 50 V	1	2,12 Kč	2,12 Kč
C3	Keramický kondenzátor 100 nF/ 50 V	1	2,12 Kč	2,12 Kč
S1, S2	Páčkový přepínač do panelu	2	37,79 Kč	75,58 Kč
F1 - F3	Pojistkové pouzdro do DPS	3	5,14 Kč	15,42 Kč
F1	Pomalá trubičková pojistka 5x20 mm; 0,4 A	1	3,54 Kč	3,54 Kč
F2, F3	Rychlá trubičková pojistka 5x20 mm; 0,4 A	2	3,54 Kč	7,08 Kč
IC1	Stabilitátor napětí 7805; TO220; 1,5 A	1	7,40 Kč	7,40 Kč
KK1	Chladič FISCHER ELEKTRONIK SK104-51STC	1	39,14 Kč	39,14 Kč
J1 - J4	Signálový konektor do DPS NS25-W2P	4	1,60 Kč	6,40 Kč
-	Fólie s předlohou pro výrobu DPS fotocestou	1	17,00 Kč	17,00 Kč
-	Fotocuprexit FR4 jednostranný 300 x 250 mm	0,22	360,00 Kč	79,20 Kč
Cena za modul				401,72 Kč

Tabulka 9 Cenová kalkulace ostatního materiálu

Název	ks	Cena/ks	Cena celkem
Zdířka panelová 4 mm, 1 kV, Shutzinger	18	41,91 Kč	754,38 Kč
Napájecí EURO konektor s pojistkou do panelu	1	78,00 Kč	78,00 Kč
Pojistka pro EURO konektor 5x20 mm T 40 mA	1	25,28 Kč	25,28 Kč
Spínač 2-pólový 15 A / 250 V AC; zel. posdv.	1	20,00 Kč	20,00 Kč
Vodič CY1 hnědý	2	1,80 Kč	3,60 Kč
Vodič CY1 modrý	2	1,80 Kč	3,60 Kč
Kabel SMSM 3Gx1,5 (1 m)	1	19,50 Kč	19,50 Kč
Dvojlinka 2x0,15 černo-rudá (1 m)	2	2,15 Kč	4,30 Kč
Dvojlinka 2x0,35 černo-rudá (1 m)	2	3,93 Kč	7,86 Kč
Dvojlinka 2x0,5 černo-rudá (1 m)	1	5,06 Kč	5,06 Kč
Datový kabel CAT5E (1 m)	1	6,00 Kč	6,00 Kč
Kabel napájecí síťový 2,5 m s EURO konektorem	1	90,00 Kč	90,00 Kč
Plech pozinkovaný (2 m ²)	0,2	475,00 Kč	95,00 Kč
Cínová pájka Sn60Pb40 s tavidlem	1	125,00 Kč	125,00 Kč
Spojovací materiál (dist. Sl., šrouby, matice,...)	-	200,00 Kč	200,00 Kč
Přístrojová nožička	4	20,00 Kč	80,00 Kč
Drobný elektromateriál (konektory,...)	-	200,00 Kč	200,00 Kč
Chlorid železitý 0,5 l	1	89,00 Kč	89,00 Kč
Cena za ostatní materiál			1 809,58 Kč

Celková cena:

$$3 \cdot 1\,063,78 + 1\,228,47 + 129,49 + 401,72 + 1\,809,58 = 6\,760,60 \text{ Kč} \doteq \mathbf{6\,761 \text{ Kč}}$$

5 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byl proveden průzkum trhu se zařízeními pro sběr dat, na základě kterého bylo vybráno několik komerčních výrobků. U těchto výrobků byly vzájemně porovnány a kriticky zhodnoceny jejich parametry.

Na základě předchozího srovnání byla stanovena základní funkční kritéria na zařízení pro sběr dat. Zařízení je koncipováno jako šestikanálový voltmetr, který umí přepínat měřicí rozsahy pro jednotlivé kanály a umožňuje jak střídavá, tak stejnosměrná měření do 1 kV, přičemž každá dvojice kanálů bude galvanicky oddělena od dalších obvodů.

V další části se práce věnuje návrhu obvodových zapojení. Jako první byly navrženy analogové vstupní obvody obsahující programovatelný vstupní dělič napětí, zapínatelný offset a neinvertující zesilovač napětí s nastavitelným zesílením. Následně je vhodně upravené vstupní napětí přivedeno na vstup desetibitového AD převodníku, který komunikuje po sběrnici SPI. Celý měřicí modul je přes galvanické oddělení propojen s deskou řídicích obvodů.

Celé zařízení pro sběr dat je řízeno pomocí mikropočítače Atmel ATMega 1284P. Mikroprocesor se stará o nastavování analogových obvodů, komunikaci s měřicími AD převodníky a zápis dat na paměťovou kartu. Dále datalogger umožňuje čtyřkanalové měření teploty a mnoho dalších funkcí, které jsou podrobně popsány v průběhu diplomové práce.

Na základě nakreslených obvodových schémat byly navrženy všechny dílčí desky plošných spojů.

Oživování celého zařízení doprovázely technické komplikace. Jednalo se především o eliminaci silného rušení vnikajícího do analogových měřicích obvodů. Řešení konfliktu na sběrnici SPI a v neposlední řadě o problematickou softwarovou komunikaci s SD kartou. Po vyřešení těchto problémů bylo provedeno pokusné měření, při kterém byl vzorkován sinusový signál o frekvenci 50 Hz. Bylo zjištěno, že pokud by vzorkoval pouze jeden kanál, byla by maximální vzorkovací frekvence 5,9 kHz. Dále bylo zjištěno, že při měření na nejnižším stejnosměrném rozsahu 33 mV byla chyba převodu pouze 1 LSB, což je velmi dobré.

Software dataloggeru je vzhledem k rozsáhlosti práce ještě ve vývojové fázi. To však neznamena nefunkčnost zařízení, zařízení pro sběr dat je po hardwarové stránce kompletně vyrobené a obslužný software umožňuje naměřit a zapsat data na SD kartu včetně časové značky. Je tedy potřeba pouze dopsat program pro měření teploty a zpříjemnit obsluhu zařízení vhodným uživatelsky přívětivým softwarem.

Dle provedené cenové kalkulace jsou výrobní náklady na datalogger 6 761 Kč, tyto náklady v sobě zahrnují pouze cenu použitého materiálu a nezapočítávají cenu lidské práce. Nicméně lze konstatovat, že i v nízké cenové relaci lze zhotovit výrobek, který po úspěšném odladění softwaru bude schopný konkurovat mnohem dražším průmyslově vyráběným zařízením pro sběr dat.

V budoucnu je také možné dopsat ovládací software, který by uměl posílat naměřená data do osobního počítače, ve kterém bude naprogramován vhodný software pro zobrazování a analýzu naměřených dat.

