



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

DATALOGGER S MIKROKONTROLEREM MSP430 A SD PAMĚŤOVOU KARTOU

DATALOGGER WITH MSP430 MICROCONTROLLER AND SD MEMORY CARD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

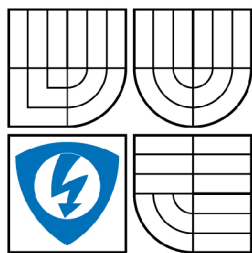
TOMÁŠ VÁŠA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK HAVRÁNEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Váša

ID: 98074

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Datalogger s mikrokontrolerem MSP430 a SD paměťovou kartou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V návaznosti na semestrální projekt se podrobněji seznámte s 16-bitovými mikrokontrolery Texas Instruments řady MSP430 a Secure Digital paměťovými kartami. Navrhněte a realizujte datalogger teploty s mikrokontrolerem řady MSP430Fxxx s ukládání dat na SD paměťovou kartu a napájením z baterií. Jako čidlo teploty použijte odporový kovový snímač. A/D převod bude realizován interním převodníkem v mikrokontroleru s rozlišením alespoň 12 bitů. Z hlediska spotřeby a složitosti konstrukce zvažte použití jednoho složitějšího nebo dvou jednodušších mikrokontrolerů. Při návrhu firmware mikrokontroleru se zaměřte na minimalizaci celkové spotřeby. Vytvořte jednoduchý program v PC pro zpracování uložených dat na paměťové kartě se zobrazením naměřených časových závislostí. Zabývejte se také možnostmi synchronizace reálného času mikrokontroleru v dataloggeru se skutečným časem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Firemní literatura Texas Instruments. Další dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Havránek

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá konstrukcí bateriového dataloggeru s mikrokontrolerem MSP430. Na začátku práce jsou popsány různé typy dataloggeru a jejich vybavení. Dále je zde řešen návrh dataloggeru. Jako je elektrické zapojení, návrh plošného spoje a programového vybavení mikrokontroleru.

KLÍČOVÁ SLOVA

datalogger, MSP430, paměťová karta, SD karta, A/D převodník, MMC karta

ABSTRACT

This thesis deals with design of battery datalogger with microcontroller MSP430. At first are described several types of dataloggers. The rest of this thesis gives attention to main goal which is design of datalogger. It consists of circuit diagram, layout of printed circuit board, firmware for microcomputer

KEYWORDS

datalogger, MSP430, memory card, SD card, A/D converter, MMC card

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁŠA, Tomáš. *Datalogger s mikrokontrolerem MSP430* *Bakalářská práce*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, 2009. Stran 53, příloh 5. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Havránek.

PROHLÁŠENÍ

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Datalogger s mikrokontrolerem MSP430 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Zdeňku Havránkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. DATALOGGER.....	11
2.1 Analogové dataloggery.....	11
2.2 Číslicové dataloggery.....	11
3. NAPÁJENÍ.....	12
3.1 Síťové napájení.....	12
3.2 Bateriové napájení.....	12
4. ZÁZNAMOVÁ MÉDIA.....	13
4.1 Compact flash CF.....	13
4.2 Multimedia card MMC.....	13
4.3 Secure digital SD.....	14
4.4 xD - Picture Card.....	14
4.5 Přehled parametrů paměťových karet.....	14
5. TYPY A/D PŘEVODNÍKŮ.....	15
5.1 Kompenzační A/D převodníky.....	15
5.2 Komparační A/D převodníky.....	16
5.3 Integrovaný A/D převodník.....	16
5.4 Sigma - Delta převodník.....	16
6. KONSTRUKCE.....	17
6.1 Řídící jednotka.....	17
6.1.1 Porovnání spotřeby s ostatními mikrokontrolery.....	18
6.1.2 Blokové schéma MSP430F427A.....	19
6.1.3 Rozmístění pinů mikrokontroleru.....	19
6.2 Obvod pro měření teploty.....	20
6.2.1 Platinové odporové teploměry.....	22
6.3 Paměťová karta.....	23
6.3.1 Rozhraní SPI.....	23
6.4 Protokol komunikace SPI.....	24
6.4.1 Inicializace SPI protokolu.....	25

6.4.2 Přenos dat po SPI sběrnici.....	25
6.4.3 Zápis a čtení dat v protokolu SPI.....	26
6.5 Souborový systém.....	27
6.5.1 Struktura souborového systému FAT16.....	27
6.6 Napájecí zdroj.....	29
6.7 Mechanická konstrukce.....	32
7. PROGRAM.....	33
7.1 Inicializace zařízení.....	33
7.2 Obsluha přerušení Watchdogu.....	34
7.3 Obsluha přerušení analogového převodníku.....	35
7.4 Ukládání na paměťovou kartu.....	36
7.5 Obsluha tlačítek.....	37
7.6 Nastavení parametrů měření.....	38
8. NAMĚŘENÁ DATA.....	39
8.1 Způsob uložení.....	39
8.2 Výpočet teploty.....	39
9. UŽIVATELSKÝ PROGRAM.....	42
10. ZÁVĚR.....	44
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	46
12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Blokové schéma dataloggeru.....	17
Obr. 2: Blokové schéma mikrokontroleru MSP430F427A [5].....	19
Obr. 3: Rozmístění pinů MSP430F427A [5].....	19
Obr. 4: Snímací část dataloggeru.....	20
Obr. 5: Rámec příkazu SPI protokolu [7].....	24
Obr. 6: Odezva protokolu SPI [7].....	24
Obr. 7: SPI datový packet [7].....	26
Obr. 8: Čtení jednoho bloku dat v SPI protokolu [7].....	26
Obr. 9: Zápis jednoho bloku dat v SPI protokolu [7].....	26
Obr. 10: Zobrazení struktury systému FAT16 [10].....	27
Obr. 11: Spotřeba dataloggeru.....	29
Obr. 12: Průběh spotřeby proudu při měření.....	30
Obr. 13: Graf závislosti provozní doby na intervalu měření.....	31
Obr. 14: Fotografie dataloggeru ze strany součástek.....	32
Obr. 15: Fotografie dataloggeru ze strany spojů.....	32
Obr. 16: Inicializace programu.....	34
Obr. 17: Obsluha přerušení watchdogu.....	35
Obr. 18: Obsluha přerušení od A/D převodníku.....	36
Obr. 19: Zápis dat na flash kartu.....	37
Obr. 20: Uložení nastavovacích údajů.....	38
Obr. 21: Uložení naměřených dat.....	39
Obr. 22: Zobrazení naměřeného průběhu.....	43
Obr. 23: Výstupní soubor output.txt.....	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled parametrů paměťových karet.....	14
Tab. 2: Porovnání spotřeby mikrokontrolerů	18
Tab. 3: Přehled signálů SPI rozhraní [6].....	23
Tab. 4: Příkazy SPI komunikace [2].....	25

1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh a realizace dataloggeru s mikrokontrolerem. Práce má obsahovat kompletní projekt zapojení zařízení se schématy a návrhem plošného spoje, včetně kompletního programového vybavení pro použitý mikrokontroler s obslužným programem na PC. Celý výrobek má být poté vyroben a oživen pro ověření správné funkce.

Datalogger má být schopen měřit a zaznamenávat jednu analogovou veličinu, v našem případě se jedná o teplotu. Změřená hodnota se bude ukládat na SD paměťovou kartu, pomocí které se následně budou data přenášet do PC. Dalším požadavkem je použití mikrokontroleru od firmy Texas Instruments z rodiny MSP430.

Pro konstrukci byl vybrán mikrokontroler MSP430F427A. Hlavní důvod byl, že má integrovaný 16-ti bitový A/D převodník a dostatečné množství paměti pro implementaci souborového systému FAT 16. Pro komunikaci s paměťovou kartou slouží sériové rozhraní SPI. K ovládání celého zařízení bude použito pouze minimum ovládacích prvků. Veškeré parametry se budou nastavovat přes konfigurační soubor uložený na SD kartě, který se bude moci editovat v PC.

Jelikož celý datalogger má být napájen bateriově, bude kladen důraz na nízkou spotřebu zařízení, aby se dosáhlo co nejvyšší životnosti baterie, a tím dlouhé doby záznamu.

2. DATALOGGER

Datalogger je zařízení, které samostatně zaznamenává danou veličinu v čase. Tyto data se mohou zaznamenávat různými způsoby. V zásadě existují dva druhy záznamníků, analogové a číslicové.

2.1 ANALGOVÉ DATALOGGERY

Analogové dataloggery (zapisovače) se skládají z pohyblivého pera, které se pohybuje v závislosti na měřené veličině a hodinového strojku. Ten pohybuje válcem na kterém je zapisovací médium. Pero se může vychylovat čistě mechanicky nebo elektromechanicky. Záznamové médium se vyrábí ve dvou variantách, s rovným pruhem papíru nebo se záznamovým kotoučkem.

2.2 ČÍSLICOVÉ DATALOGGERY

Číslicové dataloggery obsahují analogově - číslicový převodník, který převede spojitou hodnotu měřených dat do digitální podoby. Dále obsahují hodiny reálného času a paměť pro ukládání dat. Jako paměti pro ukládání naměřených dat se mohou používat paměti typu RAM, které musejí být bateriově zálohovány z důvodu ochrany dat při výpadku napájení nebo paměti typu EEPROM nebo FLASH. U těchto pamětí nedojde při výpadku napájení ke ztrátě dat. FLASH paměti se vyznačují i vysokou kapacitou a tím i vyšším počtem zaznamenaných dat. S daty získanými převodem analogové hodnoty se též ukládají časové značky, získané z hodin reálného času. Díky tomu se data přesně definují v čase a dá se tak zpětně zrekonstruovat průběh měřené veličiny.

3. NAPÁJENÍ

Zdroj energie je velice důležitá součást zařízení, a proto je mu třeba věnovat náležitou pozornost. Napájení dataloggerů se dá realizovat v zásadě dvěma způsoby, napájení z rozvodné sítě nebo z baterií a akumulátorů. Výhodou baterií je, že zařízení může být miniaturních rozměrů a téměř zanedbatelné hmotnosti, což se nedá říci o napájení z rozvodné sítě, kde síťový transformátor je značně velký a těžký. Nevýhodou je pak omezená provozní doba.

3.1 SÍŤOVÉ NAPÁJENÍ

Síťové napětí 230V/50Hz se zde transformuje na stejnosměrné napětí o velikosti 10 až 30 V. Při použití síťového napětí je třeba účinně zamezit průniku rušivých signálů ze sítě do zařízení. Tyto rušivé signály by se mohly negativně projevit na přesnosti a spolehlivosti celého zařízení. Dále je třeba ošetřit možnost přerušování přívodu energie. V případě použití paměti typu RAM bychom mohli ztratit všechny dosud nasbíraná data, proto je třeba tyto paměti bateriově zálohovat. V případě použití non-volatilních pamětí (FLASH, EEPROM) toto řešit nemusíme. Data zůstanou uložena i při výpadku napájení.

3.2 BATERIOVÉ NAPÁJENÍ

Výhodou tohoto typu napájení je nezávislost na externím zdroji napájení. Vzhledem k stále se snižující spotřebě a zlepšujícím se vlastnostem akumulátorů lze zajistit dlouhou provozní dobu zařízení. Tyto zdroje se dají rozdělit do dvou skupin.

Nenabíjíitelné (baterie)- jde o zdroje el. energie, které se nedají znovu obnovit. Jejich výhodou je malý samovolný vybíjecí proud. Nejčastěji se používají zinko-uhlíkové, alkalické a lithiové články.

Nabíjíitelné (akumulátory) - nejčastěji se používají NiCd, NiMh, Li ion a Pb akumulátory. Jejich životnost je velice ovlivněná způsobem nabíjení.

