

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Datalogger pro dlouhodobé měření

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ŠRÁMEK**
Osobní číslo: **E10B0398P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Dataloger pro dlouhodobé měření**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhledejte a nastudujte informace o možnostech ukládání naměřených dat v prostředí embedded zařízení.
2. Zvolte vhodné technické prostředky pro realizaci datalogeru.
3. Realizujte praktické řešení datalogeru s ohledem na dlouhodobé měření (zejména bateriový provoz, energetická spotřeba, měřené veličiny).
4. Diskutujte realizované řešení a celou práci podrobně popište.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

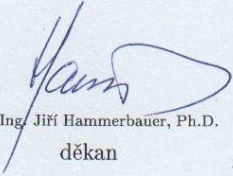
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Radek Šalom

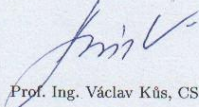
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na realizaci dataloggeru určeného k dlouhodobému měření s ohledem na bateriový provoz. Úvod práce se zabývá výběrem použitých součástek a požadavky na datalogger, poté je rozebrán program pro mikrokontrolér a závěr práce je zaměřen na měření spotřeby, zhodnocení a možné vylepšení.

Jako teplotní čidla byla vybrána AD7415, paměť EEPROM AT24C1024 od firmy Atmel, hodiny reálného času DS1337S+, jako převodník USB/UART byl vybrán FT232RL a samotný mikrokontrolér je od firmy Texas Instruments z řady MSP430 přesněji MSP430F2132. Dále byl vytvořen program pro komunikaci a nastavení dataloggeru, který je napsán v jazyce JAVA.

Klíčová slova

Datalogger, baterie, MSP430F2132, MSP430, Texas Instruments, teplota, paměť, mikrokontrolér, I²C, UART, baterie

Abstract

The bachelor's thesis is focused on realization of a datalogger, which is designed for long-term measurements with respect to the battery powered operation. The introduction of thesis describes selection of used components based on datalogger requirements. Then the program for microcontroller is presented and finally the conclusion evaluates the whole solution, discusses power consumption, and offers possible future improvements.

AD7415 was chosen as a temperature sensor, EEPROM AT24C1024 from Atmel was chosen as a memory, DS1337S+ as a Real-time clock, FT232RL as a USB-to-UART converter and finally MSP430F2132 from TI MSP430 series was selected as a microcontroller.

A PC program for communication with datalogger and for settings was designed in the Java language.

Key words

Datalogger, MSP430F2132, MSP430, temperature, memory, real time clock, microcontroller, I²C, UART, battery

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 3.6.2013

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Šalomovi za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	V
SEZNAM OBRÁZKŮ	VII
SEZNAM TABULEK	VIII
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	IX
1 ÚVOD	1
1.1 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	1
1.2 POJEM DATALOGGER A JEHO POUŽITÍ.....	1
1.3 VLASTNOSTI DATALOGGERU	1
1.4 POUŽITÍ NAVRHOVANÉHO DATALOGGERU	2
2 HARDWARE DATALOGGERU	2
2.1 VÝBĚR TEPLOTNÍCH ČIDEL	2
2.2 VÝBĚR PAMĚŤOVÝCH MÉDIÍ	3
2.2.1 <i>FLASH paměť</i>	3
2.2.2 <i>(Mikro) SD karta</i>	4
2.2.3 <i>EEPROM paměť</i>	4
2.3 VÝBĚR HODIN REÁLNÉHO ČASU (RTC).....	5
2.4 VÝBĚR PŘEVODNÍKU USB/UART	6
2.5 VÝBĚR TECHNOLOGIE NAPÁJENÍ.....	7
2.6 VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU	9
2.6.1 <i>Obecný popis mikrokontroléru MSP430F2132</i>	9
2.6.2 <i>Programovací rozhraní</i>	10
2.6.3 <i>Hodinový systém mikrokontroléru</i>	11
2.6.4 <i>Low-Power režimy</i>	12
2.6.5 <i>Vývojové prostředí pro programování mikrokontroléru</i>	13
3 REALIZACE DATALOGGERU	13
3.1 POPIS KONCEPCE.....	13
3.2 POPIS PROGRAMU DATALOGGERU.....	14
3.2.1 <i>Popis hlavních částí programu</i>	17
3.3 ŘÍDÍCÍ SOFTWARE	19
3.3.1 <i>Seznam řídicích znaků a doporučený postup nastavení</i>	20
3.4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST DATALOGGERU A VELIKOST PAMĚTI.....	21
3.4.1 <i>Teoretické spotřeba</i>	22

3.4.2	<i>Praktická spotřeba</i>	23
4	ZÁVĚR	25
	LITERATURA	26
	PŘÍLOHY	29
	A PŘEHLED VYBRANÝCH DATALOGGERŮ	29
	B SCHÉMA ZAPOJENÍ DATALOGGERU	30
	C DESKA PLOŠNÉHO SPOJE DATALOGGERU	31
	D MĚŘENÍ ODBĚRU V JEDNOTLIVÝCH PRACOVNÍCH REŽIMECH	33

Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.1: BLOKOVÉ SCHÉMA PŘEVODNÍKU AD7415 [1].....	3
OBRÁZEK 2.2.3 : BLOKOVÉ SCHÉMA PAMĚTI EEPROM AT24C1024 [15].....	5
OBRÁZEK 2.3 : BLOKOVÝ DIAGRAM HODINY REÁLNÉHO ČASU DS1337 [22]	6
OBRÁZEK 2.5A: NAPĚTÍ BATERIÍ V ZÁVISLOSTI NA ČASE A POČTU NABÍJECÍCH CYKLŮ V AUDIO PŘEHRÁVAČI (10Ω ZÁTĚŽ, S ODBĚREM PŘIBLIŽNĚ 100-125MA) [25].....	8
OBRÁZEK 2.5B: NAPĚTÍ BATERIE V ZÁVISLOSTI NA KAPACITĚ PŘI VYBÍJENÍ [25]	8
OBRÁZEK 2.6.1: BLOKOVÉ SCHÉMA MSP430F21x2 [28].....	10
OBRÁZEK 2.6.2A: PROGRAMOVACÍ KONEKTOR JTAG PRO MSP430FXXXX [31]	11
OBRÁZEK 2.6.2B: PROGRAMOVACÍ KONEKTOR SBW PRO MSP430FXXXX [31].....	11
OBRÁZEK 3.1: KONCEPCE DATALOGGERU	14
OBRÁZEK 3.2A: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRŮBĚHU PROGRAMU PO ZAPNUTÍ NAPÁJENÍ	15
OBRÁZEK 3.2B: VÝVOJOVÝ DIAGRAM ŘEŠENÍ PŘERUŠENÍ OD HODIN REÁLNÉHO ČASU	15
OBRÁZEK 3.2C: VÝVOJOVÝ DIAGRAM NASTAVENÍ DATALOGGERU	16
OBRÁZEK 3.3: OVLÁDACÍ PRVKY SOFTWARE	19
OBRÁZEK 3.4.1: TEORETICKÝ GRAF ODBĚRU DATALOGGERU.....	22
OBRÁZEK C.1: HORNÍ STRANA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE DATALOGGERU	31
OBRÁZEK C.2: DOLNÍ STRANA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE DATALOGGERU	31
OBRÁZEK C.3: HORNÍ STRANA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE S POPISY SOUČÁSTEK.....	32
OBRÁZEK D 1: KLIDOVÝ REŽIM.....	33
OBRÁZEK D 2: REŽIM DATALOGGER	33
OBRÁZEK D 3: ČTENÍ DAT Z PAMĚTI EEPROM.....	34

Seznam tabulek

TABULKA 2.1: PŘEHLED TEPLOTNÍCH ČIDEL	2
TABULKA 2.2.1: PŘEHLED FLASH PAMĚTÍ.....	3
TABULKA 2.2.2: PŘEHLED SD KARET	4
TABULKA 2.2.3: PŘEHLED EEPROM PAMĚTÍ.....	4
TABULKA 2.3 : PŘEHLED HODIN REÁLNÉHO ČASU A VÝPIS NĚKTERÝCH VLASTNOSTÍ.....	5
TABULKA 2.5 : VÝBĚR BATERÍ	7
TABULKA. 2.6 : VÝBĚR MIKROKONTROLÉRŮ A JEJICH VLASTNOSTI	9
TABULKA 2.6.4: PŘEHLED LOW POWER REŽIMŮ	12
TABULKA 3.3.1: SEZNAM ŘÍDÍCH ZNAKŮ.....	21
TABULKA 3.4.1: CELKOVÁ SPOTŘEBA V REŽIMU DATALOGGER.....	23

Seznam symbolů a zkratek

EEPROM	E lectrically E rasable P rogrammable R ead- O nly M emory (elektricky mazatelná programovatelná paměť)
FLASH	Typ paměti vycházející z paměti EEPROM
SD	S ecure D igital (paměťová karta)
USCI	U niversal S erial C ommunication I nterface (univerzální sériové komunikační rozhraní)
UART	U niversal A synchronous R eciever T ransmitter (univerzální asynchronní přijmač vysílač)
USB	U niversal S erial B us (univerzální sériová sběrnice)
I ² C	I nter- I ntegrated C ircuit (interně integrovaný sběrnice)
RTC	R eal time clock (hodiny reálného času)
RAM	R echargeable A lkaline M anganese (nabíjecí alkalické baterie na bázi oxidu manganičitého)
TI	T exas I nstruments
LPM	L ow P ower M ode (režim nízké spotřeby)
RISC	R educed I nstruction S et C omputing (mikrokontroléry s redukovanou instrukční sadou)
DMA	D irect M emory A ccess (přímý přístup do paměti)
BOD	B rown- o ut D etektor (analogový obvod chránící mikrokontrolér před poklesem napájecího napětí pod definovanou úroveň)
JTAG	J oin T est A ction G roup
USCI	U niversal S erial C ommunication I nterface
SBW	S py- b i W ire (dvouvodičový JTAG)
DCO	D igitally C ontrolled O scillator (digitálně řízený oscilátor)
ACLK	A uxiliary C lock (pomocné hodiny)
MCLK	M aster C lock (hlavní hodiny)
SMCLK	S ub- S ystem M aster C lock (podsystemové hlavní hodiny)
LFXT1CLK	L ow- f requency/ h igh- f requency oscillator (nízkofrekvenční/vysokofrekvenční oscilátor)

IDE	I ntegrated D evelopment E nvironment
GIE	G lobal I nterrupts E nable (globální povolení přerušení)
LGPL	L esser G eneral P ublic L icense (licence svobodného softwaru)

1 Úvod

1.1 Cíl bakalářské práce

Cílem bakalářské práce bylo provést návrh a realizaci dataloggeru s ohledem na nízkou spotřebu a variabilnost měřených veličin. Nastudovat ukládání dat v embedded zařízeních a poté datalogger podrobit měřením spotřeby. Diskutovat realizované zařízení a podrobně jej popsat.

1.2 Pojem datalogger a jeho použití

Za datalogger se považuje jakékoli zařízení, které je schopno čtení a záznamu veličin na nějaké paměťové médium. Datalogger si lze představit jako určité zařízení, které bude získávat data z čidel a ukládat je na paměťové médium. Za zdroj informací si lze představit analogová nebo digitální čidla např.: teploty, tlaku, napětí, proudu atp. a jako paměťové médium může sloužit SD karta, paměť EEPROM, FLASH nebo v případě real-time přenosu, tj. přenos dat z čidel do počítače v reálném čase, i počítač. Jiný typ embedded zařízení může zase ukládat data přímo na pevný disk. Datalogger obsahuje také řídicí obvod, který má na starosti komunikaci s čidly a paměťovým médiem. Pokud se jedná o datalogger pro real-time přenos musí být řídicí obvod schopen komunikovat i s počítačem, buď pomocí vlastní periferie v řídicím obvodu nebo nějakým meziobvodem. V tomto případě převodníkem USB/UART.

Jak bylo zmíněno, použití dataloggerů je velmi rozsáhlé, od měření v meteorologických stanicích (teplota, vlhkost, rosný bod, rychlost větru atp.) přes měření seizmických činností až po měření dat z vesmírných družic.

1.3 Vlastnosti dataloggeru

Vzhledem k tomu, že datalogger mají různé účely použití, odvíjí se od toho i nároky na ně. Pokud bude datalogger napájen z elektrické sítě, stačí mu malá kapacita baterie pro případný výpadek energie. Na druhé straně jsou datalogger, které jsou odříznuty od elektrické sítě a jediná energie je pouze z jejich akumulátorů. Na tyto zařízení je kladen důraz na spotřebu a také délku záznamu dat kvůli špatnému přístupu k nim. Nezbytnou podmínkou je také bezporuchovost zařízení. Dochází k ukládání velkého množství dat a jakákoliv porucha by mohla vést k jejich ztrátě.