Literatura

- [1] PCS10. *Velleman Instruments* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: <https://www.velleman.eu/products/view/?country=be&lang=en&id=350526>
- [2] DT175-CVS. *CEM Instruments India* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: <http://www.cem-instruments.in/product.php?pname=DT-175CVS>
- [3] VR-71. *T&D Corporation* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: <http://www.tandd.com/product/vr71.html>
- [4] Přenosný ekonomický datalogger skupiny NOMAD. *Omega Engineering Czech Republic* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: <https://www.omegaeng.cz/pptst/OM-PL.html>
- [5] MCR Series. *T&D Corporation* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: http://www.tandd.com/product/mcr-4_series.html
- [6] XL424. *HT Instruments* [online]. [cit. 2017-12-24]. Dostupné z: <https://www.ht-instruments.com/en/products/power-quality-analyzers/voltage-dataloggers/xl424/>
- [7] Modul čtečky SD karet, SPI sběrnice. *GM Elektronik, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/modul-cteccky-sd-karet-spi-sberrnice>
- [8] Převodník USB-UART + RESET pin. *GM Elektronik, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/prevodnik-usb-uart-reset-pin>
- [9] *Datasheet ATMEGA1284-PU* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2295881.pdf>
- [10] *Datasheet DS1305+* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2000835.pdf>
- [11] *Datasheet LCD MC21605C6W-BNMLWS-V2* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2265805.pdf>
- [12] *Datasheet MAX14935* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2345076.pdf>
- [13] *Datasheet MAX 395* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/699971.pdf>
- [14] *Datasheet MCP3002* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1599363.pdf>
- [15] *Datasheet MCP6022* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2281786.pdf>

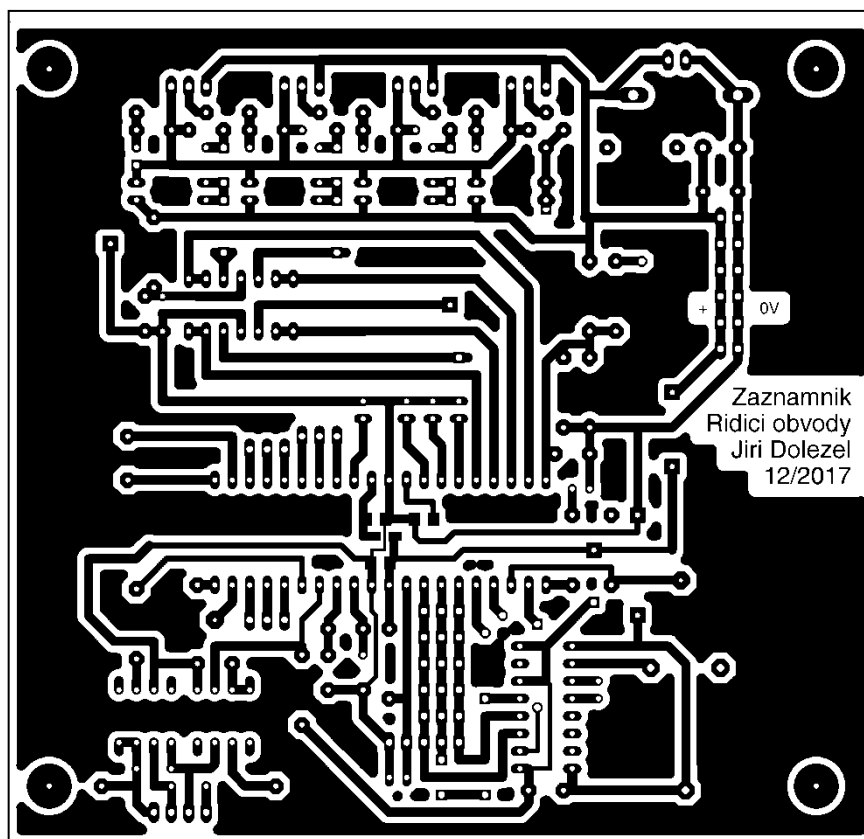
- [16] *Datasheet MCP1824T-330R/OT* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/37930.pdf>
- [17] *Datasheet MIC7300YM5-TR* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1670798.pdf>
- [18] *Datasheet RKE-0505S/H* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2290575.pdf>
- [19] *Datasheet TMP36* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1943729.pdf>
- [20] *Datasheet VO0630T* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2050396.pdf>
- [21] *Datasheet PC817* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1695399.pdf>
- [22] *Datasheet TLC274* [online]. [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2024324.pdf>
- [23] *Modul Micro SD CARD, SPI. HWPRO* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: http://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=323&search=HW0239
- [24] *Mikrokontroléry ATMEL AVR - Programování v jazyce C: Popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 978-80-7300-102-0.
- [25] *FatFs - Generic FAT Filesystem Module* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html
- [26] *Datasheet 7805* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2307057.pdf>

Seznam symbolů, veličin a zkratek

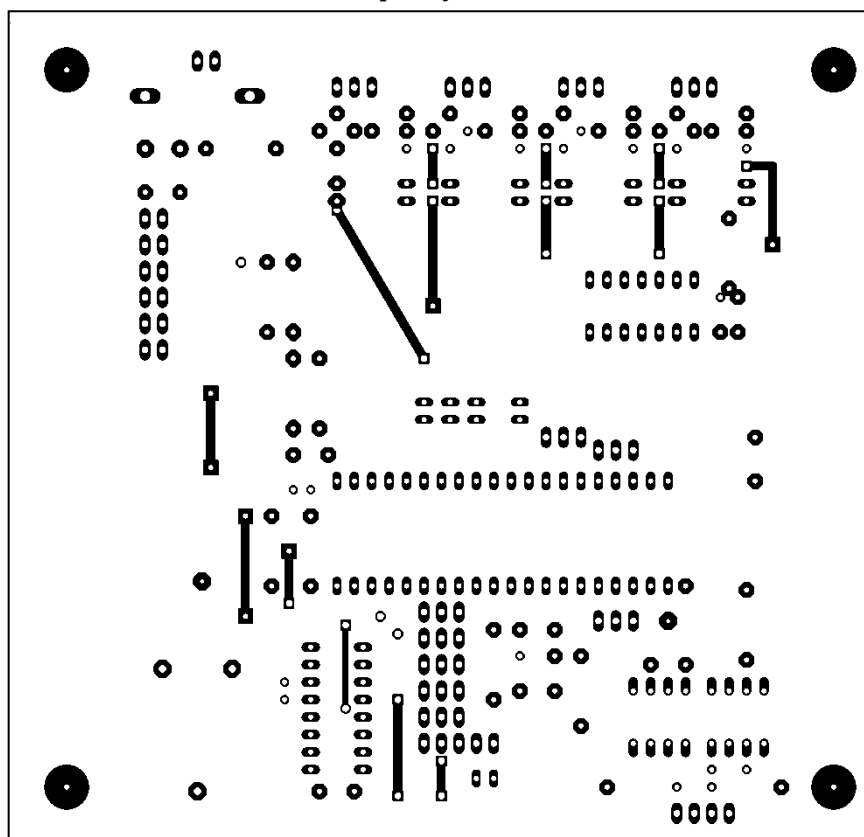
AC	-	střídavé
AD	-	analogově digitální (převodník)
ADC	-	analogově digitální převodník
C	-	kondenzátor
CS	-	signál pro výběr obvodu (SPI)
D	-	polovodičová dioda
DC	-	stejnoseměrný
DIN	-	vstup dat (SPI)
DOUT	-	výstup dat (SPI)
HW	-	hardware
I	-	elektrický proud
IC	-	integrováný obvod – označení ve schématu
L	-	indukčnost
LAN	-	lokální síť
LCD	-	displej z tekutých krystalů
OK	-	optočlen – označení ve schématu
PC	-	osobní počítač
P_{ztr}	-	ztrátový výkon
Q	-	krystal, tranzistor – označení ve schématu
R	-	rezistor
RS-232	-	sériová komunikační sběrnice
RTC	-	hodiny reálného času
Rx	-	vstup dat (UART)
$R_{\theta H}$	-	tepelný odpor chladiče
$R_{\theta CH}$	-	tepelný odpor mezi pouzdem součástky a chladičem
$R_{\theta JC}$	-	tepelný odpor mezi polovodičovým čipem a pouzdem součástky
S	-	tlačítko – označení ve schématu
SCLK	-	sériové hodiny (SPI)
SD	-	druh paměťového úložiště
SDHC	-	druh paměťového úložiště
SPI	-	sériová periferní sběrnice
SW	-	software
T_{jmax}	-	maximální teplota polovodičového čipu
T_o	-	teplota okolí
TTL	-	tranzistorově tranzistorová logika
Tx	-	výstup dat (UART)
U	-	elektrické napětí