4. ZÁZNAMOVÁ MÉDIA

V dnešní době je na trhu nepřeberné množství typů pamětí. Mezi velice oblíbené a dobře dostupné patří paměťové karty typu FLASH [1]. Tyto paměti dokážou bez napájení uchovat data až 10 let. Jejich velikosti se pohybují od 16 MB do 16 GB. Jelikož neobsahují žádné mechanické části, mají vynikající mechanickou odolnost. Karty typu CF zaručují funkčnost i po nárazu se zrychlením 2000 G. Existuje mnoho typů těchto karet, například karty typu CF, SD, MMC,xD.

4.1 COMPACT FLASH CF

Formát těchto karet byl poprvé specifikován firmou SanDisk v roce 1994. Tyto paměti existují ve dvou variantách. Typ I s tloušťkou 3,3 mm je novější. Jejich kapacity mohou být teoreticky vyšší než 100 GB. Typ II o tloušťce 5 mm je starší a jeho šířka odpovídá tloušťce MicroDrive disku, které jimi mohly být nahrazeny. Tyto disky, vzhledem k ceně polovodičových pamětí, nemají v dnešní době uplatnění. Velikou výhodou těchto karet je vysoká přenosová rychlost, která dosahuje až 133 MB/s, což je mnohokrát více než u ostatních zařízení [1].

4.2 MULTIMEDIA CARD MMC

Standard byl uveřejněn v roce 1997 firmami Siemens AG a SanDisk [2]. Je podstatně menší než karty CF. Jejich rozměry jsou 24 mm x 32 mm x 1.4 mm. Vyrábí se ve verzích RS-MMC, MMCmicro a DV-MMC s napájením 1,8 nebo 3,3 V. Tyto karty mohou komunikovat přes 1 bitové sériové MMC rozhraní. Novější verze používají rozhraní 4 nebo dokonce až 8 bitové. Umožňují též komunikovat přes rozhraní SPI.

4.3 SECURE DIGITAL SD

Existuje ve variantách SD, miniSD, microSD, tyto varianty se liší svojí velikostí. Karty typu miniSD a microSD lze použít ve standardním slotu pro SD kartu pomocí adaptéru. Jelikož standardní formát SD mohl dosahovat kapacity maximálně 4 GB, byl navržen formát SDHC. Taková karta může obsahovat až 2048 GB dat. Tento typ se nedá použít v zařízeních pro SD karty, ale SD karty se dají použít v zařízeních SDHC kompatibilních [2].

4.4 XD - PICTURE CARD

Tyto karty byly vyvinuty firmami Olympus a Fujifilm v roce 2002. Existují dva základní typy, typ H a typ M. Základní typ může dosahovat kapacity pouze 512 MB. Typy H (M) mohou dosahovat až 8 GB. Jejich velkou nevýhodou je jejich cena [1].

4.5 PŘEHLED PARAMETRŮ PAMĚŤOVÝCH KARET

Typ karty	Teoretická kapacita	Max. rychlost zápisu	Max. rychlost čtení	Napájecí napětí	Počet pinů	Rozhraní
CF	137 GB	133 MB/s	133 MB/s	3,3 a 5 V	50	paralelní (IDE/ATA)
MMC	128 GB	20 MB/s	20 MB/s	1,8 a 3,3 V	7	MMC bus, SPI
SD/SDHC	4/2048 GB	20 MB/s	20 MB/s	3,3 V	9	1 nebo 4 bit. SD rozhraní, SPI
xD/xD TypeM (H)	512 MB / 8 GB	5 MB/s	3 MB/s	3,3 V	18	xD rozhraní

Tab. 1: Přehled parametrů paměťových karet

5. TYPY A/D PŘEVODNÍKŮ

Tyto převodníky [3] jsou určeny k digitalizaci spojitého signálu v čase. Můžeme je rozdělit do dvou skupin:

- přímé - výstupem je přímo velikost vstupního signálu v digitální podobě. Patří sem převodníky kompenzační a komparační. Výhodou je vyšší rychlost. Nevýhodou je jejich malá odolnost proti šumu v měřeném signálu.
- nepřímé - měřená veličina se nejdříve převede na čas nebo frekvenci a až poté se převede na diskrétní veličinu. Nejčastějšími představiteli této skupiny jsou převodníky s jednoduchou nebo dvojitou integrací, převodníky napětí-frekvence.

5.1 KOMPENZAČNÍ A/D PŘEVODNÍKY

Princip těchto převodníků spočívá v tom, že se porovnává neznámé vstupní napětí s kompenzačním napětím. Nejčastěji se využívá metody postupné aproximace. Tento převodník využívá metody půlení intervalu a následně pak zjišťuje, ve které polovině se měřené napětí nachází. Tuto polovinu poté znovu rozdělíme a provedeme zjištění. Po každém dělení se určí hodnota dalšího bitu. Tento postup opakujeme tak dlouho, než je zjištěno napětí, které nejvíce odpovídá měřenému. Součástí je číslicově analogový převodník. Ten zpětně převádí výstupní slovo na analogové srovnávací napětí. Toto napětí, měnící se v každém kroku, je porovnáváno v napěťovém komparátoru se vstupním analogovým napětím. [3]

Při použití procesoru postupujeme následovně:

Do log. 1 uvedeme nejvyšší bit D/A převodníku. Následně pak otestujeme stav komparátoru a podle toho, je-li U_m větší než $U_{D/A}$, ponecháme bit v log. 1 nebo vrátíme zpět do log. 0. Následovně takto postupujeme i s dalšími bity. Výsledné číslo na vstupech D/A převodníku odpovídá měřenému napětí.

- A/D převodníky s postupnou aproximací mohou mít značnou rychlost převodu a velmi dobrou rozlišovací schopnost.
- doba měření je dána rychlostí řídicí jednotky, D/A převodníku a komparátoru, je však nižší než u paralelního převodníku.

5.2 KOMPARAČNÍ A/D PŘEVODNÍKY

Nejrychlejší metoda převodu je však drahá. Pro 8 bitový převodník je potřeba 255 komparátorů. Referenční napětí se pomocí stejných odporů rozdělí se stejným odstupem. Každý stupeň je připojen ke komparátoru a porovnáván s měřenou hodnotou. Výstupy komparátorů se zpracují kombinačními logickými obvody. [3]

5.3 INTEGRAČNÍ A/D PŘEVODNÍK

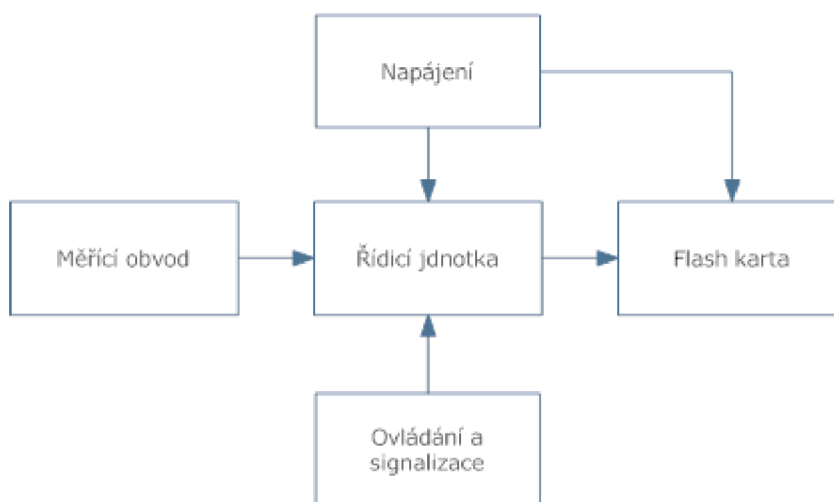
Převážně se používá převodník s dvojí integrací, který převádí vstupní napětí na časový interval ve dvou taktech. V prvním intervalu se na integrátoru integruje neznámé napětí. Poté se integruje referenční napětí o opačné polaritě, než bylo napětí neznámé. Tím dojde k odintegrování naintegrované hodnoty. Měříme čas, za jaký se integrátor vrátí do výchozího stavu (před první fází). Z poměru těchto dvou intervalů se dá určit střední hodnota neznámého napětí. Tyto převodníky jsou velmi odolné proti rušení, mají vysokou přesnost, ale jsou pomalejší. Převod může trvat až několik ms. [3]

5.4 SIGMA - DELTA PŘEVODNÍK

Nahrazují integrační převodníky. Převodník obsahuje komparátor, jeden nebo více integrátorů, analogové sumační obvody a řídicí jednotku. K převodu jsou potřeba taktovací impulsy, kterými se vzorkuje vstupní signál. Ten ovládá přepínání referenčního napětí, přičítaného k měřenému napětí na vstupu integrátoru. Na výstupu vzorkovacího klopného obvodu se objeví napětí obdélníkového průběhu, které trváním nízké a vysoké úrovně vyjadřuje měřené napětí, jenž je dáno střední hodnotou v jednotlivých časových úsecích. Ta se určuje číslicovým zpracováním a filtrací. Výhodou je velmi dobré rozlišení (až 24 bitů). Jejich použití však omezuje relativně dlouhá doba převodu.[3]

6. KONSTRUKCE

Celé zařízení je velice jednoduché a skládá se z několika hlavních částí. Těmi jsou řídicí jednotka, paměťová karta, měřicí obvod a napájecí zdroj. Blokové schéma dataloggeru je na Obr. 1.



Obr. 1: Blokové schéma dataloggeru

6.1 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Jako řídicí jednotku jsme použili mikrokontroler MSP430F427A [4][5]. Jedná se o 16 - ti bitový mikrokontroler vyráběný firmou Texas Instruments. Tento MCU je od začátku navržen jako MCU s nízkou spotřebou, která může být nižší než 1 μ A a s nízkou cenou. Pro svoji nízkou spotřebu se velice dobře hodí pro zařízení napájená bateriově. Zařízení mají mnoho variací, které mohou obsahovat watchdog, komunikační rozhraní USART, SPI, I2C a 10/12/14/16-bit A/D převodníky. Dále se mohou lišit typem paměti a jejich velikostí. Všechna zařízení této rodiny jsou tzv. In-system programmable, což znamená, že se dají programovat přímo zapojená v obvodě.

Parametry mikrokontroleru:

- Napájecí napětí 1,8 až 3 V
- Ultra nízká spotřeba
- Pět úsporných režimů snižujících spotřebu
- 16- ti bitová architektura
- 16-bitový Sigma-Delta A/D
- Univerzální sériové rozhraní (USI) podporující SPI a I2C
- 32KB + 256B Flash paměti a 1kB RAM

MSP430F427 má celkově 64 pinů, z nichž je 14 vstupních nebo výstupních podle nastavení. Pro komunikaci s okolím lze použít rozhraní SPI nebo I2C podle potřeby. Velkou předností tohoto typu je integrovaný 16-bitový Sigma-Delta převodník, který má v sobě vestavěnou napěťovou referenci o hodnotě 1,2 V, tu můžeme použít.

Nevýhodou tohoto jednočipu je, že obsahuje 32 pinů, které se dají používat pouze pro ovládání displeje. Tyto piny zůstávají v této aplikaci nevyužity a pouze zabírají místo na desce plošného spoje.