Při real-time režimu se data z čidel zobrazují na displejích, ať už počítačů či displejů jako externí zařízení. Takových zařízení je ale menšina, a proto většina dataloggerů není schopna zobrazovat data. Díky tomu klesá energetická náročnost, protože není potřeba, aby bylo prováděno složitější zpracování těchto dat a jejich zobrazování.

1.4 Použití navrhovaného dataloggeru

Jak bylo zmíněno, použití dataloggerů je velmi rozsáhlé a každé určení má různé nároky a požadavky ať už na hardware, software nebo napájení. Proto datalogger musí být zaměřené na určitou oblast. Předkládaný datalogger byl vyvinut pro použití v těžko přístupných místech pro dlouhodobé měření s minimální spotřebou elektrické energie. Přesněji měření a záznam teploty ve včelích úlech.

2 Hardware dataloggeru

Měřené veličiny i paměťová média silně závisí na použití dataloggeru. Například při měření napětí či proudu se předpokládá, že bude možné napájet datalogger z elektrické sítě a tím pádem bude energetická náročnost zařízení menší a návrh zařízení na velikost spotřeby tak nebude kritický. Úplně obrácená situace bude například u měření teploty v odlehle oblasti.

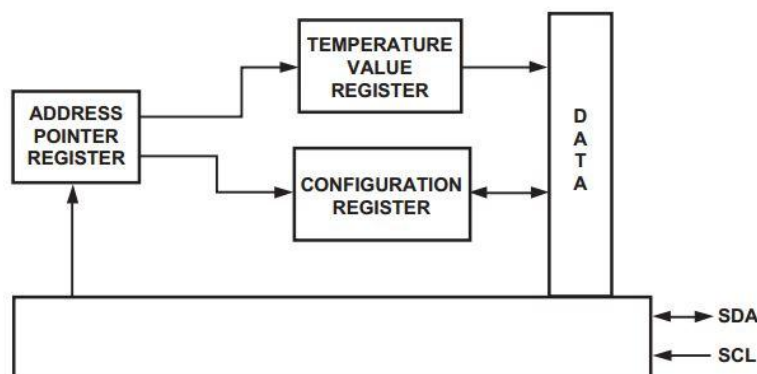
2.1 Výběr teplotních čidel

Vzhledem ke koncepci dataloggeru je možné použít jakákoli čidla připojitelná pomocí sběrnice I²C. Variabilita je proto větší. Tento datalogger bude sloužit jako záznamník teplot. V tabulce 2.1 lze vidět vybraný přehled teplotních čidel, rozsah napájecího napětí, teplotní rozsah a maximální odebíraný proud a odběr v režimu spánku.

Název	AD7415ARTZ	AD7414ARTZ	MCP9802 [2]	LM75BIM [3]	LM86C1MM [4]
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +120	-40 až +120	-40 až +150	-55 až +125	-55 až +125
Napájecí napětí [V]	2,7 - 5,5V	2,7 - 5,5V	2,7 - 5,25V	3 - 5,5	3 - 3,6
Špičkový proud [mA]	1,2	1,2	0,2	0,28	0,8
Odběr ve spánku [μA]	3	3	1	4	315

Tabulka 2.1: přehled teplotních čidel

Pro realizaci dataloggeru bylo vybráno teplotní čidlo AD7415ARTZ [1], díky velmi nízkému odběru při tzv. power-down módu (tj. vypnuté měření teploty, aktivní je pouze I^2C řadič) a to pouze 800nA. Pomocí vývodu AS je možné nastavit to samé čidlo na tři různé adresy. Výhodou je také tzv. one-shot režim, kdy se změří teplota a poté se čidlo automaticky přepne do režimu spánku. V tomto režimu má čidlo odběr pouhých 800nA. Na *obrázku 2.1* je vidět blokové schéma převodníku.



Obrázek 2.1: Blokové schéma převodníku AD7415 [1]

2.2 Výběr paměťových médií

Existuje velká škála paměťových médií. Ať už FLASH či EEPROM paměti nebo SD karta. V *tabulkách 2.2.1, 2.2.2 a 2.2.3* je možno vidět přehled FLASH, SD karet a EEPROM paměti. Jsou to běžně používaná paměťová média pro embedded zařízení.

2.2.1 FLASH paměť

Název	A25L020M [5]	AT25DF041A [6]	M29W160EB70N6E [7]	AT45DB081D [8]	M25P05 [9]
Napájecí napětí [V]	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,3 - 3,6
Odběr - čtení [mA]	25 (33MHz)	12 (33MHz)	10	12 (33MHz)	4 (25MHz)
Odběr - zápis [mA]	-	18	20	-	15
Velikost paměti [Mb]	2	4	16	8	0,512
Rychlost přístupu [nS]	2000	1200	70	2000	1400

Tabulka 2.2.1: přehled FLASH paměti

2.2.2 (Mikro) SD karta

Název	SFSD0512N1BN1TO [10]	SDDSDJ-1024 [11]	SD-M128 [12]
Napájecí napětí [V]	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6	2,7 - 3,6
Odběr - čtení [mA]	30	100 (25MHz)	80
Odběr - zápis [mA]	40	100 (25MHz)	80
Velikost paměti [MB]	512	1024	128

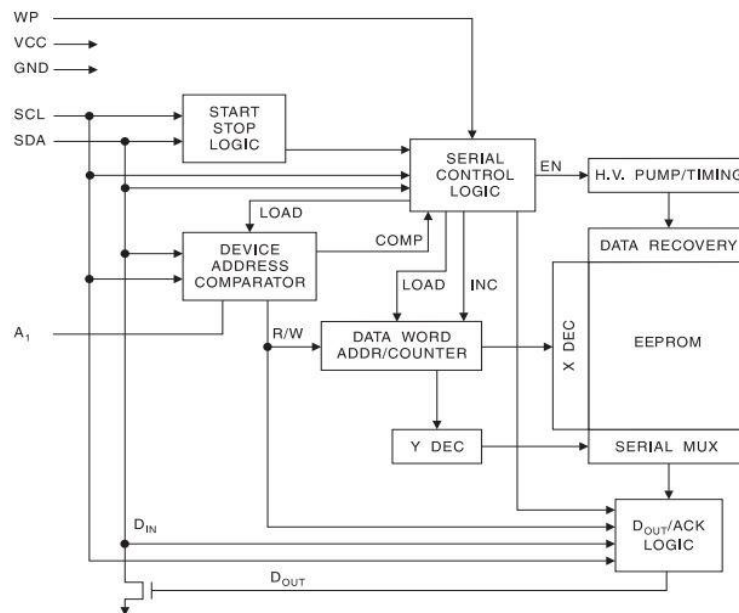
Tabulka 2.2.2: Přehled SD karet

2.2.3 EEPROM paměť

Název	M24512-WMN6TP [13]	24LC1026 [14]	AT24C1024 [15]	CAT24C512 [16]	25LC512 [17]
Napájecí napětí [V]	2.5 - 5.5V	2.5 - 5.5	2.7 - 5.5V	1.8 - 5.5	2.5 - 5.5
Odběr - čtení (400KHz) [mA]	2	0,45	2	1	10 (10Mhz)
Odběr - zápis [mA]	5	5	5	1,8	5
Velikost paměti [kb]	512	1024	1024	512	512
Doba zápisu [ms]	5	5	5	5	5

Tabulka 2.2.3: Přehled EEPROM paměti

Nakonec byla vybrána paměť EEPROM (typ AT24C1024 [15]) a to díky I²C rozhraní s maximální frekvencí 400KHz (nebo 1MHz při napětí vyšším než 4,5V), širokému rozsahu napájecího napětí a odběru v pohotovostním režimu pouze 3 μ A při 2.7V, který se aktivuje vždy po STOP bitu. Organizace paměti je 512 stran po 256 bytech, kde adresy jednotlivých paměťových buněk se adresuje 17bitovou adresou. Na *obrázku 2.2.3* je zobrazeno blokové schéma této paměti.



Obrázek 2.2.3 : Blokové schéma paměti EEPROM AT24C1024 [15]

2.3 Výběr hodin reálného času (RTC)

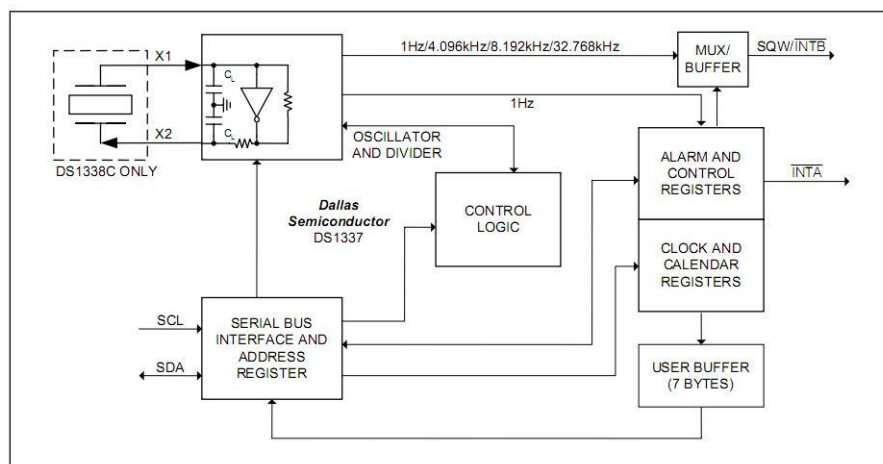
Při výběru RTC bylo dbáno na nízkou spotřebu, stejně jako na spotřebu celého konceptu dataloggeru. Jak je vidět z tabulky 2.3, všechny hodiny reálného času jsou si velmi podobné.

Název	BQ32000 [18]	PCF8563 [19]	M41T81 [20]	ISL12025 [21]	DS1337 [22]	M41T00 [23]
Napájecí napětí [V]	3 - 3.6	1.8 - 5.5	2.0 - 5.5	2.7 - 5.5	1.8 - 5.5	2.0 - 5.5
Odběr [μA] (400KHz)	100	800	400	500 (2.7V)	150	300 (100KHz)
Výstupy	1Hz, 512Hz, 1 a 0	32.768KHz, 1.024KHz, 32Hz, 1Hz, Alarm	$2^0 - 2^{14}$ Hz	RESET výstup (napětím)	Alarm, 1Hz, 4.096kHz, 8.192KHz, 32.768KHz	Alarm
Nabíjení zálohovací baterie (kondenzátoru)	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano

Tabulka 2.3 : Přehled hodin reálného času a výpis některých vlastností

Velkou výhodou byla vzájemná pinová kompatibilita vývodů (tzv. pinout) jednotlivých RTC. BQ32000 má stejný pinout jako M41T81 a M41T00 a PCF8563 má stejný pinout jako

DS1337. Proto byla deska navržena pro oba typy pinoutů tak, aby byla záměna mezi nimi možná. S ohledem na spotřebu $150\mu\text{A}$ při aktivním režimu, $1.5\mu\text{A}$ v pohotovostním režimu a s ohledem na rozsah napájecího napětí od 1.8 do 5.5V byl nakonec vybrán DS1337S+ [22]. Výhodou je také alarmový výstup popřípadě výstup s konstantní frekvencí 1Hz. Na obrázku 2.3 je zobrazen blokový diagram.



Obrázek 2.3 : Blokový diagram hodiny reálného času DS1337 [22]

2.4 Výběr převodníku USB/UART

Převodník je důležitý pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a počítačem. Datalogger je ale navržen tak, aby převodník byl napájen z počítače (pokud je tedy připojen). Proto nebyly nároky na převodník nijak důležité, kromě jedné výjimky, a tou je existence ovladače pro různé operační systémy. Tato podmínka byla důležitá pro obslužný program, který je napsán jako multiplatformní, tedy fungující na několika operačních systémech. Proto byl vybrán FT232RL od firmy FTDI.

