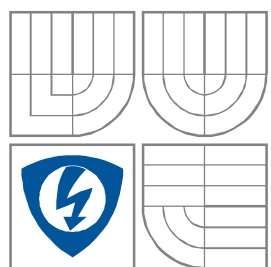


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

UNIVERZÁLNÍ MIKROPOČÍTAČOVÁ JEDNOTKA

UNIVERSAL MICROCONTROLLER UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

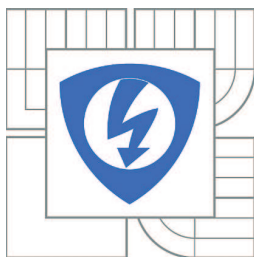
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÍT KULENDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL KUČERA, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Vít Kulenda

ID: 98451

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Univerzální mikropočítačová jednotka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte, realizujte a otestujte univerzální mikropočítačovou jednotku. Jednotka bude umožňovat napájení jak z baterie, tak ze síťového adaptéru s možností dobíjení baterie. Návrh jednotky proveďte s ohledem na minimalizaci spotřeby a ceny součástek. Jednotka bude obsahovat následující rozhraní: teploměr, napěťové a proudové analogové vstupy, digitální vstupy a výstupy, PWM výstupy, akcelerometr, paměť EEPROM, RS232, RTC, SD paměťová karta, server NE4100-T. Pro jednotku navrhněte vhodný firmware a jednotku otestujte v ukázkové aplikaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Atmel Corporation: "ATmega644 Preliminary." [online]. Vystaveno 8.8.2007 [cit. 2009-11-11]. Dostupné z http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2593.pdf.

Keil Elektronik: "Cx51 Compiler. User's Guide". 09.2001. Keil Elektronik GmbH, 2001.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 23.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kučera, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Diplomová práce obsahuje popis parametrů mikrokontroléru ATMEGA644P, dále popis rozdílů předchozích a novějších verzí ATMEGA644 a ATMEGA644PA. Je podrobně rozebrána vnitřní struktura mikrokontroléru, jeho paměťových prostorů a jeho periférií.

Hlavním cílem práce je návrh mikropočítačové jednotky, obsahující zdroj, A/D převodník, proudovou smyčku, teploměr, akcelerometr, rozšiřující obvod a komunikační rozhraní. Jednotka slouží pro sběr dat, komunikaci s externími zařízeními a plní mnoho dalších funkcí. Práce obsahuje popis použitých komponent.

Poslední část je věnována vývoji softwaru pro mikrokontrolér(firmware), který bude zajišťovat požadované funkce celé jednotky.

Klíčová slova

mikroprocesor, mikrokontrolér, CPU, ALU, registr, paměť, ATMEGA644, ATMEGA644P, ATMEGA644PA, rozdíly verzí, univerzální mikropočítačová jednotka, A/D převodník, D/A převodník, teploměr, akcelerometr, sběrnice I₂C, proudová smyčka, microSD karta, NE4100-T, DC/DC měnič, napět'ové vstupy, RTC obvod, rozšiřující obvod, převodník úrovní RS-232, paměť EEPROM, firmware

Abstract

Master's thesis contains description parameters of microcontroller ATMEGA644P, also contains differences between older and newer version of microcontrollers ATMEGA644 and ATMEGA644PA. Inside structure of microcontroller, memories and peripherals are described here.

The construction of the universal microcontroller unit is main target of this thesis. The unit contains supply, A/D converter, current loop, communication interfaces, temperature sensor, accelerometer and other. The unit collects and saves data, communicates by interfaces and manages other functions. Using devices and circuits are described in this thesis.

Development of software for microcontroller(firmware) are positioned to last part of this thesis. This software control functions of all parts positioned on the unit.

Keywords

microprocessor, microcontroller, CPU, ALU, register, memory, ATMEGA644, ATMEGA644P, ATMEGA644PA, version differences, universal microcontroller unit, A/D converter, D/A converter, temperature sensor, accelerometer, I₂C bus, current loop, microSD card, NE4100-T, DC/DC converter, voltage inputs, RTC circuit, expander circuit, level converter RS-232, memory EEPROM, firmware

Bibliografická citace:

KULENDA, V. *Univerzální mikropočítačová jednotka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 77s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Pavel Kučera, Ph.D..

Prohlášení

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

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

V Brně dne: **23. května 2011**

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne: **23. května 2011**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Teoretická část.....	12
2.1	Rozdíly mezi jednotlivými mikroprocesory	12
2.1.1	Přechod mezi ATMEGA644 a ATMEGA644P	12
2.1.2	Rozdíly mezi ATMEGA644P a ATMEGA644PA	13
2.2	Parametry mikroprocesoru Atmel ATMEGA644P	14
2.2.1	Struktura centrální jednotky CPU	17
2.2.2	Paměťové oblasti.....	21
2.3	Snímač teploty	23
2.4	Akcelerometr MMA7455L.....	24
2.4.1	Princip činnosti akcelerometru.....	25
2.5	A/D Převodník ADS7828.....	26
2.5.1	Princip činnosti A/D převodníku.....	27
2.6	D/A převodník MCP4725.....	28
2.7	Paměť EEPROM 1 Mbit.....	29
2.8	I/O rozšiřující obvod PCA9539.....	30
2.9	RTC obvod – obvod reálných hodin.....	31
2.10	Převodník napěťových úrovní ICL3221	32
2.11	MicroSD paměťová karta	33
2.12	Embedded server NE4100-T	34
3	Praktická část.....	37
3.1	Návrh hardwaru	37
3.1.1	Procesorová jednotka	37
3.2	Periferní jednotka s napájecím zdrojem.....	41
3.2.1	Napájecí zdroj	42
3.2.2	Analogová část	47
3.2.3	Digitální část	51
3.3	Firmware.....	59
3.3.1	Programovací prostředí	59
3.3.2	Programovací jednotka.....	59
3.3.3	Firmware univerzální mikropočítačové jednotky.....	60
4	Závěr.....	69

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 – Schéma propojení jednotlivých modulů	12
Obrázek 2.2 - Blokové schéma uspořádání mikrokontroléru ATMEGA644P[24].....	16
Obrázek 2.3 – Vnitřní struktura CPU [24]	17
Obrázek 2.4 – Rozdělení paměti programu typu FLASH[24]	22
Obrázek 2.5 – Výstupní charakteristika snímače teploty MCP9700AT[31].....	24
Obrázek 2.6 – Blokové schéma vnitřního uspořádání akcelerometru.....	25
Obrázek 2.7 – Uspořádání měřicí g-buňky	26
Obrázek 2.8 – Vnitřní struktura A/D převodníku ADS7828 [4].....	27
Obrázek 2.9 – Blokové schéma D/A převodníku MCP4725	28
Obrázek 2.10 – Vnitřní uspořádání I/O rozšiřujícího obvodu PCA9539[2]	30
Obrázek 2.11 – Blokové schéma uspořádání obvodu reálných hodin [5].....	31
Obrázek 2.12 – Rozložení vývodů MicroSD karty a jejich připojení na SPI rozhraní[17].....	33
Obrázek 2.13 – Schéma vnitřní struktury Embedded serveru NE-4100T []	34
Obrázek 2.14 – Rozměry modulu serveru NE4100T s rozložením vývodů[14].....	36
Obrázek 3.1 - Schéma vnitřního uspořádání obvodů pro RESET [24]	39
Obrázek 3.2 –Průběhy při aktivaci vnějšího RESETu [24]	39
Obrázek 3.3 – Schéma zapojení napájecího zdroje + 3,3 V.....	43
Obrázek 3.4 – Zapojení napájecího zdroje +5 V.....	45
Obrázek 3.5 – Zapojení snímače teploty	47
Obrázek 3.6 – Schéma zapojení napěťových vstupů	48
Obrázek 3.7 – Schéma zapojení obvodů pro realizaci proudové smyčky 0 – 20 mA.....	50
Obrázek 3.8 – Schéma připojení akcelerometru do obvodu	53
Obrázek 3.9 – Schéma zapojení A/D převodníku	54
Obrázek 3.10 – Schéma připojení paměti EEPROM do obvodu	55
Obrázek 3.11 – Schéma zapojení převodníku napěťových úrovní	55
Obrázek 3.12 – Schéma zapojení rozšiřujícího obvodu.....	56
Obrázek 3.13 – Schéma zapojení RTC obvodu	57
Obrázek 3.14 – Schéma zapojení obvodu realizující bootloader	58
Obrázek 3.15 – Schéma zapojení oddělovací části	58
Obrázek 3.16 - Vývojový diagram chodu programu.....	61
Obrázek 3.17 - Vývojový diagram funkcí sériové linky	63
Obrázek 3.18 - Formát rámců přenosu u A/D převodníku ADS7828[4]	67
Obrázek 3.19 - Vývojový diagram funkce pro řízení A/D převodníku.....	68

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 - Rozdílné spotřeby mikroprocesoru ATMEGA644P a ATMEGA644PA [22]	13
Tabulka 2.2 – Stavový registr SREG[24]	19
Tabulka 2.3 – Soubor univerzálních pracovních registrů[24].....	20
Tabulka 2.4 – SP – Ukazatel zásobníku[24]	21
Tabulka 2.5 – Rozdělení paměti typu SRAM[24].....	23
Tabulka 2.6 – Tvar adresového bajtu zařízení [6].....	29
Tabulka 2.7 – Módy omezení spotřeby u převodníku ICL3221[8].....	33
Tabulka 3.1 - Maximální možné frekvence pro různá napájecí napětí [24].....	40
Tabulka 3.2 – Vzorce pro výpočet přenosové rychlosti rozhraní USART [24].....	40
Tabulka 3.3 – Vypočtené hodnoty přenosových rychlostí pro krystal 9,216 MHz.....	41
Tabulka 3.4 – Hodnoty výstupního napětí DC/DC měniče podle zapojení[1]	42
Tabulka 3.5 - Zapojení konektoru pro ISP rozhraní[37]	60
Tabulka 3.6 - Tabulka vektorů přerušení[24].....	63
Tabulka 3.7 - Uspořádání bitů v registru TWCR[24]	65
Tabulka 3.8 - Módy řízení spotřeby A/D převodníku [4]	67

1 ÚVOD

Celá práce je zaměřena na vývoj univerzální mikropočítačové jednotky, to se týká konstrukce i softwarového vybavení. Jelikož je zadání práce obsáhlé, je kladen důraz na popis všech důležitých částí, které plní jednotlivé funkce zadání. Práce je systematicky rozdělena na teoretickou část a praktickou část. Použité obvody byly vybírány, na základě požadavku zadání a to tak, aby měly nízkou spotřebu a také nízkou cenu.

Na začátku teoretické části jsou popsány parametry použitého mikroprocesoru, který realizuje celou funkci daného zařízení. Jelikož se během řešení objevovala různá doporučení od výrobce a další případné problémy s dodávkou daného mikroprocesoru, tak jsou v úvodu popsány rozdíly mezi mikroprocesory, se kterými bylo uvažováno v počátku daného řešení. Dále následuje podrobnější popis použitého mikroprocesoru a jeho vlastností. Pro realizaci celé univerzální mikropočítačové jednotky bylo využito mnoho obvodů. Jejich parametry a vnitřní uspořádání jsou stručně popsány v této práci, a to z toho důvodu, aby čtenář získal nějaký teoretický přehled o funkcích a parametrech použitých obvodů.

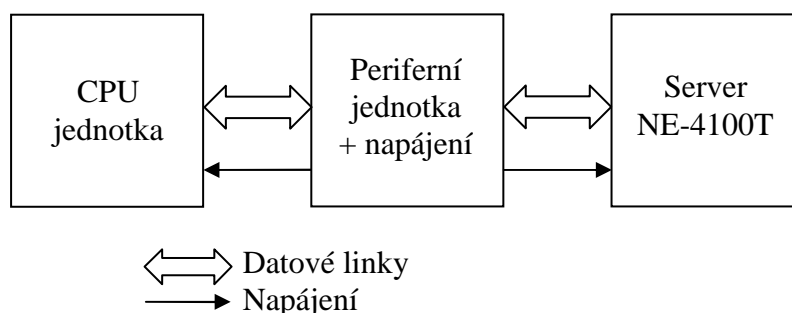
Praktická část obsahuje řešení konstrukce celé jednotky. Jsou zde diskutována zapojení jednotlivých částí a obvodů. Všechny dané skutečnosti jsou přehledně v této kapitole zdůvodněny. Mimo konstrukci je zde také obsažen návrh softwarového vybavení mikroprocesoru. Část však neobsahuje úseky samotného kódu. Aby bylo dosaženo vyšší přehlednosti, jsou algoritmy jednotlivých funkcí nebo činností znázorněny vývojovými diagramy. Jednotlivé bloky kódu je možno nalézt na přiloženém CD. V závěru praktické části jsou zveřejněny naměřené výsledky.

2 TEORETICKÁ ČÁST

V této části budou přehledně popsány parametry použitého mikrokontroléru a dále obvodů, které byly použity pro samotnou realizaci celé univerzální mikropočítačové jednotky. Celá jednotka je řešena modulárně, skládá se tedy z modulu s mikrokontrolérem, ze samotné jednotky obsahující napájecí zdroj a z embedded serveru. Modulární rozložení a propojení jednotlivých celků je zobrazeno na obrázku 2.1.

Ze začátku nejsou popsány parametry použitého mikrokontroléru, ale jak již bylo zmíněno v úvodu, vyskytly se během řešení a konstrukce problémy (mikroprocesor již nebyl doporučován výrobcem, problémy nedostatku naskladnění daného typu mikrokontroléru), a proto jsou v úvodu popsány rozdíly mezi třemi uvažovanými mikrokontroléry (ATMEGA644, ATMEGA644P a ATMEGA644PA). Poté následuje podrobný popis parametrů, vnitřní struktury mikrokontroléru a pamětí, které obsahuje.

Samotná univerzální jednotka se skládá z mnoha obvodů, které vykonávají požadovanou činnost a také z napájecího zdroje. Tato část také obsahuje popis parametrů a činností jednotlivých obvodů.



Obrázek 2.1 – Schéma propojení jednotlivých modulů

2.1 Rozdíly mezi jednotlivými mikroprocesory

2.1.1 Přechod mezi ATMEGA644 a ATMEGA644P

ATMEGA644P je navržen tak, že má stejné rozložení vývodů, aby byl funkčně kompatibilní s mikroprocesorem ATMEGA644. Jelikož však mikroprocesor obsahuje řadu vylepšení, je potřeba vycházet z dokumentace [24] daného typu při návrhu aplikací, které dříve využívaly mikroprocesor ATMEGA644. Dodatečně bylo přidáno další USART rozhraní, které dělá mikroprocesor ATMEGA644P plně kompatibilní s mikroprocesory řady ATMEGA164P a ATMEGA324P [21].

Mikroprocesor ATMEGA644P dokáže stejně jako jeho předchozí typ pracovat při frekvencích do 20 MHz. Nejdůležitějším vylepšením je to, že dokáže pracovat při velmi nízkém napájecím napětí 1,8V s malou spotřebou proudu, proto je vhodný pro bateriové aplikace[21].

Velikost paměťového prostoru je stejná jako u mikroprocesoru ATMEGA644. To se týká všech druhů používaných pamětí EEPROM, Flash a SRAM.

2.1.2 Rozdíly mezi ATMEGA644P a ATMEGA644PA

Oba procesory jsou identické, co se týče funkčních celků. Výstupní kontrola jakosti je stejná, ale vzhledem k tomu, že jsou vyráběny rozdílnými metodami, liší se jejich elektrické parametry. Proto vznikla tato řada, aby se dosáhlo optimalizace výrobního procesu a snížení spotřeby mikroprocesoru.

V aktivním a pohotovostním režimu byla významně omezena spotřeba. V tabulce 2.1 jsou uvedeny hodnoty proudu měřené při pokojové teplotě. Jako doplňující skutečnost je uvedeno napájecí napětí a kmitočet použitého oscilátoru[22].

Režim	Podmínky	ATMEGA644P	ATMEGA644PA	Rozdíl
Aktivní	$U_{CC} = 2 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	0,41 mA	0,38 mA	-7 %
	$U_{CC} = 3 \text{ V}, f = 4 \text{ MHz}$	2 mA	1,8 mA	-10 %
	$U_{CC} = 5 \text{ V}, f = 8 \text{ MHz}$	7,5 mA	5,6 mA	-25 %
Pohotovostní	$U_{CC} = 2 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$	0,1 mA	0,06 mA	-40 %
	$U_{CC} = 3 \text{ V}, f = 4 \text{ MHz}$	0,5 mA	0,2 mA	-60 %
	$U_{CC} = 5 \text{ V}, f = 8 \text{ MHz}$	1,6 mA	1,1 mA	-31 %

**Tabulka 2.1 - Rozdílné spotřeby mikroprocesoru ATMEGA644P
a ATMEGA644PA [22]**

2.2 Parametry mikroprocesoru Atmel ATMEGA644P

Jedná se o vysoce výkonný 8-bitový mikroprocesor typu AVR, který má nízké nároky na spotřebu. Vnitřní schéma struktury mikroprocesoru je zobrazeno na obrázku 2.2.

Architektura instrukcí je typu RISC, obsahuje 131 instrukcí, vykonávání většiny instrukcí dokáže být vykonáno v jednom hodinovém cyklu.

Mikroprocesor obsahuje 32 x 8 bitových univerzálních pracovních registrů, které jsou přímo propojeny s ALU(aritmeticko-logickou jednotkou), což umožňuje přístup ke dvěma nezávislým registrům pomocí jediné instrukce během jednoho hodinového cyklu. Díky dané architektuře pracuje mikrokontrolér účinněji a dosahuje se až 10 násobné rychlosti ve srovnání s mikrokontroléry obsahující úplnou instrukční sadu CISC. Dokáže zpracovat až 20MIPS(Million Instructions Per Second – milion instrukcí za sekundu) při frekvenci krystalu 20 MHz. Na čipu je 2-cyklová násobička[24].

Mikroprocesor obsahuje oddíly vysoce odolné permanentní paměti:

- 64 kB samo-programovatelné FLASH paměti programu
- 2 kB paměti typu EEPROM
- 4 kB vnitřní paměti typu SRAM

Dále obsahuje volitelný oddíl bootovacího kódu s nezávislými Lock bity. Pro zajištění softwarové bezpečnosti slouží programovací zámek[24].

Periferní jednotky mikrokontroléru:

- Dva 8-bitové čítače a časovače s oddělenými předděličkami, které mají srovnávací módy
- Jeden 16-bitový čítač a časovač s oddělenou předděličkou se srovnávacím a capture módem
- Real-time čítač s odděleným oscilátorem
- 6 PWM(pulsně-šířkových) kanálů
- 8-kanálový 10-bitový A/D převodník s diferenčními vstupy, možnost změny zesílení na hodnotu 1x, 10x nebo 200x
- Sériové dvou vodičové rozhraní s bajtovou orientací
- Dvě programovatelné sériové jednotky USART
- Master/Slave SPI sériové rozhraní
- Programovatelný WATCHDOG čítač s odděleným oscilátorem umístěným na čipu
- Analogový komparátor
- Přerušování reagující na změny na vývodech

Speciální vlastnosti mikrokontroléru

Mikrokontrolér se při zapnutí napájecího napětí resetuje a obsahuje jednotku, která umožňuje detekovat pokles napájecího napětí. Dále obsahuje vnitřní a vnější zdroje přerušení. Na čipu je kalibrovaný RC oscilátor. Mikrokontrolér má 6 sleep režimů[24]:

- Pohotovostní režim
- Standby režim
- Rozšířený standby režim
- Režim redukce šumu AD převodníku
- Vypínací režim(power-down)
- Režim úspory energie(power-save)

V pohotovostním režimu je činnost CPU zastavena, ale je umožněno pokračování v činnosti čítačů/časovačů, systému přerušení, SPI portu a paměti SRAM.