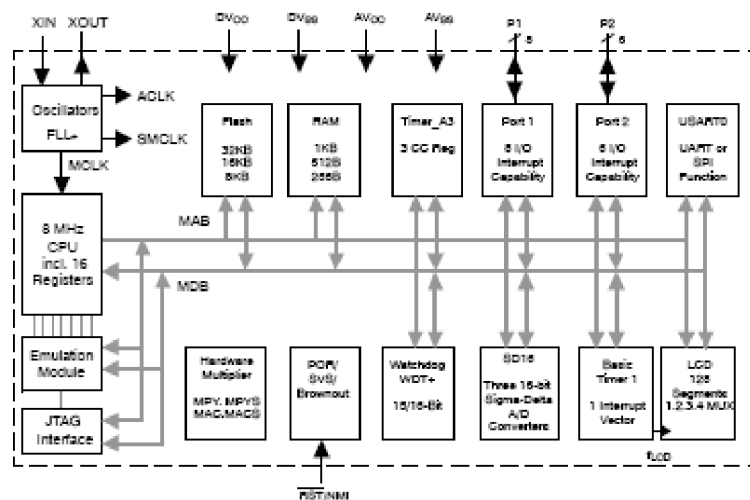
6.1.1 Porovnání spotřeby s ostatními mikrokontrolery

Typ	Výrobce	Architektura [bitů]	Frekvence [MHz]	Spotřeba [μ A]		
				Active	Stand by	Sleep
MSP430F427A	Texas Instruments	16	8	250 μ A]	0,8 μ A]	0.1 μ A]
EM6819	EM Microelectronic	8	15	140 μ A]	2,31 μ A]	1,9 μ A]
C8015F920	Silicon Labs	8	25,5	4,1 μ A]	-	0,6 μ A]
PIC24FJ16	Microchip	16	16	15 mA	3,5 mA	-

Tab. 2: Porovnání spotřeby mikrokontrolerů

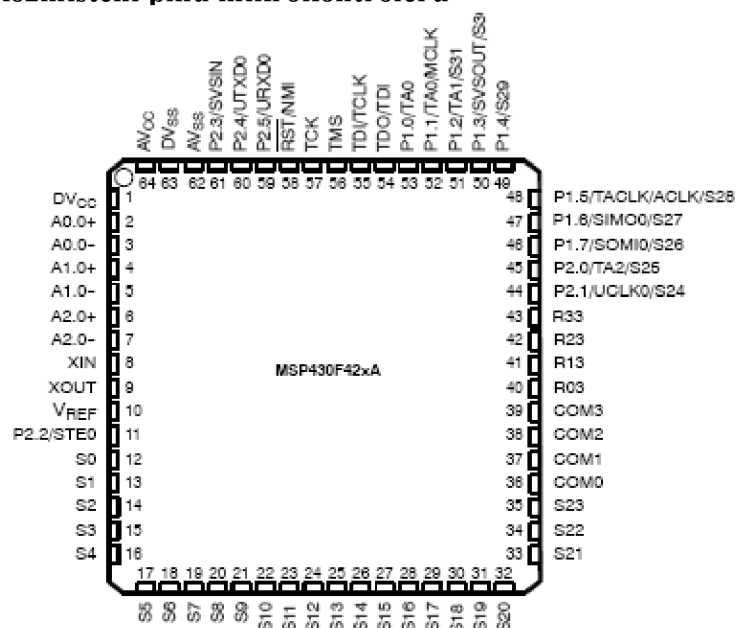
Jak je z přehledu vidět, MSP430F427A má sice největší spotřebu v aktivním módu a nejmenší v úsporných režimech. Proto se budeme snažit, aby se celé zařízení nacházelo v aktivním režimu co nejmenší dobu. Tím se nám podaří hodně snížit spotřebu zařízení. Další výhodou MCU od Texas Instruments je ta, že má 16 bitovou architekturu a tudíž umožňuje pracovat s většími čísly rychleji než 8 bitové mikrokontrolery.

6.1.2 Blokové schéma MSP430F427A



Obr. 2: Blokové schéma mikrokontroleru MSP430F427A [5]

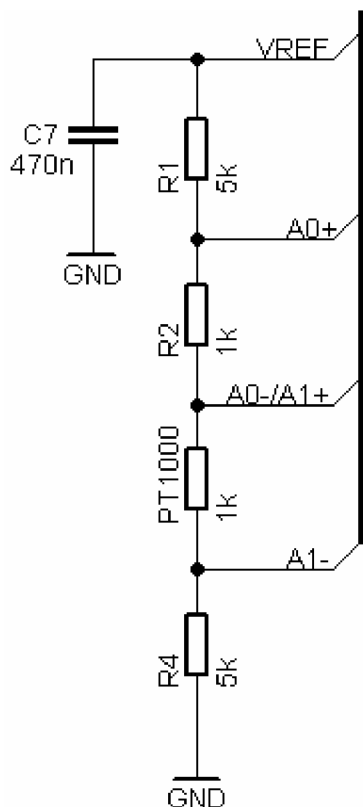
6.1.3 Rozmístění pinů mikrokontroleru



Obr. 3: Rozmístění pinů MSP430F427A [5]

6.2 OBVOD PRO MĚŘENÍ TEPLoty

Jako snímač teploty je použit odporový snímač teploty Pt1000 v pouzdře SMD velikosti 1206. Zapojení je znázorněno na Obr. 4.



Obr. 4: Snímací část dataloggeru

Při určování teploty postupujeme následovně.

Nejdříve zapneme interní referenci VREF o hodnotě 1,2 V. Počkáme 1 ms na ustálení referenční hodnoty a poté změříme napětí na známém rezistoru R2. Z toho můžeme vypočítat proud protékající celým děličem. Dále změříme napětí na odporovém snímači teploty. Jelikož známe i proud přes něj protékající můžeme určit přesný odpor snímače a následně určit teplotu. Z tohoto vyplývá, že odpory rezistorů R1, R2 a R4 by měly být v ideálním případě s teplotou neměnné, aby do měření nepřenášely chybu.

Například pokud bychom použili rezistory s teplotním koeficientem + 50 ppm / °C, chyba způsobená změnou teploty o 80 °C by byla 0,7 °C. Příklad výpočtu je ukázán v rovnicích (1) až (4).

Odpor rezistorů s teplotním koeficientem +50 ppm/°C při teplotě 80°C je vypočítán v (1).

$$\begin{aligned}
 R_{1skutečný} &= R_{4skutečný} = 5000 + \frac{50 \cdot 5000}{1000000} \cdot 55 = 5013,75 \Omega \\
 R_{2skutečný} &= 1000 + \frac{50 \cdot 1000}{1000000} \cdot 55 = 1002,75 \Omega \\
 PT1000_{skutečný} &= 1308,97 \Omega
 \end{aligned} \tag{1}$$

Dále hodnoty napětí, které by naměřil datalogger jsou vypočítány v (2).

$$\begin{aligned}
 U_{R2změřené} &= U_{REF} \cdot \frac{R_2}{R_{1skutečný} + R_{2skutečný} + PT1000_{skutečný} + R_{4skutečný}} = 97,52 mV \\
 U_{PT1000změřené} &= U_{REF} \cdot \frac{PT1000_{skutečný}}{R_{1skutečný} + R_{2skutečný} + PT1000_{skutečný} + R_{4skutečný}} = 127,3 mV
 \end{aligned} \tag{2}$$

Pokud pro výpočet proudu procházejícího děličem použijeme hodnotu odporu rezistoru $R_2 = 1000 \Omega$ vyjde nám proud, který se liší od proudu skutečného. Zde se dopouštíme chyby tím, že zanedbáváme přírůstek odporu u rezistoru R_2 způsobený teplotou. Výpočet je v (3).

$$I = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{97,52 mV}{1000} = 97,52 \mu A \tag{3}$$

Následně s vypočteným proudem zjistíme odpor platinového teploměru a výslednou teplotu. Výpočet je v (4).

$$\begin{aligned}
 R_{PT100} &= \frac{U_{PT1000změřené}}{I} = \frac{127,3 mV}{97,52 \mu A} = 1305,36 \Omega \\
 t &= \frac{\frac{R_{PT100}}{R_0} - 1}{\alpha} = \frac{\frac{1305,36}{1000} - 1}{0,00385} = 79,3 \text{ } ^\circ C
 \end{aligned} \tag{4}$$

Jak je vidět z výpočtu (4) vypočtená teplota se od skutečné liší o 0,7 °C. Vypočtená chyba je pro běžné měření zanedbatelná, ale pro velmi přesná měření je s ní třeba počítat.

6.2.1 Platinové odporové teploměry

Tyto teploměry jsou určeny především pro přesné měření teploty. Při správném použití dosahují vynikající přesnosti měření. Ve světě se používají dva druhy platiny lišící se teplotním koeficientem odporu α .

- $\alpha = 0,00385055 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - tyto teploměry jsou rozšířené v Evropě
- $\alpha = 0,00392000 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ - tato verze je rozšířená v Japonsku, Rusku a v USA

Teplotní koeficient α je dán vztahem (5).

$$\alpha = \frac{(R_{100} - R_0)}{100 \cdot R_0} \quad (5)$$

Kde:

R_{100} je odpor při $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

R_0 je odpor při $0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Základní teploty platinových teploměrů při $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ mohou být 10, 100, 500, 1000 Ω v některých zemích i 50 a 47 Ω .

Teplotní závislost

Pro přesná měření nebo velké rozpětí teplot je nutné závislost odporu na teplotě uvažovat jako polynom vyššího stupně. Pro rozsah teplot $-200 \text{ } ^\circ\text{C}$ až $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ je charakterizován vztahem (6).

$$R_T = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3 \cdot (t - 100)] \quad (6)$$

Pro rozsah teplot $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ až $850 \text{ } ^\circ\text{C}$ je charakterizován vztahem (7).

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2) \quad (7)$$

Kde:

$$\alpha = 3,908 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\beta = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$\gamma = -4,2735 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1-3}$$

t – teplota

R_T – odpor při teplotě t

R_0 – odpor při teplotě $0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pro malý rozsah měřených teplot se vztah zjednoduší, zanedbají se konstanty β a γ . Takovýto vztah je (8).

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad (8)$$

6.3 PAMĚŤOVÁ KARTA

Datalogger má slot na paměťové karty typu Multimedia Card (MMC) a Secure Digital (SD) standardních rozměrů a s napájením 3,3 V. Tyto karty komunikují s řídicí jednotkou prostřednictvím SPI rozhraní. Nevýhodou použití SPI rozhraní je nižší rychlost oproti MMC a SD protokolům. Velkou výhodou je ovšem jednoduchost celého zapojení a použití.

6.3.1 Rozhraní SPI

Rozhraní Serial Peripheral Interface Bus (SPI) je sériová komunikační sběrnice pracující ve full duplexním režimu. V dataloggeru je použita pro komunikaci řídicí jednotky s paměťovou kartou MMC. Zařízení připojená k této sběrnici komunikují v master/slave modu, kde master řídí tok na sběrnici. Na jedné sběrnici může být několik slave zařízení, přitom výběr jednotlivých zařízení se realizuje pomocí vodiče slave select.

Název signálu	Popis signálu
SCLK	Serial clock (hodinový signál)
MOSI/SIMO	Master output / Slave output (výstup z master / slave zařízení)
MISO/SOMI	Master input / Slave input (vstup do master / slave zařízení)
SS	Slave select (výběr zařízení)

Tab. 3: Přehled signálů SPI rozhraní [6]

Možnosti použití:

Tento protokol se používá pro komunikaci se senzory, s paměťmi, LCD displeji, SD a MMC kartami.