2.5 Výběr technologie napájení

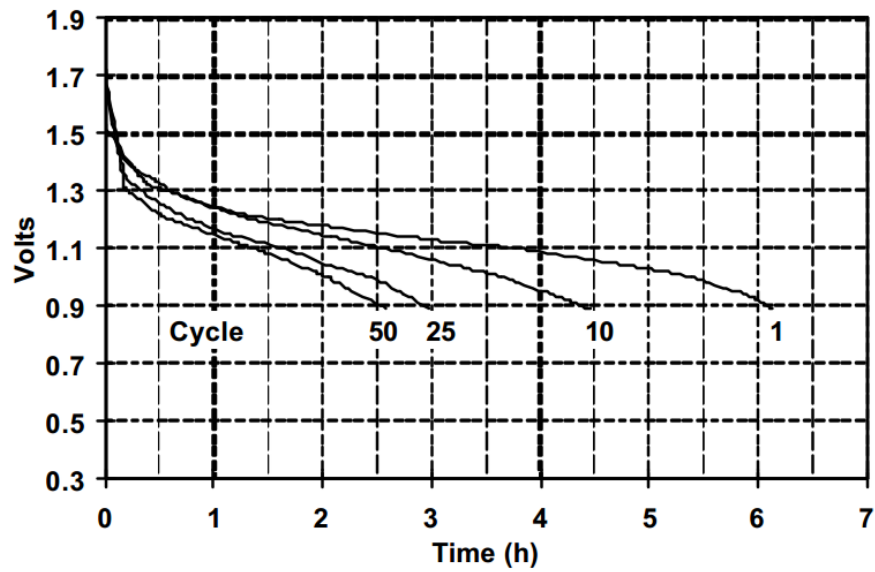
V tabulce 2.5 jsou vypsány technologie a základní vlastnosti baterií.

Technologie	NiMH akumulátory [velikost AAA]	NiCd akumulátory [velikost AAA]	RAM baterie [velikost AAA]	Li-Pol akumulátor
Napětí [V]	1.2	1.2	1.5	3.6
Kapacita [mAh]	1000	800	800	2000
Paměťový efekt	Malý (Sanyo Eneloop téměř žádný)	Ano	Ne	Ne
Samovybíjení [%/měsíc]	1 - 2	10	1	8
Rozsah teplot [°C]	-25 až +60	-40 až +60	-20 až +60	-20 až + 60

Tabulka 2.5 : Výběr baterií

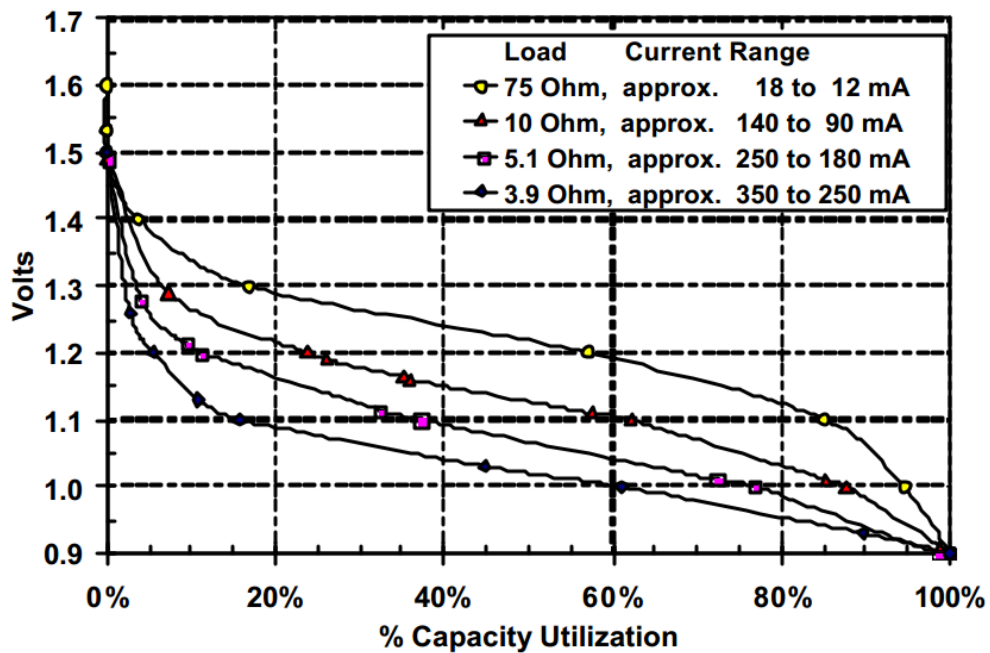
K napájení dataloggeru byli nakonec použity dvě AAA RAM baterie (Pure Energy [24], [25]) a to zejména kvůli napětí 1.5V na článek, možnosti nabíjení článků, téměř žádnému samovybíjení a žádnému paměťovému efektu. Nevýhodou je speciální nabíječka, při které nabíjecí napětí nesmí překročit napětí 1.65V, které by skončilo znehodnocením článku. Nabíjecí proud je maximálně 0.5A. Velkou výhodou je také možnost nabíjení v solárních nabíječkách, neboť snášejí vysoké nabíjecí teploty, až 60°C. Články nejsou určeny pro dlouhodobé odběry s proudem vyšším jak 1A.

Na obrázku 2.5a lze vidět graf, který znázorňuje napětí baterie v audio přehrávači (10Ω zátěž, odběr přibližně 100-125mA) s počtem nabíjecích cyklů v čase. Z grafu je vidět, že čas přehrávání se postupně snižuje s počtem nabíjecích cyklů. Je to způsobeno tím, že kapacita se rapidně snižuje s počtem dobíjení. To je velmi omezující faktor těchto baterií, ale vzhledem k tomu, že se předpokládá dlouhodobá výdrž a nabíjení maximálně 2x za rok, použití baterií s ohledem na kapacitu (10 nabíjecích cyklů) je naprosto dostačující. I s tímto odhadem, budou baterie sloužit minimálně 5 let, bez větší ztráty kapacity.



Obrázek 2.5a: Napětí baterií v závislosti na čase a počtu nabíjecích cyklů v audio přehrávači (10Ω zátěž, s odběrem přibližně 100-125mA) [25]

Obrázek 2.5b znázorňuje napětí baterie v závislosti na kapacitě při určité velikosti odběru.



Obrázek 2.5b: Napětí baterie v závislosti na kapacitě při vybíjení [25]

2.6 Výběr mikrokontroléru

V tabulce 2.6 jsou vypsané jednotlivé mikrokontroléry a základní charakteristické vlastnosti.

Název	PIC18F14K22 [26]	PIC16F721[27]	MSP430F2132 [28]	ATmega8A [29]	ATmega169PA [30]
Napájecí napětí [V]	1.8 - 5.5	1.8 - 5.5	1.8 - 3.6	2.7 - 5.5	1.8 - 5.5
Odběry v jednotlivých režimech	sleep mode - 34nA	standby 40nA/1,8V operanting 100uA/1,8V	Aktive 250uA/1MHz/2, 2V standby 0,7uA off mode 0,1uA	Aktive 3,6mA/4MHz idle 1mA/4MHz power-down 0,5uA	Aktive 330uA/1MHz/1,8 V power mode 0,1uA/1,8V power save 0,6uA/1,8V
Architektura / max. frekvence	RISC / 64MHz	RISC / 16MHz	RISC / 16MHz	RISC / 16MHz	RISC / 16MHz
Šířka sběrnice [bit]	8	8	16	8	8
Periferie	ADC/PWM/ Timer: 3x 16bit, 1x 8bit 3-Wire/EUSART/ I ² C/SPI	ADC/I ² C/SPI/AUS ART/ Timer: 2x 8bit, 1x 16bit	ADC/Timer 2x 16bi PWM/USART/ IrDA/SPI/I ² C	Timer: 2x 8bit, 1x 16bit/I ² C/USA RT/SPI	Timer: 2x 8bit, 1x 16bit/ADC/USAR T/SPI
Paměť: FLASH/ EEPROM/ RAM	16kB/256B/512 B	7kB/-/256B	8kB/256B-FLASH /512B	8kB/512B/1kB - SRAM	16kB/512B/1kB - SRAM

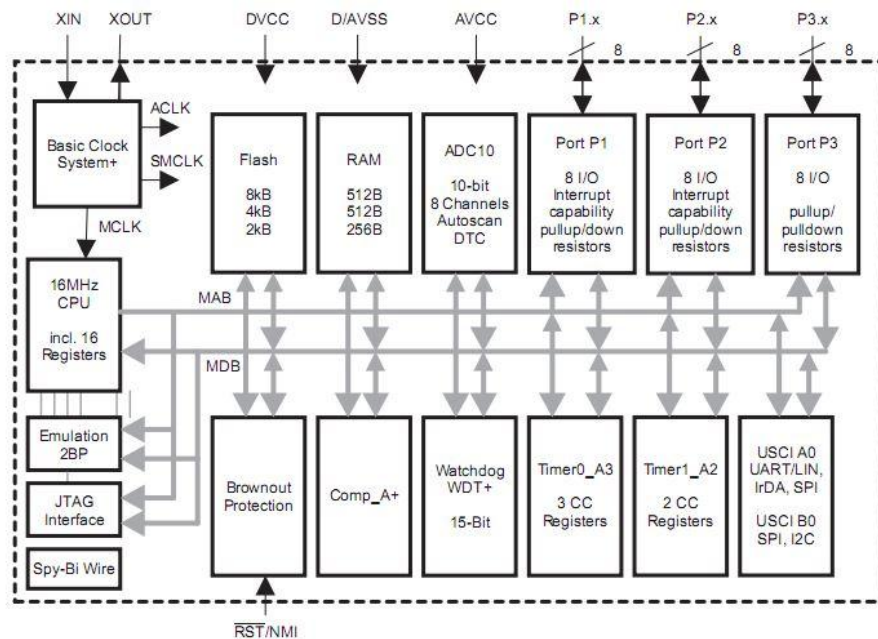
Tabulka. 2.6 : výběr mikrokontrolérů a jejich vlastnosti

Jako mikrokontrolér dataloggeru byl vybrán MSP430F2132 od firmy TI.

2.6.1 Obecný popis mikrokontroléru MSP430F2132

Datalogger je založený na mikrokontroléru MSP430F2132 [28] [31] od firmy Texas Instruments. Jedná se o 16bitový mikrokontrolér s redukovanou instrukční sadou (RISC). Tento mikrokontrolér se vyznačuje velmi nízkou spotřebou a má několik možností, jak snížit svou spotřebu pomocí režimů LPM. Napájecí napětí je od 1,8V až do 3,6V. Disponuje 8kB FLASH paměti a 512B RAM paměti. Mezi jeho periferie patří USCI (UART s automatickým nastavením rychlosti/I²C/SPI/IrDA). Obsahuje i dva 16bitové časovače, analogový komparátor, 10-bitový A/D převodník s rychlostí 200-kps s možností nastavení 2 vnitřních referencí (1.5 a 2.5V) a funkcí Sample-and-Hold, což je „ZMĚŘ A DRŽ“, to znamená, že se napětí změní pouze jedenkrát.

Obsahuje i DMA kontrolér, BOD a 24 vstupně/výstupních vývodů. Tento mikrokontrolér lze programovat pomocí JTAG nebo SBW. Na *Obrázku 2.6.1* je blokové schéma tohoto mikrokontroléru.

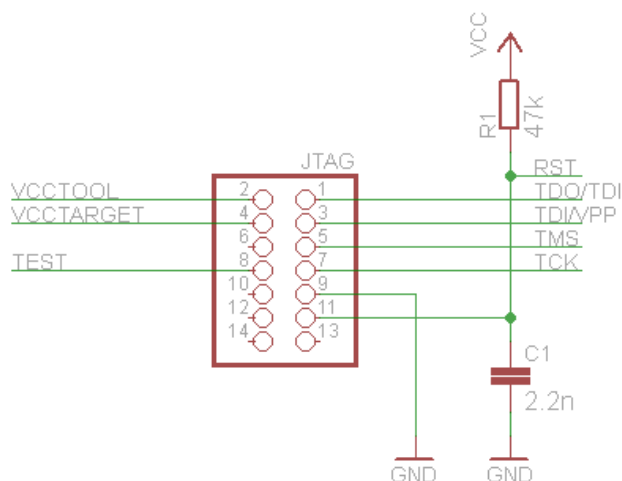


Obrázek 2.6.1: Blokové schéma MSP430F21x2 [28]

2.6.2 Programovací rozhraní

JTAG

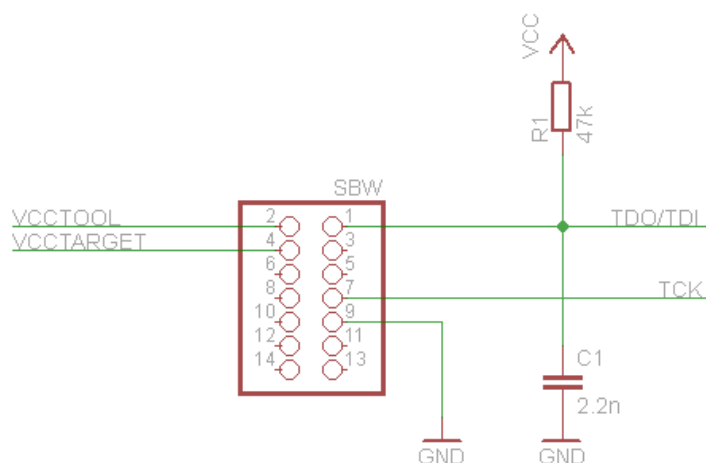
Programovací konektor JTAG [32] je moderní programovací a testovací rozhraní, kde se výrobci snaží o sjednocení testování integrovaných obvodů. Nyní je pro JTAG norma IEEE 1149.1. Je ovšem nutno říci, že každý výrobce si svůj JTAG rozvrhne podle potřeb. Norma tedy pouze definuje rozhraní integrovaných obvodů a komunikaci, nikoli však rozložení vývodů tzv. pinout, jak je vidět na *obrázku 2.6.2a* z [31]. Komunikace probíhá po 4 vodičích - Test Data Out, Test Data In, Test Mode Select, Test Clock.