Vypínací režim chrání obsah registrů, zastaví činnost oscilátoru a všech ostatních funkcí mikrokontroléru do dalšího hardwarového resetu nebo přerušení.

V režimu úspory běží asynchronní čítač, což umožňuje uživateli zachovat časovou základnu, zatímco ostatní funkce neprobíhají.

Činnost CPU a všech vstupně výstupních modulů je v režimu redukce šumu zastavena kromě asynchronního čítače a A/D převodníku, z důvodu snížení šumu vzniklého při spínání během převodu A/D převodníku.

Během standby režimu běží pouze krystalový oscilátor a zbytek zařízení je v nečinnosti. To umožňuje velmi rychlý start CPU a současně splnění nároků na nízkou spotřebu.

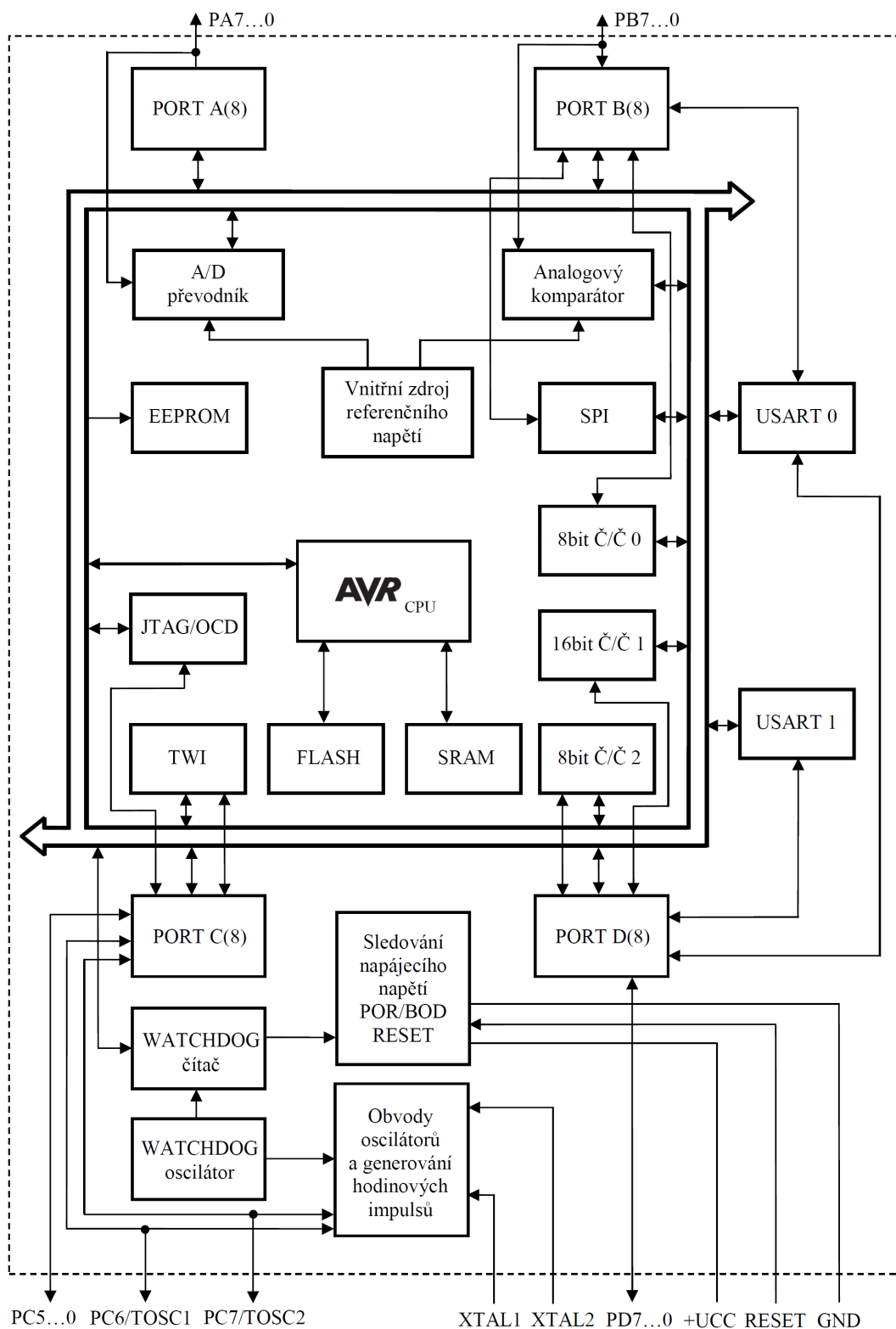
Rozšířený standby režim se příliš neliší, oba oscilátory běží a také je v činnosti asynchronní čítač.

JTAG rozhraní

Mikrokontrolér obsahuje JTAG rozhraní definované podle standardu IEEE 1149.1.

Rozhraní může být použito[24]:

- K testování plošných spojů(PCB) pomocí Boundary-scanu
- Programování pamětí, Lock a bezpečnostních bitů
- Ladění aplikací přímo na čipu.

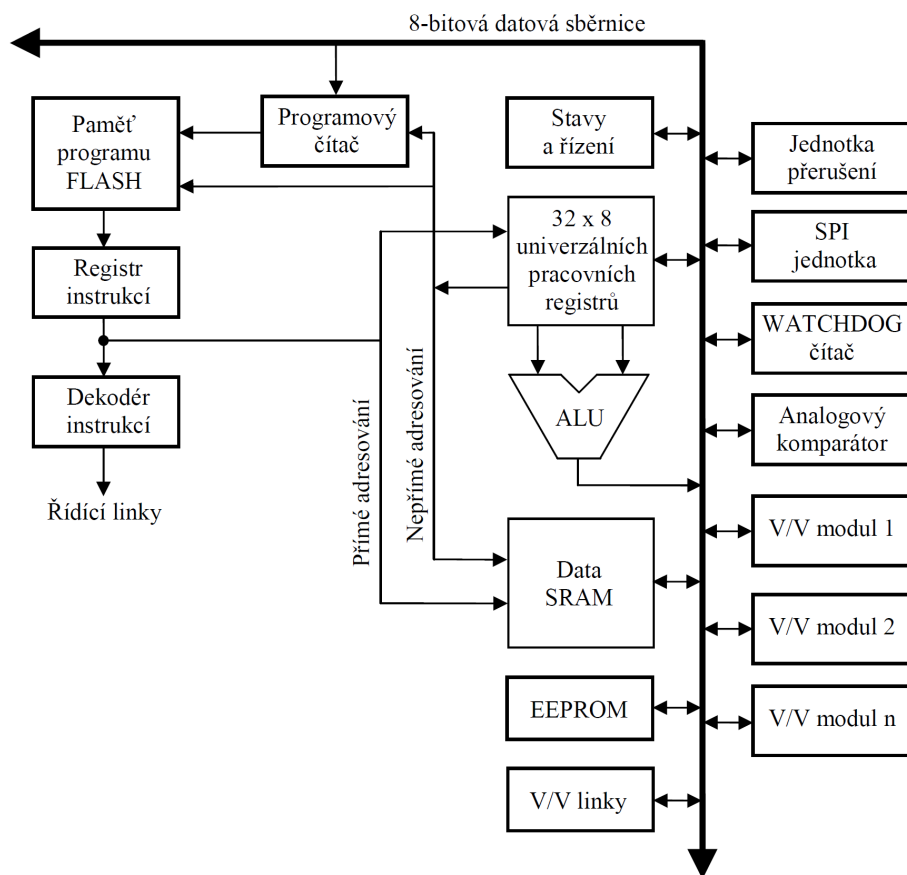


Obrázek 2.2 - Blokové schéma uspořádání mikrokontroléru ATMEGA644P[24]

2.2.1 Struktura centrální jednotky CPU

Hlavním úkolem centrální procesorové jednotky je zajistit správné zpracování programu. Proto musí být schopna přistupovat k pamětem, provádět nezbytné výpočty a reagovat na přerušení.

AVR jádro má Harvardskou architekturu za účelem dosažení velké výkonnosti, to znamená, že má oddělenou paměť programu a dat a každá paměť má svou vlastní sběrnici. Instrukce v paměti programu jsou vykonávány během jedné úrovně řetězení (pipelining). Během zpracování jedné instrukce je již druhá instrukce načítána z paměti programu. Díky tomuto je umožněno, aby byly instrukce vykonávány během jednoho hodinového cyklu [24].



Obrázek 2.3 – Vnitřní struktura CPU [24]

Soubor registrů obsahuje 32 x 8 bitových univerzálních pracovních registrů, ke kterým je možno přistupovat během jednoho hodinového cyklu. ALU může poté vykonávat operace, které zaberou jen jeden hodinový cyklus. Během typické operace ALU, vystupují ze souboru registrů dva operandy, poté je zpracována příslušná operace a výsledek je opět uložen do registru [24].

Šest 8 bitových registrů se používá jako tři 16-bitové registrové ukazatele pro nepřímé adresování dat, což umožňuje efektivnější řešení výpočtů. Jeden z adresových ukazatelů může být použit jako adresový ukazatel pro vyhledávací tabulky v paměti dat

typu FLASH. Tyto přidané funkční registry jsou 16-bitové a jsou označeny jako registry X, Y a Z.

ALU podporuje aritmetické a logické operace mezi registry nebo mezi konstantou a registrem. Dále ALU vykonává operace pouze s jedním registrem. Po provedení aritmetických operací je obnoven stav Stavového registru SREG, který následně udává jednotlivé stavy, ke kterým došlo během prováděné operace[24].

Instrukce volání, podmíněných a nepodmíněných skoků poskytují programu schopnost přímého adresování celého adresového prostoru. Formát většiny instrukcí má tvar jednoho 16-bitového slova. Každá adresa paměti programu obsahuje 16 nebo 32-bitovou instrukci.

Paměť programu typu FLASH je rozdělena na dvě části[24]:

- Oddíl s bootem programem
- Oddíl programu aplikace

Obě části mají vyhrazené Lock bity, které poskytují ochranu proti zápisu a čtení. SPM instrukce, které umožňují zápis do části programu aplikace paměti FLASH, musí být umístěny v části s boot programem.

Během přerušení a volání podprogramu je návratová adresa programového čítače uložena do zásobníku(Stack). Zásobník má přidělen prostor v datovém prostoru SRAM, a tudíž je jeho velikost omezena velikostí paměti SRAM a jejím používáním. Všechny uživatelské programy musí být inicializovány ukazatelem zásobníku SP(Stack pointer) při RESETu(ještě před tím, než se začnou zpracovávat přerušení a podprogramy). Zápis i čtení ukazatele zásobníku SP je umožněno ve V/V prostoru. Přístup k datům uložených v paměti typu SRAM je snadný a využívá se pěti rozdílných adresovacích režimů, které architektura AVR podporuje[24].

Modul přerušení má řídicí bit ve V/V prostoru a další globální povolovací bit je v ukazateli zásobníku SP. Všechna přerušení mají vektory přerušení uložené v tabulce přerušení. Priorita přerušení závisí na pozici v tabulce vektorů přerušení. Čím níže je vektor v tabulce, tím vyšší má prioritu.

Vstupně-výstupní paměťový prostor obsahuje 64 adres pro funkční jednotky CPU jako jsou SPI rozhraní, řízení registrů a další. K vstupně-výstupní paměti je možno přistupovat přímo nebo jako k paměťovému umístění pomocí souboru registrů na pozici 0x20 - 0x5F[24].

Stavový registr SREG

Ve stavovém registru je obsažena informace o výsledku poslední vykonané aritmetické operace. Tato informace umožňuje změnu průběhu programu za účelem splnění některých podmínek. Obsah stavového registru je obnoven po každé operaci, které ALU vykoná. V některých případech to vede k odstranění potřeby použití srovnávacích instrukcí, čímž se programový kód stává rychlejší. Při přerušení není hodnota stavového registru automaticky uložena a při návratu z části programu obsluhující přerušení nedojde k opětovnému načtení obsahu, to je třeba ošetřit softwarově. V následující tabulce je znázorněno rozložení jednotlivých bitů[24].

	7	6	5	4	3	2	1	0
0x3F(0x5F)	I	T	H	S	V	N	Z	C
Počáteční hodnota	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 2.2 – Stavový registr SREG[24]

Do všech bitů stavového registru SREG je umožněn zápis i čtení.

Popis jednotlivých bitů stavového registru SREG[24]:

- Bit 7 - I - Povolení globálního přerušení(Global interrupt enable) - Musí být nastaven v log. 1 z důvodu, aby bylo možné používat přerušení. Jednotlivá přerušení mají své vlastní řídicí registry pro nastavování jejich parametrů a povolování. Pokud není bit nastaven, tak na žádné přerušení nelze reagovat, a to ani po aktivování přerušení v jeho vlastním řídicím registru. Daný bit je většinou nulován při výskytu přerušení a zpětně nastaven do logické 1 při použití návratových instrukcí.
- Bit 6 - T - Copy storage bit - Bit je využíván jako zdroj nebo cíl zpracovávaného bitu při použití instrukcí BLD(načítání) a BST(ukládání).
- Bit 5 - H - Příznak polovičního přetečení(Half carry flag) - Bit je nastaven, pokud je indikováno přetečení z nižších 4 bitů do části se 4 vyššími bity.
- Bit 4 - S - Znaménkový bit(Sign bit) - $S = N \oplus V$ - Znaménkový bit je výsledkem neekvivalence mezi příznakem záporného výsledku N a příznakem přetečení druhého doplňku V.
- Bit 3 - V - Příznak přetečení druhého doplňku(Two's complement overflow flag). Díky tomuto bitu je umožněno používat aritmetické operace druhého doplňku.
- Bit 2 - N - Příznak záporného výsledku(Negative flag) - Bit je nastaven, pokud je výsledek aritmetické nebo logické operace záporný.

- Bit 1 - Z - Příznak nulového výsledku(Zero flag). Pokud je výsledek aritmetické nebo logické operace roven nule, tak má daný bit hodnotu v logické 1.
- Bit 0 - C - Příznak přenosu do vyššího řádu(Carry flag). Jestli dojde k přenosu během aritmetické nebo logické operace, je bit nastaven do logické 1.

Soubor univerzálních pracovních registrů

Soubor registrů je optimalizován tak, aby splňoval požadavky při práci s rozšířenou instrukční sadou typu RISC za účelem dosažení co nejvyššího výkonu a flexibility.

V registrovém souboru jsou podporována následující vstupně/výstupní rozložení[24]:

- jeden 8-bitový vystupující operand a jeden 8-bitový vstupující výsledek
- dva 8-bitové vystupující operandy a jeden 8-bitový vstupující výsledek
- dva 8-bitové vystupující operandy a jeden 16-bitový vstupující výsledek
- jeden 16-bitový vystupující operand a jeden 16-bitový vstupující výsledek

7	0	Adresa	
R0		0x00	
R1		0x01	
R2		0x02	
...			
R13		0x0D	
R14		0x0E	
R15		0x0F	
R16		0x10	
R17		0x11	
...			
R26		0x1A	Dolní byte X - registru
R27		0x1B	Horní byte X - registru
R28		0x1C	Dolní byte Y - registru
R29		0x1D	Horní byte Y - registru
R30		0x1E	Dolní byte Z - registru
R31		0x1F	Horní byte Z - registru

Tabulka 2.3 – Soubor univerzálních pracovních registrů[24]

Většina instrukcí umožňuje přímý přístup ke všem registrům registrového souboru a tyto instrukce jsou vykonávány během jednoho hodinového cyklu.

X-registr, Y-registr, Z-registr

Registry R26 - R31 mají přídatnou funkci jejich použití. Slouží jako 16-bitové adresové ukazatele k nepřímému adresování datového prostoru. V různých adresovacích režimech mají dané registry funkce jako jsou pevné posunutí, automatická inkrementace a dekrementace[24].

Ukazatel zásobníku

Hlavní funkcí zásobníku je uchovávat dočasná data, lokální proměnné a návratové adresy z přerušení a volání podprogramů. Zásobník je realizován tak, že narůstá od vyšších k nižším paměťovým umístěním. Ukazatel zásobníku odkazuje na vrchní část zásobníku. Ukazatel odkazuje na oblast zásobníku v paměti dat SRAM, kde jsou umístěny i zásobníky podprogramů a přerušení. Ukazatel se nachází ve vstupně/výstupním prostoru a je realizován jako dva 8-bitové registry. Velikost ukazatele zásobníku pro mikroprocesor ATMEGA644P je 13 bitů(SP[12:0])[24].

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
0x3E(0x5E)	-	-	-	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
0x3D(0x5D)	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	SPL
	7	6	5	4	3	2	1	0	

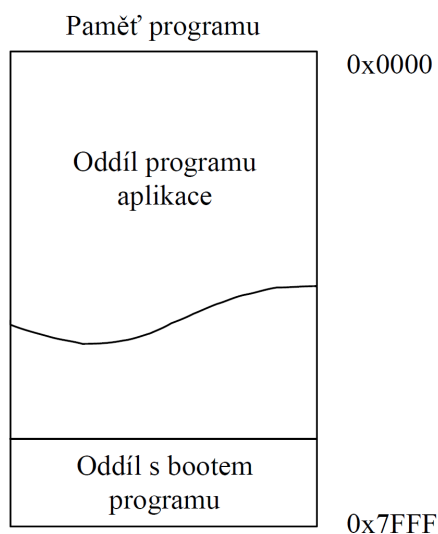
Tabulka 2.4 – SP – Ukazatel zásobníku[24]

Zásobník musí být definován v paměti typu SRAM ještě před tím, než dojde k vykonávání volaného podprogramu a aktivování přerušení.

2.2.2 Paměťové oblasti

Přeprogramovatelná paměť programu typu FLASH

Mikrokontrolér ATMEGA644PA obsahuje 64 kB paměti FLASH pro uložení programu. Jelikož většina instrukcí má šířku 16 nebo 32 bitů, tak je FLASH paměť organizována na 32x16 bitů, popř. 64 x 16 bitů. Z bezpečnostních důvodů je paměť typu FLASH rozdělena na dvě části(s bootem programu a programu aplikace). Velikost programového čítače(PC) je 15 bitů popř. 16 bitů[24].



Obrázek 2.4 – Rozdělení paměti programu typu FLASH[24]

Paměť dat typu SRAM

Rozložení paměti typu SRAM je znázorněno v tabulce 2.5. Prvních 32 paměťových míst je adresováno pro Registrový soubor, dalších 64 paměťových míst je vyhrazeno pro standardní V/V paměť a rozšířená V/V paměť má vyhrazeno 160 paměťových míst. Zbylých 4096 paměťových míst zahrnuje vnitřní paměť SRAM[24].

K přístupu do této paměti je možno použít 5 režimů adresování[24]:

- Přímé adresování - možno adresovat celý paměťový prostor
- Nepřímé adresování s posunem - umožňuje adresovat 63 paměťových míst od základní adresy udávající hodnoty registrů Y a Z
- Nepřímé adresování
- Nepřímé adresování s predekrementací
- Nepřímé adresování s postinkrementací

V závislosti na použitém nepřímém adresování s automatickou dekrementací nebo inkrementací se hodnoty registrů X, Y a Z mění.

32 Registrů	0x0000 - 0x001F
64 V/V Registrů	0x0020 - 0x005F
160 rozšířených V/V Registrů	0x0060 - 0x00FF
Vnitřní paměť	0x0100



Tabulka 2.5 – Rozdělení paměti typu SRAM[24]

Paměť typu EEPROM

Mikroprocesor ATMEGA644PA obsahuje 2 kB paměti EEPROM. Paměť je rozdělena do částí, do kterých je možno načítat a zapisovat jednotlivé bajty. Garantovaný počet mazacích a zapisovacích cyklů je 100000. K přístupu k paměti se používá EEPROM adresových registrů, které jsou umístěny ve V/V paměťovém prostoru[24].