UART -	univerzální asynchronní sériová sběrnice
USART -	univerzální synchronní/asynchronní sériová sběrnice
$U_{\text{EXT-max}}$ -	maximální napětí externího napájecího zdroje
USB -	univerzální sériová sběrnice
U_{stab} -	stabilizované napětí

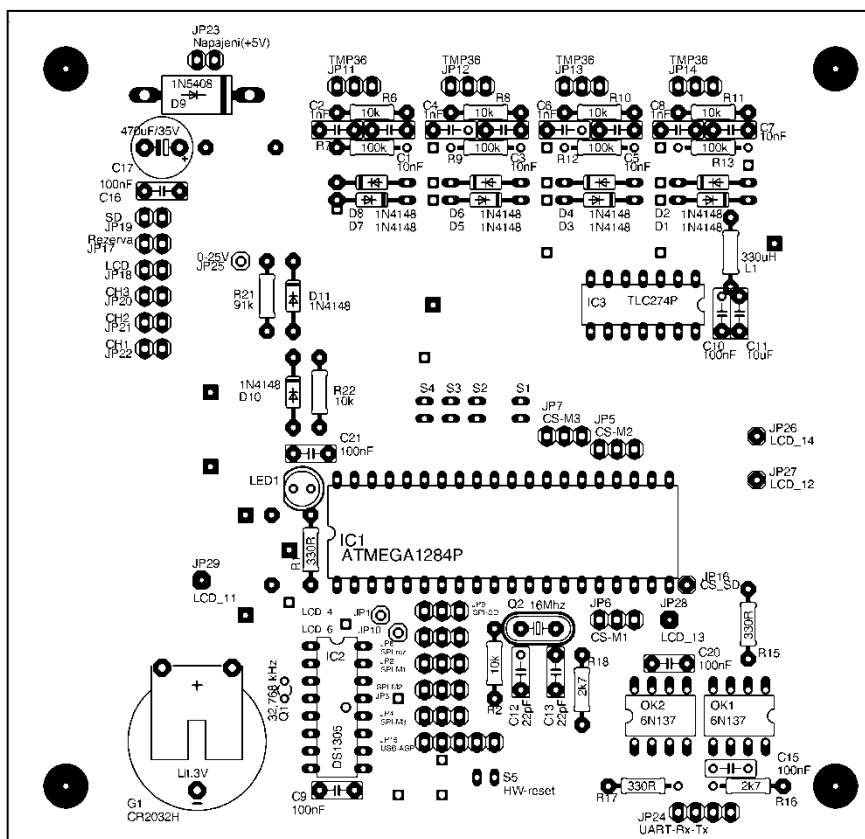
The schematic diagram illustrates the internal circuitry of a device, centered around an ATmega1284P microcontroller (IC1). The microcontroller is connected to a DS1305 real-time clock (IC2) via I2C (VCC1, VBAT, VCC2, X1, X2, SERCODE, SDO, SCL, INT1, INT0, NC, GND). A CR2032H battery (CR2032H) provides power to the real-time clock. The microcontroller is also connected to a 32.768 kHz crystal (C10) and a 100nF capacitor (C9). The microcontroller's pins are connected to various peripheral components, including relays (S1, S2, S3, S4), LEDs (LED1), and connectors (JP1, JP2, JP3, JP4, JP5, JP6, JP7, JP8, JP9, JP10, JP11, JP12, JP13, JP14, JP15, JP16, JP17, JP18, JP19, JP20, JP21, JP22, JP23, JP24, JP25, JP26, JP27, JP28, JP29, JP30, JP31, JP32, JP33, JP34, JP35, JP36, JP37, JP38, JP39, JP40, JP41, JP42, JP43, JP44, JP45, JP46, JP47, JP48, JP49, JP50, JP51, JP52, JP53, JP54, JP55, JP56, JP57, JP58, JP59, JP60, JP61, JP62, JP63, JP64, JP65, JP66, JP67, JP68, JP69, JP70, JP71, JP72, JP73, JP74, JP75, JP76, JP77, JP78, JP79, JP80, JP81, JP82, JP83, JP84, JP85, JP86, JP87, JP88, JP89, JP90, JP91, JP92, JP93, JP94, JP95, JP96, JP97, JP98, JP99, JP100, JP101, JP102, JP103, JP104, JP105, JP106, JP107, JP108, JP109, JP110, JP111, JP112, JP113, JP114, JP115, JP116, JP117, JP118, JP119, JP120, JP121, JP122, JP123, JP124, JP125, JP126, JP127, JP128, JP129, JP130, JP131, JP132, JP133, JP134, JP135, JP136, JP137, JP138, JP139, JP140, JP141, JP142, JP143, JP144, JP145, JP146, JP147, JP148, JP149, JP150, JP151, JP152, JP153, JP154, JP155, JP156, JP157, JP158, JP159, JP160, JP161, JP162, JP163, JP164, JP165, JP166, JP167, JP168, JP169, JP170, JP171, JP172, JP173, JP174, JP175, JP176, JP177, JP178, JP179, JP180, JP181, JP182, JP183, JP184, JP185, JP186, JP187, JP188, JP189, JP190, JP191, JP192, JP193, JP194, JP195, JP196, JP197, JP198, JP199, JP200, JP201, JP202, JP203, JP204, JP205, JP206, JP207, JP208, JP209, JP210, JP211, JP212, JP213, JP214, JP215, JP216, JP217, JP218, JP219, JP220, JP221, JP222, JP223, JP224, JP225, JP226, JP227, JP228, JP229, JP230, JP231, JP232, JP233, JP234, JP235, JP236, JP237, JP238, JP239, JP240, JP241, JP242, JP243, JP244, JP245, JP246, JP247, JP248, JP249, JP250, JP251, JP252, JP253, JP254, JP255, JP256, JP257, JP258, JP259, JP260, JP261, JP262, JP263, JP264, JP265, JP266, JP267, JP268, JP269, JP270, JP271, JP272, JP273, JP274, JP275, JP276, JP277, JP278, JP279, JP280, JP281, JP282, JP283, JP284, JP285, JP286, JP287, JP288, JP289, JP290, JP291, JP292, JP293, JP294, JP295, JP296, JP297, JP298, JP299, JP300, JP301, JP302, JP303, JP304, JP305, JP306, JP307, JP308, JP309, JP310, JP311, JP312, JP313, JP314, JP315, JP316, JP317, JP318, JP319, JP320, JP321, JP322, JP323, JP324, JP325, JP326, JP327, JP328, JP329, JP330, JP331, JP332, JP333, JP334, JP335, JP336, JP337, JP338, JP339, JP340, JP341, JP342, JP343, JP344, JP345, JP346, JP347, JP348, JP349, JP350, JP351, JP352, JP353, JP354, JP355, JP356, JP357, JP358, JP359, JP360, JP361, JP362, JP363, JP364, JP365, JP366, JP367, JP368, JP369, JP370, JP371, JP372, JP373, JP374, JP375, JP376, JP377, JP378, JP379, JP380, JP381, JP382, JP383, JP384, JP385, JP386, JP387, JP388, JP389, JP390, JP391, JP392, JP393, JP394, JP395, JP396, JP397, JP398, JP399, JP400, JP401, JP402, JP403, JP404, JP405, JP406, JP407, JP408, JP409, JP410, JP411, JP412, JP413, JP414, JP415, JP416, JP417, JP418, JP419, JP420, JP421, JP422, JP423, JP424, JP425, JP426, JP427, JP428, JP429, JP430, JP431, JP432, JP433, JP434, JP435, JP436, JP437, JP438, JP439, JP440, JP441, JP442, JP443, JP444, JP445, JP446, JP447, JP448, JP449, JP450, JP451, JP452, JP453, JP454, JP455, JP456, JP457, JP458, JP459, JP460, JP461, JP462, JP463, JP464, JP465, JP466, JP467, JP468, JP469, JP470, JP471, JP472, JP473, JP474, JP475, JP476, JP477, JP478, JP479, JP480, JP481, JP482, JP483, JP484, JP485, JP486, JP487, JP488, JP489, JP490, JP491, JP492, JP493, JP494, JP495, JP496, JP497, JP498, JP499, JP500, JP501, JP502, JP503, JP504, JP505, JP506, JP507, JP508, JP509, JP510, JP511, JP512, JP513, JP514, JP515, JP516, JP517, JP518, JP519, JP520, JP521, JP522, JP523, JP524, JP525, JP526, JP527, JP528, JP529, JP530, JP531, JP532, JP533, JP534, JP535, JP536, JP537, JP538, JP539, JP540, JP541, JP542, JP543, JP544, JP545, JP546, JP547, JP548, JP549, JP550, JP551, JP552, JP553, JP554, JP555, JP556, JP557, JP558, JP559, JP560, JP561, JP562, JP563, JP564, JP565, JP566, JP567, JP568, JP569, JP570, JP571, JP572, JP573, JP574, JP575, JP576, JP577, JP578, JP579, JP580, JP581, JP582, JP583, JP584, JP585, JP586, JP587, JP588, JP589, JP590, JP591, JP592, JP593, JP594, JP595, JP596, JP597, JP598, JP599, JP600, JP601, JP602, JP603, JP604, JP605, JP606, JP607, JP608, JP609, JP610, JP611, JP612, JP613, JP614, JP615, JP616, JP617, JP618, JP619, JP620, JP621, JP622, JP623, JP624, JP625, JP626, JP627, JP628, JP629, JP630, JP631, JP632, JP633, JP634, JP635, JP636, JP637, JP638, JP639, JP640, JP641, JP642, JP643, JP644, JP645, JP646, JP647, JP648, JP649, JP650, JP651, JP652, JP653, JP654, JP655, JP656, JP657, JP658, JP659, JP660, JP661, JP662, JP663, JP664, JP665, JP666, JP667, JP668, JP669, JP670, JP671, JP672, JP673, JP674, JP675, JP676, JP677, JP678, JP679, JP680, JP681, JP682, JP683, JP684, JP685, JP686, JP687, JP688, JP689, JP690, JP691, JP692, JP693, JP694, JP695, JP696, JP697, JP698, JP699, JP700, JP701, JP702, JP703, JP704, JP705, JP706, JP707, JP708, JP709, JP710, JP711, JP712, JP713, JP714, JP715, JP716, JP717, JP718, JP719, JP720, JP721, JP722, JP723, JP724, JP725, JP726, JP727, JP728, JP729, JP730, JP731, JP732, JP733, JP734, JP735, JP736, JP737, JP738, JP739, JP740, JP741, JP742, JP743, JP744, JP745, JP746, JP747, JP748, JP749, JP750, JP751, JP752, JP753, JP754, JP755, JP756, JP757, JP758, JP759, JP760, JP761, JP762, JP763, JP764, JP765, JP766, JP767, JP768, JP769, JP770, JP771, JP772, JP773, JP774, JP775, JP776, JP777, JP778, JP779, JP780, JP781, JP782, JP783, JP784, JP785, JP786, JP787, JP788, JP789, JP790, JP791