Obrázek 2.6.2a: Programovací konektor JTAG pro MSP430Fxxxx [31]

SBW

Pro vybrané druhy mikrokontrolérů z řady MSP430Xxxxx, lze při programování uplatnit další programovací rozhraní a to SBW. Jedná se v podstatě o 2 vodičový JTAG. Jak je vidět na *obrázku 2.6.2b*



Obrázek 2.6.2b: Programovací konektor SBW pro MSP430Fxxxx [31]

2.6.3 Hodinový systém mikrokontroléru

Mikrokontrolér disponuje třemi rozvody hodin. Označují se Auxiliary Clock (ACLK - pomocné hodiny), Master Clock (MCLK - hlavní hodiny) a Sub-System Master Clock (SMCLK - podsystémové hlavní hodiny). To umožňuje mít periferie taktované jednou ze tří nastavených frekvencí. Pomocí Low-Power režimů (viz 2.6.4) jsou automaticky vypínány, či zapínány jednotlivé rozvody hodin. Tímto způsobem je možné efektivně snížit spotřebu.

Do ACLK patří například Internal Very-Low-Power Low-Frequency Oscillator (VLOCLK), což je vnitřní oscilátor s frekvencí typicky 12KHz. ACLK je možné dělit 1, 2, 4 nebo 8krát. Dále také LFXT1CLK (nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční oscilátory), do kterého patří externí krystaly a rezonátory od 400KHz až po 16MHz nebo hodinkové krystaly 32 768Hz pro ultranízkou spotřebu.

Do MCLK patří LFXT1CLK, VLOCLK nebo DCO (digitálně řízený oscilátor). Tento hodinový rozvod je opět možné dělit stejně jako ACLK.

Do SMCLK patří stejné zdroje hodinového kmitočtu jako MCLK.

2.6.4 Low-Power režimy

Řada MSP430 disponuje několika nízkoodběrovými módy. Tyto módy jsou vypsány v tabulce 2.6.4.

	Active mode (AM)	Low-Power mode 0 (LPM0)	LPM1	LPM2	LPM3	LPM4
CPU	Aktivní	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován
ACLK	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Deaktivován
SMCLK	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován
MCLK	Aktivní	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován
DCO generátor	Aktivní	Aktivní	Deaktivován, pokud není použit pro SMCLK	Deaktivován	Deaktivován	Deaktivován
Krystalový oscilátor	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Zastaven
Teoretický odběr [μ A]	300	55	-	17	1	0,1

Tabulka 2.6.4: Přehled Low power režimů

Probuzení z jednotlivých úsporných režimů trvá v jednotkách μ s. Podle katalogového listu [28] by probuzení nemělo přesáhnout 6 μ s. Dále řada MSP430 umožňuje samostatně vypnout, pomocí nastavovacích registrů, napájení vnějšího oscilátoru (většinou krystalu). Pokud se MSP430 probudí z nějakého LMP režimu do aktivního režimu pomocí přerušení, není nutné jej ručně v obsluze přerušení znova uspat, ale usnutí do předchozího LPM režimu se provede automaticky po dokončení obsluhy přerušení.

2.6.5 Vývojové prostředí pro programování mikrokontroléru

Pro programování mikrokontrolérů MSP430Xxxxx existuje několik vývojových prostředí (tzv. IDE). Vývojové prostředí slouží k jednoduššímu programování a návrhu programu pro mikrokontrolér. Obsahuje několik částí:

Editor zdrojového kódu, kompilátor (neboli překladač) a debugger.

Kompilátor slouží k překladu zdrojového kódu z editoru zdrojového kódu do strojového kódu pro mikrokontrolér.

Debugger se využívá k hledání chyb v programu, přičemž je možné vidět část zdrojového kódu, na kterém se mikrokontrolér při chybě „zastavil“. Je tedy možné program například „krokovat“.

Code Composer Studio (CCStudio) - prostředí je přímo od firmy Texas Instruments. CCStudio podporuje jazyky C a assembler. Také je možné program „krokovat“. Od verze 5 prostředí podporuje operační systémy Windows i Linux.

IAR Embedded Workbench - prostředí od firmy IAR. IAR nabízí vývojové prostředí pro mnoho mikrokontrolérů od několika firem. Samotné prostředí také obsahuje debugger, stejně jako CCStudio.

Pro operační systémy založené na Linuxu je možné programovat mikrokontroléry MSP430 buď výše zmíněným CCStudiem nebo použít kompilátor mspgcc (který má velmi podobné instrukce jako pro CCStudio) a jako debugger použít mspdebug.

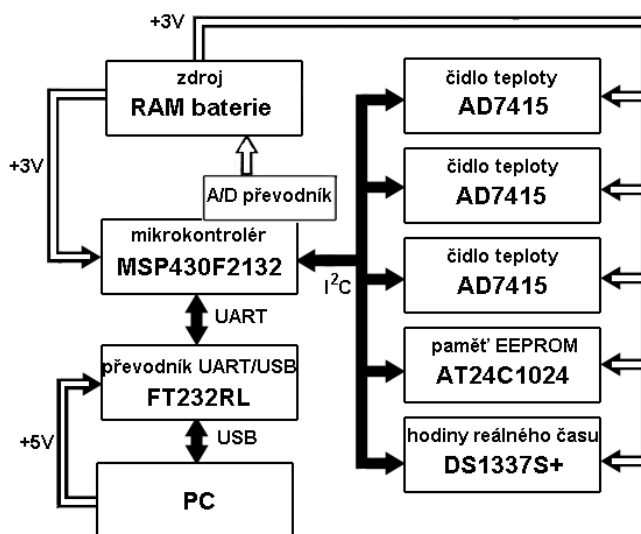
Použití mspgcc v kombinaci s mspdebug se nakonec ukázalo jako nejlepší volba.

3 Realizace dataloggeru

V následující kapitole je probrán koncept tohoto dataloggeru. Na vývojovém diagramu je zobrazen průběh programu po zapnutí napájení a v dalším vývojovém diagramu je zobrazen průběh programu čtení a zápisu dat po probuzení od hodin reálného času. Dále jsou popsány části kódu důležité pro nastavení jednotlivých periférií a zároveň pro běh mikrokontroléru. V závěru této kapitoly je teoretický předpoklad odběru dataloggeru a také praktické měření. Programy jsou umístěny na CD-ROM disku, který je přiložen k bakalářské práci.

3.1 Popis koncepce

Přenos dat z teplotních čidel, čas z hodin reálného času a následné uložení dat do paměťového média je vyřešeno pomocí sběrnice I²C.



Obrázek 3.1: Koncepte dataloggeru

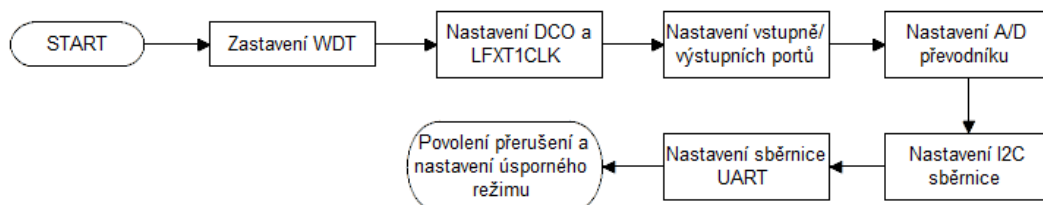
Jak je vidět z obrázku 3.1, komunikace s čidly, hodinami reálného času a EEPROM pamětí je vyřešena za pomoci sběrnice I²C, kde MSP430F2132 je master („pán“) a ostatní obvody na sběrnici I²C se chovají jako slava („otrok, poddaný“). Vzhledem k tomu, že MSP430F2132 nemá hardwarový USB řadič, je použit převodník UART/USB od firmy FTDI (FT232RL). Data lze vyčíst pomocí obslužného programu, který je obsažen na příloženém médiu k bakalářské práci. Tento program slouží i k nastavení samotného dataloggeru. Data z měření napětí baterie A/D převodníku a jeho procentuální hodnota se ukládá do paměti EEPROM.

3.2 Popis programu dataloggeru

Soubor main.c obsahuje i hlavní smyčku main („hlavní“), která slouží pro nastavení registrů mikrokontroléru, nastavení vnějších obvodů a komunikace s čidly. Mikrokontrolér nesmí nikdy skončit, proto se vykonávající program píše do nekonečné smyčky nebo, jako v tomto případě, se využívají pouze podprogramy, které se aktivují přerušením. V ostatních chvílích se mikrokontrolér a přidružené obvody přepínají do režimu spánku. Pokud by program mikrokontroléru skončil, ocitl by se v nekontrolovatelném stavu a nebylo by zajištěno jeho správné fungování. V programu se dále využívá již zmíněné přerušení a to jak od UARTu, tak od vstupně-výstupních bran. Přerušení od UARTu se využívá pouze při nastavování data, času, četnosti vzorkování, výpisu dat z EEPROM a startu ukládacího režimu nebo režimu pro real-time přenos. Přerušení od vstupně-výstupní brány se využívá pouze k probuzení mikrokontroléru, které se aktivuje změnou výstupu hodiny reálného času.

Hodiny reálného času fungující na sběrnici I²C nejsou schopny vyvolat přerušení na této sběrnici, protože jsou ve stavu „slave“ a tedy čekají, kdy se na sběrnici objeví jim patřící adresa, čímž je jim umožněna komunikace.

Na *obrázku 3.2a* je zobrazen vývojový diagram, který zobrazuje postupné činnosti po zapnutí napájení mikrokontroléru.



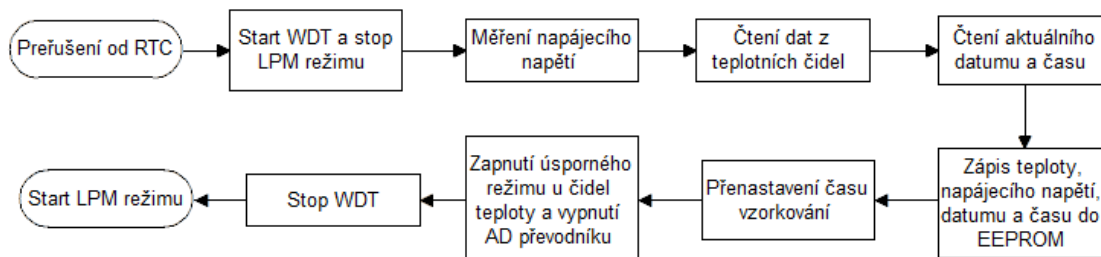
Obrázek 3.2a: Vývojový diagram průběhu programu po zapnutí napájení

Po zapnutí napájení je nejprve vypnut Watch Dog Timer (WDT). Ten pravidelně kontroluje, zda mikrokontrolér tzv. nezamrzl, například čekáním na příznakový bit, který nikdy nenastane nebo nastane za neúměrně dlouhou dobu.

Princip je jednoduchý. Jak název napovídá, jedná se o časovač, který musí být pravidelně nulován, pro nepřerušení programu, a pokud se tak nestane a časovač přeteče, vyvolá interrupt (přerušení) nebo WDT mikrokontrolér přímo resetuje. Pokud by WDT nebyl zastaven, mohl by být mikrokontrolér stále resetován už při nastavování hodin, popřípadě jiných perifériích a nikdy by nedošlo ke kompletnímu nastavení mikrokontroléru.

Poté se nastaví vnitřní hodiny a externí krystal. Jsou nastaveny 3 rozvody hodin a to ACLK, SMCLK a MCLK. ACLK je používán při režimu spánku, kde se čeká na vnější přerušení od hodin reálného času. Jako zdroj hodin pro ACLK je externí hodinkový krystal (32.768KHz). MCLK a SMCLK je aktivován při řešení přerušení a jeho zdroj hodin je DCO s frekvencí 1MHz.