Výhody:

- full duplex komunikace
- velice jednoduchá hardwarová implementace
- potřebuje pouze 4 piny

Nevýhody:

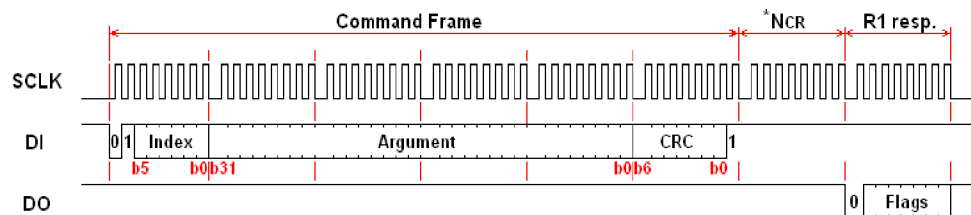
- může být připojeno jen jedno master zařízení
- použitelné jen na malé vzdálenosti

6.4 PROTOKOL KOMUNIKACE SPI

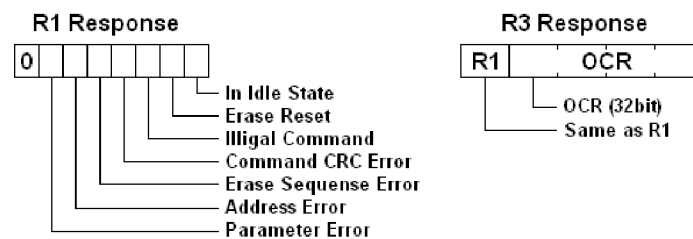
Každá operace začíná příkazem, který ji identifikuje. Struktura je naznačena na obrázku Obr. 5. Příkaz vždy začíná sekvencí bitů 01, následovaných šestibitovým indexem příkazu. Dalších 32 bitů představuje argument příkazu, který je zakončen osmibitovým kontrolním součtem. U SPI protokolu se standardně kontrolní součty nepoužívají (zasílá se 0x01), ale jsou potřeba u příkazů CMD0 a CMD8, které se při inicializaci zasílají ještě před přechodem do SPI módu.

Každý příkaz je zakončen osmibitovou odezvou R1, která udává chybová hlášení a význam jednotlivých bitů je na obrázku Obr. 6. Před odezvou R1 může být N bytů výplně, které se od odezvy R1 odlišují nastaveným nejvyšším bitem.

Použité příkazy jsou uvedeny v tabulce Tab. 4. Příkazy typu ACMD musí být uvozeny nejdříve příkazem CMD55.



Obr. 5: Rámec příkazu SPI protokolu [7]



Obr. 6: Odezva protokolu SPI [7]

Index	Argument	Odpověď	Popis
CMD0		R1	Softwarový reset
CMD1		R1	Inicializace komunikace pro MMC kartu
ACMD41		R1	Inicializace komunikace pro SD kartu
CMD8		R7	Ověření napájení
CMD16	Délka bloku	R1	Nastavení velikosti bloku
CMD17	Adresa	R1	Čti blok
CMD18	Adresa	R1	Čti více bloků
CMD24	Adresa	R1	Zapiš blok
CMD25	Adresa	R1	Zapiš více bloků

Tab. 4: Příkazy SPI komunikace [2]

6.4.1 Inicializace SPI protokolu

Po připojení napájení se karta uvede do provozu ve standardním módu. To znamená, že bude komunikovat přes MMC/SD protokol. Abychom mohli komunikovat po SPI protokolu, musíme provést následující posloupnost operací.

Po vložení karty musíme počkat aspoň 1 ms. Poté nastavit signál CS a poslat více než 74 hodinových impulsů. Jako následující se musí vyslat příkaz CMD0 se správným CRC součtem při CS = 0. Při odpovědi R1 = 1 se karta úspěšně přepne do SPI módu.

6.4.2 Přenos dat po SPI sběrnici

Data jsou posílána v paketech, který obsahuje Data token, Data a kontrolní CRC součet. Takovýto paket je zobrazen na obrázku Obr. 7.

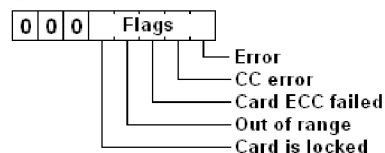
Data Packet

Data Token	Data Block	CRC
1 byte	1–2048 bytes	2 bytes

Data Token

1 1 1 1 1 1 1 0	Data token for CMD17/18/24
1 1 1 1 1 1 0 0	Data token for CMD25
1 1 1 1 1 1 0 1	Stop Tran token for CMD25

Error Token



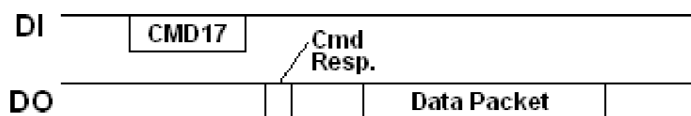
Data Response

X X X 0	Status	1
---------	--------	---

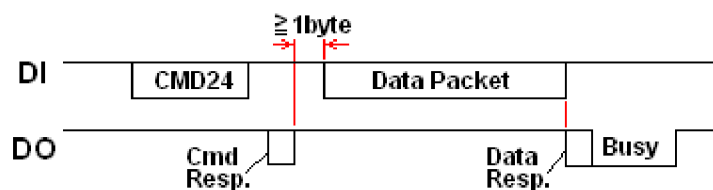
- 0 1 0 — Data accepted
- 1 0 1 — Data rejected due to a CRC error
- 1 1 0 — Data rejected due to a write error

Obr. 7: SPI datový packet [7]

6.4.3 Zápis a čtení dat v protokolu SPI



Obr. 8: Čtení jednoho bloku dat v SPI protokolu [7]



Obr. 9: Zápis jednoho bloku dat v SPI protokolu [7]

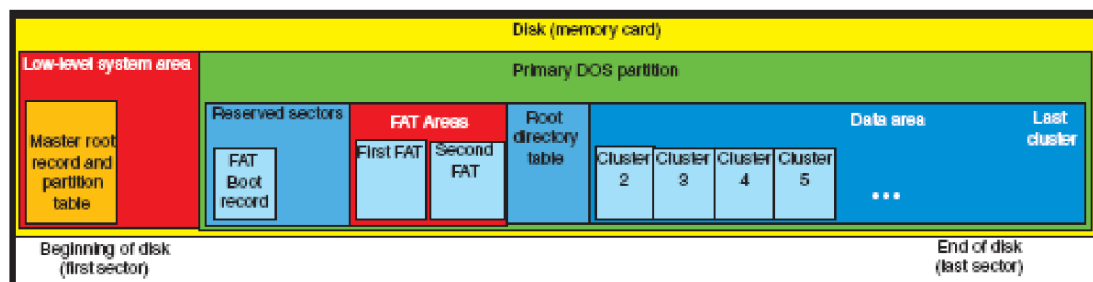
Při čtení dat se použije CMD17, kde v jeho argumentu je adresa, ze které chceme data z karty číst. Po přijetí takového příkazu kartou je zpět zaslán blok dat z adresy. Zápis se provádí příkazem CMD24. Čtení a zápis jsou znázorněny na obrázcích Obr. 8, Obr. 9.

6.5 SOUBOROVÝ SYSTÉM

Aby bylo možné číst data na počítači pouze se čtečkou karet, museli jsme na kartě vytvořit souborový systém. Vybrali jsme souborový systém FAT16 [8][9]. Jedná se o rozšířený systém od společnosti Microsoft. Použitý souborový systém je z důvodu složitosti navržen pouze pro přidávání a čtení souborů. Tudiž nelze soubory z MMC karty mazat a ani jinak upravovat. Toto opatření zjednodušuje programové řešení.

6.5.1 Struktura souborového systému FAT16

Na Obr. 9 je zobrazen způsob uložení dat na paměťové kartě při použití souborového systému FAT16.



Obr. 10: Zobrazení struktury systému FAT16 [10]

Master boot Record MBR

Jde o první sektor disku. Obsahuje informace o oddílech disku (partitions). Ty mohou být na disku maximálně čtyři. Dále je zde obsažen takzvaný Executable code, ten je pro naše použití nepotřebný.

FAT boot record

Je umístěn na adrese, která je uvedena v MBR jako informace o partition. Jsou v něm umístěny všechny potřebné informace o partition, které potřebujeme pro práci. Více bytová čísla jsou zde ukládána ve formátu Little Endian, což znamená, že nejméně významný bit je uložen na nejnižší adrese. Ascii řetězce jsou, ale ukládány zleva doprava a jsou zarovnáány vpravo. V nevyužitých polích jsou znaky mezery (20h).

Alokační tabulka FAT

Maximální délka FAT je 256 sektorů. Je složena z 2^{16} buněk o velikosti 2B. První dvě buňky jsou rezervovány. Od třetí buňky začíná vlastní FAT tabulka. Každá buňka pak odpovídá jednomu clusteru disku. Pokud má buňka hodnotu 0000h znamená to, že cluster je volný. Pokud je v ní hodnota FFF8h až FFFFh znamená to, že jde o poslední cluster souboru.

Root directory table

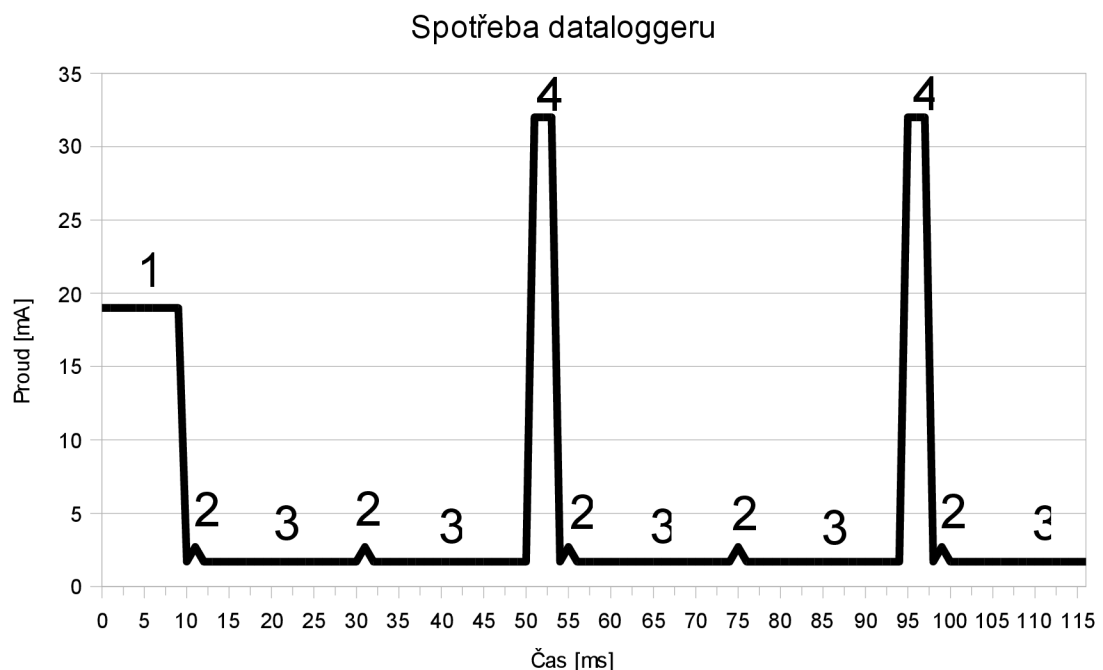
Tato oblast je organizována jako seznam. Každý řádek je 32 bytu veliký a odpovídá jednomu záznamu. Každý záznam zde má uložen název, počáteční adresu v tabulce, velikost souboru, datum a čas vytvoření. Dále jsou zde uloženy atributy souboru.

Oblast dat

Je rozdělena do clusterů, což jsou skupiny sektorů. Počet sektorů v clusteru lze vyčíst z FAT boot recordu. Clustery mohou obsahovat data a vstupy do složek.

6.6 NAPÁJECÍ ZDROJ

Napájení celého zařízení je řešeno knoflíkovou baterií CR2032H o kapacitě 190mAh. Aby zařízení pracovalo co nejdéle, je nutné šetřit energií. Úspora energie je řešena snahou zařízení zůstat co nejvíce ve stavu snížené spotřeby a do ostatních stavů se probouzí pouze je-li to potřeba a na co možná nejkratší dobu. Na Obr. 11 je zobrazena spotřeba energie při různých stavech zařízení.



Obr. 11: Spotřeba dataloggeru

Stav 1: Inicializace zařízení: - nastavuje se komunikace s kartou a čte se uživatelské nastavení. Největší spotřebu v tomto kroku způsobuje čtení dat z MMC karty.

Stav 2: Zápis naměřených dat do bufferu. MMC karta je v úsporném režimu.