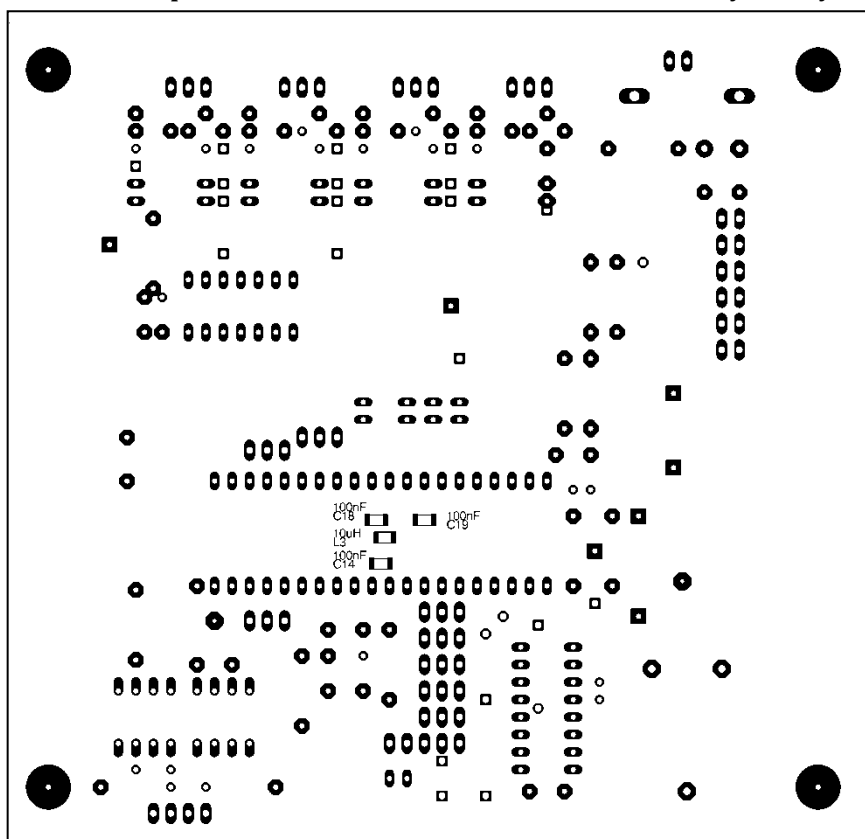
Obrázek 17 Předloha pro výrobu DPS řídicích obvodů