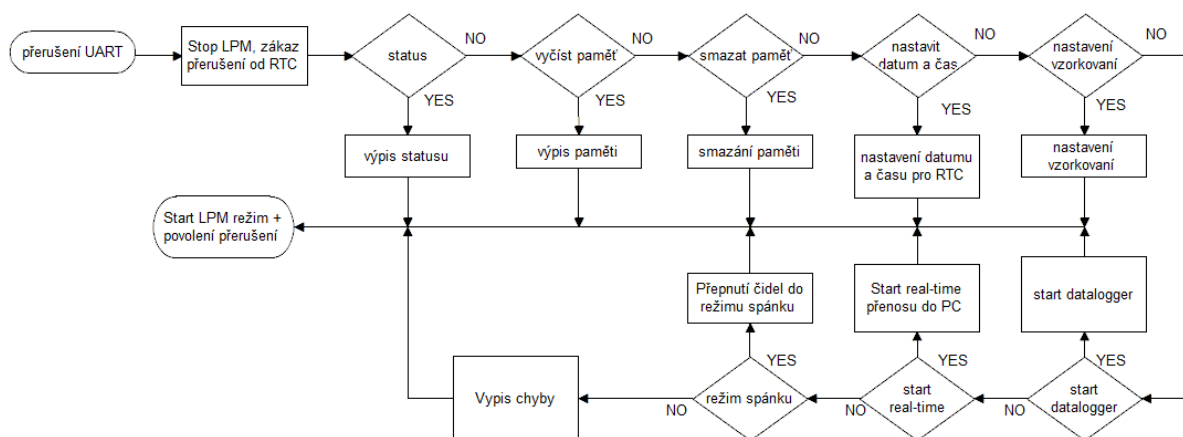
Pak jsou nastaveny porty, používané sběrnice a A/D převodník. Po všech nastaveních se povolí přerušení a nastaví jeden z low power režimů.



Obrázek 3.2b: Vývojový diagram řešení přerušení od hodin reálného času

Výše zobrazený vývojový diagram (obrázek 3.2b) ukazuje postupné činnosti při přerušení od hodin reálného času. Pokud hodiny reálného času mají stejný čas a datum, změní alarmový výstup svůj stav, což zaznamená, že se vyvolá přerušení na straně mikrokontroléru. V tomto přerušení se provede dočasné ukončení LPM režimu a zakáže se globální přerušení. Tím mikrokontrolér skočí do smyčky, ve které se postupně provede start WDT, zapnutí převodu a následné čtení dat z teplotních čidel. Čidlo posílá teplotu ve dvou bytech, kde v druhém bytu se posílají hodnoty za desetinou tečkou (rozlišení 0.25°C). V prvním bytu nejvyšší bit indikuje znaménko (1 = záporná hodnota). K úspoře místa v paměti je druhý byte ignorován a ukládá se tedy pouze první byte (rozlišení 1°C). Změří se napájecí napětí, které je přepočítáno na procenta. Nakonec se přečte aktuální datum a čas z hodin reálného času. To vše se zapíše do externí paměti. Poté se nastaví registry pro další spuštění alarmu a zastaví se WDT. Nakonec se opět nastaví LPM režim a povolí globální přerušení. Tím se mikrokontrolér uspí a poté se opět čeká na změnu alarmového výstupu od hodin reálného času.

Na obrázku 3.2c lze vidět vývojový diagram pro nastavení dataloggeru. Po příchodu přerušení přes sběrnici UART nejprve nastane deaktivace LPM režimu a zakáže se přerušení od hodin reálného času, tj. zakáže se vyvolání přerušení přes vstupně-výstupní bránu. Následně se postupně kontroluje přijatý znak, zdali se nemá vyčistit paměť EEPROM nebo jí smazat, přičemž se smažou konstanty pro ukládání dat. Dále se kontroluje znak pro nastavení nového data a času, popřípadě nastavení nového vzorkovacího času, zahájení měření nebo pouze ukončení měření, kde zůstává zakázáno přerušení od RTC. Datalogger umožňuje i real-time přenos dat ze senzorů přímo do počítače. Pokud znak ani v jednom případě nesouhlasí, je uživateli zobrazena chybová hláška s tím, že se celé zařízení opět uspí.



Obrázek 3.2c: Vývojový diagram nastavení dataloggeru

3.2.1 Popis hlavních částí programu

Program je rozdělen do jednoho hlavního souboru, ke kterému jsou připojeny dvě pomocné knihovny s obslužnými rutinami k danému hardwaru. První pomocná knihovna je `uart.h`, ve které se nachází rutiny pro komunikaci a nastavení sériového portu. Ve druhé knihovně jsou vypsány rutiny pro obsluhu I²C sběrnice (`i2c.h`), která obsluhuje paměť, teplotní čidla a hodiny reálného času.

UART.H

➤ `void uart_init(void)`

Funkce, která provádí inicializaci UARTu. Provádí se v ní nastavení vývodů, nastavení hodin, modulační rychlost a povolení přerušování od přijatého znaku.

➤ `void uart_posliznak(unsigned char tznak)`

Funkce provádějící poslání pouze jednoho znaku. V této funkci, stejně jako v obdobných funkcích, se čeká na příznakový bit a to na kompletní odeslání znaku.

➤ `void uart_posliretez(char *retez)`

Funkce sloužící k poslání několika znaků za sebou, tzv. řetězec. Řetězec se nachází na adrese, na které ukazuje ukazatel. Funkce využívá uvnitř funkci „`uart_posliznak`“, které posílá jednotlivé znaky k odeslání.

➤ `void uart_posliint(unsigned int cislo)`

V této funkci je pomocí funkce „`itoa`“ převedeno číslo na pole znaků.

- `itoa(cislo, szNumber, 10);`

Jako vstupní informace je samotné číslo, druhá informace je velikost pole, do kterého se převede číslo a třetí informace je, do jaké číselné soustavy se má převést. Poslední dvě informace se zadávají v samotné funkci.

➤ `unsigned char uart_prijmyznak(void)`

Tato funkce posílá znak po UARTu. Opět se čeká na kompletní přijetí znaku.

I2C.H

➤ `void i2c_init(unsigned int slave_address)`

Funkce k inicializaci I²C sběrnice. V této funkci se nastavují příslušné vývody

mikrokontroléru a zároveň je nastaven na režim master, nastavuje se rozvod hodin a registry nastavující rychlost přenosu a adresu slave zařízení.

➤ `void i2c_adresa(unsigned int adresa)`

Funkce ke změně adresy periferie bez inicializace.

➤ `void i2c_tx(unsigned char data)`

Funkce k poslání znaku společně s adresou slave zařízení a zápisový bitem. V této funkci se čeká na volnou sběrnici, stejně jako v ostatních funkcích, a testuje se, jestli je vysílací buffer naplněn a poté se odesílají data.

➤ `void i2c_txx(unsigned char data1)`

Funkce k poslání znaku bez adresy slave zařízení a bez poslání zápisového bitu. Opět se čeká na kompletní naplnění bufferu.

➤ `void i2c_retez(char *r)`

Funkce k poslání řetězce znaků. Řetězec je přijat pomocí ukazatele. Uvnitř funkce se volá funkce „i2c_txx“, které se postupně předávají znaky k odeslání.

➤ `unsigned char i2c_rx(void)`

Funkce sloužící k příjmu znaku s odesláním slave adresy a čtecího bitu s čekáním na volnou sběrnici a čekáním na příznak, zda je znak kompletně přijat.

➤ `unsigned char i2c_rxx(void)`

Funkce k příjmu znaku bez odeslání slave adresy a čtecího bitu. Zde se opět čeká na volnou adresu a příznak kompletně přijatého bytu.

➤ `void i2c_stop(void)`

Funkce k zastavení I²C sběrnice.

VÝBĚR NĚKTERÝCH ČÁSTÍ KÓDU

➤ `BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;`

Příkaz sloužící k nastavení rozvodu hodin BCSCTL1 na 1MHz.

➤ `DCOCTL = CALDCO_1MHZ;`

Příkaz sloužící k nastavení digitálně řízeného oscilátoru na 1MHz.

➤ `BCSCTL3 = XCAP_3;`

Příkaz k nastavení třetího rozvodu hodin na ACLK společně se zapnutím interních

kondenzátorů pro externí krystal.

- `_BIS_SR(LPMx_bits + GIE);`

Příkaz k nastavení low-power režimu a ke globálnímu povolení přerušeni.

- `_BIC_SR_IRQ(LPMx_bits);`

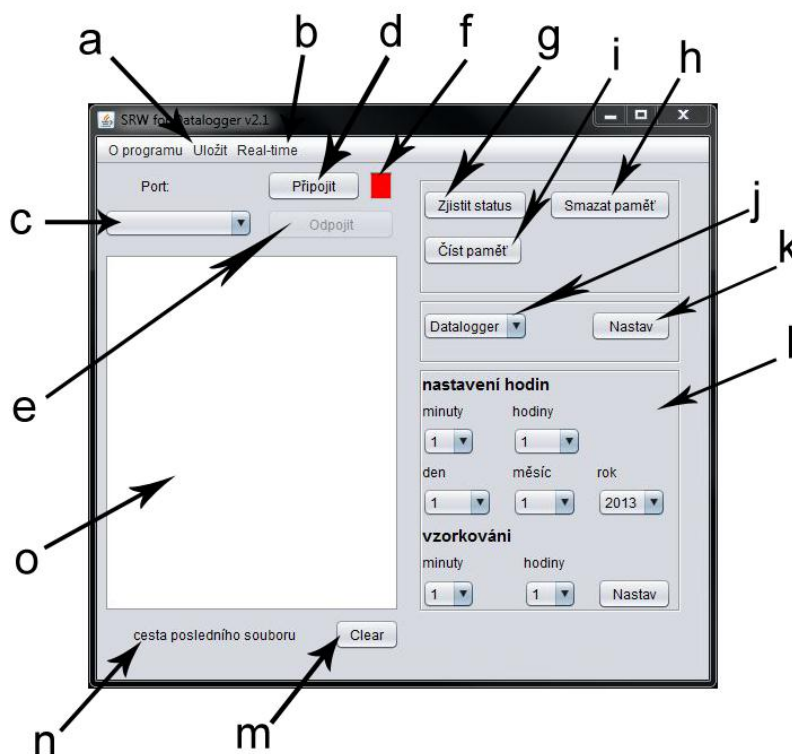
Tento příkaz slouží k opuštění LPM režimu a k ukončení přerušeni.

- `interrupt(USCIAB0RX_VECTOR) USCI0RX_ISR(void)`

Zápis přerušeni od UARTu v mspgcc.

3.3 Řídící software

Ovládací software byl vytvořen pro nastavení dataloggeru. Je napsán v programovacím jazyce Java. Zároveň slouží pro vyčtení dat z paměti dataloggeru a jeho následné uložení do souboru jako *.txt nebo *.csv, který používají programy pro tvorbu grafů a tabulek. Software dále disponuje zobrazením teplot v reálném čase. Jako knihovna pro komunikaci byla použita JSSC (java-simple-serial-connector) jejíž tvůrce ji zveřejnil pod LGPL (GNU Lesser GPL) licencí. Na *obrázku 3.3* je zobrazen náhled ovládacího softwaru pro nastavení a komunikaci s dataloggerem. Program dokáže uložit i hodnoty z real-time přenosu také do souboru *.csv nebo *.txt.



Obrázek 3.3: Ovládací prvky softwaru

- „a“ - uložení dat z textového pole „o“
- „b“ - přepnutí do real-time režimu
- „c“ - výběr zařízení
- „d“ - připojení zařízení
- „e“ - odpojení zařízení
- „f“ - zobrazení připojeného zařízení „zelená“ - připojeno „červená“ - odpojeno
- „g“ - tlačítkem „Zjistit status“ se program dotáže dataloggeru v jaké funkci se nachází. Zda je ve funkci Datalogger, Real-time nebo je v Režimu spánku
- „h“ - smaže se celá paměť a nastaví se počáteční ukazatele
- „i“ - vyčte se celá paměť do textového pole „o“
- „j“ - nastaví se režim dataloggeru
- „k“ - zapíše nastavení do dataloggeru
- „l“ - zahrnuje soubor tlačítek a seznamů pro nastavení hodin a nastavení vzorkování
- „m“ - maže se textové pole „o“
- „n“ - cesta uloženého souboru
- „o“ - výstupní textové pole

3.3.1 Seznam řídicích znaků a doporučený postup nastavení

Tabulka 3.3.1 ukazuje seznam řídicích znaků. Pomocí programu pro datalogger se nastavení provádí pomocí tlačítek obslužného softwaru, uživateli je tedy tento seznam skrytý. Datum, čas a opakování měření se nastavuje pomocí seznamů. Správné zadání všech položek je řešeno přímo v programu pro nastavení dataloggeru a je tak značně zredukován kód, který by byl potřeba v mikrokontroléru pro ošetření chyb ze vstupů od uživatele.