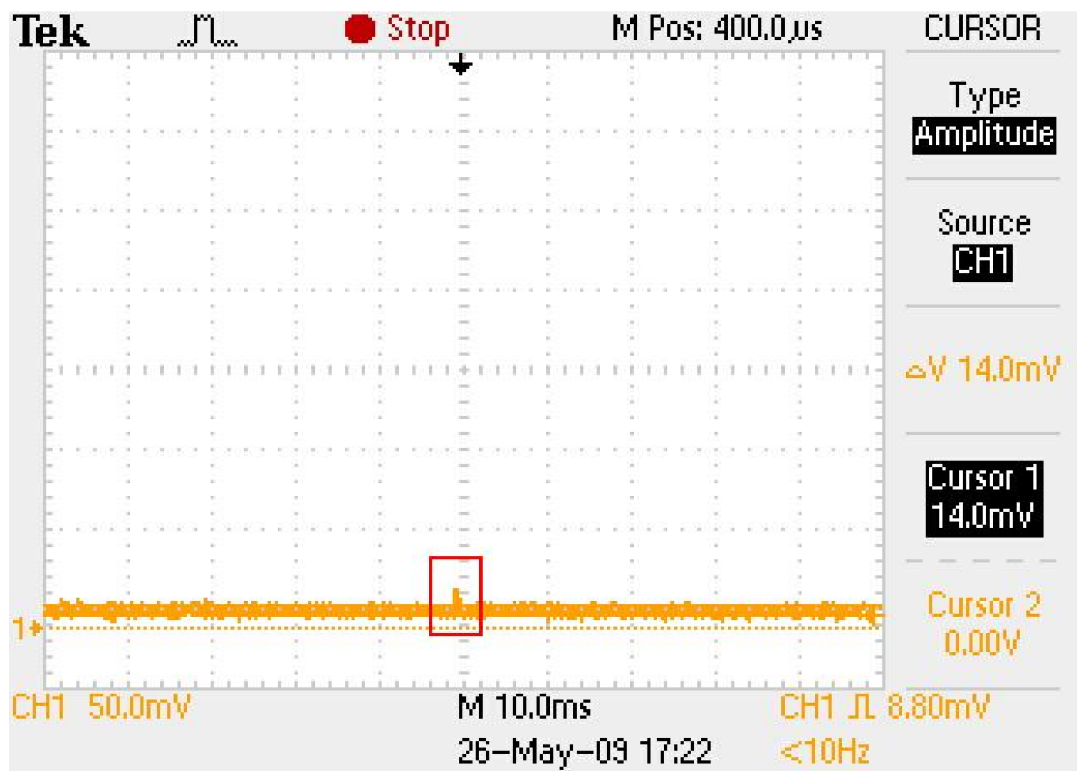
Stav 3: LMP3 mód: - mikrokontroler je v úsporném režimu LPM3. MMC karta je též přepnuta do úsporného režimu. Délka tohoto stavu je závislá na velikosti intervalu, ve kterém chceme data zapisovat.

Stavy 2 a 3 se 511x prostrídají než se zaplní 512 bytu velký buffer daty a ta se pak ve stavu 4 zapíší na kartu.

Stav 4: Zápis dat na MMC kartu. Jak je vidět tato operace je energeticky nejvíce náročná.

Všechny tyto stavy, kromě prvního, který proběhne pouze jednou po spuštění zařízení, se periodicky opakují dokud se nezaplní karta nebo se nevybije baterie, případně obsluha zařízení nevykone.

Na Obr. 12 je zobrazen průběh napětí na osciloskopu, který byl změřen na rezistoru o hodnotě $9,1 \Omega$. Ten byl připojen mezi napájecí zdroj a datalogger.



Obr. 12: Průběh spotřeby proudu při měření

Na Obr. 12 vidíme průběh napětí, které odpovídá spotřebě proudu dataloggerem při nečinném stavu (Stav 3) a při měření hodnot (Stav 2). Lze spočítat, že proud procházející tímto odporem je roven 1,53 mA. V tomto stavu nejvíce energie spotřebovává paměťová karta. Spotřeba karty je v této chvíli 1,3 mA podle [2].

V červeném obdélníku na Obr. 16 je zachycena špička o délce 1 ms, která je způsobena zvýšeným průtokem proudu způsobeným zápisem naměřených hodnot do bufferu.

Pokud bychom data zaznamenávali v intervalu 1 s datalogger by mohl pracovat z připojené baterie 116,66 hodin. Příklad výpočtu je ukázán v (9).

$$I_{23} = I_3 + I_2 \cdot \frac{T_2}{T_{23}} = 1,53 \text{ mA} + 2,7 \text{ mA} \cdot \frac{1 \text{ ms}}{1000 \text{ ms}} = 1,5327 \text{ mA}$$

$$I_C = I_{23} + I_4 \cdot \frac{T_4}{T_C} = 1,5327 \text{ mA} + 32 \text{ mA} \cdot \frac{3 \text{ ms}}{1000 \text{ ms}} = 1,629 \text{ mA}$$

$$t = \frac{\text{kapacita baterie}}{\text{odebíraný proud}} = \frac{190 \text{ mAh}}{1,629 \text{ mA}} = 116,66 \text{ h}$$

kde :

I_2 – proud odebíraný při stavu 2

I_3 – proud odebíraný při stavu 3

I_4 – proud odebíraný při stavu 4

I_{23} – průměrný proud odebíraný během stavů 2 a 3

I_C – celkový odebíraný proud

T_2 – doba trvání stavu 2

T_4 – doba trvání stavu 4

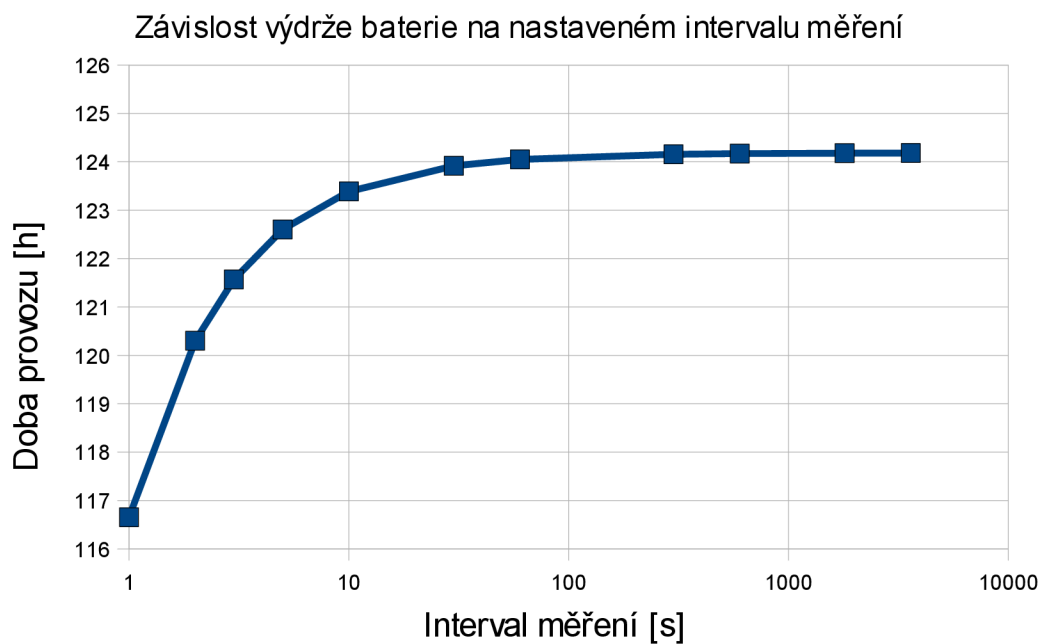
T_{23} – doba trvání stavů 2 a 3

T_C – celková doba cyklu

t – čas po, který bude zařízení pracovat

(9)

Závislost provozní doby na intervalu měření je na Obr. 13.



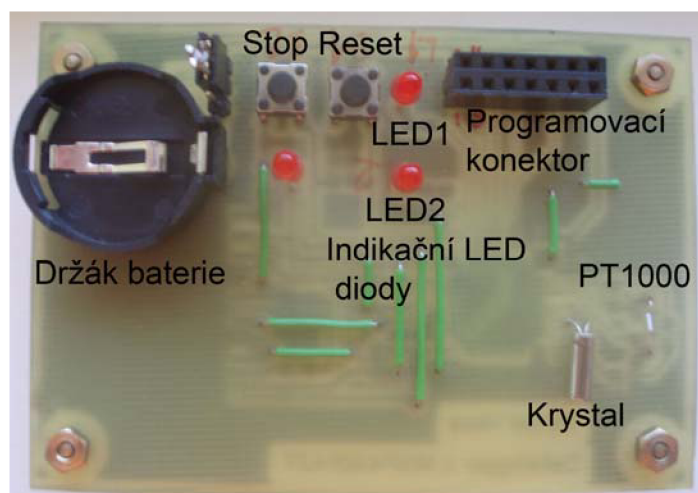
Obr. 13: Graf závislosti provozní doby na intervalu měření

6.7 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

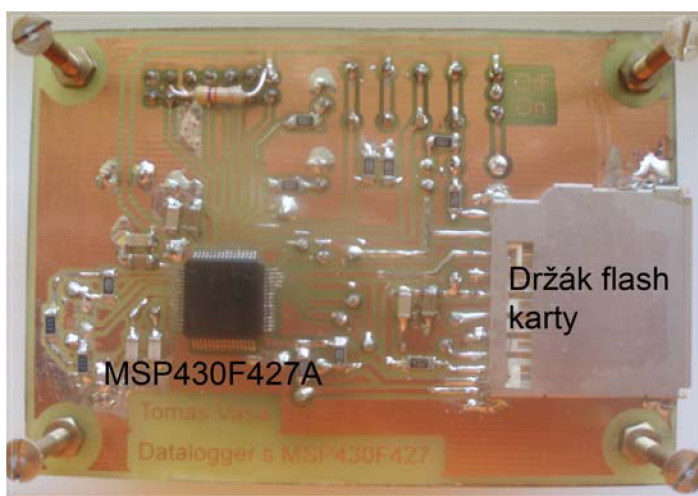
Pro datalogger je navržena deska plošných spojů v návrhovém programu Eagle. Je realizována jako jednostranná. Bohužel muselo být použito několik drátových propojek. Na vrchní straně jsou umístěny pouze tlačítka, indikační led diody, držák na baterii a programovací konektor. Veškeré ostatní součástky jsou umístěny na straně spojů.

Obrazec plošného spoje je přiložen v Příloze B a osazovací výkres v Příloze C.

Na Obr. 14 a Obr. 15 je zobrazen datalogger ze strany součástek a ze strany spojů. Jsou na nich popsány ovládací prvky a hlavní součásti přístroje.



Obr. 14: Fotografie dataloggeru ze strany součástek



Obr. 15: Fotografie dataloggeru ze strany spojů

7. PROGRAM

Celý program je napsán v jazyce C++. Kód byl kompilován pomocí kompilátoru obsaženého ve vývojovém prostředí IAR Embedded Workbench.

Po zapnutí zařízení proběhne inicializace hardwaru. To znamená, že se nastaví parametry Watchdogu, D/A převodníku, inicializuje se připojená SD karta. Dále se povolí přerušení Watchdogu, které slouží k odměřování nastaveného intervalu a přerušení převodníku. Poté program začne vykonávat hlavní smyčku programu.