V/V paměť

Všechny vstupy, výstupy a periferie jsou umístěny ve V/V prostoru. Ke všem paměťovým místům se přistupuje pomocí LD/LDS/LDD a ST/STS/STD instrukcí, čímž je umožněn přesun dat mezi 32 univerzálními pracovními registry a V/V prostorem. V rozsahu adres 0x00 - 0x1F je možné k registrům přistupovat přímo po bitech. Aby byla dodržena kompatibilita s novějšími zařízeními, tak by hodnota rezervovaných bitů měla být nastavena na log. 0, pokud mají být přístupné. Do rezervovaných adres V/V paměti není nikdy možno zapisovat.

Mikroprocesor obsahuje 3 hlavní V/V registry. Registry mohou být použity k uložení dat a dále je možno je částečně použít pro uložení globálních proměnných a stavových příznaků[24].

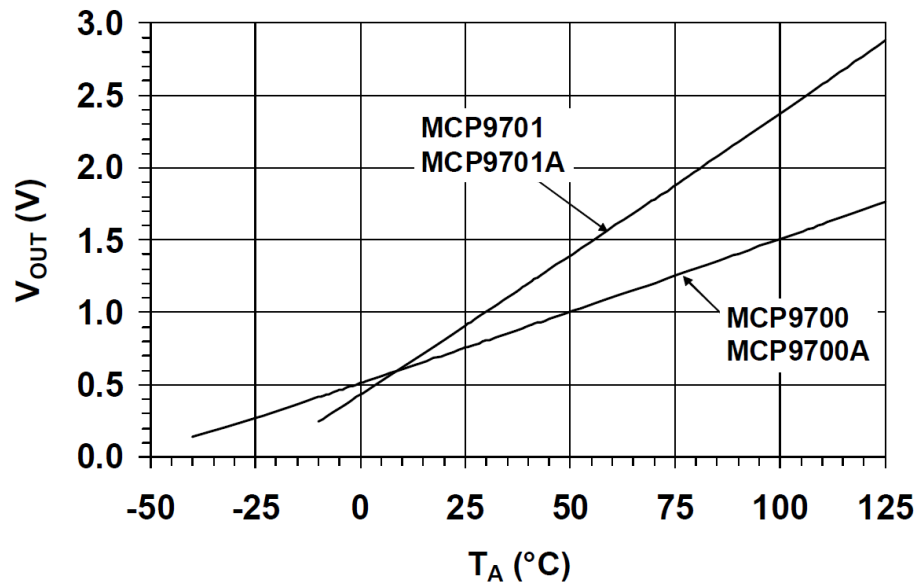
2.3 Snímač teploty

Jako snímač teploty byl uvažován NTC termistor od firmy AVX typ NJ28RA0104G. Jeho jmenovitý odpor je při teplotě $t = 25\text{ °C}$ $R_n = 100\text{ k}\Omega$ [7]. Jeho charakteristika je nelineární, má exponenciální průběh. Abychom zjistili hodnotu změřené teploty, tak by bylo třeba řady výpočetních operací a návrh vyhodnocovací části by byl složitější.

Proto byla vybrána náhrada ve formě integrovaného obvodu MCP9700AT. Jedná se o nízkopříkonový lineární termistor, který převádí teplotu na analogové napětí. Daný obvod má následující vlastnosti[31]:

- Nízká spotřeba okolo 6 μA
- Přesnost $\pm 2\%$
- Teplotní rozsah $-40 - 150\text{ °C}$
- Teplotní koeficient 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$
- Široký rozsah napájecích napětí 2,3 – 5,5 V

Daný obvod nevyžaduje další přídatné vyhodnocovací obvody. Je navržen tak, aby mohl být připojen přímo k A/D převodníku. Jeho charakteristika v závislosti na teplotě je zobrazena na obrázku 2.5. Výstupní napětí snímače může dosahovat hodnot od 100 mV do 1,75 V. Výstupní hodnota napětí při teplotě 0 °C se pohybuje okolo 500 mV[31].



Obrázek 2.5 – Výstupní charakteristika snímače teploty MCP9700AT[31]

Měřená teplota okolí T_A se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$T_A = \frac{U_{OUT} - U_{0^\circ C}}{T_C} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.1)$$

T_A – teplota v okolí snímače [°C]

T_C – teplotní součinitel(koeficient) snímače [mV/°C], $T_C = 10 \text{ mV/}^\circ\text{C}$

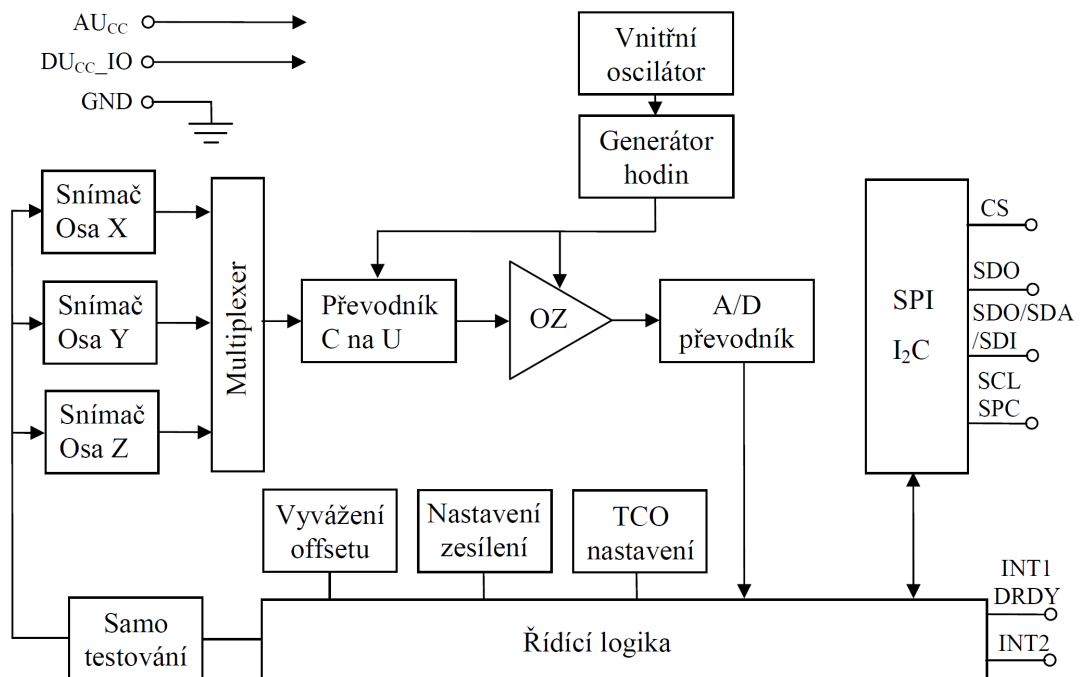
U_{OUT} – výstupní napětí [V]

$U_{0^\circ C}$ – výstupní napětí při teplotě okolí $T_A = 0^\circ\text{C}$ [V], $U_{0^\circ C} \approx 500 \text{ mV}$

2.4 Akcelerometr MMA7455L

Jedná se o kapacitní akcelerometr s nízkou spotřebou, malými rozměry, digitálním rozhraním SPI a I²C. Akcelerometr umožňuje úpravu signálu, jelikož obsahuje dolní propust, samo-testování, detekci zrychlení 0 g přes piny přerušování INT0 a INT1 a pulsní detekci, která se může využít při detekci rychlého pohybu. Má integrovanou funkci teplotní kompenzace. Obsahuje Standby mód, který umožňuje omezení spotřeby, a tím je daný typ snímače vhodný pro bateriově napájené aplikace. Souhrn jednotlivých parametrů je uveden níže[3]:

- Digitální výstup(SPI/I₂C) s rozlišením 10 bitů při rozsahu 8g
- Nízká spotřeba proudu: 400 μA
- Činnost při nízkých napájecích napětích: 2,4 – 3,6 V
- Registry přidělené uživateli pro kalibraci a odstranění offsetu
- Programovatelný práh výstupu přerušení
- Detekce úrovně zrychlení pro rozpoznání pohybu(vibrace, volný pád, otřesy)
- Detekce kmitů
- Citlivost (64LSB/g pro rozsah ± 2 g a ± 8 g při 10 bitovém módu)
- Měnitelná citlivost (± 2 g, ± 4 g, ± 8 g)



Obrázek 2.6 – Blokové schéma vnitřního uspořádání akcelerometru

2.4.1 Princip činnosti akcelerometru

Akcelerometr obsahuje miniaturní kapacitní buňky(g-buňky) a obvody pro úpravu signálu ASIC. Citlivý prvek je hermeticky uzavřen a je použito mnoho kapacitních destiček[3].

G-buňka je mechanická struktura skládající se z polovodičových materiálů (polysilicon). Vyrábí se leptáním a maskováním. Snímač se skládá z pohyblivé části a z pevných částí. Při vychýlení pohyblivé části z její klidové polohy dojde ke změně kapacity, a tím je indikováno zrychlení. Na obrázku 2.7 je zobrazeno vnitřní uspořádání g-buňky. Pokud na snímač působí zrychlení, tak výsledná síla oddálí pohyblivou destičku, a tím dojde ke zvýšení kapacity mezi jednou pevnou krajní destičkou

a kapacita mezi druhou pevnou destičkou se zmenší[3]. Kapacita se mění podle následujícího vztahu:

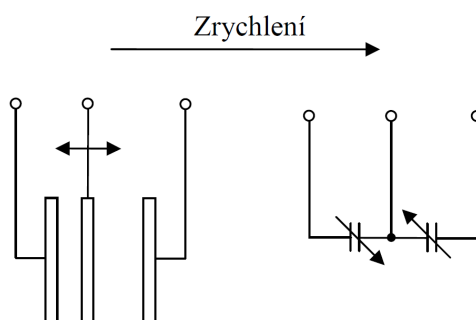
$$C = \varepsilon \frac{S}{d} \text{ [F]} \quad (2.2)$$

C – vzájemná kapacita mezi deskami [F]

ε – permitivita, též dielektrická konstanta [$\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$]

S – plocha destiček [m^2]

d – vzdálenost destiček [m]



Obrázek 2.7 – Uspořádání měřicí g-buňky

Integrované obvody ASIC využívají metody spínání kondenzátorů k měření kapacit snímače zrychlení jednotlivých os. Je toho využito i při získání dat rozdílů mezi jednotlivými kondenzátory g-buňky. ASIC obvody obsahují filtry a dále umožňují úpravu signálu, což vede k vysoké úrovni digitálního výstupního napětí, které je přímo úměrné velikosti zrychlení[3].

Módy akcelerometru

Akcelerometr má čtyři módy funkcí. K přepínání mezi jednotlivými módy dochází softwarově zápisem do registru módu akcelerometru. Módy akcelerometru jsou[3]:

- Standby mód
- Mód měření
- Mód detekce úrovně zrychlení
- Mód detekce kmitu(náhlé změny) zrychlení

2.5 A/D Převodník ADS7828

A/D převodník ADS7828 je 12 bitový A/D převodník s osmi přepínatelnými vstupy. Má nízkou spotřebu a pro svou činnost nepotřebuje žádný externí zdroj referenčního

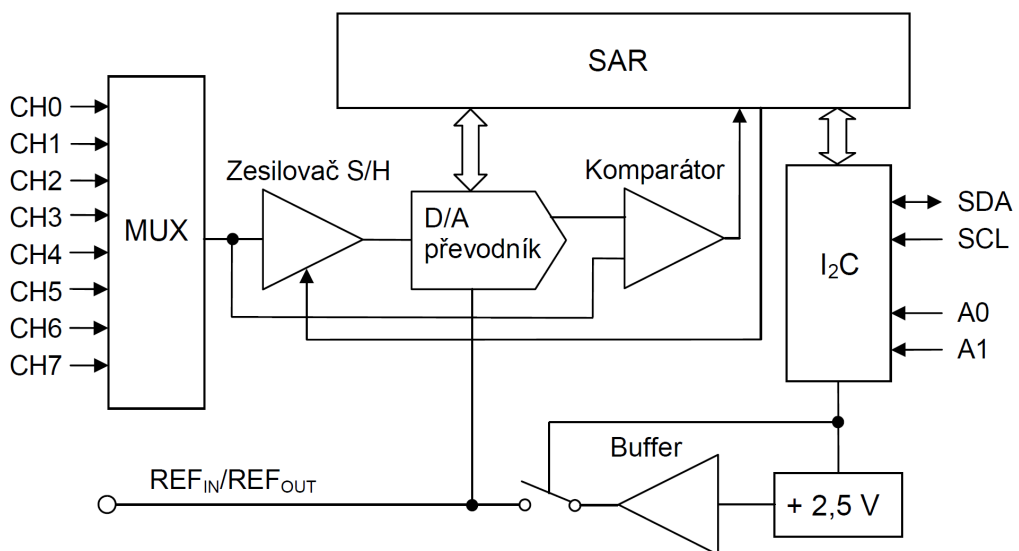
napětí, jelikož je v něm zdroj referenčního napětí integrován. Komunikace je realizována přes I²C rozhraní a podle protokolu může komunikovat ve třech módech rychlosti přenosu (standardní, rychlý, s vysokou rychlostí). Jeho maximální vzorkovací frekvence je 50 kHz. Dále obsahuje sample - hold zesilovač a generátor vnitřních asynchronních hodin. Je schopen pracovat při napájecích napětích v rozsahu 2,7 – 5 V, a proto byl vybrán pro aplikaci v univerzální mikropočítačové jednotce[4].

2.5.1 Princip činnosti A/D převodníku

Jedná se o A/D převodník s postupnou aproximací. A/D převodníky s postupnou aproximací obsahují aproximační registr SAR, D/A převodník a komparátor. Hodnota z registru vstupuje do D/A převodníku a výstupní napětí se porovnává v komparátoru s napětím na vstupu A/D převodníku. Na základě výstupu z komparátoru je upravena číselná hodnota aproximačního registru. U převodu je využita metoda půlení intervalu[4].

Činnost jádra A/D převodníku ADS7828 je kontrolována volně běžícími generovanými hodinami. Pokud převodník nevykonává převod nebo není adresován, je jádro převodníku vypnuto společně s vnitřními hodinami.

Pokud je převodník v hold režimu, tak je napětí vybraného vstupního kanálu drženo ve vnitřních kondezátorech. Vstupní proud závisí na době převodu. Během vzorkovací periody se musí nabít vzorkovací kondenzátor. Jakmile dojde k jeho nabití, přestane se odebírat proud ze vstupu[4].

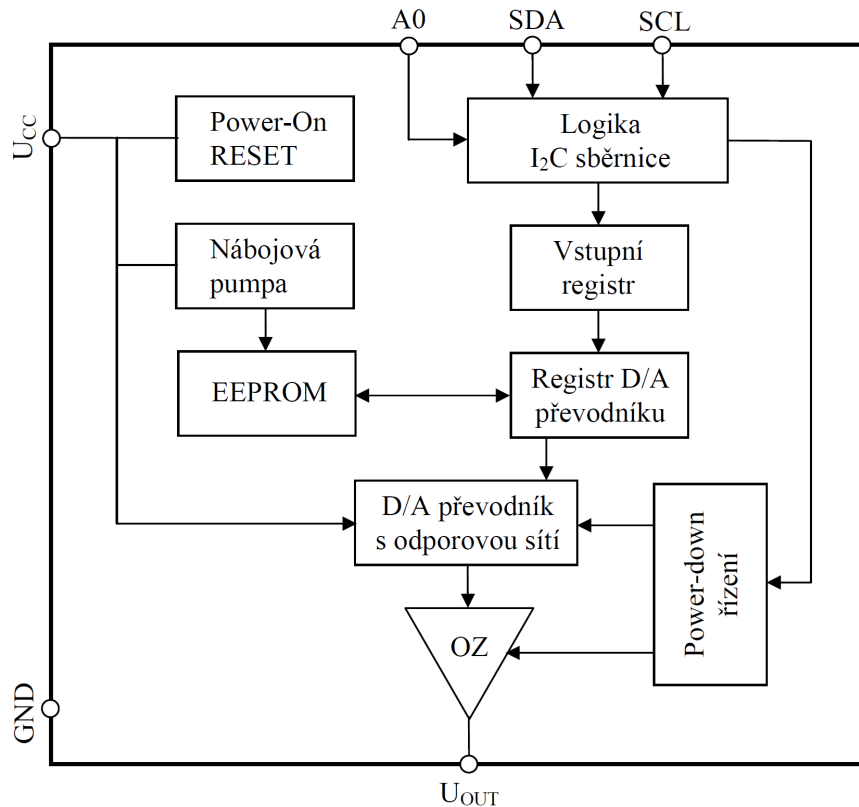


Obrázek 2.8 – Vnitřní struktura A/D převodníku ADS7828 [4]

2.6 D/A převodník MCP4725

Základní deska univerzální mikropočítačové jednotky má obsahovat proudovou smyčku. Pro realizaci výstupní strany proudové smyčky je potřeba použít D/A převodník, který bude ovládat proudové zrcadlo, a tím se bude měnit výstupní proud.

D/A převodník je 12-bitový, má nízké nároky na spotřebu. Dokáže pracovat v rozmezích napájecích napětí 2,7 V – 5 V, proto se hodí pro použití v bateriových aplikacích. Jeho výstup je udržován na stále hodnotě, i když nadřazený systém nekomunikuje s daným zařízením. To zajišťuje paměť typu EEPROM, která uchovává poslední získanou hodnotu. Obsahuje velmi přesný výstupní operační zesilovač, který je typu rail-to-rail(umožňuje dosáhnoutí hodnot napětí na výstupu velmi blízkých napájecímu napětí)[9].



Obrázek 2.9 – Blokové schéma D/A převodníku MCP4725

Pomocí I₂C sběrnice je možno nahrávat vstupní a konfigurační data do stálé paměti EEPROM. Data jsou uchována, pokud je zařízení vypnuto a po jeho zapnutí je výstup aktivován s odpovídající hodnotou výstupního napětí.

Obvod obsahuje obvody, které zajišťují spolehlivou inicializaci a zapnutí všech komponent obsažených na čipu. Obvod nepotřebuje vnější zdroj referenčního napětí, jelikož referenční napětí je dáno přímo napájecím napětím U_{CC} . Dále má obvod jeden adresovací vstup A0, který se připojuje buď na U_{CC} nebo GND. I₂C rozhraní může

pracovat ve třech rychlostních módech (klasický, rychlý, mód s vysokými rychlostmi). Obvod má dva režimy[9]:

- Normální režim
- Power-down(vypnutí) režim

2.7 Paměť EEPROM 1 Mbit

Paměť je typu EEPROM a pro komunikaci je použita sběrnice I₂C pomocí níž lze číst nebo zapisovat data. Rozsah napájecích napětí je 1,8 – 5,5 V. Organizace paměti je 8 bitů x 128 kbitů. Jedná se o SLAVE obvod, jehož synchronizace a instrukce pro čtení a zápis řídí nadřazený MASTER obvod. Obsahuje hardwarovou ochranu proti zápisu pomocí vstupu WC(pokud je na vstupu log. 0 je zápis povolen, v opačné případě je zapisování zakázáno). Umožňuje zápis po bajtech nebo po stránkách. Maximální velikost stránky 256 bajtů. Čtení je možno provádět ve dvou módech[6]:

- Sekvenční
- Náhodný

Má dva vstupy E1 a E2, které se připojují na +U_{CC} nebo GND a podle níž lze definovat adresu zařízení, nejedná se však o adresu paměťového umístění. Díky tomuto umožňuje připojení až čtyř těchto obvodů ke sběrnici I₂C. Adresu zařízení tvoří 6 bitů, přitom 4 první bity jsou pevně dány. Bit b7 je nejvýznamnější a je vyslán jako první. Hodnota posledního bitu b0 prvního bajtu zařízení určuje, jestli se ze zařízení bude číst popřípadě se bude provádět zápis[6].