Postup pro nastavení dataloggeru je následující:

Nejdříve se zjistí aktuální činnost mikrokontroléru pomocí tlačítka „Zjistit status“. Pokud přijde odpověď „Datalogger“, pak se nachází ve stavu ukládání dat na externí paměť EEPROM. Při odpovědi „Real-time“ jsou data ze senzorů posílána přímo do počítače, tedy ukládání dat (pokud je to žádoucí) se musí řešit v počítači. Odpověď „Rezim spanku“ značí úsporný režim, při kterém jsou všechny periferie uvedeny do režimu spánku. Ve funkci „Datalogger“ se vyčte celá paměť a poté je možno v programu pro obsluhu dataloggeru uložit data do *.csv souboru, což je soubor určený k otevření v Microsoft Excel, popřípadě Open/LibreOffice Calc a podobných. V těchto programech je možno dále pracovat s těmito daty, například vytvoření grafů a tabulek. Pokud nastane situace, kdy bude naplněna

pouze část paměti, je v programu mikrokontroléru podmínka, že po desátém přijetí hodnoty „0“ bude vyčtení dat z paměti ukončeno. Díky tomu bude ušetřen čas k výpisu dat z paměti. Poté se smaže celá externí paměť i ukazatele na aktuální pozici v paměti. To je potvrzeno přijetím řetězce „Pamet smazana“. Dále je možno nastavit aktuální datum a čas a nastavit četnost měření. Nakonec je možno si vybrat funkce „datalogger“ nebo použití „real-time“ přenosu dat do počítače, popřípadě celý datalogger uspat pomocí „rezim spanku“.

Příkaz	Hex kód	ASCII kód	Délka [B]	Odpověď mikrokontroléru
Aktuální činnost	0x3F	?	1	Řetězec - „Datalogger“ - „Real-time“ - „Rezim spanku“
Čtení paměti	0x72	r	1	Vyčtení celé paměti
Smazání paměti a ukazatele	0x63	c	1	„Pamet smazana“
Nastavení datumu a času	0x73	s	5	„Datum a cas nastaven“
Nastavení opakovaného vzorkování	0x76	v	1	„Vzorkovani nastaveno“
Real-time přenos	0x74	t	1	„ Start real-time“
Funkce datalogger	0x6C	l	1	„Start datalogger“
Režim spánku	0x21	!	1	„Rezim spanku“

Tabulka 3.3.1: Seznam řídicích znaků

3.4 Energetická náročnost dataloggeru a velikost paměti

Nejprve byl vytvořen graf odběru podle katalogových listů jednotlivých součástí, poté byl datalogger prakticky změřen (viz níže).

Datalogger obsahuje paměť AT24C1024, jejíž velikost je 131 072 bytů. Při vzorkování jedenkrát za hodinu je ukládáno do paměti: teplota ze 3 čidel, napětí baterie v procentech, měsíc a den. Každý údaj má velikost 1 byte, tedy celkem 6 bytů. Do paměti je možné uložit 26 214 těchto záznamů. Po přepočtu je to 1092 dnů, tedy téměř 3 roky (2.99 roků).

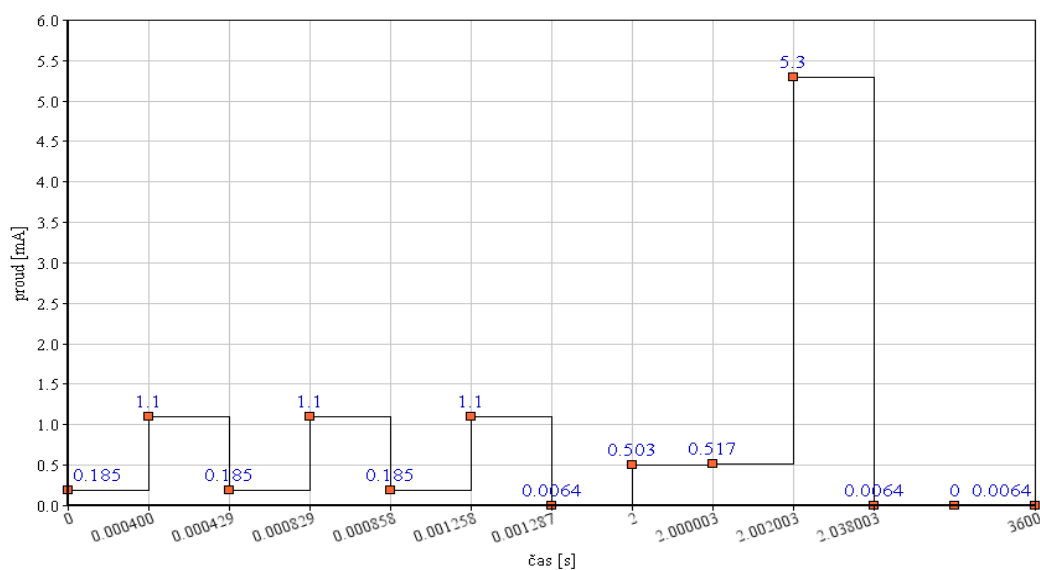
3.4.1 Teoretické spotřeba

Na obrázku 3.4.1 lze vidět graf proudového odběru v čase. Na jeho základě lze spočítat spotřebu zařízení v jednotlivých fázích a v celkovém čase. Je nutné pro teoretickou spotřebu stanovit několik podmínek a to: napájecí napětí 3.3V a vzorkování jedenkrát za hodinu.

Prvních 400 μ s je aktivována I²C sběrnice teplotního čidla, poté následuje konverze, která trvá zhruba 29 μ s s odběrem 1,1mA. Toto se opakuje pro všechna 3 čidla. Zapsání nových hodnot do vnitřního registru trvá kolem 800ms. Pro jistotu je ale převod zahájen 2 vteřiny před samotným čtením ze zmiňovaného registru. Po vykonání příslušného programu je mikrokontrolér uspán stejně jako paměť EEPROM a každé čidlo odebírá zhruba 800nA. Celkový odběr je v tomto režimu je 6.4 μ A. Mikrokontrolér sám spotřebovává 1 μ A (LPM3 režim), paměť EEPROM má odběr 3 μ A. Jeho power-down mód se automaticky aktivuje při dokončení přenosu dat, tedy po přijetí STOP bitu. Po další aktivaci od časovače je mikrokontrolér přepnut do aktivního režimu a zároveň je změřeno napájecí napětí dataloggeru. Při této činnosti je celkový odběr kolem 503 μ A, konverze však trvá kolem 3 μ s. Poté je zahájeno čtení z teplotních čidel. Po jejich vyčtení následuje uložení dat do externí paměti EEPROM. Tato akce trvá kolem 40ms a skládá se z uložení dne, měsíce, teplot z 3 čidel a velikosti napájecího napětí přepočítaného na procenta. Poté je zařízení uspáno do dalšího vzorkování, tedy o hodinu později.

Při real-time přenosu se provádí ta samá část programu, s výjimkou ukládání dat do EEPROM. Místo toho jsou změřená data posílána přes UART do počítače.

Teoretický graf odběru dataloggeru



Obrázek 3.4.1: Teoretický graf odběru dataloggeru

Taktivní [s]	Tcelkový [s]	Napětí [V]	Proud[A]	Spotřebovaná kapacita [uAh]
0.0004000	3600.00	3.30	0.00018500	0.00002055555556
0.0000290	3600.00	3.30	0.00110000	0.000008861111111
0.0004000	3600.00	3.30	0.00018500	0.00002055555556
0.0000290	3600.00	3.30	0.00110000	0.000008861111111
0.0004000	3600.00	3.30	0.00018500	0.00002055555556
0.0000290	3600.00	3.30	0.00110000	0.000008861111111
1.9987130	3600.00	3.30	0.00000640	0.00355326755556
0.0000030	3600.00	3.30	0.00050300	0.00000041916667
0.0030000	3600.00	3.30	0.00051700	0.000430833333333
0.0378000	3600.00	3.30	0.00530000	0.05565000000000
3597.96	3600.00	3.30	0.00000640	6.39637190577778
				6.45609467583333

Tabulka 3.4.1: Celková spotřeba v režimu datalogger

Z tabulky lze vidět, že celková teoretická spotřeba spočítaná pro měření jedenkrát za hodinu, je 6,4uA. Je také možné vidět, že celková spotřeba se od té v klidovém režimu nikterak výrazně neliší. To je způsobenou velmi dlouhou dobou v klidovém režimu.

$$t = C_{bat} / I = 100 / 6.45 = 15503.87 [\text{hod} , \text{mAh} , \mu \text{Ah}]$$

Zde je vypočítána celková doba fungování dataloggeru při vzorkování jedenkrát za hodinu a při kapacitě baterie pouze 100mAh. Při těchto hodnotách je výsledný čas provozu 15503 hodin tedy 645 dní. Samovybití baterií se pohybuje kolem 0.33% / měsíc [24].

3.4.2 Praktická spotřeba

V příloze D jsou obrázky z osciloskopu Tektronix 1002 z měření spotřeby dataloggeru. K měření byl použit předřadník 329 Ω. V režimu spánku (D 1) bylo měření relativně nepřesné, protože měřicí odpor byl relativně malý, ale při větším odporu byl úbytek tak velký, že zareagovala ochrana mikrokontroléru a datalogger se restartoval. Úbytek napětí na odporu se v klidovém režimu se pohyboval mezi 1.8 - 2.2 mV. Pomocí Ohmova zákona byl zjištěn klidový odběr mezi 5.45μA - 6.66μA. V režimu datalogger (D 2) je napěťová špička až 600mV a to v době zápisu dat do EEPROM. Z toho lze přepočtem zjistit maximální odběr 1.8mA. Lze také vidět prvotní špičku, měření napájecího napětí a deaktivaci LPM režimu, kolem 170mV, což odpovídá 515μA. Naopak při čtení dat z paměti (D 3) byl úbytek napětí mezi 200 - 300mV. Odběr se tedy pohyboval mezi 607 - 911μA. Na obrázku D 3 lze vidět napěťová špička, která byla identifikována jako zápis nové adresy, ze které by se mělo číst.

Praktické měření potvrdilo předpoklad teoretické spotřeby. V některých případech, jako zápis do EEPROM, byla spotřeba ještě nižší než bylo předpokládáno. Z praktického měření lze tedy usuzovat, že délka měření byla správně spočítána.

4 Závěr

Bakalářská práce se měla zabývat dataloggerem pro dlouhodobé měření. Důraz měl být kladen především na nízkou spotřebu a možnost dlouhodobě ukládat data na vhodné paměťové médium. Velmi nízký odběr podporuje zejména mikrokontrolér MSP430F2132, který, stejně jako celá řada MSP430, podporuje několik stupňů low-power režimů. Dále také možnost přepnout teplotní čidla do klidového stavu, kdy je aktivní pouze I²C řadič sběrnice a v neposlední řadě paměť EEPROM, AT24C1024, která se automaticky přepíná do klidového stavu po přijetí STOP bitu.

V návrhu dataloggeru byl předpoklad použití hodin reálného času, ty se ale ke dni publikace nepodařilo zprovoznit a byli proto nahrazeny softwarovými hodinami pomocí časovače mikrokontroléru a krystalového rezonátoru (32,768KHz). Výsledná spotřeba s použitím vnitřního časovače se nijak nezvýšila.

Byl vytvořen také software pro ovládání a komunikaci s dataloggerem. Ten nabízí možnost nastavení času a vzorkování, režimu samotného dataloggeru, zjištění aktuálního stavu a čtení a smazání paměti. Data je možné ukládat do dvou typů souborů, zejména *.csv, který je možné použít pro tvorbu grafů v některém z matematických editorů.

I když je zařízení koncipováno pro měření teploty ve včelím úlu, je zde předpoklad širšího použití.

V příloze A je seznam běžně dostupných univerzálních dataloggerů. Jak je vidět, velikou předností je zapojení 3 teplotních čidel (po jednoduchém rozšíření programu i více) a software podporující nejrozšířenější operační systémy.

Jak bylo zmíněno na začátku bakalářské práce, datalogger je zaměřen na měření teploty ve včelím úlu. Dalším vylepšením by bylo měření frekvence v rozsahu 200-400Hz. Změnou frekvence se totiž sleduje dlouhodobý vývoj přípravy včel k vyrojení.

Mimo jiné by bylo vhodné doplnit datalogger o nabíjení například ze solárních článků.

Další vylepšení by spočívalo ve vylepšení ovládacího softwaru o vytvoření a zobrazení grafů nebo alespoň jeho náhledu z přijatých hodnot.

Samozřejmým vylepšením by byla velikost desky plošného spoje, která by měla dopad na velikost celého zařízení.