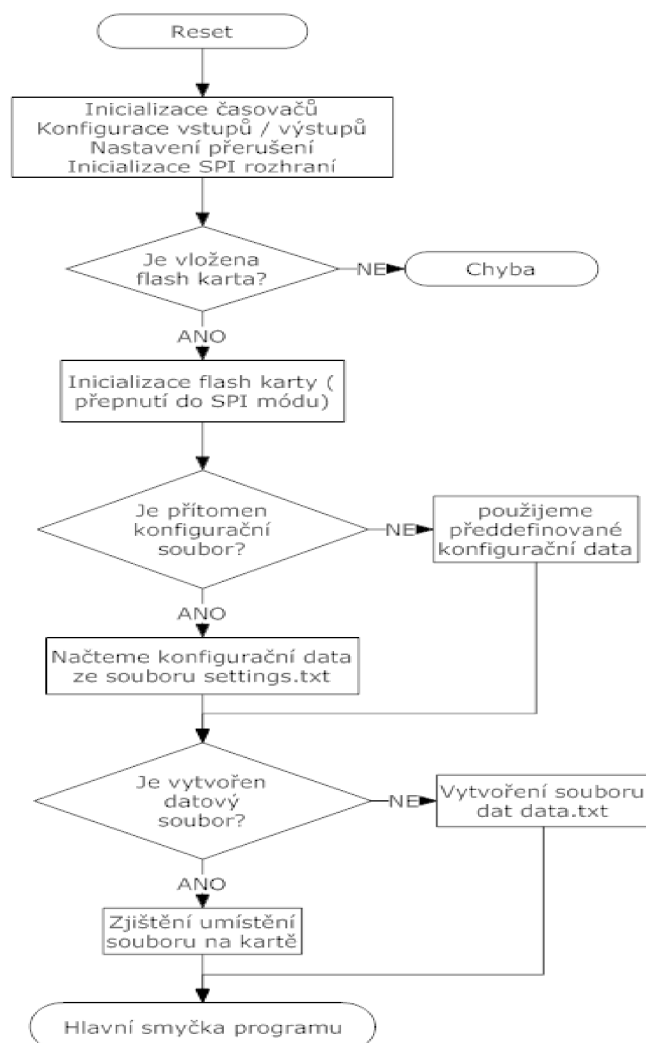
7.1 INICIALIZACE ZAŘÍZENÍ

Průběh inicializace dataloggeru je zobrazen na Obr. 16.

Nejprve jsou nastaveny interní hodiny. Dále se nakonfiguruje integrovaný převodník, povolí se přerušení od watchdogu a od převodníku. Poté je nastaveno komunikační rozhraní SPI. Po úspěšném nastavení komunikace se zjistí zda-li je zasunuta flash karta. Pokud ano, uvede se paměťový kontrolér na kartě do SPI módu, aby se s kartou dalo komunikovat jednoduše přes SPI rozhraní. Jestliže karta není vložena, jedná se o chybu, při které datalogger nemůže dál pokračovat v činnosti. Program je zastaven a chyba je signalizována rozsvícením LED diod.

Po úspěšném navázání komunikace s kartou se přečte konfigurační soubor na kartě. V tomto souboru jsou uloženy dvě hodnoty. První udává v jakém časovém intervalu se má měření opakovat a druhá, která určuje počet provedených měření. V případě, že druhá hodnota je nulová, měření probíhá do chvíle než je datalogger vypnut, nebo se nevybije baterie. Poté se zjistí jestli je na kartě vytvořen soubor, do kterého se budou ukládat naměřená data. Pokud ano, přečte se jeho umístění na kartě. Jinak se soubor vytvoří v prvním volném clusteru, který se v paměti najde. Když se soubor nepodařilo vytvořit zařízení signalizuje chybu a ukončí svoji činnost. Tento stav může nastat v případě kdy je karta naformátována špatným souborovým systémem nebo je obsazena celá kapacita karty.

Po úspěšné inicializaci se začne vykonávat hlavní smyčka programu.

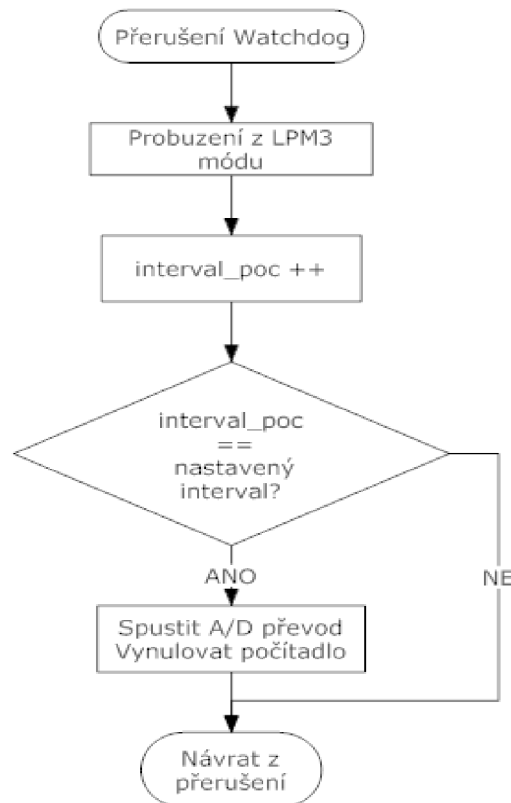


Obr. 16: Inicializace programu

7.2 OBSLUHA PŘERUŠENÍ WATCHDOGU

Obsluha přerušení watchdogu je znázorněna na Obr. 17. Watchdog je nastaven tak, že pracuje v intervalovém režimu. To znamená, že periodicky vyvolává přerušení. Perioda přerušení se nastavuje vhodným výběrem hodinového zdroje a kombinací nastavení registrů. V tomto případě se přerušení vyvolává každou sekundu. Jako zdroj hodin je vybrán externí krystal 32.768kHz, který je funkční i při úsporném režimu LPM3.

Po vyvolání přerušení se inkrementuje proměnná `interval_poc`, která se porovná s přednastaveným intervalem měření. Pokud jsou tyto hodnoty shodné spustí se měření. A proměnná se vynuluje. Tímto je dána nejvyšší rychlost měření na jedno měření za sekundu.

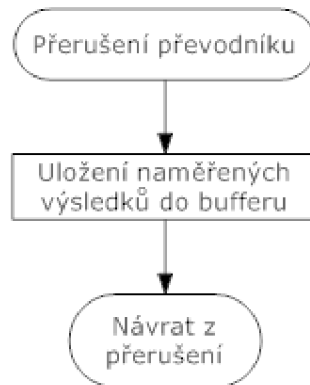


Obr. 17: Obsluha přerušení
watchdogu

7.3 OBSLUHA PŘERUŠENÍ ANALOGOVÉHO PŘEVODNÍKU

Toto přerušení je vyvoláno po dokončení převodu prvního vzorku měřeného napětí. Poté jsou získané hodnoty uloženy do bufferu, který se po naplnění zapíše na paměťovou kartu. Měření se spouští při vyvolání přerušení `watchdogu`.

Vstupní kanály převodníku jsou seskupeny do jedné skupiny. Výhodou je, že měření se spouští na obou kanálech ve stejnou dobu. Průběh obsluhy přerušení je na Obr. 18



Obr. 18: Obsluha přerušení od A/D převodníku

7.4 UKLÁDÁNÍ NA PAMĚŤOVOU KARTU

Paměť na kartě je organizována po 512 B blocích, které je nutno zapsat najednou. Pokud by tomu tak nebylo zapsání selže. Data ukládáme do souboru, který se jmenuje data.txt. Při inicializaci jsme si jej vytvořili nebo jsme si našli jeho umístění v paměti. Postup při ukládání dat je na obrázku Obr. 19.

Nejprve vypočítáme na jaké pozici se nachází sektor, do kterého budeme data zapisovat. Dále zapíšeme celý blok dat do tohoto sektoru na kartě.

Po úspěšném zápisu dat na kartu se alokuje místo pro další zápis dat. To provedeme tak, že najdeme nejbližší volnou buňku ve FAT tabulce. Do ní zapíšeme hodnotu 0xFFFF. To znamená, že cluster je obsazený. Do původní buňky zapíšeme polohu následující buňky. Tímto je zajištěno zřetězení buněk a jejich vzájemná návaznost.



Obr. 19: Zápis dat na flash kartu

Nakonec se v Root sector directory upraví informace o souboru. Jako je jeho velikost a nebo datum posledního přístupu.

7.5 OBSLUHA TLAČÍTEK

Při stisknutí tlačítek, se vyvolá přerušení. Vyhodnotí se jaké bylo stisknuté tlačítko a vykoná se příslušná operace. Při stisku tlačítka B2 se zastaví měření a veškerá data, která jsou uložena v bufferu se zapíší na paměťovou kartu. Poté je možné paměťovou kartu vyjmout. Pokud bychom kartu vyjmuli bez předchozího stisku tlačítka ztratili bychom data uložená v bufferu. Druhé tlačítko funguje jako Reset celého zařízení. Po stisku tohoto tlačítka se začne program vykonávat od úplného začátku.

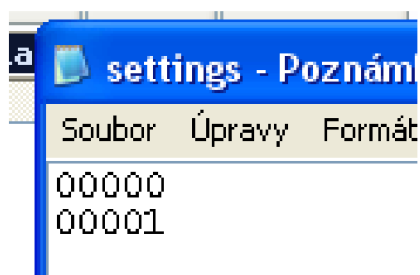
7.6 NASTAVENÍ PARAMETRŮ MĚŘENÍ

U dataloggeru se dají nastavit dva parametry měření. Prvním parametrem je počet provedených měření a druhým parametrem je časová prodleva mezi jednotlivými měřeními.

Parametry se nastavují v souboru settings.txt, který je umístěn na flash kartě. V souboru je na prvním místě zapsán počet měření a na druhém je zapsán interval měření. Data musí být zapsány v pěticiferném tvaru.

Pokud je počet měření napsán jako nulový, znamená to, že datalogger bude snímat data do doby než se zaplní karta nebo bude vypnut uživatelem.

Na Obr. 20 je ukázán způsob zápisu nastavovacích údajů.



Obr. 20: Uložení nastavovacích údajů

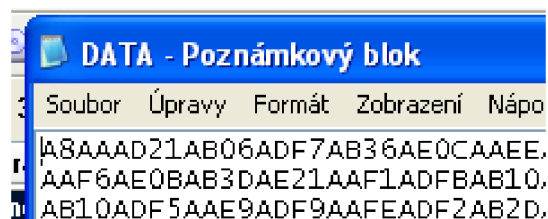
Záznam na Obr. 20 nám říká, že data budou snímána neustále v intervalu 1 s.

Pokud soubor na kartě chybí datalogger bude data snímat s periodou 5 sekund a bude snímat neustále.

8. NAMĚŘENÁ DATA

8.1 ZPŮSOB ULOŽENÍ

Data jsou ukládány v textovém souboru DATA.TXT v hexadecimálním tvaru, způsob uložení dat na kartě je na Obr. 21. Pro každé měření jsou na kartě uloženy dva údaje. První údaj udává napětí na rezistoru R2 a druhý údaj je napětí na teplotně závislém odporu PT1000. Každý údaj zabírá 4 B. Mezi jednotlivými záznamy nejsou žádné oddělovací znaky. Při správném vypnutí zařízení je konec dat označen dvěma písmeny X..



Obr. 21: Uložení naměřených dat

8.2 VÝPOČET TEPLOTY

Výsledná teplota se bude vypočítávat v uživatelském počítači. Teplota je v tomto zařízení reprezentována odporem rezistoru PT1000. Tento odpor vypočítáme z protékajícího proudu měřicím obvodem a z napětí na měřicím rezistoru. Výpočet se provede následujícím způsobem.

Nejprve vypočteme hodnotu změřené analogové hodnoty. Výpočet je popsán rovnicí (10)

$$\text{Analogová hodnota} = (\text{Naměřená data} - 7FFF) \cdot \frac{V_{FSR}}{7FFF} \quad (10)$$

Konstanta V_{FSR} je dána nastavení A/D převodníku a udává maximální velikost vstupního napětí, které je schopen převodník zpracovat. Její výpočet je v (11). Vypočítá se z hodnoty napěťové reference převodníku V_{REF} a z velikosti zesílení vstupního zesilovače $GAIN_{FSR}$ [4].