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
1	0	0	1	E2	E1	b16	R/W

Tabulka 2.6 – Tvar adresového bajtu zařízení [6]

Adresa každého bajtu paměťové buňky má 17 bitů. Nejvyšší bit adresy paměťové buňky b16 je obsažen v adrese zařízení na pozici vedle nejméně významného bitu R/W, jak je možno vidět v tabulce 2.6. Jedná se o nejvýznamnější bit, který je vyslán jako první. Zbytek adresy je obsažen ve dvou adresových bajtech a jsou to nejméně významné bity b15 – b0, které jsou vyslány až po bitu b16[6]. Přesná velikost paměti je vyjádřena následujícím výpočtem, z něhož je patrné, že paměť má kapacitu 128 kB.

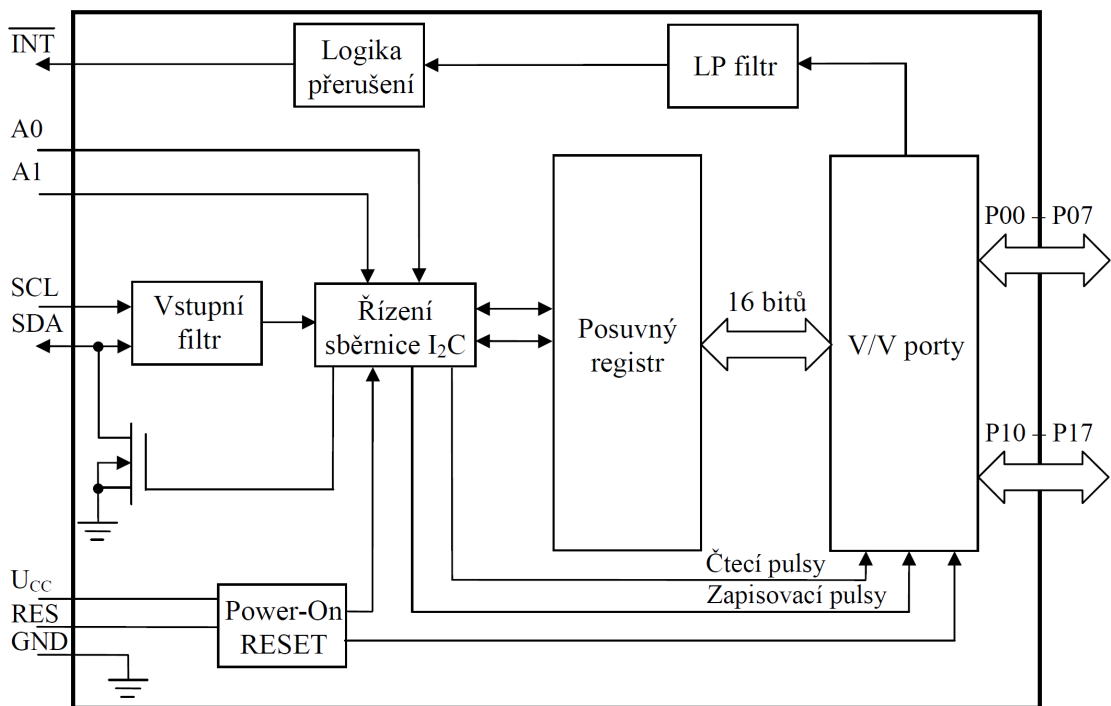
$$pocet_bajtu = 2^{17} = 131072B = 128kB$$

$$pocet_bitu = 8 \cdot pocet_bajtu = 8 \cdot 131072 = 1048576bit = 1Mbit$$

2.8 I/O rozšiřující obvod PCA9539

Jelikož má mikroprocesor ATMEGA644P pouze čtyři V/V brány a zadání požaduje 16 digitálních vstupů/výstupů, nebylo by možné realizovat další funkce, které jsou požadavkem zadání. Nejdříve bylo zvoleno řešení s obvodem typu PISO nebo SIPO, které by však zabralo více místa na základní desce, a jedná se pouze o jednosměrné obvody. To znamená, že buď obvod pracuje jako vstupní zařízení nebo výstupní. Proto byl vybrán obvod PCA9539, který umožňuje univerzální nastavení, jelikož je obousměrný.

Obvod pracuje při napájecím napětí 2,3 – 5 V a má nízkou spotřebu. Poskytuje univerzální rozšíření počtu vstupů a výstupů pro mnoho mikroprocesorů a to přes komunikační rozhraní I²C. Obvod obsahuje dva 8-bitové registry, které se dají nastavit jako vstupní porty, výstupní porty nebo invertující vývody[2].



Obrázek 2.10 – Vnitřní uspořádání I/O rozšiřujícího obvodu PCA9539[2]

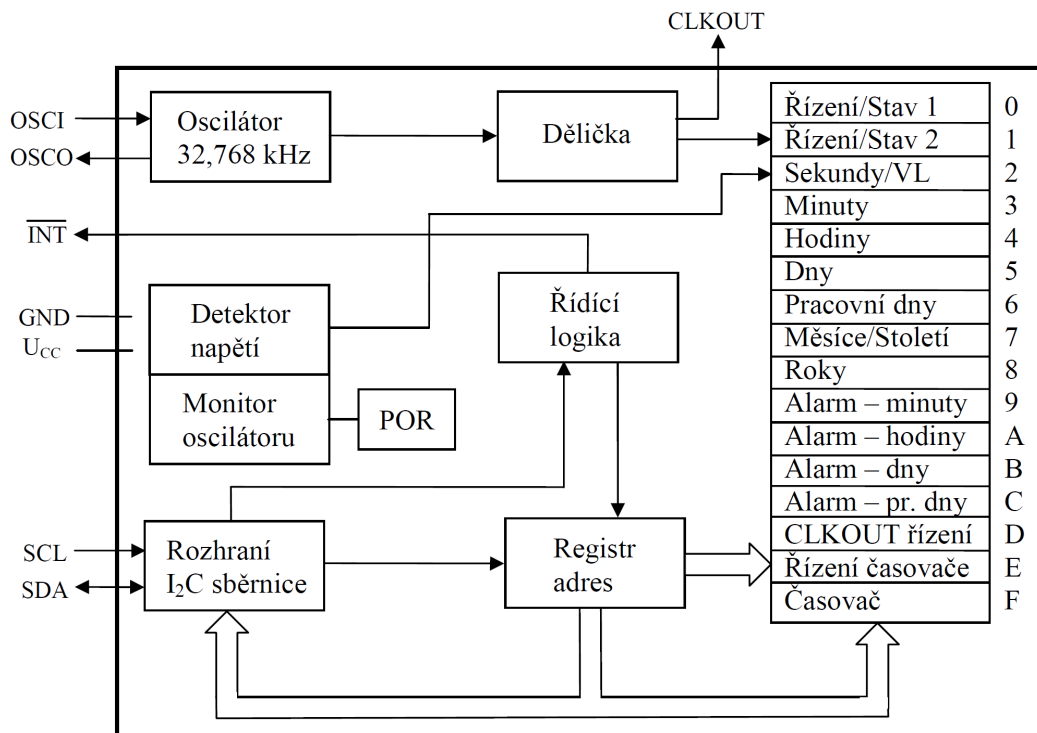
Po zapnutí napájení je obvod nastaven tak, že všechny porty jsou vstupní. Nadřazený systém pomocí konfiguračních bitů pak může nastavit porty buď na vstupní nebo výstupní. Data pro každý výstup nebo vstup jsou uložena na odpovídajících pozicích v registrech. Polaritu vstupů je možno invertovat pomocí registrů inverzní polarity. Obsah všech registrů je možno číst pomocí nadřazeného systému. Obvod je možné resetovat pomocí nadřazeného systému v důsledku vypršení time-out intervalu nebo jiné nevhodné operace. K resetu dojde přivedením log. 0 na vstup RESET. Při zapnutí napájení dojde k power-on resetu, který nastaví V/V registry na jejich výchozí hodnotu a inicializuje stavy I²C/SM sběrnice. K přerušení na výstupu INT

dojde ve chvíli, kdy vstupní data neodpovídají datům v příslušném registru a přerušení indikuje změnu stavu na vstupu. Propojení výstupu s mikroprocesorem umožňuje indikovat změnu vstupních dat bez použití komunikace přes rozhraní I₂C. Výstupy obvodu, jejichž hodnota je udržována (latched), jsou schopny dodávat proud pro napájení LED diod. Adresové piny A0 a A1 umožňují změnu adresy tak, aby bylo možno na I₂C sběrnici připojit více těchto zařízení[2].

2.9 RTC obvod – obvod reálných hodin

Hlavní funkcí obvodu PCF8563 jsou hodiny reálného času a kalendář. Obvod je navržen tak, aby měl minimální spotřebu. Mezi přídatné doplňky patří programovatelný výstup hodin, detektor nízkého napětí, výstup přerušení a I₂C sběrnice, která může pracovat i při maximální frekvenci 400kHz. Všechny adresy a data jsou přenášeny přes I₂C sběrnici. Adresový registr je automaticky inkrementován vždy po každém čtení nebo zápisu bytu[5].

Obvod obsahuje 16 osmibitových registrů, oscilátor o frekvenci 32,768 kHz s jedním integrovaným kondenzátorem a dále děličku kmitočtu. To poskytuje zdroj hodinového signálu pro RTC obvod.



Obrázek 2.11 – Blokové schéma uspořádání obvodu reálných hodin [5]

Všech 16 registrů je navrženo jako adresovatelné 8 bitové paralelní registry, avšak nejsou implementovány všechny bity. První dva registry jsou stavové registry, slouží

pro řízení a nastavení parametrů obvodu, jejich adresa je 00H a 01H. Paměťové buňky s adresami 02H – 08H slouží jako čítače hodinových funkcí (od sekund po roky). Adresy 09H – 0CH jsou vyhrazeny pro alarmy a určují jejich podmínky nastavení. V registru na adrese 0DH se nastavují parametry výstupu generátoru hodinových impulsů CLKOUT. Poslední dvě adresy 0EH a 0FH obsahují data pro řízení samostatného časovače a registry časovače. Všechna data čítačů hodin a alarmů jsou vyjádřena v BCD kódu[2].

Během čtení registrů je funkce čítačů zmrazena. Přenosová podmínka zajišťuje předcházení problémů s chybným čtením.

2.10 Převodník napěťových úrovní ICL3221

Jelikož se napájecí napětí pohybuje okolo hodnoty 3 V, nebylo možné použít standardní integrovaný obvod MAX232, který pracuje jen při napájecím napětí v rozmezí 4,5 – 5 V. Proto byla nalezena náhrada v podobě integrovaného obvodu ICL3221 a jeho parametry jsou popsány níže.

Jedná se o převodník napěťových úrovní mezi sériovým rozhraním RS-232 a logikou TTL. Obvod obsahuje jeden vysílač a přijímač, což z něj dělá plně kompatibilní komunikační prostředek s rozhraním RS232. Jeho výhodou také je to, že má funkci automatického vypnutí a ochranu proti vyššímu elektrostatickému výboji ± 15 kV. Spotřeba proudu při činnosti se pohybuje okolo 300 μ A, a proto je obvod vhodný pro použití v bateriově napájených systémech, v mobilních telefonech atd. Při nízkopříkonovém power-down módu spotřebovává obvod okolo 1 μ A[8].

Zařízení je schopno přenášet data rychlostí až 250 kbit/s. Obvod může vykonávat operace při napájecím napětí od 3V do 5,5 V, protože obsahuje budiče s dvojitou nábojovou pumpou. Nábojová pumpa pro svou činnost potřebuje jen čtyři kondenzátory o velikosti 0,1 μ F. Obvod obsahuje detekci napěťových úrovní na přijímací straně(logické úrovně na přijímači musí být v rozmezí $U_R > +2,7V$ a $U_R < -2,7 V$) . S touto detekcí souvisí indikace platnosti dat na přijímací straně a daný stav platnosti je indikován na výstupu INVALID[8].

K přechodu do automatického módu vypnutí dochází, pokud data na přijímací části nejsou platná po dobu delší než 30 μ s. Tento stav nastane, pokud nejsou připojeny žádné periferní jednotky(př. odpojená kabeláž). Návrat do aktivního módu se provede hned, jakmile je detekován přenos na vysílačích nebo na přijímačích. To s sebou přináší výhodu, jelikož není nutné řešit danou věc přidavným hardwarem popřípadě softwarem. Povolení automatického vypínacího módu se provádí podle úrovní přivedených na vstupy FORCEON a FORCEOFF. V tabulce 2.7 jsou zobrazeny kombinace úrovní na daných vstupech a příslušné módy[8].

Dále obvod obsahuje vstup EN, pomocí nějž lze odpojit výstup na přijímací straně (výstupní impedance prudce vzroste), a tím výrazně snížit spotřebu.

FORCEON	FORCEOFF	Mód
H	H	Normální mód, mód automatického vypnutí nepovoleno
L	H	Normální mód, mód automatického vypnutí povoleno
X	L	Manuální vypínání napájení

Tabulka 2.7 – Módy omezení spotřeby u převodníku ICL3221[8]

2.11 MicroSD paměťová karta

Ke krátkodobému ukládání dat je použita paměť typu EEPROM, která má však menší kapacitu. Požadavkem zadání práce také byla snadná přenositelnost dat mezi zařízením a počítačem. Proto deska obsahuje slot pro microSD kartu. Sice byla dříve uvažována klasická SD karta, ale z důvodu požadavků na velikost desky bylo zvoleno dané řešení. MicroSD karty mají velkou kapacitu a lze s nimi komunikovat přes sériové SPI rozhraní, kterým je vybavena většina mikrokontrolérů. Na obrázku 2.12 je náčrt pinů karty a také popis k připojení karty na SPI rozhraní[11][17].



Pin	Označení	SD mód	SPI mód
1	DAT2	Data line 2	
2	DAT3	Data line 3	CS
3	CMD	Command line	MOSI
4	V _{DD} (U _{CC})	3,3 V	3,3 V
5	CLK	Clock	SCK
6	V _{SS} (GND)	GND	GND
7	DAT0/DO	Data line 0	MISO
8	DAT1	Data line 1	-

Obrázek 2.12 – Rozložení vývodů MicroSD karty a jejich připojení na SPI rozhraní[17]

MicroSD karty obsahují mikrokontrolér, který řídí jejich činnost (čtení, zápis, mazání, kontrolu chyb). Data mezi kartou a komunikačním zařízením, v našem případě mikrokontrolérem, se přenáší po datových blocích o velikosti 512 bajtů. Aktuální definovaný systém souborů je typu FAT12/FAT16. Systém souborů FAT32 je definován pouze pro karty s vyššími kapacitami (4 GB a více). MicroSD karty se výrazně neliší od MMC karet, které mají pouze 7 pinů, jelikož nemají datové linky

DAT1 a DAT2. Komunikační příkazy jsou stejné, proto je možné využít stejné zapojení jako při použití MicroSD karet[17].

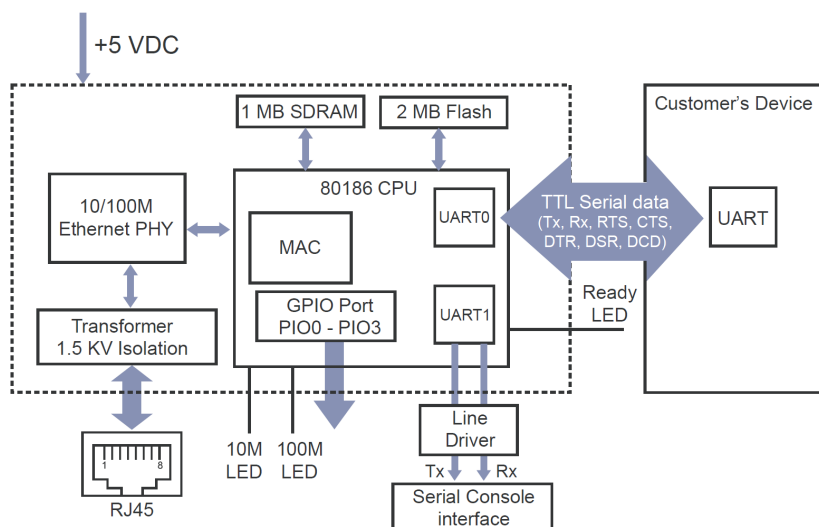
Rozsah napájecích napětí je 2,7 – 3,6 V. Nevýhodou však je, že MicroSD karty pro komunikaci potřebují vyšší proud(okolo desítek mA), čímž dojde ke zvýšení spotřeby v obvodu.

Po zapnutí napájecího napětí není karta aktivní. Aby byla aktivní, je třeba ji resetovat a nastavit na SPI mód. To se provádí přivedením log. 0 na vstup CS a musí proběhnout minimálně 74 hodinových cyklů. Při vykonávání této sekvence je nutné signál MOSI držet na hodnotě log. 1, což je umožněno zapojením pull-up rezistoru. Po proběhnutí resetu a inicializace již karta může komunikovat pře SPI rozhraní a přijímat data ve formě rámců. Signál CS je připojen k mikrokontroléru, který komunikaci mezi kartou aktivuje[11].

2.12 Embedded server NE4100-T

Embedded server NE4100-T implementuje funkci síťového rozhraní s protokoly TCP/IP do aplikací, které obsahují sériové asynchronní komunikační rozhraní a poskytuje řadu dalších funkcí. Jednotlivé typy serverů se liší provedením a připojením do dané aplikace(server s výstupními piny, s konektorem RJ-45).

Server je řízen procesorem řady 80186, který obsahuje 1MB paměti dat typu SDRAM a 2MB paměti programu typu FLASH. Jeho vnitřní struktura je na obrázku 2.13. Firmware serveru je možno aktualizovat. Dále obsahuje dvě asynchronní sériová rozhraní, které vytváří most mezi síťovým rozhraním a cílovou aplikací. Obsahuje 4 digitální V/V vývody, které lze nakonfigurovat, aby sloužily jako vstupy popřípadě výstupy[10][16].



Obrázek 2.13 – Schéma vnitřní struktury Embedded serveru NE-4100T []

Server musí být napájen stejnosměrným napětím o hodnotě $5\text{ V} \pm 5\%$. Jeho proudový odběr dosahuje maximální hodnoty 290 mA. Výrobce udává výkonovou ztrátu pohybující se okolo 1,5 W[14].

Fyzická vrstva

Definici napěťových úrovní, kódování, modulaci signálu zajišťuje obvod RTL8201BL. Daný obvod podporuje klasické standarty 10Base-T a 100Base-TX, umožňuje nastavení polovičního a plného duplexního přenosu, a také umožňuje automatickou detekci. Ke galvanickému oddělení slouží oddělovací transformátor s izolačním napětím 1,5 kV[10].

Sériové rozhraní

Embedded server obsahuje dvě asynchronní sériová rozhraní UART0 a UART1. Rozhraní UART0 se využívá k propojení s uživatelskou aplikací. U asynchronního sériového rozhraní UART0 je možné pro komunikaci využít signály TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD.

Asynchronní sériové rozhraní UART1 je využito pro připojení konfigurační konzole. Parametry přenosu jsem pevně nastaveny výrobcem[16]:

- Rychlost přenosu Baud = 19200 bit/s
- Počet datových bitů: 8
- Počet stop bitů: 1
- Parita: žádná
- Řízení toku: bez řízení

Z asynchronního rozhraní jsou vyvedeny pouze signály RxD a TxD.