Literatura

- [1] Analog Devices. Datasheet AD7414/AD7415. [online]. Poslední změna leden 2010. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7414_7415.pdf
- [2] Microchip. Datasheet MCP9800/1/2/3. [online]. Poslední změna 2010. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21909d.pdf>
- [3] Texas Instruments. Datasheet LM75B/C. [online]. Poslední změna prosinec 2010. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1605071.pdf>
- [4] Texas Instruments. Datasheet LM86. [online]. Poslední změna leden 2013. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm86.pdf>
- [5] Amic. Datasheet A25L020. [online]. Poslední změna 2011. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1581482.pdf>
- [6] Adesto. Datasheet AT25DF041A. [online]. Poslední změna leden 2012. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.adestotech.com/sites/default/files/datasheets/doc3668.pdf>
- [7] Micron. Datasheet M29W160EB70N6E. [online]. Poslední změna květen 2008. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/40276.pdf>
- [8] Atmel. Datasheet AT45DB081D. [online]. Poslední změna 2008. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/97337.pdf>
- [9] Micron. Datasheet M25P05. [online]. Poslední změna duben 2008. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/40254.pdf>
- [10] swissbit. Datasheet SFSD0512N1BN1TO. [online]. Poslední změna 2012. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1674884.pdf>
- [11] SanDisk. Datasheet SD Card Product Family. [online]. Poslední změna 2007. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://datasheet.elcodis.com/pdf/11/23/112362/sdsdq-1024.pdf>
- [12] Toshiba. Datasheet SD - Mxxx Series. [online]. Poslední změna 2002. [Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/SD-M128-datasheet.html>

- [13] STM. Datasheet M24512. [online]. Poslední změna 2012.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00251873.pdf>
- [14] Microchip. Datasheet 24LC1026. [online]. Poslední změna 2012.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1669522.pdf>
- [15] Atmel. Datasheet AT24C1024. [online]. Poslední změna 2004.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z:
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/doc1471.pdf>
- [16] ON Semiconductor. Datasheet CAT24C512. [online]. Poslední změna leden 2012.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z:
http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/CAT24C512-D.PDF
- [17] Microchip. Datasheet 24LC512. [online]. Poslední změna 2004.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21754M.pdf>
- [18] Texas Instruments. Datasheet BQ32000. [online]. Poslední změna 2010.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq32000.pdf>
- [19] NXP. Datasheet PCF8563. [online]. Poslední změna 2011.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1486095.pdf>
- [20] STM. Datasheet M41T81. [online]. Poslední změna 2010.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z:
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00002302.pdf>
- [21] Intersil. Datasheet ISL12025. [online]. Poslední změna 2006.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/71290.pdf>
- [22] Maxim Integrated. Datasheet DS1337. [online]. Poslední změna leden 2004.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1337-DS1337C.pdf>
- [23] STM. Datasheet M41T00. [online]. Poslední změna květen 2008.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z:
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00001542.pdf>
- [24] Pure Energy. Pure energy. [online]. Poslední změna leden 2004.
[Cit. 26.4.2013]. Dostupné z: www.pureenergy.cz
- [25] Aphnetworks.com. Datasheet PureEnergy XL. [online]. Poslední změna duben 2004.
[Cit. 3.5.2013]. http://aphnetworks.com/review/pure_energy_xl/xlaaa_tds.pdf

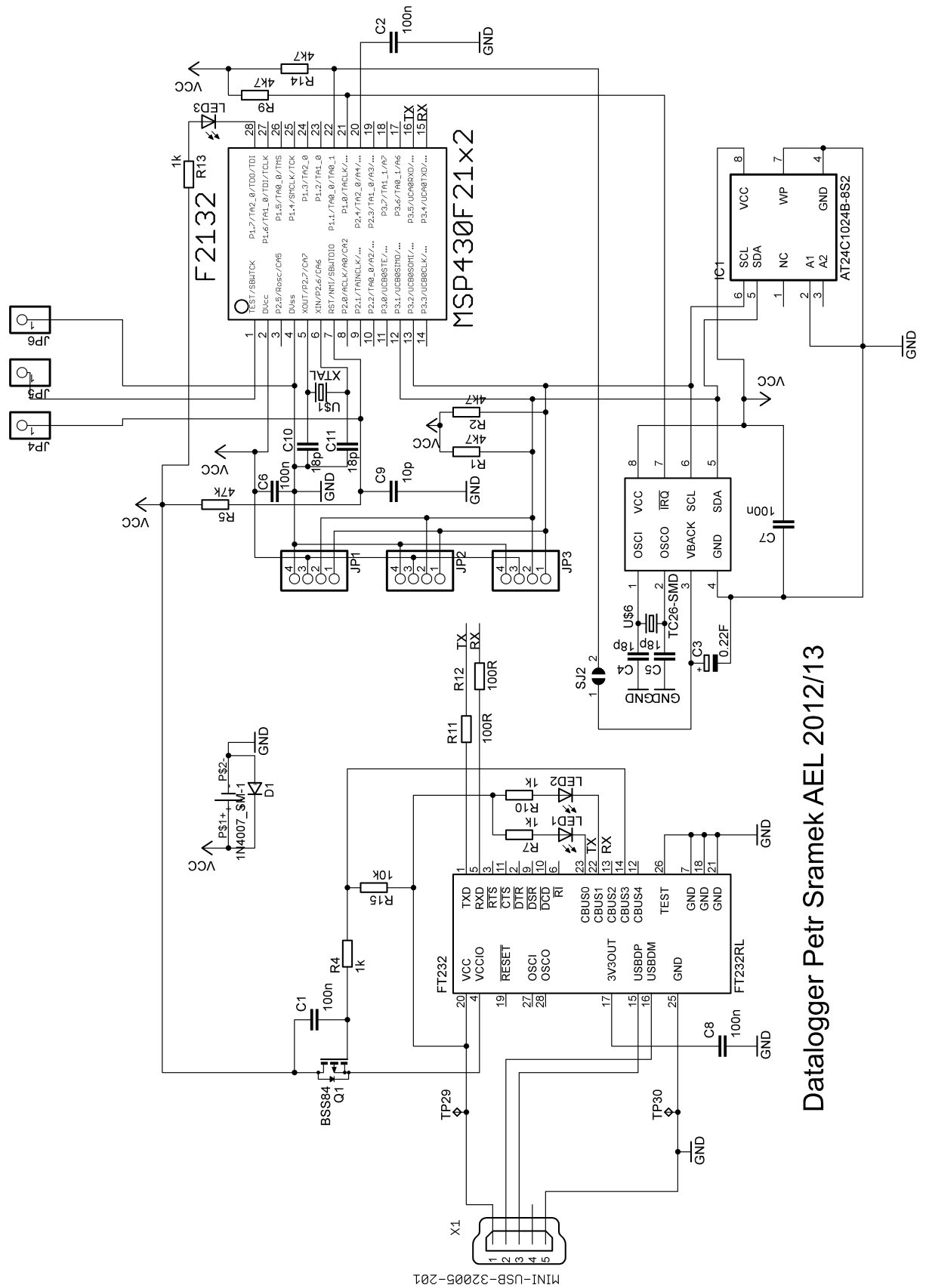
-
- [26] Microchip. Datasheet PIC(L)F1XK22. [online] Poslední změna 2011. [Cit. 29.5.2013]
Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41365E.pdf>
- [27] Microchip. Datasheet PIC16(L)F720/721. [online] Poslední změna 2013. [Cit. 29.5.2013] Dostupné z:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41430D.pdf>
- [28] Texas Instruments. Datasheet MSP430F21x2. [online]. Poslední změna leden 2012. [Cit. 2.3.2013]. Dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2132.pdf>
- [29] Atmel. Datasheet ATmega8A. [online] Poslední změna únor 2013. [Cit. 29.5.2013]
Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8159-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8A_datasheet.pdf
- [30] Atmel. Datasheet ATmega169PA. [online] Poslední změna únor 2013. [Cit. 29.5.2013] Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1693890.pdf>
- [31] Texas Instruments. MSP430™ Programming Via the JTAG Interface. [online]. Poslední změna únor 2013. [Cit. 1.3.2013]. Dostupné z:
[http://processors.wiki.ti.com/index.php/JTAG_\(MSP430\)](http://processors.wiki.ti.com/index.php/JTAG_(MSP430))
- [32] FEL ČVUT. Popis rozhraní JTAG. [online]. [Cit. 1.3.2013]. Dostupné z:
<http://noel.feld.cvut.cz/vyu/ap2/JTAGmoje.htm>

PŘÍLOHY

A přehled vybraných dataloggerů

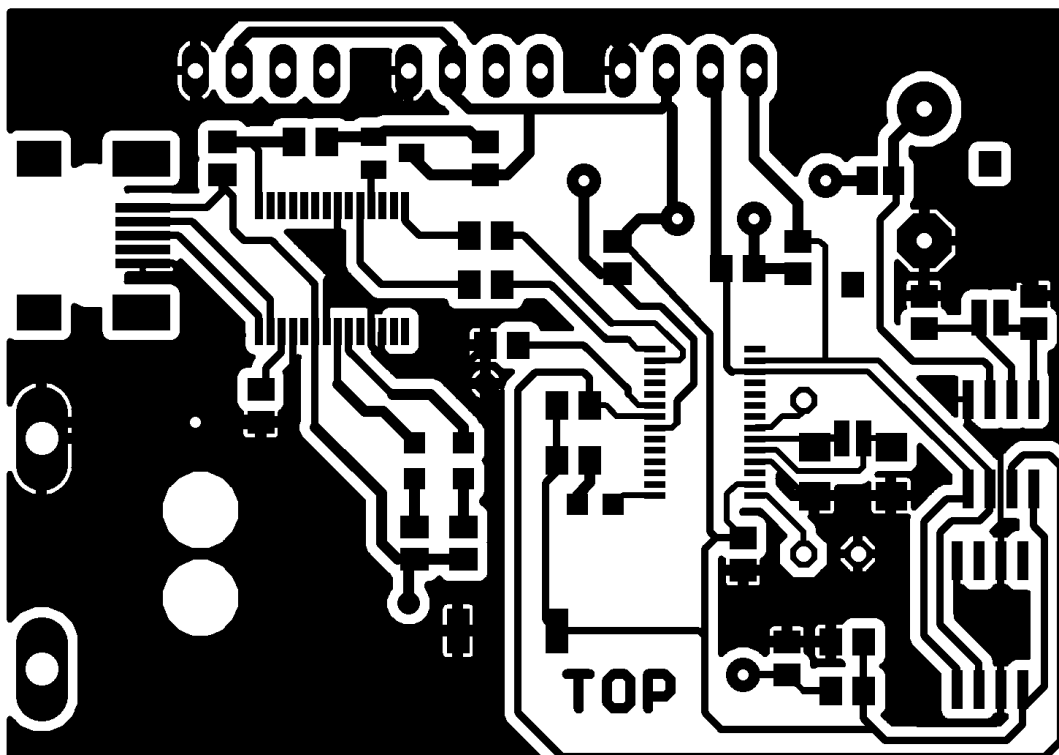
název	Volcraft DL-111K	Volcraft DL-121TH	OM-CP- QUADTEMP-A	OM-CP- TEMP101A	R0110E	RC-2
rozsah měřených teplot	-50°C až +250°C	-40 až +70 °C / 0 - 100 %	-210 až +760 °C	-40 až +80 °C	-30 až +80 °C	-40 až +70 °C
měřené veličiny	teplota	teplota/vlhk ost	teplota	teplota	teplota	teplota
rozlišení	0.1 °C	0.1 °C / 0.1 %	0.1 °C	0.01 °C	0.1 °C	0.1 °C
přesnost	1 °C	1 °C / 3 %	0.5 °C	0.5 °C	0.6 °C	1 °C
interval měření	1s - 12hod	2s - 24hod	4s - 1den	1s - 24hod	10s - 24hod	10s - 24hod
paměť	integrovaná- 32000 záznamů	integrovaná 16000 / 16000 záznamů	500 000 záznamů na kanál / real-time přenos do PC	integrovaná 1 000 000 záznamů / real-time přenos do PC	integrovaná 32 000 záznamů	integrova ná 16 000 záznamů
napájení	lithiová baterie - 3,6V	lithiová baterie - 3,6V	lithiová baterie - 9V	lithiová baterie - 3,6V	lithiová baterie - 3,6V	lithiová baterie
programová ní	speciální software (2000/XP/Vista/W in7 (32bit))	speciální software	speciální software pouze 32bit (2000/XP/Vista/W in7)	speciální software (XP/Vista/Wi n7)	speciální software (XP/Vista/Wi n7)	
počet čidel	1	1 / 1	4	1	1	1
DxŠxV [mm]	101 x 24	98 x 26 x 26	68 x 183 x 29	56x 36 x 16	93 x 64 x 27	-
ostatní	rozsah teploty podle použitého čidla (až -200 až +1370 °C)		programovatelný start, možnost externího napájení		přenos dat: USB, COM, LAN, GSM	přenos dat: USB