Tato hodnota nám poté určuje rozsah teplot jaký bude datalogger schopen měřit. Při malém zesílení $GAIN_{FSR}$ sice budeme moci měřit větší rozsah teplot, ale s menší přesností. Pokud zvolíme zesílení větší budeme schopni změřit menší rozpětí teplot s vyšší přesností.

Při $GAIN_{FSR}=4$ je maximální napětí, které můžeme měřit $\pm 0,15$ V. Aby toto napětí bylo překročeno musel by odpor teploměru dosáhnout 1500 Ω . Tomuto odporu odpovídá teplota přibližně 140 °C. Při této teplotě se ovšem dostáváme daleko za maximální přípustnou hodnotu teploty, při které funguje mikrokontroler. Maximální hodnota je poté + 85 °C.

Naopak při snižování teploty se nám bude zvyšovat proud měřicím děličem. Proto minimální hodnota teploty je dána maximálním úbytkem napětí na rezistoru R2 vyvolaná procházejícím proudem. Takovéto hodnoty proudu nejsme schopni dosáhnout ani poté co bychom rezistor PT1000 zkratovali a tudíž měl nulový odpor. Proto spodní mez teploty je omezena minimální hodnotou, při které je schopen pracovat mikrokontroler a to je - 40 °C.

$$V_{FSR} = \frac{V_{REF}}{GAIN_{PGA}} \quad (11)$$

Zesílení zesilovače jsme nastavili tak, že maximální vstupní napětí je 0,15 V. Odpor platinového teploměru vypočítáme podle rovnice (12)

$$R_{PT1000} = \frac{U_{PT1000}}{I_{PT1000}} = \frac{U_{PT1000}}{\frac{U_{RI}}{R_2}} \quad (12)$$

Pro výpočet teploty z odporu použijeme zjednodušený vztah (8).

Příklad výpočtu pro první měření zobrazeného na Obr. 21 je popsán v (13).

$$U_{R2} = (A8AA - 7FFF) \cdot \frac{V_{FSR}}{7FFF} = 0,0477V$$

$$U_{PT1000} = (AD21 - 7FFF) \cdot \frac{V_{FSR}}{7FFF} = 0,0529V$$

$$R_{PT1000} = \frac{0,0529}{\frac{0,0477}{1000}} = 1109,79 \Omega \quad (13)$$

$$t = \frac{\frac{R_{PT1000}}{R_0} - 1}{\alpha} = \frac{\frac{1109,79}{1000} - 1}{0,00385} = 28,5163 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplota změřená dataloggerem je 28,52 °C.

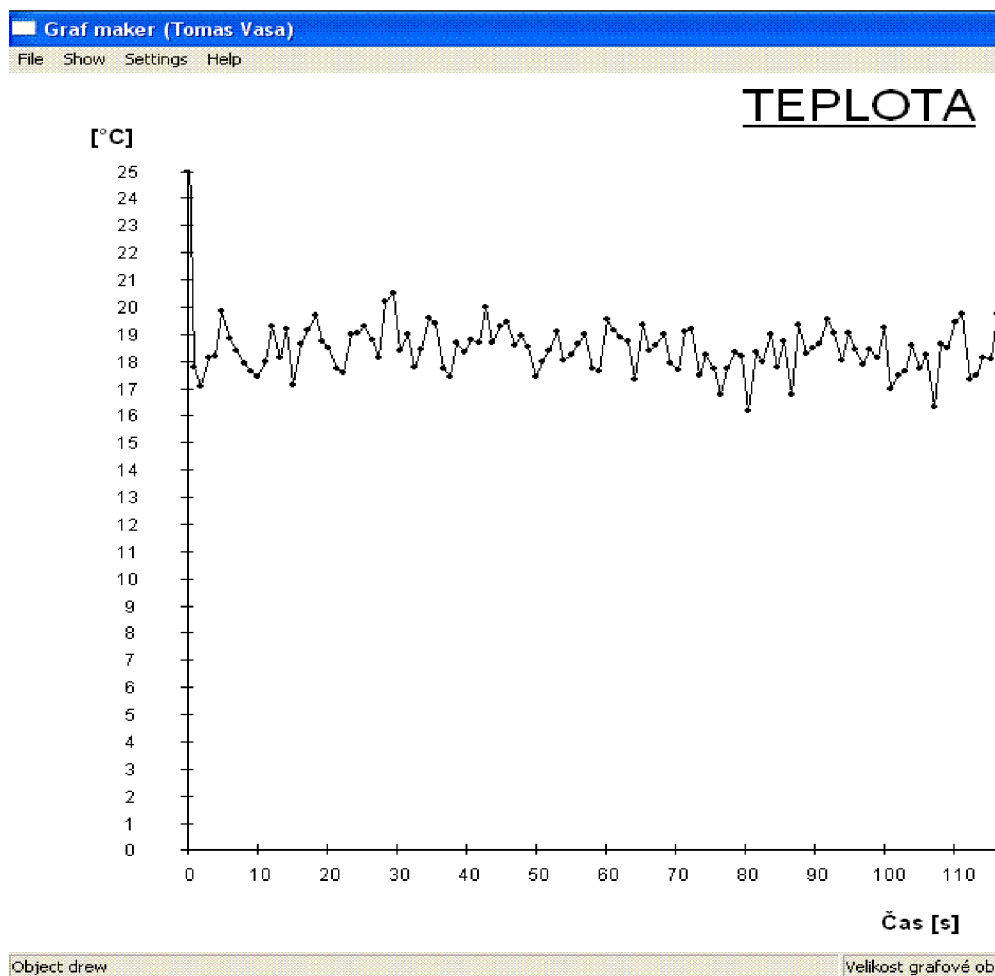
9. UŽIVATELSKÝ PROGRAM

Tento program slouží pro přepočítání a zobrazení naměřených dat. Celý program je napsán v C++ a k jeho překladač byl použit překladač wxDev-C++. Program je koncipován jako jediný spustitelný soubor GrafMaker.exe, který by měl jít spustit jak na operačním systému Windows tak i na operačním systému Linux.

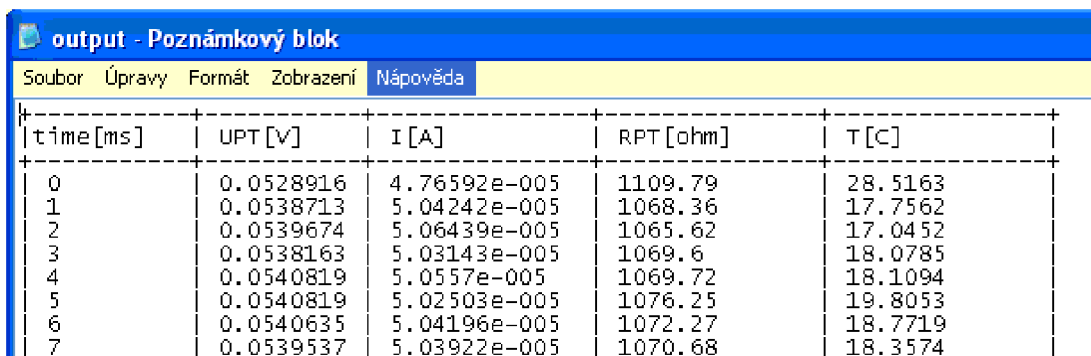
Pro správnou funkci programu je potřeba, aby byl nahrán ve stejném adresáři jako jsou soubory data.txt a settings.txt. Proto je nejvhodnější nechat ho nahraný na paměťové kartě, kterou používáme k ukládání dat.

Po spuštění programu se ve složce vytvoří soubor output.txt, ve kterém jsou vypsány přepočtené hodnoty. Jsou zde uloženy hodnoty napětí a proudu, které měříme, odpor platinového teploměru a také výsledná měřená teplota. Tento soubor je zobrazen na Obr. 23.

Program je schopen vykreslit průběh naměřené teploty, odporu teploměru, napětí na teploměru a proudu procházejícího měřicím děličem. U všech grafů lze měnit rozsah osy Y. Pro větší přehlednost je na jedné obrazovce zobrazováno pouze 200 naměřených hodnot. Pokud měření obsahuje více než 200 hodnot, pohybujeme se mezi jednotlivými obrazovkami pomocí šipek doprava nebo doleva. Zobrazené průběhy je následně možno uložit jako obrázek formátu png. Na Obr. 22 je zobrazena časová závislost teploty vykreslená programem.



Obr. 22: Zobrazení naměřeného průběhu



time [ms]	UPT [V]	I [A]	RPT [ohm]	T [C]
0	0.0528916	4.76592e-005	1109.79	28.5163
1	0.0538713	5.04242e-005	1068.36	17.7562
2	0.0539674	5.06439e-005	1065.62	17.0452
3	0.0538163	5.03143e-005	1069.6	18.0785
4	0.0540819	5.0557e-005	1069.72	18.1094
5	0.0540819	5.02503e-005	1076.25	19.8053
6	0.0540635	5.04196e-005	1072.27	18.7719
7	0.0539537	5.03922e-005	1070.68	18.3574

Obr. 23: Výstupní soubor output.txt

10. ZÁVĚR

V bakalářské práci se podařilo splnit všechny zadané úkoly. Seznámil jsem se s programováním mikrokontrolerů rodiny MSP430 od výrobce Texas Instruments. Dále jsem nastudoval funkci paměťových karet a souborový systém FAT16. Datalogger jsem navrhl a sestavil. Také jsem napsal uživatelský program pro zobrazení naměřených dat.

Na začátku práce bylo zvažováno použití dvou jednodušších mikrokontrolerů místo jednoho velkého. Jeden by obstarával měření a druhý by zapisoval data na paměťovou kartu. Toto řešení bylo zavrženo z důvodu přílišné složitosti a větších nároků na napájení.

Dále jsem se zabýval synchronizací času v dataloggeru s časem na PC. Jelikož datalogger komunikuje s PC pouze prostřednictvím paměťové karty, musel by se časový údaj uložit na tuto kartu. Po vložení karty do dataloggeru by se stisklo tlačítko a čas by se synchronizoval s dataloggerem. Časový údaj by se musel ukládat na kartu s dostatečným předstihem, aby se karta dala přemístit z PC do přístroje.

Navržený datalogger ukládá naměřená data na paměťovou kartu, která je naformátována souborovým systémem FAT 16. Uložená data se přepočítávají a zobrazují v navrženém uživatelském programu DataMaker. V tomto programu si uživatel může zobrazit průběhy teploty, odporu snímače a nebo napětí na snímači. Při zobrazení výsledné časové závislosti lze měnit rozsahy osy Y. Toto umožňuje zobrazit průběh s vyššími detaily. Všechny grafy je možné uložit do obrázkového souboru formátu png.

U navrženého dataloggeru se dají nastavovat dva parametry měření. První údaj udává kolik vzorků se dá naměřit a druhý údaj umožňuje měnit interval měření. Nejmenší doba mezi dvěma vzorky je 1 s. Pro měření teploty je tento čas postačující.

Zařízení má velice jednoduché ovládání, které obsahuje pouze dvě tlačítka a dvě indikační led diody. Tyto ovládací prvky jsou dostačující pro obsluhu zařízení.

Celé zařízení může pracovat bez výměny baterie přibližně 100 hodin. Tato doba je závislá na intervalu měření. Čím delší je interval měření tím delší bude

doba provozu zařízení. Doba životnosti přístroje by se dala nepatrně prodloužit vypínáním paměťové karty po dobu její nečinnosti. Tento způsob má ovšem tu nevýhodu, že vždy před použitím karty by se musela znovu přepnout do SPI režimu.

Při ožívování výrobku byla zjištěna chyba v zapojení (chybějící resetovací rezistor R13). Po odstranění této chyby zařízení pracovalo bez problému.

Na zkompletovaném zařízení byly ověřeny jeho vlastnosti a na PC byl vyzkoušen a odladěn uživatelský program.