Pracovní módy

Server poskytuje čtyři pracovní módy. Každý mód určuje parametry přenosu, použitý komunikační protokol a poskytované služby. Server umožňuje komunikovat v těchto pracovních módech[10][16]:

- TCP server
- TCP klient
- UDP mód
- REAL COM mód

Výhodou je, že se konstruktér zařízení nemusí zabývat problematikou přenosu přes rozhraní Ethernet. Server totiž poskytuje značnou míru abstrakce.

Módy s TCP protokolem zajišťují spojovanou službu přenosu. Při těchto komunikačních módech, dochází ke kontrole doručení zprávy. Pokud zpráva není doručena, popřípadě nesouhlasí kontrolní součet, vysílací zařízení se postará o znovuoobnovení. Nevýhodou použití módů s protokolem TCP je, že datový rámec je delší než v případě protokolu UDP a celková režie je vyšší.

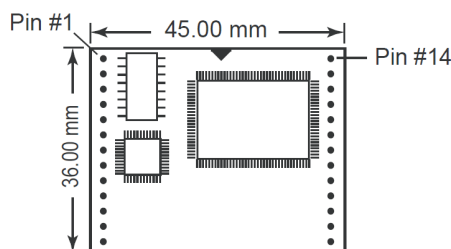
UDP mód zprostředkovává nespojované komunikační služby. To znamená, že Server odešle požadovaná data, ale už dál neověřuje, jestli byla data doručena nebo jestli nejsou poškozena. Přenášený rámec neobsahuje blok s kontrolním součtem. Jeho výhodou však je nižší režie řízení komunikace, menší přenášený datový rámec, a proto může být použit v Real-Time obvodech.

Real COM mód poskytuje možnost vytvoření virtuálního rozhraní sériového portu na počítači pomocí dostupných ovladačů. Virtuální port se z pohledu softwaru chová jako standardní sériový port v počítači[10].

Mechanické parametry

Server NE4100T, který je použit pro realizaci bootladeru, má rozměry 36 x 45 mm a vývody jsou umístěny v uspořádání DIL-26, dané uspořádání je zobrazeno na obrázku 2.14. Rozteč vývodů je 2,54 mm.

Moduly serverů v klasickém provedení mají teplotní rozsah pracovních podmínek od 0 °C do 55 °C. Vyšší teplotní rozsah pracovních podmínek mají moduly s označením T, které mohou pracovat v rozsahu od -40 °C do 75 °C[14][16].



Obrázek 2.14 – Rozměry modulu serveru NE4100T s rozložením vývodů[14]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část obsahuje informace o návrhu celé mikropočítačové jednotky s vzájemným propojením použitých obvodů.

Jak již bylo uvedeno v úvodu, univerzální jednotka se skládá z modulu s mikroprocesorem, z desky s periferními zařízeními a napájecím zdrojem. K periferní desce je modulárně připojen Embedded server NE4100T.

Praktická část je rozdělena na dvě hlavní části, a ty jsou návrh hardwaru a vývoj softwaru pro dané zařízení.

U části návrhu hardwaru je kladen důraz na přehlednost a srozumitelnost dané problematiky, aby čtenář pochopil příčiny daného řešení.

Část s vývojem řídicí aplikace neobsahuje samotné zdrojové texty, které samy o sobě nejsou nijak přínosné pro pochopení řídicího algoritmu. Místo toho je činnost řídicího algoritmu a použitých funkcí vysvětlena pomocí vývojových diagramů.

3.1 Návrh hardwaru

Na úvod je popsán návrh procesorové jednotky s výběrem potřebných součástek. Na modulu procesorové jednotky nejsou umístěny žádné obvody, které jsou potřeba pro realizaci činnosti jednotlivých funkcí univerzální mikropočítačové jednotky.

Tyto obvody obsahuje periferní jednotka. Jedná se jak o obvody realizující danou funkci, tak i obvody napájecích zdrojů. Proto následuje vysvětlení příčin jejich konkrétního zapojení do obvodu s dalšími součástkami.

3.1.1 Procesorová jednotka

Hlavní částí procesorové jednotky je mikrokontrolér typu ATMEGAP vyrobený firmou ATMEL. Původně bylo uvažováno použití nové verze mikrokontroléru typ ATMEGA644PA, která je však dostupná pouze ve větších pouzdrech, což nám nevyhovuje. Procesory se liší pouze velikostí spotřeby proudu.

Deska procesorové jednotky obsahuje kondenzátory C_3 a C_5 , které plní funkci blokovacích kondenzátorů a jsou připojeny co nejbližší vývodu napájení mikrokontroléru U_{CC} a vývodu napájení vnitřního A/D převodníku AU_{CC} . Na desce je umístěn mikrospínač, kterým je možno mikrokontrolér externě resetovat. Požadavky na externí RESET jsou uvedeny níže.

Vnitřní A/D převodník obsažený v mikrokontroléru není využíván. Avšak z hlediska univerzálnosti připojení procesorové jednotky do jiné aplikace, která by vnitřní A/D převodník využívala, je na desku procesorové jednotky umístěn zdroj referenčního

napětí LM385-2,5. Jeho výstupní napětí má hodnotu 2,5 V, to je postačující pro definici rozsahu A/D převodníku, pokud uvažujeme, že procesorová jednotka bude napájena ze zdroje, jehož výstupní hodnota se bude pohybovat okolo 3V. Obvod LM385-2,5 je zapojen tak, že spolu s odporem R_1 tvoří dělič. Obvod udržuje konstantní hodnotu napětí na výstupu děliče, který je připojen k vývodu A_{REF} . Velikost odporu R_1 se stanoví na základě mezních hodnot proudu, který může obvodem LM385-2,5 protékat. Maximální proud poteče obvodem, pokud je výstup děliče naprázdno (stav vysoké impedance). Rozsah proudů, které mohou obvodem protékat je od 10 μ A do 20 mA [25]. Proud naprázdno byl stanoven na 80 μ A, a to s přihlédnutím na snížení spotřeby, jelikož je uvažováno napájení z baterie. Z těchto mezních hodnot byla stanovena hodnota odporu R_1 :

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{LM385-2,5}}{I_0} = \frac{3,3 - 2,5}{8 \cdot 10^{-6}} = 10k\Omega \quad (3.1)$$

U_{CC} – napájecí napětí [V]

$U_{LM385-2,5}$ – napětí referenčního zdroje [V]

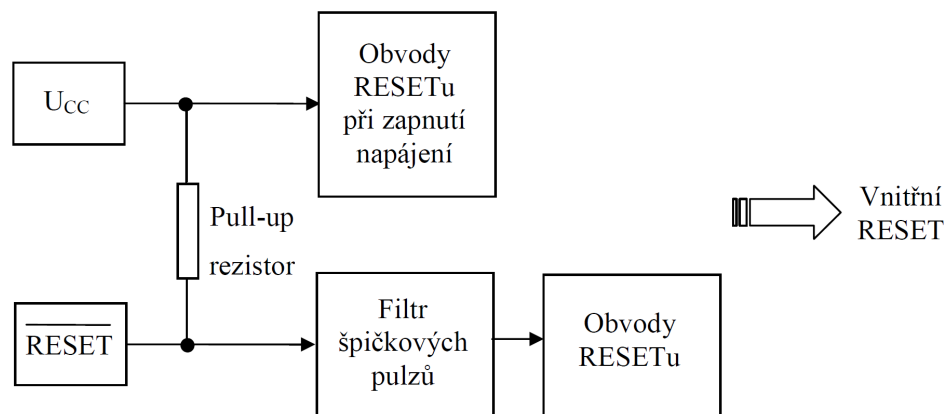
I_0 – proud naprázdno [A]

Modul procesorové jednotky obsahuje pouze výše zmíněné součástky. Navíc jsou jednotlivé V/V porty vyvedeny na jednořadé konektory, které umožňují připojení modulu procesorové jednotky do periferní jednotky.

Modul obsahuje další konektor na straně součástek, kde jsou vyvedeny vývody programovacího JTAG rozhraní tak, aby mohl být mikroprocesor programován přímo při připojení do cílové aplikace. Navíc u konektoru s napájením a konektoru portu B (vývody PB7 – PB5) je použit oboustranný konektor. Zmíněné vývody portu B slouží k ISP (In System Programming), které také umožňují programování mikroprocesoru i v případě, že je připojen k periferní jednotce. ISP využívá SPI rozhraní. Vývody napájecího napětí a RESETu jsou vyvedeny oboustranně, jelikož některé programovací jednotky měří úroveň napájecího napětí, a na základě jeho velikosti jsou schopny upravit úroveň logických signálů. Schéma zapojení a plošný spoj procesorové jednotky jsou v přílohách.

RESET obvody mikrokontroléru ATMEGA644P

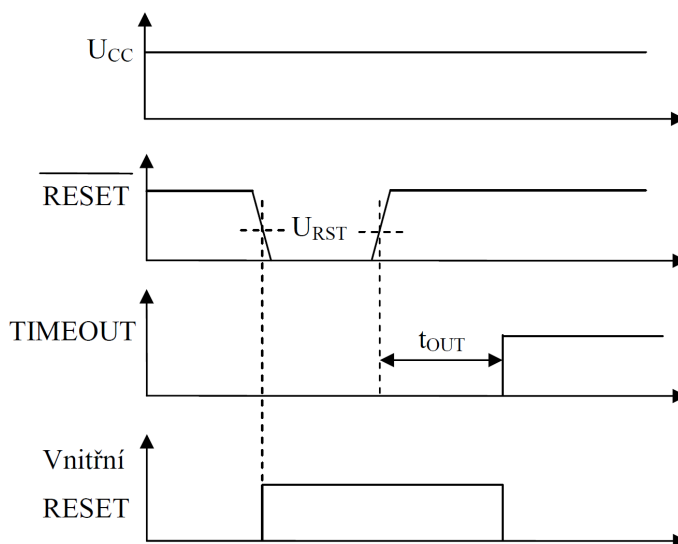
Aby nevznikaly problémy při externím RESETu, bude stručně popsána tato problematika. Na obrázku 3.1 je zobrazena vnitřní struktura uspořádání obvodů pro RESET mikrokontroléru. Z obrázku 3.1 je zřejmé, že pull-up rezistor, který má udržovat stálou hodnotu logického stavu log. 1, aby nedošlo k zakázaným stavům, je již obsažen uvnitř struktury mikrokontroléru [24], a proto již není nutno nijak ošetřovat vstup externího RESETu zvenčí.



Obrázek 3.1 - Schéma vnitřního uspořádání obvodů pro RESETE [24]

Externí RESETE

Vnější RESETE je aktivován přivedením logické nuly na vstup RESETE. Šířka resetovacího impulsu musí být větší než je minimální požadovaná šířka, aby došlo k resetu a to i v případě, když hodiny neběží. U kratších impulsů není zaručeno, že dojde k resetu. Jakmile dosáhne přivedený signál stanovené úrovně U_{RST} na náběžné hraně, dojde ke spuštění obvodů časového zpoždění, které udržují vnitřní RESETE mikrokontroléru do uplynutí doby t_{OUT} . Vše je možno vidět na obrázku 3.2, který obsahuje jednotlivé průběhy[24].



Obrázek 3.2 –Průběhy při aktivaci vnějšího RESETE [24]

Výběr krystalu

Mikrokontrolér v sobě obsahuje vnitřní RC oscilátor, který poskytuje frekvenci 8 MHz[24], ale ten se ve většině aplikací nepoužívá. Jeden z důvodů je hodnota generovaného kmitočtu, která se špatně dělí definovanými dělicími hodnotami jednotlivých děliček.

V počátku byl vybrán krystal o hodnotě 11,0592 MHz, jelikož hodnota napájecího napětí byla uvažována +5 V. Došlo však k upřesnění zadání a použitých komponent. Napájecí napětí pro mikrokontrolér bude +3,3 V a pro dané napětí již nesplňuje krystal o dané frekvenci podmínku danou výrobcem mikroprocesoru. Maximální velikosti frekvencí krystalů v závislosti na napájecím napětí jsou uvedeny v tabulce 3.1[24].

Frekvence oscilátoru	$U_{CC} = 1,8 - 5,5 \text{ V}$		$U_{CC} = 2,7 - 5,5 \text{ V}$		$U_{CC} = 4,5 - 5,5 \text{ V}$	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
	0 MHz	4 MHz	0 MHz	10 MHz	0 MHz	20 MHz

Tabulka 3.1 - Maximální možné frekvence pro různá napájecí napětí [24]

Proto je možné vybrat krystal o frekvenci 0 – 10 MHz. Výběr je proveden na základě rychlosti zpracovávání instrukcí a také na dostupných hodnotách vyráběných krystalů. Aby byla rychlost zpracovávání instrukcí co nejvyšší, budeme vybírat krystaly poblíž mezní hranice blížící se maximální možné frekvenci pro daný rozsah napájecího napětí. Existuje krystal přímo o frekvenci 10 MHz. Frekvence, kterou generuje krystalový oscilátor má však vliv i na generátor přenosové rychlosti (Baud rate) asynchronního sériového rozhraní USART. Abychom minimalizovali odchylky od jmenovitých hodnot Baud Rate, byl krystal vybrán na základě vzorců uvedených v tabulce 3.2.

Mód	Výpočet rychlosti přenosu Baud Rate	Výpočet hodnoty registru děličky frekvence
Asynchronní normální rychlostí	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronní s dvojitou rychlostí	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronní	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRRn + 1)}$	$UBRRn = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

Tabulka 3.2 – Vzorce pro výpočet přenosové rychlosti rozhraní USART [24]

f_{osc} – frekvence generovaná krystalovým oscilátorem [Hz]

$UBRR$ – hodnota 16-bitového registru děličky kmitočtu rozhraní USART [-]

BAUD – přenosová rychlost asynchronního rozhraní [baud=bit/s]

Registr UBRRn se skládá ze dvou bajtů a pomocí jeho nastavení je frekvence krystalového oscilátoru dělena na požadovanou hodnotu za účelem definice přesné rychlosti přenosu[24]. Jako příklad bychom mohli uvést porovnání více frekvencí, aby byly zřejmé odchylky od jmenovitých hodnot rychlostí přenosu, což je ale zbytečné.

Na základě dostupných podkladů[24] byl vybrán krystal o frekvenci 9,216 MHz, u kterého nedochází u většiny rychlostí přenosu k žádné odchylce a dále se blíží mezní hranici maximální možné frekvence krystalu pro dané napájecí napětí. V tabulce 3.3 jsou uvedeny hodnoty rychlostí přenosu USART rozhraní a jednotlivé odchylky.

Jmenovitá hodnota BAUD Rate	Normální mód			Mód s dvojitou rychlostí		
	BAUD Rate	UBRR	Chyba	BAUD Rate	UBRR	Chyba
2400	2400	239	0,00%	2400	479	0,00%
4800	4800	119	0,00%	4800	239	0,00%
9600	9600	59	0,00%	9600	119	0,00%
14400	14400	39	0,00%	14400	79	0,00%
19200	19200	29	0,00%	19200	59	0,00%
28800	28800	19	0,00%	28800	39	0,00%
38400	38400	14	0,00%	38400	29	0,00%
57600	57600	9	0,00%	57600	19	0,00%
76800	76800	6,5	0,00%	76800	14	0,00%
115200	115200	4	0,00%	115200	9	0,00%
230400	230400	1,5	0,00%	230400	4	0,00%
250000	288000	1	15,20%	230400	4	-7,84%
500000	576000	0	15,20%	576000	1	15,20%
1000000	576000	0	-42,40%	1152000	0	15,20%

Tabulka 3.3 – Vypočtené hodnoty přenosových rychlostí pro krystal 9,216 MHz

3.2 Periferní jednotka s napájecím zdrojem

Univerzální jednotka má obsahovat různá zařízení, které realizují požadovanou funkci. K tomu jsou použity potřebné integrované obvody. Jejich parametry a princip činnosti byly popsány v teoretické části. V této části bude objasněno jejich zapojení do obvodu. Použité integrované obvody a součástky byly zvoleny pro povrchovou montáž(SMT) proto, aby došlo k minimalizaci rozměrů desky plošných spojů. Jelikož je většina obvodů napájena z baterie, byly hledány jen typy, která mají nižší spotřebu a umožňují úsporné režimy. Aby byla publikace přehlednější, tak vzniklo následující rozdělení:

- Napájecí zdroj
- Analogová část
- Digitální část

3.2.1 Napájecí zdroj

Jako zdroj napětí jsou použity dvě AA baterie typ NiMH zapojené do série. Každá baterie má jmenovité napětí 1,2 V, což znamená, že celkové napětí je rovno 2,4V. Byly vybrány baterie s kapacitou 1800 mAh. Proto je v obvodu použit DC/DC měnič, který má udržovat hodnotu napětí 3,3 V.

Jelikož embedded serveru potřebuje ke své činnosti napájecí napětí $+5 \text{ V} \pm 5 \%$ [15], bylo nutné navrhnout ještě jeden napájecí zdroj poskytující požadované napětí. Daný napájecí zdroj již nebude napájen z baterie, ale z externího zdroje. Toto řešení je použito také proto, že embedded serveru má vyšší spotřebu.

Pokud bude externí zdroj připojen, je dalším požadavkem dobíjení použité baterie. Baterie je také připojena k jednomu vstupu A/D převodníku, aby mohla být sledována hodnota napětí.

Napájecí zdroj +3,3 V

Použitý DC/DC převodník typ L6920D je speciálně navržen pro bateriové aplikace. Je to step-up převodník, což znamená, že zvyšuje hodnotu vstupního napětí. Jeho maximální výstupní proud je 1 A, což by mělo stačit pro použití v univerzální mikropočítačové jednotce. Obsahuje ochranu proti opačné polaritě a je schopen detekovat nízkou úroveň napětí baterie. Dokáže pracovat již od 1 V. Může sloužit jako zdroj referenčního napětí o hodnotě 1,23 V. Výstupní napětí je možné nastavit volitelně nebo na pevně danou hodnotu (3,3 V a 5 V) [1].

Výběr výstupního napětí závisí na zapojení vstupu FB. Tabulka 3.4 ukazuje jednotlivé možnosti.

$U_{OUT} = 3,3 \text{ V}$	Výstup je propojen s vývodem FB
$U_{OUT} = 5 \text{ V}$	Vývod FB je připojen na zem
$U_{OUT} = 1,8 \text{ V} - 5,5 \text{ V}$	Vývod je připojen na dělič mezi zemí a výstupním vývodem $U_{OUT} = 1,23 \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$

Tabulka 3.4 – Hodnoty výstupního napětí DC/DC měniče podle zapojení [1]

Při detekci napětí baterie je možno využít pevný práh napětí nebo jej nastavit pomocí děliče.

Použitý DC/DC měnič má mít výstupní napětí +3,3 V, a proto je výstupní vývod OUT propojen s vývodem FB. K výstupu OUT je také připojen vstup SHDN, který slouží k odpojení výstupu v případě potřeby. Dané zapojení znemožňuje externí odpojení výstupu [1]. Před DC/DC měničem jsou zapojeny dvě Schottkyho diody D_5 a D_6 , které mají omezit pronikání kmitů na vstup baterie, kde je měřena hodnota napětí

Celé zapojení napájecího zdroje je na obrázku 3.3. Na obrázku 3.3 v levé části je tranzistor T_{2-2} který slouží pro spínání napájecího zdroje +5 V, ze kterého budou napájeny baterie.

Napětí je přes dělič tvořící odpory R_{49} a R_{50} vedeno i do A/D převodníku, pomocí něhož můžeme měřit napětí baterie.