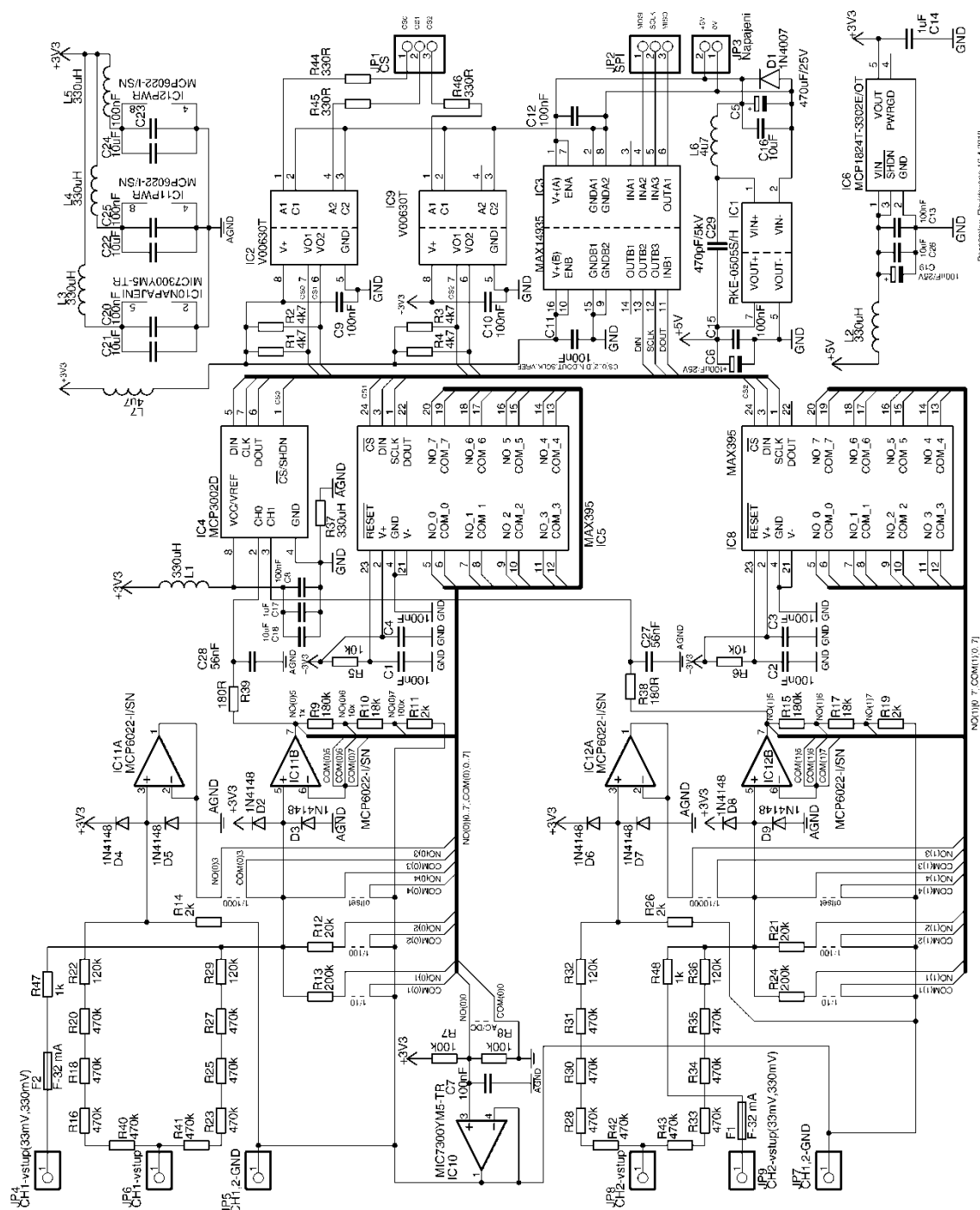
Obrázek 18 Osazovací plán propojek DPS řídicích obvodů



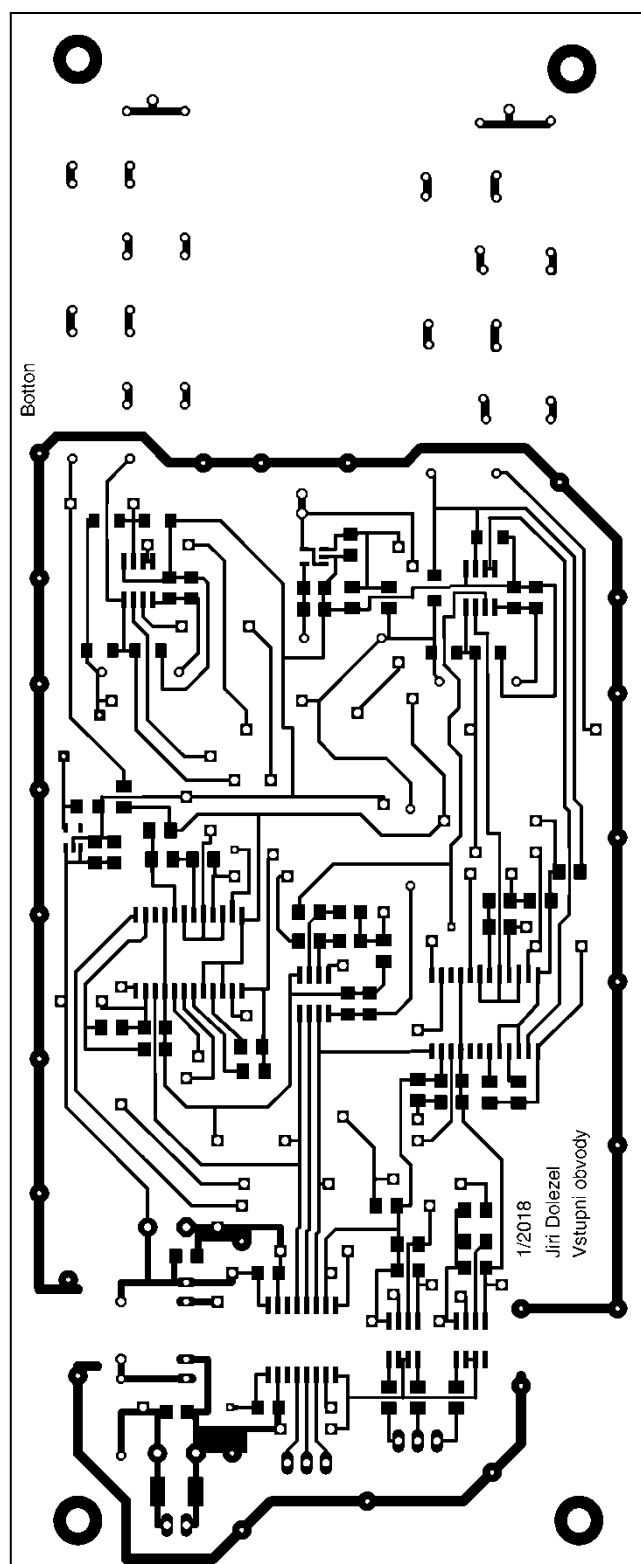
Obrázek 19 Osazovací plán součástek DPS řídicích obvodů – strana vývodových součástek