B Schéma zapojení dataloggeru

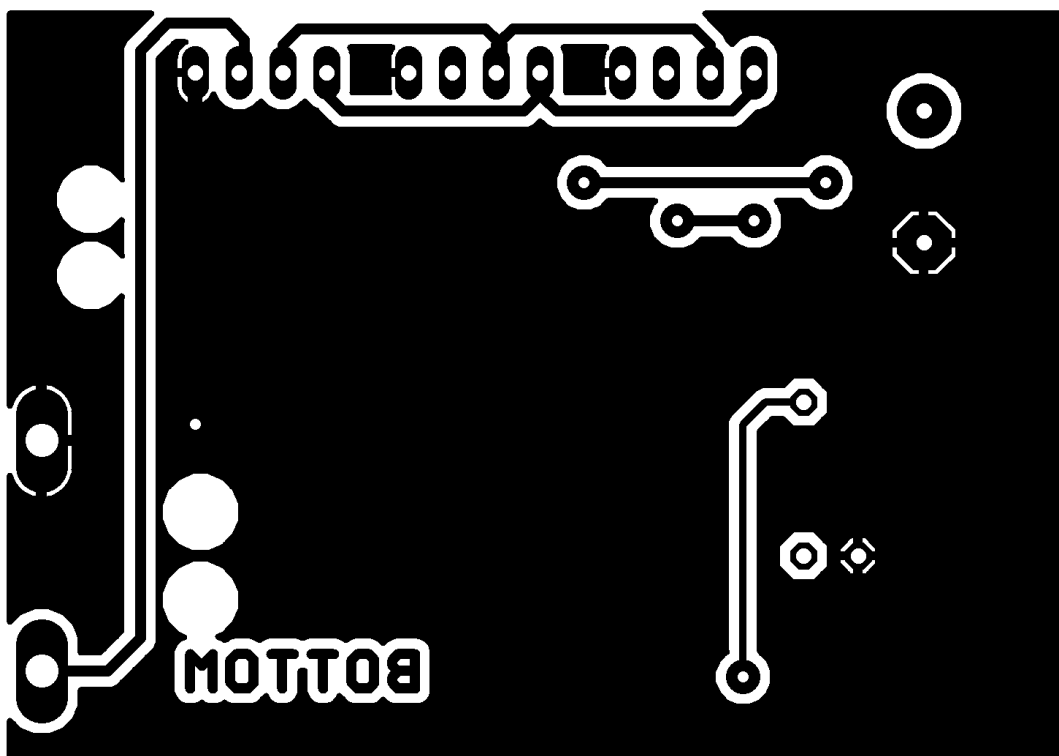


Datalogger Petr Sramek AEL 2012/13

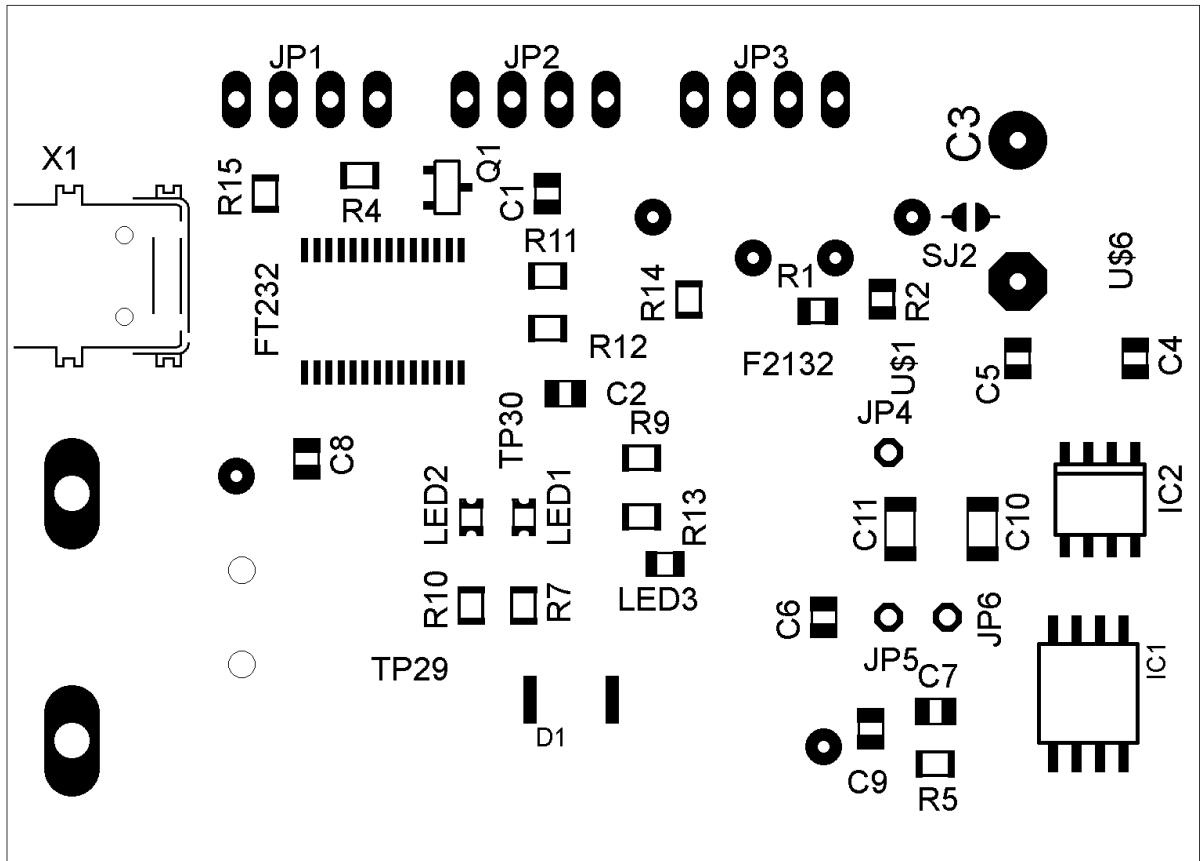
C Deska plošného spoje dataloggeru



Obrázek C.1: Horní strana desky plošného spoje dataloggeru

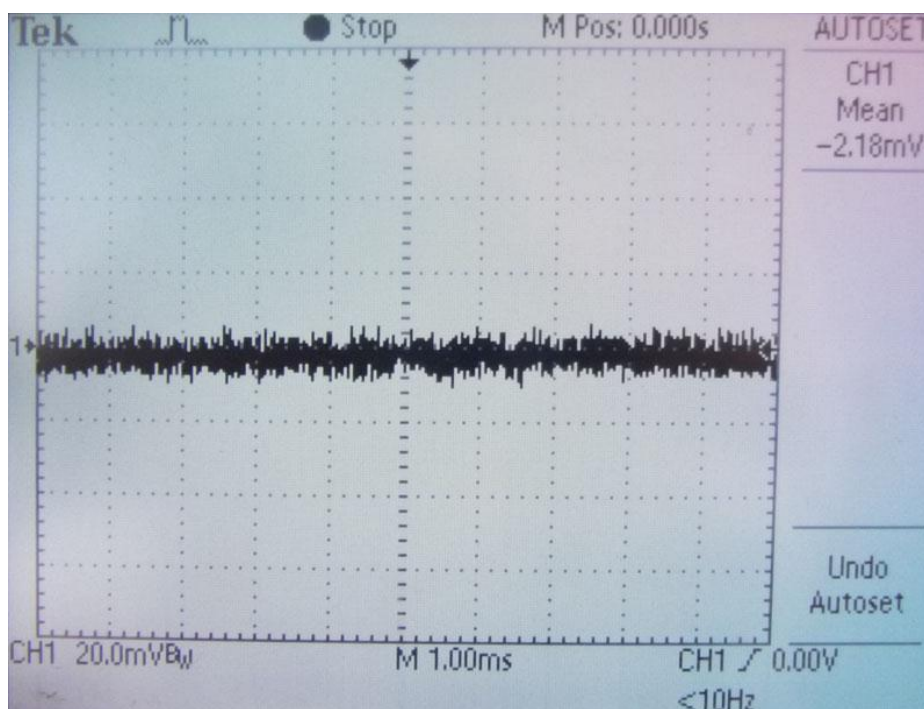


Obrázek C.2: Dolní strana desky plošného spoje dataloggeru

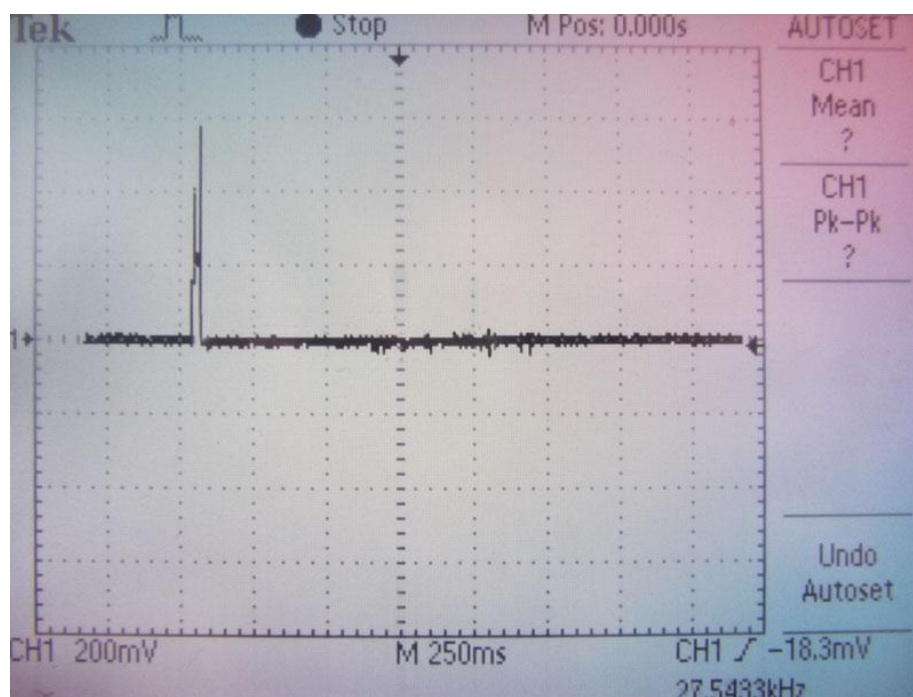


Obrázek C.3: Horní strana desky plošného spoje s popisy součástek

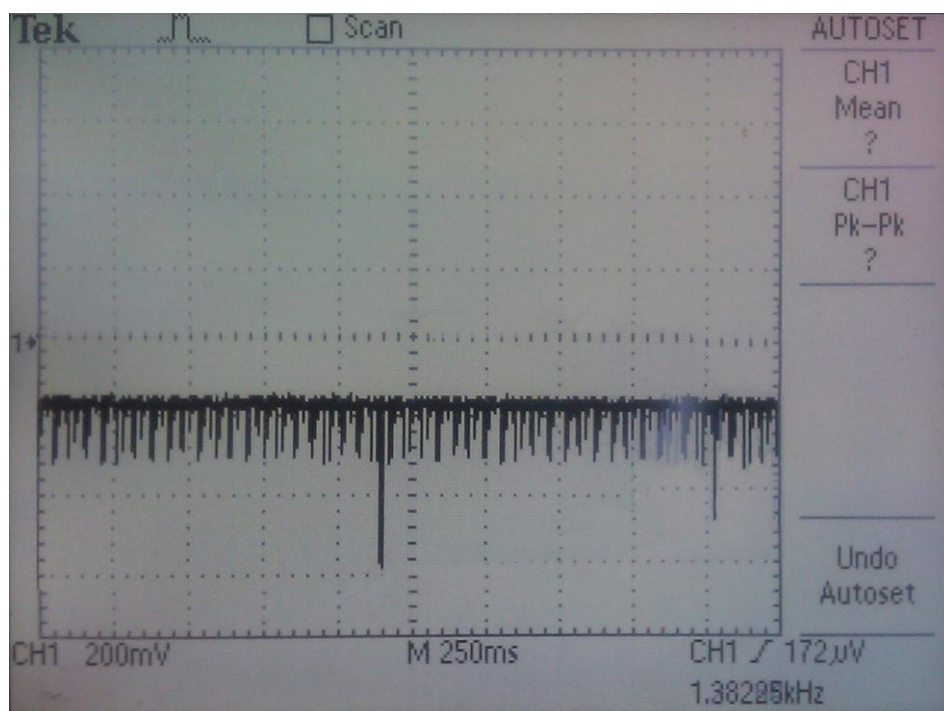
D Měření odběru v jednotlivých pracovních režimech



Obrázek D 1: Klidový režim



Obrázek D 2: Režim datalogger



Obrázek D 3: Čtení dat z paměti EEPROM