Důležitou součástí pro DC/DC měnič je cívka. Parametry potřebné cívky pro žádané výstupní napětí jsou vypočítány podle vztahu[1].

$$I_{L_lim} = \frac{U_{in}}{U_{out}} \left(I_{lim} - T_{off_min} \frac{U_{out} - U_{in}}{2 \cdot L} \right) \eta \quad (3.3)$$

$$I_{L_lim} = \frac{3}{3,3} \left(1 - 1 \cdot 10^{-6} \frac{3,3 - 3}{2 \cdot 10^{-5}} \right) \cdot 0,9 = 805,9 mA$$

I_{L_lim} – maximální proud do zátěže, kdy ještě probíhá regulace [A]

U_{in} – napětí vstupující do DC/DC měniče [V], $U_{in} = 3$ V

U_{out} – výstupní napětí z DC/DC měniče [V], $U_{out} = 3,3$ V

I_{lim} – maximální výstupní proud DC/DC měniče [A], $I_{lim} = 1$ A

T_{off_min} – minimální doba, po kterou je cívka připojena na výstup [s], $T_{off_min} = 1$ μ s

L – indukčnost cívky připojené k DC/DC měniči [H]

η – účinnost použitého měniče [%], $\eta = 90$ %

Daná definice znamená, že proud, který teče do zátěže, nesmí překročit mez vyjádřenou rovnicí, jinak dojde k přerušení regulace. Hodnoty dosažené do rovnice byly získány z dokumentace[1], účinnost byla určena pro dané vstupní napětí z grafu. Pro náš případ byla vybrána cívka 10 μ H, pro kterou vychází při zadaných parametrech a daném vstupním napětí proudová mez více než 805,9 mA. Použití cívky s vyšší indukčností již nevede k výraznějšímu nárůstu změny omezení.

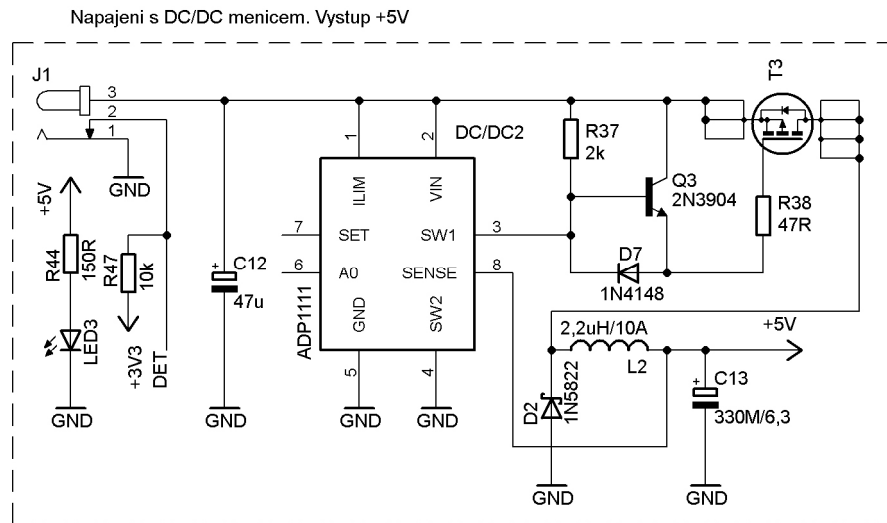
V dokumentaci[1] je ještě uveden výběr kondenzátoru. Je doporučován kondenzátor v rozmezí 47 μ F – 100 μ F. Byl vybrán kondenzátor 100 μ F z důvodu větší stability výstupního napětí z DC/DC měniče.

Napájecí zdroj +5 V

U napájecího zdroje s výstupním napětím +5 V je použit DC/DC měnič ADP1111-5. Tento DC/DC měnič může pracovat jako snižující, zvyšující nebo měnič vytvářející záporný potenciál[26].

Měnič je zapojen jako snižující, jelikož má být dosaženo širokého rozsahu vstupního napětí z externího zdroje. Existují i lineární stabilizátory napětí v podobě integrovaných obvodů s širokým rozsahem vstupních napětí, ale použití těchto stabilizátorů není nijak efektivní, jelikož se veškerá přebytečná energie mění v teplo a daný obvod se podle velikosti protékajícího proudu značně zahřívá.

Zvolený DC/DC měnič má rozsah vstupních napětí od 2 V do 30 V. Maximální výstupní proud je 1,5 A[26]. Výstupní proud je možné omezit zapojením odporu mezi vstupní svorku, kde je připojen externí zdroj a vývod DC/DC měniče ILIM.



Obrázek 3.4 – Zapojení napájecího zdroje +5 V

Výstupní napětí z DC/DC měniče má hodnotu +5 V, která se pohybuje v rozsahu $\pm 5\%$, což je vyžadováno pro napájení Embedded serveru[14]. Zapojení napájecího zdroje je na obrázku 3.4.

DC/DC měnič může spínat i vyšší proudy, ale je nutno použití externího tranzistoru, který posílí výkonovou část zdroje a je dimenzován na žádané hodnoty. Toho bylo v našem případě využito použitím externího tranzistoru T_3 typ IRF7416. Jedná se o unipolární tranzistor s kanálem typu P. Dané zapojení je převzato z dokumentace DC/DC měniče [26].

Hodnota indukčnosti cívky se vypočítá z maximálního špičkového proudu. Špičkový proud je dán vztahem[26]:

$$I_{PEAK} = \frac{2I_{OUT}}{DC} \cdot \left(\frac{U_{OUT} + U_D}{U_{INmin} - U_{SW} + U_D} \right) = \frac{2 \cdot 1,5}{0,5} \cdot \left(\frac{5 + 0,5}{8 - 1,5 + 0,5} \right) = 4,71A \quad (3.4)$$

I_{OUT} – výstupní proud [A], $I_{OUT} = 1,5A$

DC – střída spínání, $DC = 0,5$

U_{OUT} – výstupní napětí [V], $U_{OUT} = 5V$

U_{INmin} – minimální vstupní napětí [V], $U_{IN} = 8V$

U_D – úbytek na diodě D_2 , $U_D = 0,5V$

U_{SW} – saturační napětí na spínacím tranzistoru, $U_{SW} = 1,5V$

Doporučená hodnota indukčnosti se poté vypočítá:

$$L = \frac{U_{INmin} - U_{SW} - U_{OUT}}{I_{PEAK}} \cdot t_{ON} = \frac{8 - 1,5 - 5}{4,71} \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 2,22\mu H \quad (3.5)$$

t_{ON} – doba sepnutí vnitřního spínače, připojení konce cívky na zem [s], $t_{ON} = 7 \mu\text{s}$

Pro zvolený výstupní proud 1,5 A a minimální vstupní napětí vyšla hodnota indukčnosti cívky 2,2 μH . V dokumentaci[26] jsou také uvedeny rady k výběru kondenzátoru. Není tolik kladen důraz na celkovou kapacitu výstupního kondenzátoru, ale je vyžadován tantalový kondenzátor, který má lepší vliv na vyhlazení napětí při spínání.

Ovládací část pro dobíjení baterií

Zadání požaduje, aby byla baterie při připojení externího zdroje dobíjena. Schéma dobíjecí části je na obrázku 3.3 spolu se schématem DC/DC měniče. Pro nabíjení baterie byla zvolena nejjednodušší varianta, a tou je nabíjení přes odpor, jehož hodnota určuje nabíjecí proud. Jelikož jsou použity baterie o kapacitě 1800 mAh, byla hodnota odporu stanovena podle následujícího vzorce. Hodnota nabíjecího proudu byla stanovena na 0,1 C, to znamená na jednu desetinu kapacity baterií. Kapacita baterií při sériovém zapojení zůstává stejná, a proto hodnota nabíjecího proudu je 180 mA.

$$R_{22} = \frac{U_{CC} - U_{SW-T2} - U_{bat}}{I_{nab}} = \frac{5 - 0,2 - 3,6}{0,18} = 6,66\Omega \quad (3.6)$$

U_{CC} – napájecí napětí [V], $U_{CC} = 5 \text{ V}$

U_{SW-T2} – saturační napětí sepnutého tranzistoru [V], $U_{SW-T2} = 0,2 \text{ V}$

U_{bat} – celkové napětí baterií řazených sériově [V], $U_{bat} = 3,6 \text{ V}$

I_{nab} – nabíjecí proud [A], $I_{nab} = 180 \text{ mA}$

Nejbližší vyráběná hodnota odporu je 6,8 Ω . Aby byl odpor dostatečně výkonově dimenzován, byl vybrán odpor s maximální výkonovou ztrátou 2 W. V případě použití dojde ke zvýšení nabíjecího proudu na hodnotu 353 mA. Tato okolnost není na závadu, jelikož je napájecí zdroj i spínací proud dostatečně dimenzován.

Při nabíjení baterií dochází k jejich zahřívání. Existuje řada metod, které se využívají při nabíjení. V této práci je využito metody, která sleduje pokles napětí baterie, začne-li se přebíjet. Hodnota napětí baterie je průběžně sledována během nabíjení a pokud klesne napětí baterie o 5 mV, tak se spínací tranzistor T2-2 rozpoj. Řídicí algoritmus zprostředkovává mikrokontrolér. Aby baterie nebyly vybíjeny napájením DC/DC měniče, tak je zátěž pomocí tranzistoru T2-1 odpojena. Umístění ovládací části je v levé části obrázku 3.3 publikovaného výše.

Dané řešení však obsahuje jeden nedostatek. Každá baterie je totiž rozdílně vybíjena a má nepatrně odlišné parametry. Proto při měření napětí baterií zapojených do série mohou tyto skutečnosti způsobovat chyby měření, a tím může dojít i k přebíjení baterií, čímž se výrazně snižuje jejich životnost.

3.2.2 Analogová část

Při návrhu analogové části bylo třeba dávat pozor na velikosti vstupních napětí. Jelikož je analogová část určena pro měření a následně napětí se převádí v A/D převodníku, musí být dodržen maximální měřicí rozsah. Ten je dán hodnotou referenčního napětí 2,5V[25]. Proto je i na periferní desce zapojen zdroj referenčního napětí s použitým obvodem LM385-2,5. Analogová část obsahuje:

Teploměr

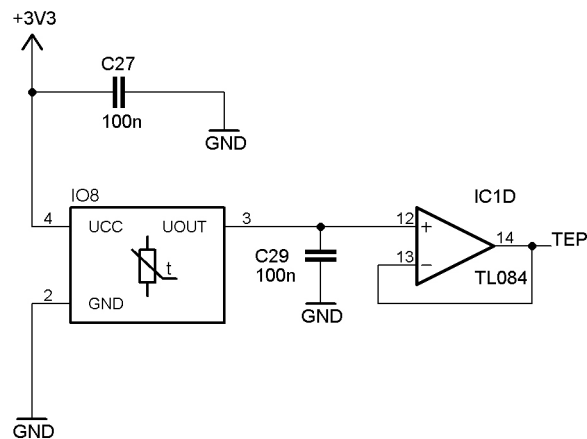
Napěťové vstupy 0 – 10 V s možností symetrického vstupu

Proudovou smyčku 0 – 20 mA

Sledování napětí baterie

Teploměr

Jak již bylo uvedeno v teoretické části, nepotřebuje snímač teploty žádné přídavné vyhodnocovací zařízení. Snímač teploty je přes oddělovací zesilovač zapojen k A/D převodníku. Z důvodu větší stability výstupního napětí se na vstup a výstup obvodu připojují kondenzátory o hodnotě 100 nF. Pokud je snímač použit v podmínkách, kde je vyšší úroveň rušení, tak je výrobcem[31] doporučeno zapojení dolní propusti na výstup snímače k omezení šumu, který má charakter vysokofrekvenčního signálu. Zapojení snímače do obvodu je na obrázku 3.5



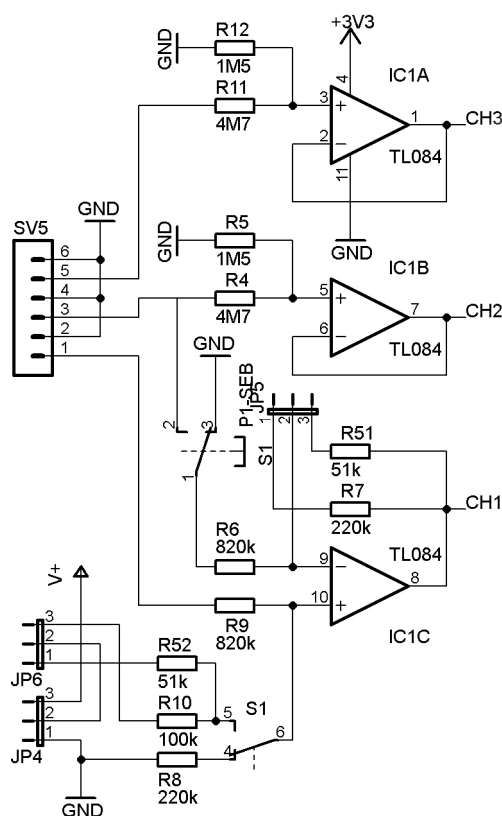
Obrázek 3.5 – Zapojení snímače teploty

Napět'ové vstupy 0 – 10 V

Napět'ové vstupy jsou realizovány jako tři nezávislé vstupní kanály. Vstupní kanály CH2 a CH3 jsou využity pouze k měření vstupních napětí proti zemi. Kanál CH1 umožňuje při sepnutém spínači S1 měřit i v diferenčním zapojení. To umožňuje měřit symetrická napětí.

Zapojení kanálů CH2 a CH3 je stejné. Na vstupu mají odporový dělič, ze kterého je napětí vedeno do operačního zesilovače zapojeného jako oddělovací zesilovač. Je to z toho důvodu, že při neinvertujícím zapojení nelze dosáhnout nižšího zesílení než jedna. Jelikož má být umožněno měření napětí v rozsahu 0 – 10 V, musí mít odporové děliče přenos maximálně $\frac{1}{4}$ nebo nižší, aby bylo napětí vstupující do A/D převodníku minimálně čtyřikrát nižší. Tato podmínka je dána maximálním měřicím rozsahem použitého A/D převodníku. Měřicí rozsah určuje hodnota referenčního napětí vstupujícího do A/D převodníku. Zdrojem referenčního napětí je obvod LM385-2,5, popsáný výše. Přenos vstupních děličů se vypočítá[12]:

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_{12}}{R_{11} + R_{12}} = \frac{1,5 \cdot 10^6}{4,7 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 10^6} = 0,242 \quad (3.7)$$



Obrázek 3.6 – Schéma zapojení napět'ových vstupů

Přesnější hodnoty přenosu děliče s použitím pevných odporů bohužel nelze dosáhnout, jelikož se nevyrábí odpory s hodnotami, které jsou potřeba. Přesného dělicího poměru je možno dosáhnout použitím sériového řazení odporů nebo trimru, což je v daném případě zbytečné. Hodnota odporů v děliči byla volena tak, aby bylo dosaženo dostatečně vysokého vstupního odporu a došlo ke snížení proudu odebíraného z měřené aplikace.

Na obrázku 3.6 je vidět celé zapojení vstupní části. Kanály 2 a 3 jsou zapojeny podle výše zmíněného popisu. První kanál obsahuje modifikaci s přepínačem, který umožňuje po jeho přepnutí měřit symetrická napětí. Po přepnutí přepínače S1 s dvěma póly dojde ke změně zapojení a vznikne tak diferenční zapojení. Současně dojde k přepnutí odporu ve vstupním děliči připojeného k neinvertujícímu vstupu na druhý odpor R10 nebo R52 (podle zapojení zkratovací propojky), čímž se změní zesílení. Ve zpětné vazbě zesilovače je také možné pomocí propojek měnit hodnotu odporu mezi hodnotou 51 kΩ nebo 220 kΩ. také. Ke změně dochází z důvodu, aby byl dodržen měřící rozsah A/D převodníku. Pokud platí $R_7 = R_{10}$ a $R_6 = R_9$ platí pro diferenční zapojení vztah pro přenos zesilovače [12]

$$U_{OUT} = \frac{R_{10}}{R_9} (U_+ - U_-) \quad [V] \quad (3.8)$$

$$K = \frac{R_{10}}{R_9} = \frac{100 \cdot 10^3}{820 \cdot 10^3} \approx 0,122 \quad [-] \quad (3.9)$$

Pokud je však přepínač v poloze, kdy je kanál CH1 určen pro měření nesymetrických napájení, není přenos stejný jako u dalších dvou kanálů. To způsobuje zpětná vazba operačního zesilovače a jiné hodnoty odporů. Výsledný přenos je roven dělicímu poměru vstupního děliče tvořeného odpory R_9 a R_8 a dále zesílení operačního zesilovače. Přenos prvního kanálu je roven [12]:

$$K = \frac{R_8}{R_8 + R_9} \cdot \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) = \frac{220 \cdot 10^3}{220 \cdot 10^3 + 820 \cdot 10^3} \cdot \left(1 + \frac{110 \cdot 10^3}{820 \cdot 10^3}\right) = 0,2115 \cdot 1,122 \approx 0,2373 \quad (3.10)$$

Proudová smyčka 0 – 20 mA

Proudová smyčka se používá pro přenos informací ve formě velikosti proudu. Výhodou je, že je více odolnější proti různým typům rušení na rozdíl od napěťových signálů. Existuje také proudová smyčka v rozsahu 4-20 mA, která dále umožňuje detekci přerušení vedení. Pro realizaci proudové smyčky je třeba navrhnout vstupní a výstupní část.

Vstupní část je tvořena odporem, na kterém vzniká úbytek napětí způsobený velikostí protékajícího proudu. Napětí je přes oddělovací zesilovač přivedeno na A/D

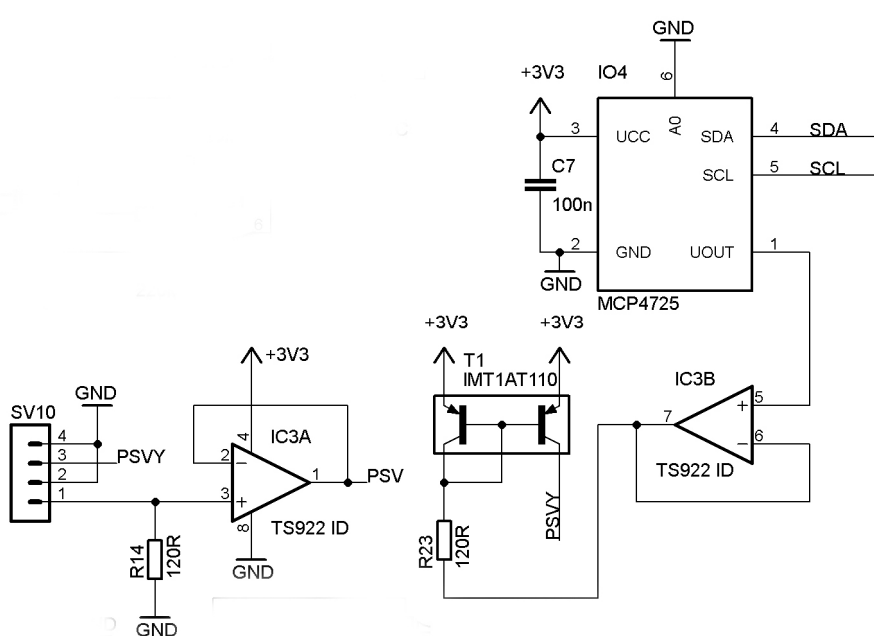
převodník, jehož hodnota je po převodu do digitální podoby přes komunikační sběrnici I₂C odeslána do mikrokontroléru. Zesilovač je zapojen jako oddělovací. Hodnota odporu, na němž vzniká výsledný úbytek, byla stanoven v souladu s rozsahem A/D převodníku podle vztahu:

$$R_{14} = \frac{U_{ADref}}{I_{CLMAX}} = \frac{2,5}{0,02} = 125\Omega \approx 120\Omega \quad (3.11)$$

U_{ADref} – Referenční napětí udávající rozsah A/D převodníku [V], $U_{ADref} = 2,5$ V

I_{CLMAX} – Maximální proud proudové smyčky [A], $I_{CLMAX} = 20$ mA

Nejbližší hodnota vyráběného odporu je 120 Ω, který je v zapojení použit. Díky nižší hodnotě je zachován určitý odstup od maximální hodnoty.