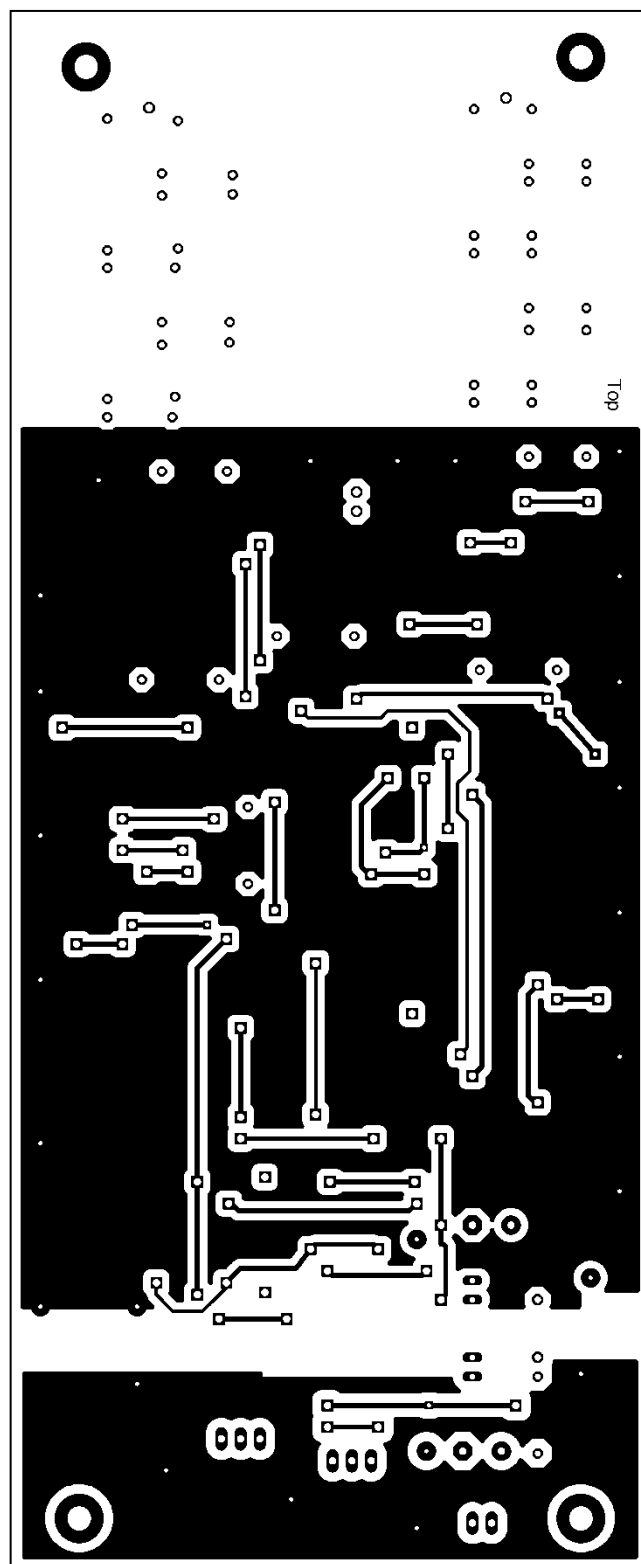
Obrázek 20 Osazovací plán součástek DPS řídicích obvodů – strana spojů



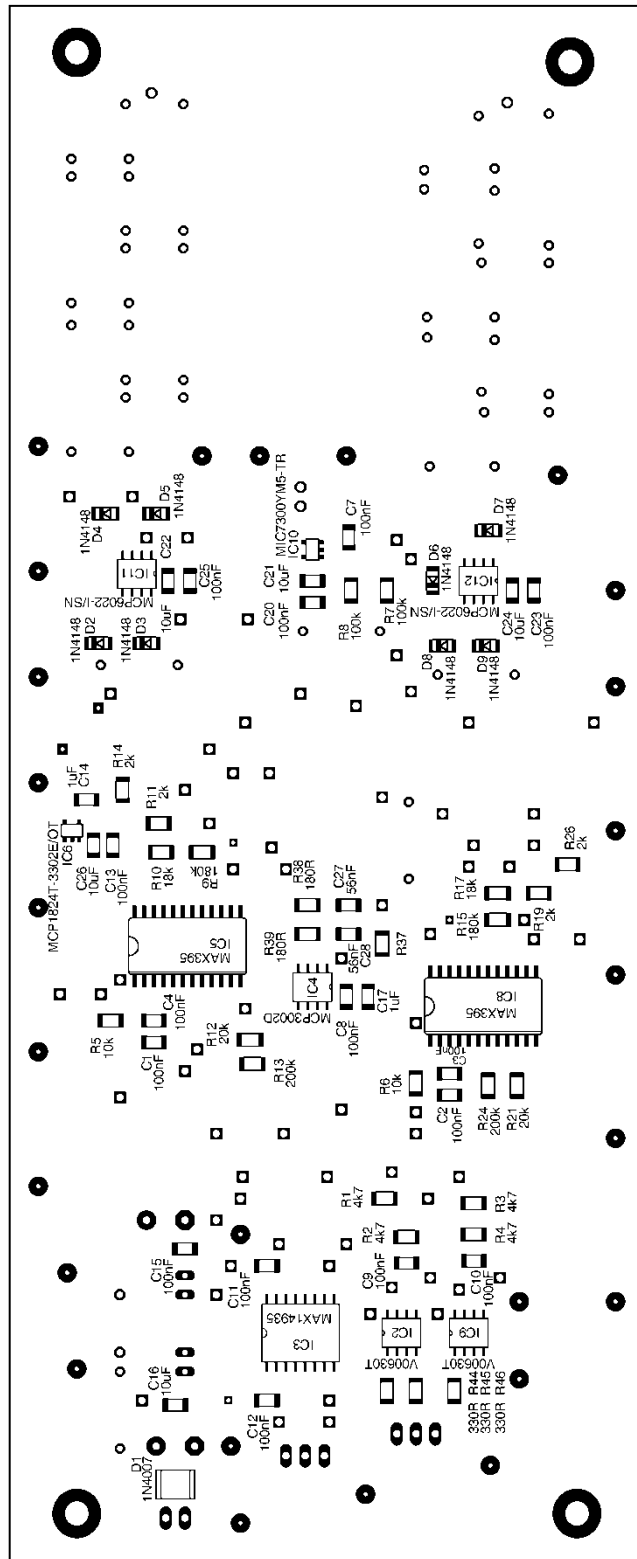
Obrázek 21 Schéma zapojení měřicího modulu