11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Wikipedia. Comparison of memory cards[online]. [cit. 13.4.2009], Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_memory_cards
- [2] SanDisk, SanDisk Secure Digital Card [online] , 2003, Dostupné z:
<http://www.cs.ucr.edu/~amitra/sdcard/ProdManualSDCardv1.9.pdf>
- [3] Prof. Ing. Petr Pivoňka, CSc., Číslicová řídicí technika, VUT, Brno 2003
- [4] Texas Instruments, MSP430x4xx Family User's Guide [online], 2007,
Dostupné z: <http://www.ti.com/litv/pdf/slau056h>
- [5] Texas Instrumenst, MSP430F42xA mixed signal microcontroller [online], 2008,
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/msp430f427a>
- [6] How to Use MMC/SDC [online].c1997, [cit.16.4.2009], Dostupné z: http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html
- [7] About SPI [online].c1997, [cit.12.4.2009], Dostupné z: http://elm-chan.org/docs/spi_e.html
- [8] File allocation table – 16bit [online].c, [cit.10.4.2009], Dostupné z:
<http://www.beginningtoseethelight.org/fat16/>
- [9] Wikipedia. File Allocation Table [online].[cit. 13.3.2009], Dostupné z:
http://en.wikipedia.org/wiki/File_Allocation_Table#Initial_FAT16
- [10] Ivan Sham, William Hue , Pete Rizun, Portable FAT Library for MCU
Applications, Circuit celar, 2005, č. 176, s. 6

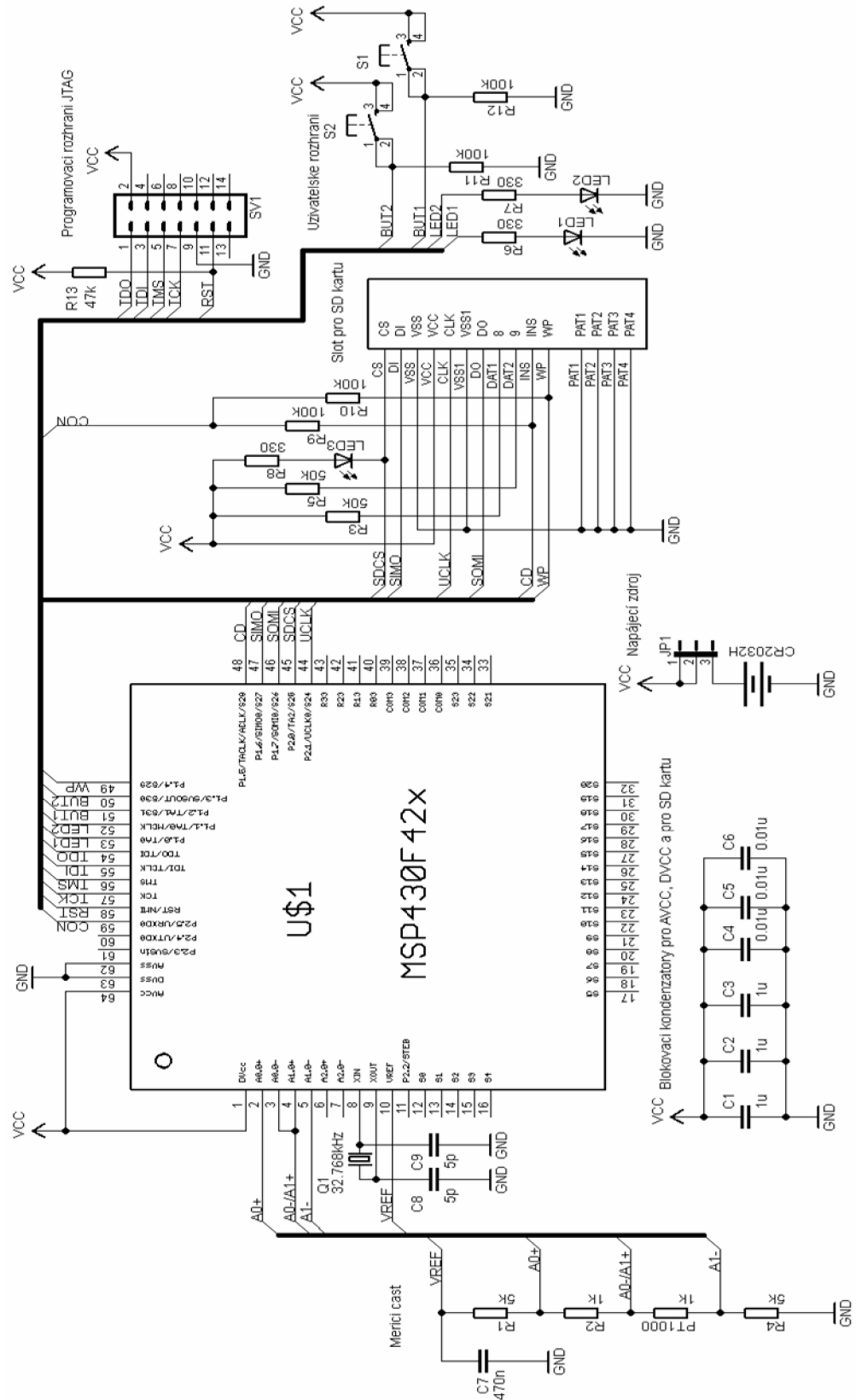
12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
CF	CompactFlash card
DIL	Dual in line
FLASH	typ paměti
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LED	Light emitting diode
LPM	Low power mode
MCU	Micro controller unit
MISO/SOMI	Master Input, Slave Output
MMC, RS-MMC, MMCmikro	MultiMediaCard
MOSI/SIMO	Master Output, Slave Input
RAM	Random access memory
RS 232	Recommended Standard 232
SCLK	Serial Clock
SD, miniSD, mikroSD, SDHC	Secure digital card
SMD	surface-mount devices
SPI	Serial Peripheral Interface Bus
SS	Select slave
USART	Universal asynchronous receiver/transmitter
USB	Universal serial bus
xD	xD-Picture Card
MBR	Master boot record

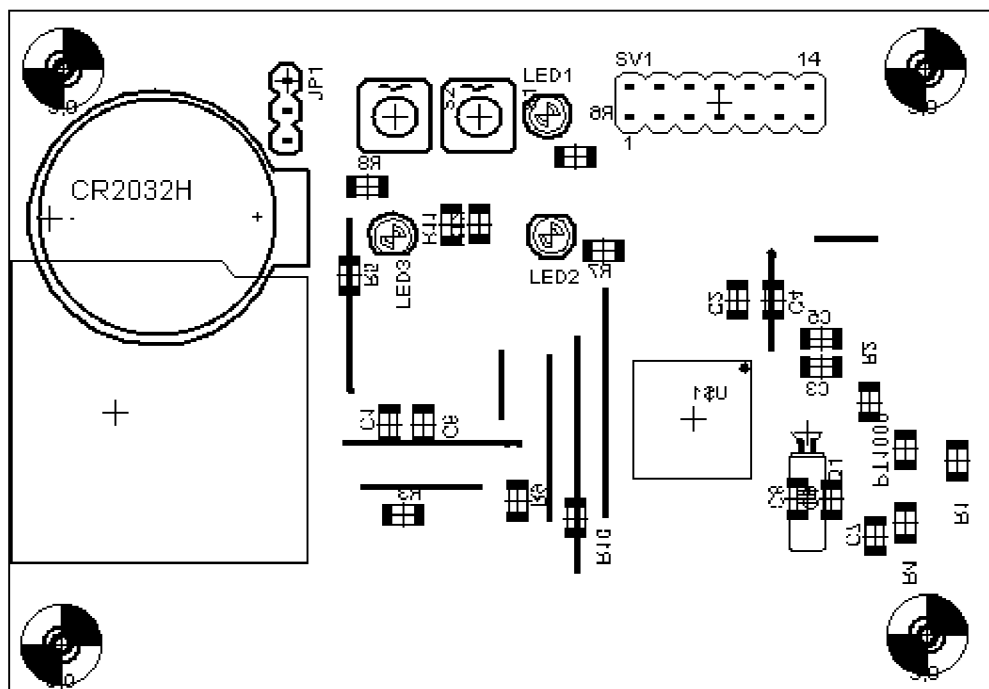
SEZNAM PŘÍLOH

A SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	50
B ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DPS.....	51
C PLOŠNÝ SPOJ.....	52
D SEZNAM SOUČÁSTEK.....	53

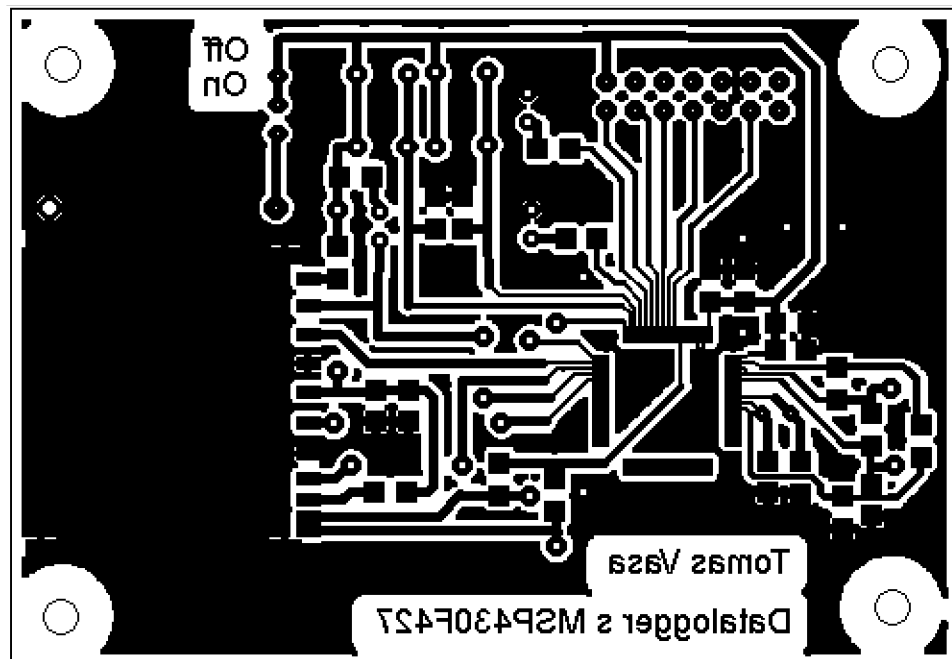
A SCHÉMA ZAPOJENÍ



B ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DPS



C PLOŠNÝ SPOJ



D SEZNAM SOUČÁSTEK

Součástka	Hodnota	Pouzdro
C1	1uF	C1206
C2	1uF	C1206
C3	1uF	C1206
C4	0.01uF	C1206
C5	0.01uF	C1206
C6	0.01uF	C1206
C7	470nF	C1206
C8	5pF	C1206
C9	5pF	C1206
CR2032H	CR2032H	CR2032H
JP1	Kolíková lišta	
SV1	Dutinková lišta	
LED1	HLMP-K150	LED3MM
LED2	HLMP-K150	LED3MM
LED3	HLMP-K150	LED3MM
PT1000		R-EU_R1206
Q1	32,768 kHz	TC26H
R1	5k Ω	R1206
R2	1k Ω	R1206
R3	50k Ω	R1206
R4	5k Ω	R1206

Součástka	Hodnota	Pouzdro
R5	50k Ω	R1206
R6	330 Ω	R1206
R7	330 Ω	R1206
R8	330 Ω	R1206
R9	100k Ω	R1206
R10	100k Ω	R1206
R11	100k Ω	R1206
R12	100k Ω	R1206
R13	47k Ω	R1206
S1		P-DTE6GE
S2		P-DTE6GE
U\$1	F42X---NPM64	PM/PAG64
U\$3	SDSOCKET	SLOT-SD030