Obrázek 3.7 – Schéma zapojení obvodů pro realizaci proudové smyčky 0 – 20 mA

Jelikož se jedná o analogovou část, tak je pro realizaci výstupní části byl použit D/A převodník. Výstupní napětí z D/A převodníku je připojeno na operační zesilovač TS922 ID, a to jen z toho důvodu, aby nebyl převodník namáhán odebíraným proudem. Operační zesilovač TSS922 ID je typu rail to rail[35], to znamená, že výstupní napětí může dosáhnout hodnoty, která se shoduje s hodnotou napájecího napětí. Umožňuje také dodávat vyšší proud až 80 mA, při této hodnotě je již výstup považován, že je zkratován. Ze zesilovače napětí vstupuje do spodní části proudového zrcadla. Jednodušší realizace proudového zrcadla je použitím NPN tranzistorů v daném zapojení[13]. To však s sebou nese problém, že zátěž není uzemněna přímo, ale přes jeden tranzistor. Proto bylo vybráno řešení s PNP tranzistory[13], kde je již zátěž přímo uzemněna. Aby se poměr zrcadlení, co možná nejvíce blížil poměru 1:1, je jedním z požadavků, aby byly tranzistory na jedné teplotě. Proto byly vybrány tranzistory, které

jsou integrovány na jednom čipu, čímž dojde k minimalizaci vlivu rozptylu parametrů. Schéma zapojení je na obrázku 3.7. Jak je možno vidět, je zapojení proudového zrcadla modifikováno, a to tak, že kolektor tranzistoru T1 není přes odpor R_{23} připojen přímo na zem, jak bývá obvyklé, ale je k němu připojen výstup z operačního zesilovače od D/A převodníku. Touto modifikací je získána možnost regulace výstupního proudu na základě velikosti vstupního napětí. Dojde však k otočení rozsahu, to znamená, že pokud je na výstupu OZ maximální hodnota, blíží se hodnota proudu nule a naopak. K otevření tranzistorů dojde po překročení hodnoty prahového napětí mezi přechody B-E. Typická hodnota prahového napětí je stanovena na 0,7 V. Za tohoto předpokladu bude výstupní napětí v rozsahu pracovat 0 – 2,5 V pro napájecí napětí 3,3 V.

Hodnota budícího odporu R_{23} se stanoví na základě [13]:

$$R = \frac{(U_{DA} - U_{CE})}{\left(I_{Cmax} + 2 \cdot \frac{I_{Cmax}}{\beta} \right)} = \frac{3,3 - 0,7}{0,02 + 2 \cdot \frac{0,02}{200}} \approx 125\Omega \Rightarrow 120\Omega \quad (3.12)$$

U_{DA} – napětí vystupující z D/A převodníku [V]

U_{CE} – prahové napětí přechodu C-E [V], $U_{CE} = 0,7$ V

I_{Cmax} – maximální hodnota výstupního proudu [A], $I_{Cmax} = 20$ mA

β – koeficient proudového zesílení tranzistoru [-], $\beta = 200$

Bohužel neexistuje odpor o hodnotě 125 Ω , proto byla zvolena nižší hodnota, jinak by nebylo dosaženo rozsahu 0 – 20 mA, případné odchylky budou korigovány úpravou výstupního napětí z D/A převodníku.

3.2.3 Digitální část

Většinu komponent periferní desky tvoří digitální obvody. Následující kapitola se bude zabývat jejich vlastnostmi a komunikací s nadřazeným systémem.

Komunikační I²C sběrnice

Při návrhu propojení digitálních obvodů byla zvolena sběrnice I²C jako komunikační rozhraní mezi řídicí jednotkou (mikrokontrolérem) a ostatními obvody. Je to z toho důvodu, že na sběrnici je možné připojit až 128 popřípadě 1024 zařízení, a pro komunikaci jsou použity jen dva vodiče SCL a SDA, čímž ušetříme počet V/V pinů mikrokontroléru. V praxi je skutečnost trochu jiná. Je to dáno tím, že se nedá definovat všech 7 bitů popř. 10 bitů adresy zařízení. Ve většině případů je možno definovat pouze jeden či dva bity adresy zařízení nebo je adresa pevně daná. Vodič SDA slouží k přenosu dat a vodič SCL je použit k synchronizaci [18].

V klidovém stavu je na obou vodičích log. 1, která je udržována přes pull-up rezistory. Komunikace po sběrnici může probíhat ve standardním módu, kdy se frekvence pohybuje okolo 100 kHz, dále v rychlém módu je frekvence 400 kHz a v módu s vysokou rychlostí dokáže komunikace probíhat při frekvenci až 1MHz.

Zařízení	Adresa zařízení	Tvar nejvýznamnějšího bajtu	Kapacita vstupů I ₂ C
A/D převodník ADS7828	48 H	90 H R/W = 0 91 H R/W = 1	nezjištěno
Akcelerometr MMA7455L	1D H	3A H R/W = 0 3B H R/W = 1	nezjištěno
D/A převodník MCP4725	60 H	C0 H R/W = 0 C1 H R/W = 1	C _{SDA} = 3 pF C _{SCL} = 3 pF
Paměť EEPROM M24M01	25 H - 6 4A H 4B H	94 H b16 = 0 R/W = 0 95 H b16 = 0 R/W = 1 96 H b16 = 1 R/W = 0 97 H b16 = 1 R/W = 1	C _{SDA} = 8 pF C _{SCL} = 8 pF
Rozšiřující obvod – I/O rozšiřující modul – PCA9539	74 H	E8 H R/W = 0 E9 H R/W = 1	C _{SDA} = 3 - 7 pF C _{SCL} = 3 - 7 pF
RTC obvod PCF8563	51 H	A2 H R/W = 0 A3 H R/W = 1	C _{SDA} = 7 pF C _{SCL} = 7 pF

Mikrokontrolér má teoretickou hodnotu kapacity na vstup 10 pF. U některých obvodů nebyla kapacita digitálních komunikačních vstupů SDA a SCL z dokumentace zjištěna. Proto bude uvažována vyšší hodnota kapacit na vstup 8 pF. Ještě je třeba uvážit kapacitu vedení. Jelikož je mikrokontrolér umístěn na druhé desce, což má vliv na zvýšení kapacity, tak jsme dospěli k závěru, že by se měla kapacita pohybovat pouze v řádech pF. Kapacitu vedení jsme stanovili na hodnotu 10 pF. Celková kapacita I₂C sběrnice vychází C_b = 61 pF. Podle následujících vzorců můžeme vypočítat hodnoty pull-up odporů[24].

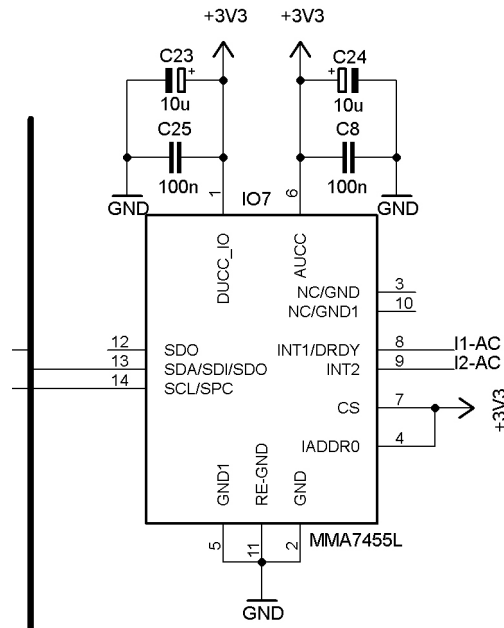
$$R_{\min} = \frac{U_{cc} - 0,4V}{3mA} = \frac{3,3 - 0,4}{3 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,9}{3} \cdot 10^3 = 0,966k\Omega = 966\Omega \quad (3.13)$$

$$R_{\max} = \frac{300ns}{C_b} = \frac{300 \cdot 10^{-9}}{61 \cdot 10^{-12}} = \frac{300}{61} \cdot 10^3 = 4,9k\Omega \approx 4,7k\Omega \quad (3.14)$$

Byla vybrána hodnota pull-up odporů v horní polovině možného rozsahu 4,7 kΩ. Hodnota se sice blíží maximální možné hodnotě, ale daná velikost odporů byla vybrána z hlediska snížení spotřeby pro komunikační sběrnici a je nechána i určitá rezerva, kdyby byla kapacita vedení vyšší.

Zapojení akcelerometru

V dokumentaci[3] je uvedeno, že je adresa pevně daná. Ale obvod obsahuje vstup IADDR0, kterým by měl být definován nultý bit adresy. Tento vstup je připojen na napájecí napětí. K akcelerometru jsou připojeny ještě další dva kondenzátory o vyšších kapacitách, aby byla zajištěna stabilita napětí a nevznikaly chyby měření, které by způsobovaly výkyvy napájecího napětí. Na obrázku 3.8 je zobrazeno výsledné zapojení.



Obrázek 3.8 – Schéma připojení akcelerometru do obvodu

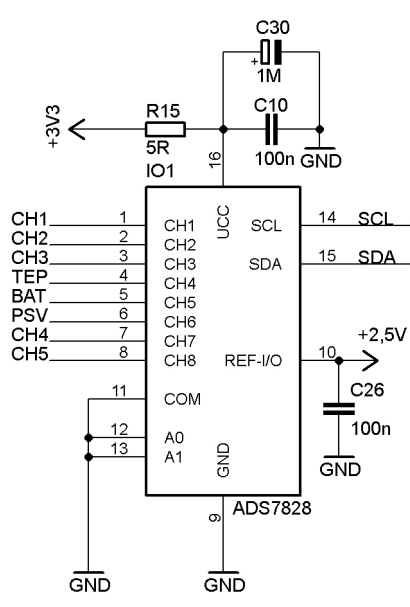
Z akcelerometru jsou ještě vyvedeny výstupy přerušování, které jsou přivedeny na port A mikroprocesoru. Díky tomu může procesor reagovat efektivněji na podněty daného měřicího zařízení. Komunikace s akcelerometrem bude probíhat přes I₂C sběrnici, a proto jsou vývody SDA a SCL ke sběrnici připojeny. Vývod CS je připojen k napájecímu napětí, to znamená, že je akcelerometr po celou dobu činnosti jednotky aktivní.

A/D převodník

Před napájecím vývodem A/D převodníku je umístěn odpor o hodnotě 5 Ω, který spolu s kondenzátorem C₃₀ tvoří dolní propust. Tato dolní propust má omezit rušivá napětí vedoucí po napájecím vedení. Dané řešení bylo doporučeno v publikaci[4]. Kondenzátor C₁₀ slouží jako blokovací kondenzátor.

K první třem vstupům A/D převodníku jsou připojeny výstupy operačních zesilovačů, které jsou navrženy pro měření napětí v rozsahu 0 – 10 V. Na další vývody A/D převodníku je přivedeno napětí ze snímače teploty, z baterie, ze vstupní strany

proudové smyčky a z dvou přidanych napěťových vstupů, které však obsahují pouze odporové děliče.



Obrázek 3.9 – Schéma zapojení A/D převodníku

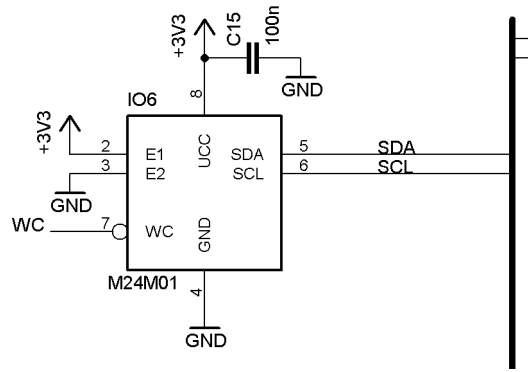
Adresu zařízení je možné definovat připojením vývodů A0 a A1, buď na napájecí napětí nebo na zemnicí vodič. A/D převodník má připojeny vývody SDA a SCL na komunikační sběrnici I₂C.

K vývodu REF-I/O je připojeno napětí referenčního zdroje, které určuje konečný měřicí rozsah A/D převodníku. Při převodu napětí na číselnou hodnotu je potenciál vstupu vztažen k zemnicímu vývodu COM, pokud se tedy nejedná o diferenční zapojení. Zapojení A/D převodníku do obvodu je zobrazeno na obrázku 3.9.

Paměť EEPROM

Adresovací vstup E1 musí být připojen na napájecí napětí, jelikož došlo ke kolizi adresového bajtu s jiným zařízením. Adresovací vstup E2 je připojen na zem. Daným zapojením je definována adresa zařízení. Paměť EEPROM komunikuje s mikrokontrolérem přes rozhraní I₂C, ke kterému je vývody SDA a SCL připojena.

Blízko napájecí části je umístěn blokovací kondenzátor, který má odstranit špičky napájecího napětí. Vstup pro ochranu proti nevyžádanému zápisu je připojen k bráně A mikrokontroléru, který má možnost ovládní zabezpečení zápisu. Schéma zapojení je na obrázku 3.10.

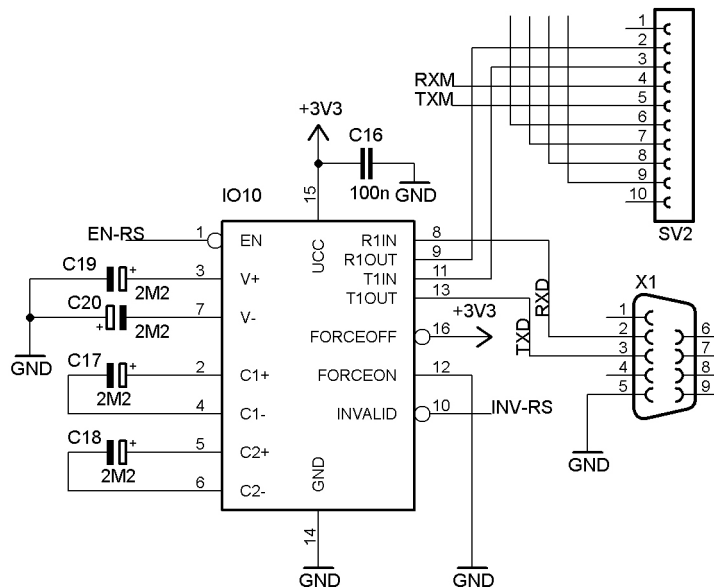


Obrázek 3.10 – Schéma připojení paměti EEPROM do obvodu

Převodník napět'ových úrovní

Schéma připojení obvodu je na obrázku 3.11. K obvodu jsou připojeny čtyři kondenzátory o velikosti 2 μF , které používají nábojové pumpy pro dosažení potřebné úrovně napětí.

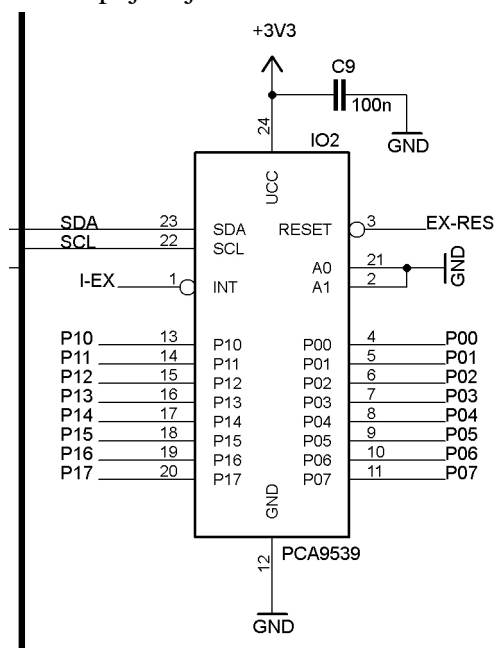
Pro aktivaci přijímací části slouží vývod EN(Enable), který je připojen k mikrokontroléru, čímž je možno odpojovat přijímací část obvodu ICL3221, a tím dosáhnout nižší spotřeby tohoto zařízení. Zapojení konektoru CANNON9 je třívodičové bez možnosti řízení toku[19]. K mikrokontroléru je připojen také výstup INVALID, který svou hodnotou indikuje platnost dat. Vstupy FORCEON a FORCEOFF jsou zapojeny tak, aby byl mód automatického vypnutí zapnut.



Obrázek 3.11 – Schéma zapojení převodníku napět'ových úrovní

Rozšiřující obvod

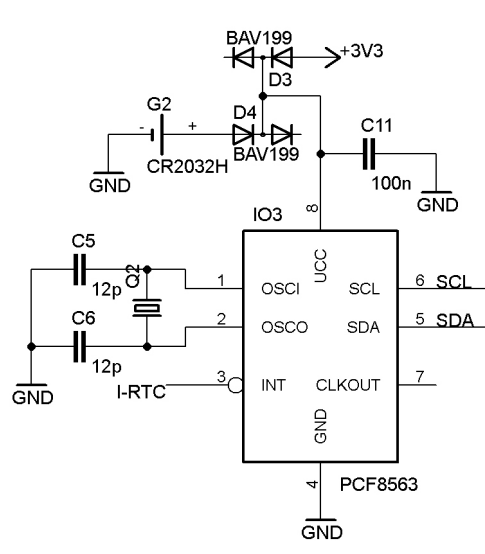
Rozšiřující obvod má dvě 8-bitové vstupně výstupní brány. Každá brána je připojena ke konektoru s 10 kontakty umístěných ve dvou řadách. K připojení ke konektoru se používá plochý kabel s odpovídající zástrčkou. Vývody EX-RES a I-EX jsou připojeny na port A mikrokontroléru. Tím je možno obvod resetovat. Vývod I-EX slouží k vyvolání přerušení mikrokontroléru. Přerušení je důsledkem změny hodnoty na vývodech jednotlivých bran. Tímto je možno efektivně zjišťovat změny stavů na vstupech. Rozšiřující obvod je připojen k I²C sběrnici, po které komunikuje s mikrokontrolérem. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 3.12.



Obrázek 3.12 – Schéma zapojení rozšiřujícího obvodu

RTC obvod

K RTC obvodu je připojen krystal Q_2 o frekvenci 32,768 kHz. Krystal je použit pro generování hodinových impulzů. Pokud je napájecí napětí odpojeno, je obsah paměťových registrů vymazán. Aby byla hodnota registrů uchována, tak je k obvodu připojena záložní baterie s napětím +3 V. Záložní baterie dodává napětí pouze v případě odpojení napájecího zdroje. Je-li totiž připojen napájecí zdroj, tak je dioda D_4 polarizována závěrně vlivem rozdílů potenciálů mezi napájecím napětím a napětím baterie. Dioda BAV199 byla vybrána z důvodu nízkého závěrného proudu, který záložní baterii vybíjí. Dané řešení bylo použito již v publikaci [11]. Hodnoty kondenzátorů připojených ke krystalu byly určeny na základě parametrů udané výrobcem krystalu. Schéma zapojení RTC obvodu je na obrázku 3.13.