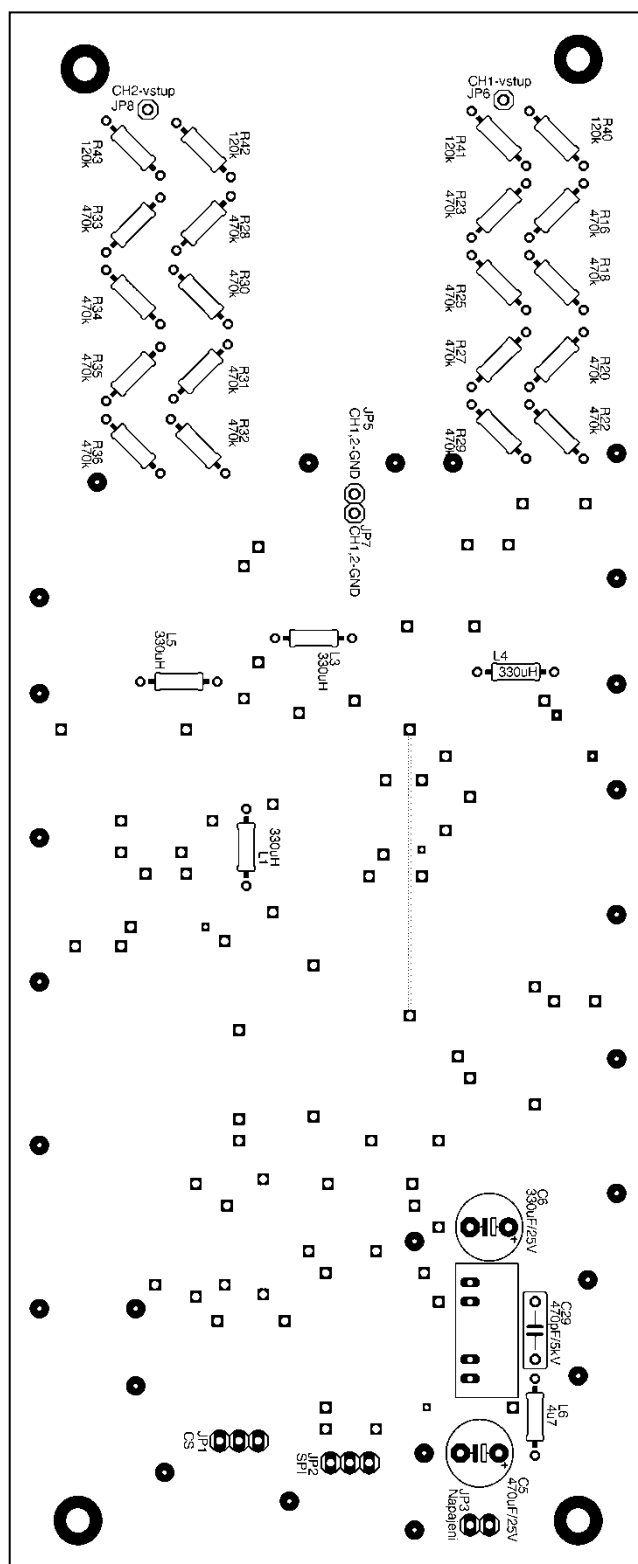
Obrázek 22 Předloha pro výrobu DPS vstupních obvodů 1. strana



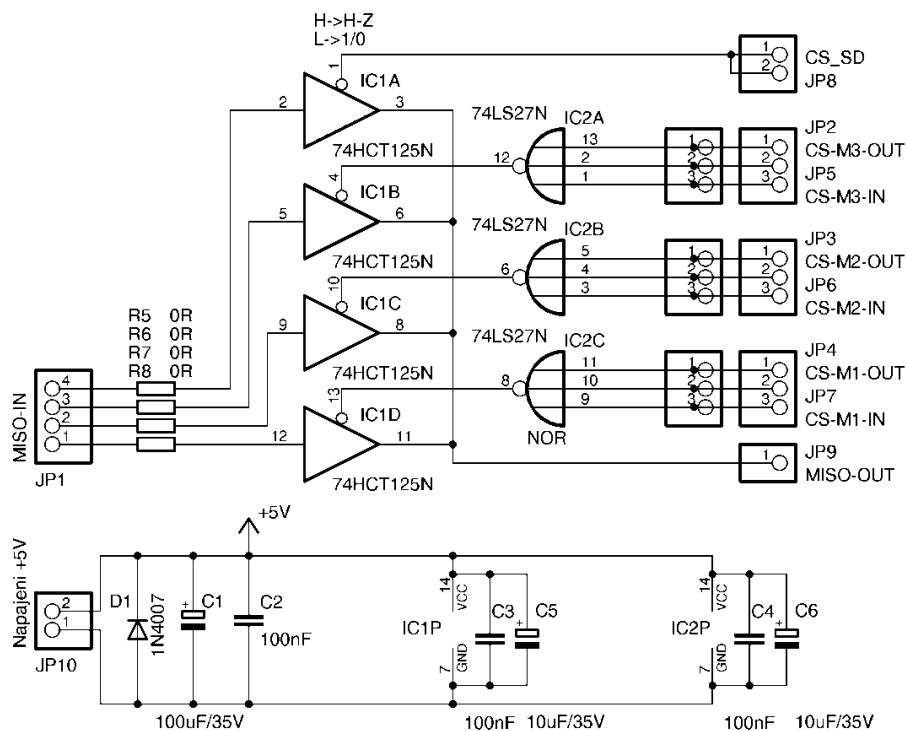
Obrázek 23 Předloha pro výrobu DPS vstupních obvodů 2. strana



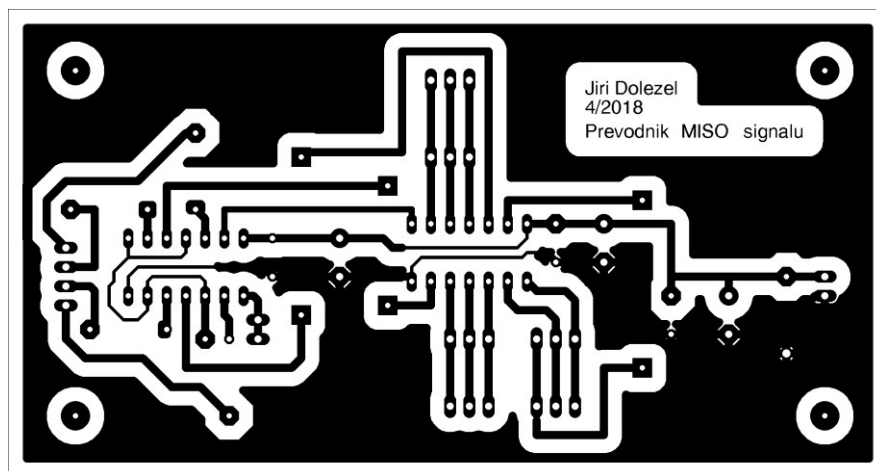
Obrázek 24 Osazovací plán součástek DPS vstupních obvodů - SMD



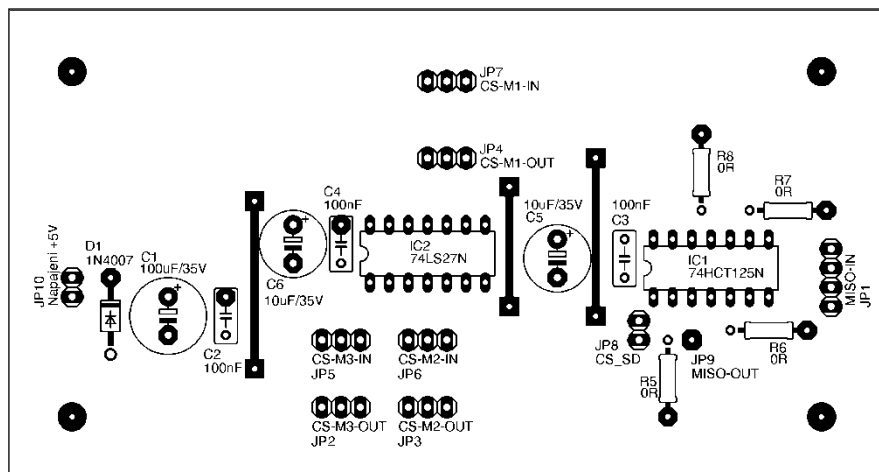
Obrázek 25 Osazovací plán součástek DPS vstupních obvodů – strana vývodových součástek



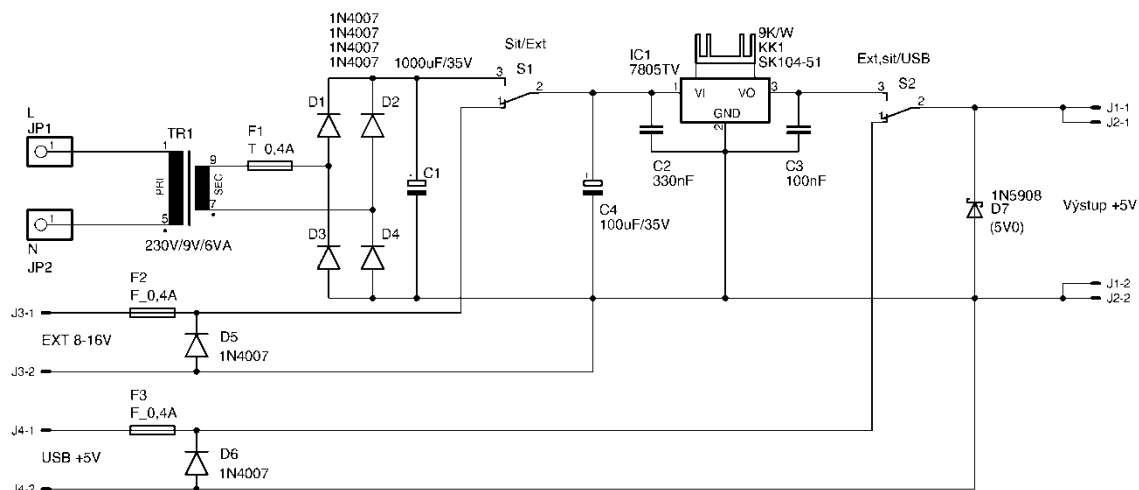
Obrázek 26 Schéma zapojení převodníku MISO signálu



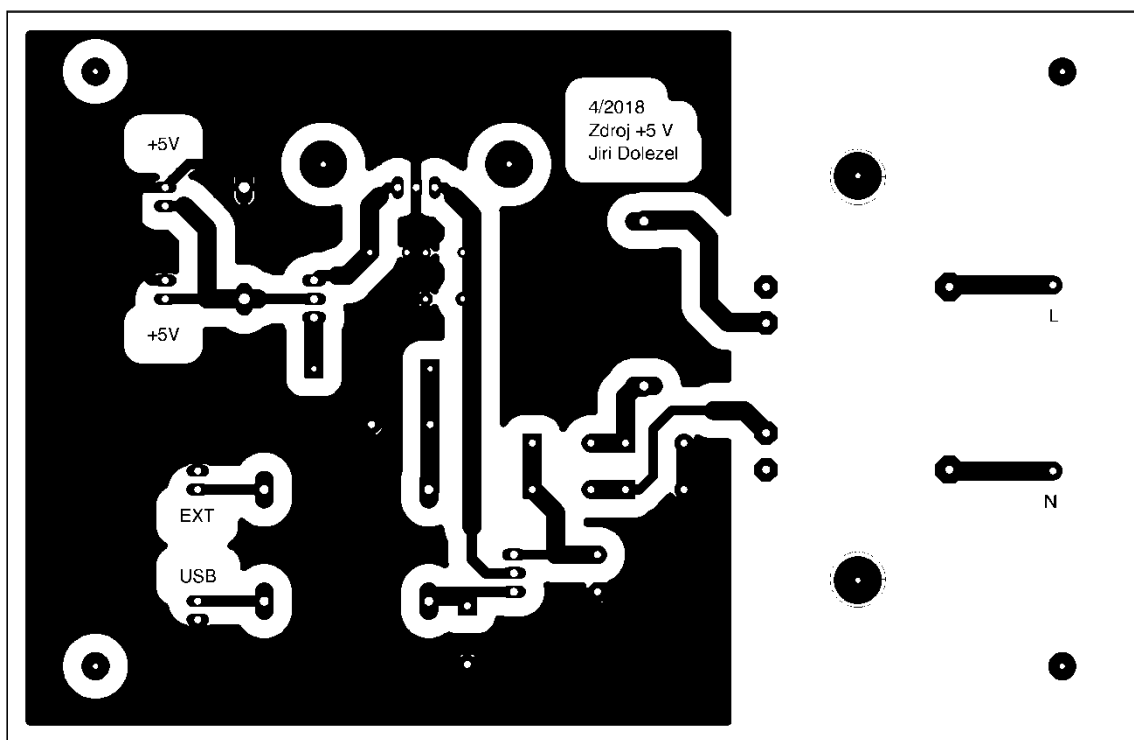
Obrázek 27 Předloha pro výrobu DPS převodníku MISO signálu



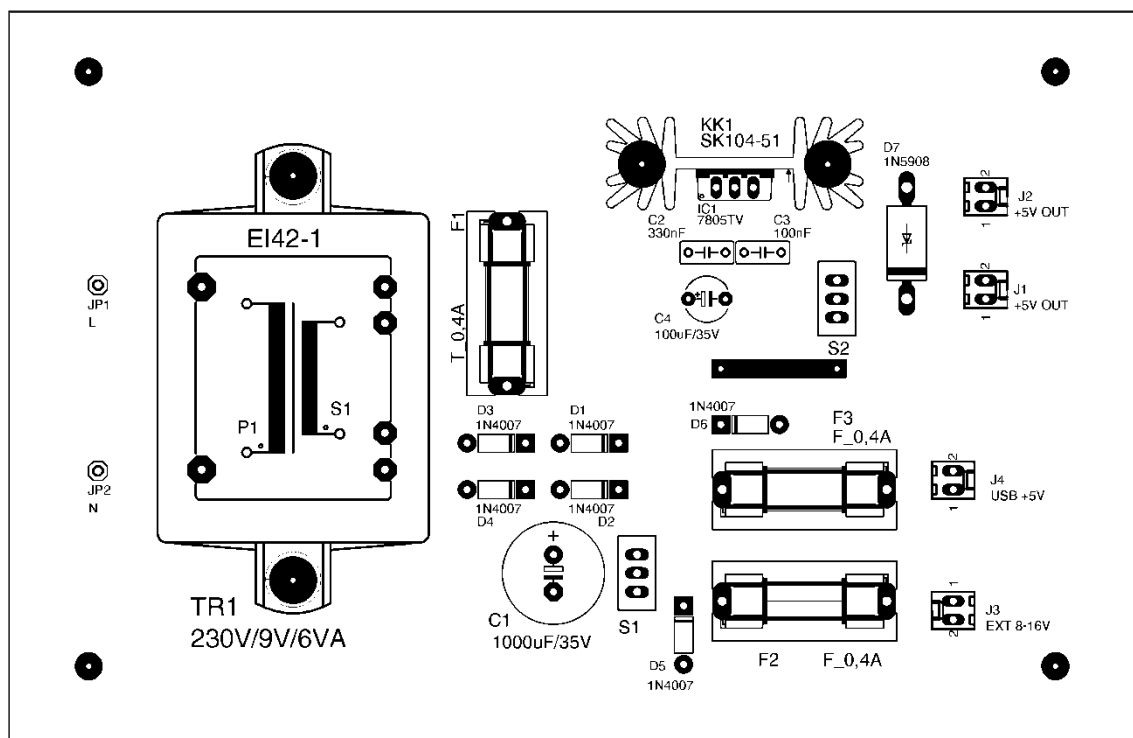
Obrázek 28 Osazovací plán součástek DPS převodníku MISO signálu



Obrázek 29 Schéma zapojení napájecího zdroje



Obrázek 30 Předloha pro výrobu DPS napájecího zdroje



Obrázek 31 Osazovací plán součástek DPS napájecího zdroje

CD-ROM:

Program pro ovládání dataloggeru

Fotodokumentace