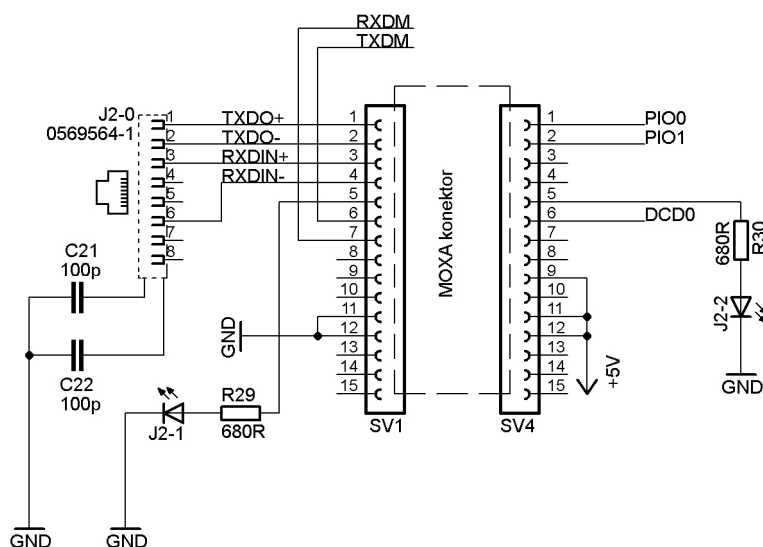
Obrázek 3.13 – Schéma zapojení RTC obvodu

Vývod přerušení I-RTC je připojen k mikroprocesoru přes bránu portu A. Mikrokontrolér komunikuje s RTC obvodem přes I₂C rozhraní, ke kterému je obvod připojen.

Bootloader s embedded serverem NE4100-T

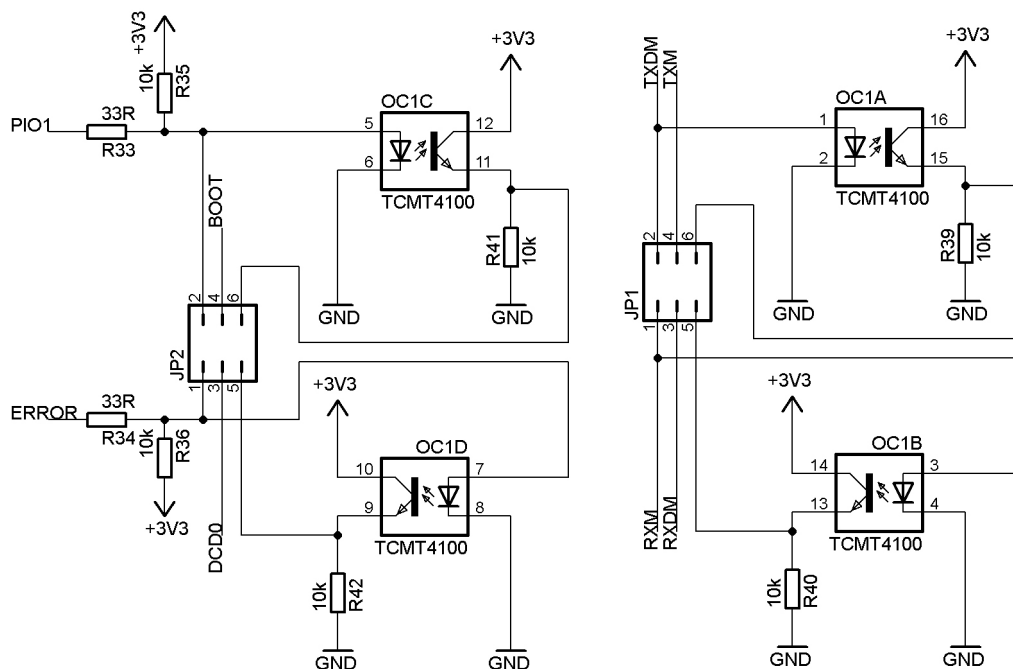
Server NE4100-T zprostředkovává komunikaci mezi mikrokontrolérem a sítí Ethernet. Mikrokontrolér se serverem komunikuje přes sériovou linku. Jelikož je již využito USART rozhraní pro komunikaci s rozhraním RS-232 a mikrokontrolér obsahuje dvě USART rozhraní, byl serveru připojen na druhé rozhraní, aby se komunikace vzájemně neovlivňovaly.

Schéma zapojení bylo získáno v publikaci[10] a je možné je získat i přímo na stránkách výrobce[16]. Do mikroprocesoru jdou kromě signálu TX a RX také další signály. Jedná se o signály BOOT a ERROR, které slouží k ověření správnosti přenosu a dále se využívají při činnosti programování paměti programu. Server je také propojen s externím RESETem mikroprocesoru. Mikroprocesor je totiž resetován během programování. Bylo opět využito zapojení[10]. Jak je v publikaci uvedeno, je použit unipolární tranzistor MOSFET z důvodu, že při stisku tlačítka RESETu by došlo k nežádoucímu nárůstu proudu. Diody konektoru pracují při napětí 2,1 V, a proto byly do série s diodami zapojeny předřadné odpory. Jelikož deska se serverem obsahuje 26 pinů, tedy na každé straně 13, proto je uspořádání desky navrženo tak, že je možné modul serveru do periferní desky přímo zasunout. Ke konektoru RJ-45 jsou připojeny dva kondenzátory z důvodu ochrany proti elektrostatickým výbojům. Celé zapojení je na obrázku 3.14.



Obrázek 3.14 – Schéma zapojení obvodu realizující bootloader

Protože je server napájen +5 V a z dokumentace[14][16] nebyly zjištěny napěťové úrovně signálu digitálních vstupů a výstupů, dá se očekávat, že signály budou mít vyšší hodnotu napětí, než je povolená hodnota pro vstupní napětí mikrokontroléru, který je napájen napětím +3,3 V. Proto je mezi digitální vstupy a výstupy zapojen čtyřnásobný optočlen TCMT4100, který slouží ke galvanickému oddělení. Tím je zaručeno, že se nedostane napětí s vyšší hodnotou na vývod mikrokontroléru, které by mohlo vést i k jeho zničení. Schéma zapojení optočlenu je na obrázku 3.15



Obrázek 3.15 – Schéma zapojení oddělovací části

3.3 Firmware

Řídicí člen univerzální mikropočítačové jednotky komunikuje s periferními obvody, které jsou umístěny na periferní jednotce. Komunikace probíhá přes rozhraní I²C, SPI a USART.

Mikroprocesor řídí komunikační jednotky, vysílá žádosti, stahuje data a získaná data zpracovává. Dané činnosti by nemohl vykonávat bez požadovaného firmwaru. Proto bude v této části rozebrán popis návrhu jednotlivých částí firmwaru.

Na úvod bude popsán typ použitého programovacího prostředí, aby bylo jasné, ve kterém prostředí daný firmware vznikal.

3.3.1 Programovací prostředí

AVR Studio verze 4.18 SP3 bylo využito k vytváření firmwaru. Jedná se o programovací prostředí vyvinuté speciálně pro mikrokontroléry vyráběné firmou ATMEL. Prostedí umožňuje komunikaci s programovacími jednotkami, které vyvinula firma ATMEL.

Programovací prostředí nabízí v základu vytváření programu v Assembleru. V dnešní době se již upouští od programování v jazyku Assembler. Novější programy bývají programovány v jazyku ANSI-C. Programování v jazyku ANSI-C umožňuje získání větší přehlednosti vytvářených programů. Přejechod mezi Assemblerem a ANSI-C je možný z toho důvodu, jelikož jednotlivé funkce z jazyka ANSI-C lze vyjádřit složením základních funkcí Assembleru. AVR Studio poskytuje překladač, který umožňuje generovat zdrojový kód z jednoho jazyka do druhé a naopak. Nevýhodou programů vytvářených v jazyku ANSI-C je skutečnost, že po přeložení a vytvoření zdrojového kódu zabírá zdrojový kód více místa. To však v dnešní době není na závadu, jelikož moderní mikroprocesory disponují dostatek paměti programu typu Flash.

AVR Studio obsahuje AVR-GCC Plugin, který uživateli poskytuje veškeré prostředky pro vytváření programu v jazyku ANSI-C. Vytvořený program je následně zkompileován a z něj je vygenerován zdrojový kód, který má již vhodný tvar pro správnou interpretaci programu v mikroprocesoru[36].

3.3.2 Programovací jednotka

Jako programovací jednotka bylo vybráno zařízení AVR Dragon, které vyrábí firma ATMEL. AVR dragon umožňuje programování přímo v aplikaci ISP, programování a ladění přes rozhraní JTAG, sériové programování s vyšším napětím a paralelní programování. Vývojový prostředek AVR Dragon je plně podporován programovacím prostředím AVR Studio.

Vývojový prostředek AVR dragon měl být použit k programování a ladění vytvořené aplikace přes rozhraní JTAG. Vzhledem k nepřesným údajům na stránkách výrobce bylo později zjištěno, že daný vývojový prostředek umožňuje ladění mikroprocesorů s pamětí programu do velikosti 32 kB. Bohužel použitý procesor v univerzální mikropočítačové jednotce má velikost paměti programu 64 kB. Proto by musel být použit jiný vývojový prostředek pro možnost využití funkce ladění programu přímo na čipu. V AVR Studiu byla odzkoušena komunikace přes JTAG rozhraní, které umožňuje zápis do paměti programu, čtení a zápis Fuse a Lock bitů, čtení signatury, zápis a čtení paměti dat EEPROM. Při pokusu ladění uživatelského programu byl mikroprocesor odmítnut a zobrazilo se chybové hlášení, že ladění pro daný typ mikroprocesoru není vývojovým prostředkem podporován[37].

Proto jsem se rozhodl, že k programování využiji ISP, které umožňuje programování zařízení přímo v zapojené aplikaci. Při ISP programování se pro komunikaci používá SPI rozhraní. Mikroprocesor se k vývojovému prostředku 6 vodiči, i když SPI rozhraní má jen tři signály. Zapojení konektoru ISP je uvedeno v tabulce 3.5.

Vývod 1	MISO	UTG	Vývod 2
Vývod 3	SCK	MOSI	Vývod 4
Vývod 5	RESET	GND	Vývod 6

Tabulka 3.5 - Zapojení konektoru pro ISP rozhraní[37]

Signály MISO, MOSI a SCK jsou signály příslušející SPI rozhraní. K vývojovému prostředku se připojuje vstup RESET, aby mohla jednotka podle potřeby mikroprocesor resetovat. Vzájemně jsou propojeny signálové země mikroprocesoru a programovací jednotky. Posledním signálem, který se k vývojovému prostředku AVR Dragon připojuje je signál UTG. Signál UTG se připojí na napájecí napětí mikroprocesoru. Tím programovací jednotka sleduje napájecí napětí mikroprocesoru a podle toho upravuje úroveň logických signálů[37]. Díky tomu je možno programovat mikroprocesor, který je zapojen v cílové aplikaci a má rozdílnou hodnotu napájecího napětí než +5 V.

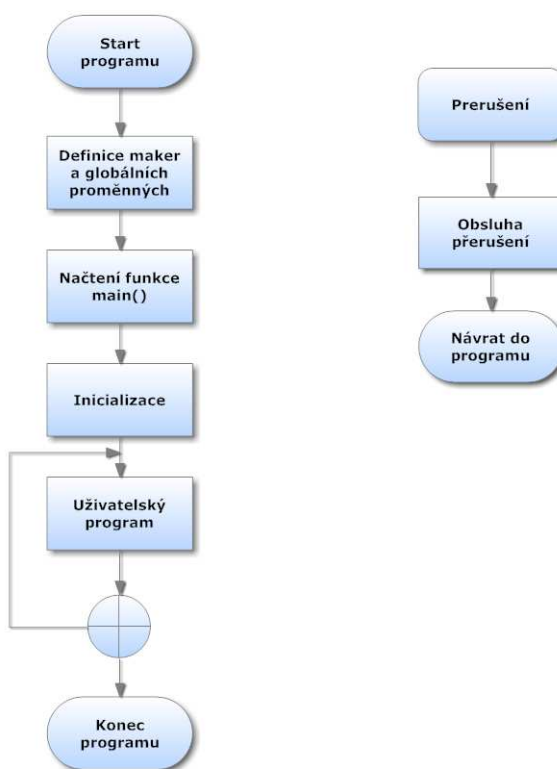
3.3.3 Firmware univerzální mikropočítačové jednotky

Při vytváření firmwaru je nezbytné v počátku naprogramovat některé Fuse bity.

Mikrokontrolér má z výroby nastaven jako zdroj hodinového signálu vnitřní RC oscilátor o kmitočtu 8 MHz. Dále je z výroby nastaveno, že kmitočet generovaného signálu je dělen osmi. Na procesorové jednotce je však umístěn krystal o zvolené frekvenci, který je vybrán pro generování hodinový impulsů. Aby mohl být využit, je třeba naprogramovat Fuse bity, které slouží pro nastavení parametrů systémového času. Jedná se o Fuse bity CKSEL[0:3] a SUT[0:0]. Pomocí Fuse bitu CKDIV8 je možno ovládat činnost děličky kmitočtu o hodnotě dělení 8. Výhodou programovacího

prostředí AVR Studio je, že se není třeba zabývat hodnotou jednotlivých bitů. AVR studio přímo definuje módy nastavení systémových hodin a děličky kmitočtu[24].

Vlastní program vytvářený v jazyku ANSI-C musí vždy obsahovat funkci *main()*. Do funkce se umísťují příkazy vykonávající potřebné funkce. Aby byl program vykonáván cyklicky, obsahuje funkce *main()* uzavřený cyklus. Cyklus běží pořád dokola. Jediným prostředkem, jak se z něj na určitou dobu dostat je, že se dojde k vyvolání obslužné funkce vlivem přerušení. Mimo cyklus jsou umístěny inicializace používaných částí mikrokontroléru. Na obrázku 3.16 je zobrazen základní vývojový diagram chodu programu. Uživatelský program je ukončen pouze tehdy, je-li splněna podmínka pro ukončení běžícího cyklu.



Obrázek 3.16 - Vývojový diagram chodu programu

Na začátku programu je definice umístění používaných hlavičkových souborů. Hlavičkové soubory obsahují odkazy na používané funkce. Dále je odkazováno na hlavičkové soubory, které definují ukazatele na adresy používaných registrů mikroprocesoru. Příkaz *sfr* slouží k přiřazení adres daným ukazatelům. Díky tomu je možno přistupovat ke všem registrům pomocí definovaných názvů ukazatelů, čímž je výrazně usnadněno programování a zvýší se také přehlednost programu. Jsou používány již vytvořené hlavičkové soubory pro daný typ mikroprocesoru, které obsahuje programovací rozhraní AVR Studio.

Přerušení

Přerušení je reakce na podnět, který může být vytvořen interními jednotkami, které jsou umístěny uvnitř mikrokontroléru. Přerušení může také vzniknout reakcí na vnější podněty, například přivedením signálu na vstup externího přerušení INT0.

Aby mohlo být pracováno s přerušeními, je třeba povolit globální přerušení ve stavovém registru SREG a povolit přerušení v řídicích registrech dané interní jednotky[24], jejíž reakce na přerušení bude využívána.

Jakmile dojde k přerušení je zavolána potřebná obslužná rutina. Volání rutiny se provádí na základě tabulky vektorů přerušení. Obsluha přerušení je definována jako funkce, která je vyvolána bez ohledu na chod programu.

V programovacím jazyku Keil-C[38] se obslužná rutina přerušení definuje následovně:

```
void Timer1_Interrupt(void) interrupt 4
```

Definice obslužné rutiny v programovacím prostředí AVR Studio je poněkud odlišná:

```
ISR(interrupt_vector)
```

Seznam vektorů je definován pro každý mikroprocesor odlišně podle implementovaných funkcí. Definice vektorů přerušení je uvedena v tabulce 3.6. Pro definici tabulky vektorů a obslužných funkcí přerušení se používá hlavičkový soubor *Interrupt.h*.

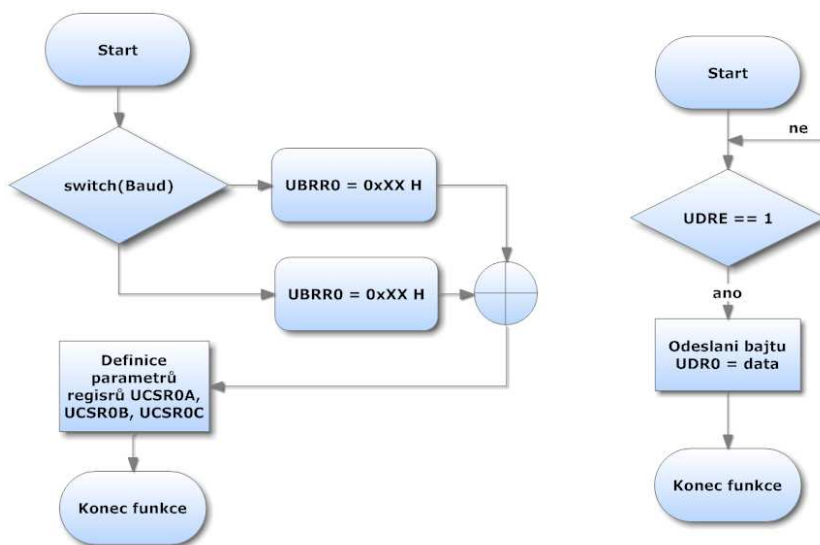
Číslo vektoru	Programová adresa	Interrupt_vector	Popis
1	\$0000	RESET	Přerušení vyvolané vnitřním RESETem
2	\$0002	INT0	Vnější přerušení 0
3	\$0004	INT1	Vnější přerušení 1
4	\$0006	INT2	Vnější přerušení 2
5	\$0008	PCINT0	Programovatelné externí přerušení 0
6	\$000A	PCINT1	Programovatelné externí přerušení 1
7	\$000C	PCINT2	Programovatelné externí přerušení 2
8	\$000E	PCINT3	Programovatelné externí přerušení 3
9	\$0010	WDT	Přerušení od WatchDog obvodu
10	\$0012	TIMER2_COMPA	Přerušení A srovnávacího módu T2
11	\$0014	TIMER2_COMPB	Přerušení B srovnávacího módu T2
12	\$0016	TIMER2_OVF	Přerušení při přetečení T2
13	\$0018	TIMER1_CAPT	Přerušení při detekci záchytné události
14	\$001A	TIMER1_COMPA	Přerušení A srovnávacího módu T1
15	\$001C	TIMER1_COMPB	Přerušení B srovnávacího módu T1
16	\$001E	TIMER1_OVF	Přerušení při přetečení T1
17	\$0020	TIMER0_COMPA	Přerušení A srovnávacího módu T0
18	\$0022	TIMER0_COMPB	Přerušení B srovnávacího módu T0
19	\$0024	TIMER0_OVF	Přerušení při přetečení T0

20	\$0026	SPI_STC	Přenos po SPI rozhraní dokončen
21	\$0028	USART0_RX	Příjem na USART0 dokončen
22	\$002A	USART0_UDRE	Prázdný datový registr USART0
23	\$002C	USART0_TX	Vysílání na USART0 dokončen
24	\$002E	ANALOG_COMP	Přerušení od analogového komparátoru
25	\$0030	ADC	Převod A/D převodníku dokončen
26	\$0032	EE_READY	Paměť EEPROM je připravena
27	\$0034	TWI	Přerušení od rozhraní TWI - I ² C
28	\$0036	SPM_READY	Úložiště paměti programu připraveno
29	\$0038	USART1_RX	Příjem na USART1 dokončen
30	\$003A	USART1_UDRE	Prázdný datový registr USART1
31	\$003C	USART1_TX	Vysílání na USART1 dokončen

Tabulka 3.6 - Tabulka vektorů přerušení[24]

Sériová linka

Jelikož není k univerzální mikro počítačové jednotce připojena žádná zobrazovací jednotka a používaný vývojový prostředek neumožňuje ladění použitého mikroprocesoru, bylo nejvyšší prioritou naprogramování sériového rozhraní RS-232, které je v první fázi použito právě pro zobrazování hodnot získaných univerzální mikro počítačovou jednotkou.



Obrázek 3.17 - Vývojový diagram funkcí sériové linky

Jsou vytvořeny dvě funkce. První funkce *USART0_Init(int baud rate)* slouží pro inicializaci sériového rozhraní. V této funkci jsou nastavovány parametry řídicích registrů UCSRA, UCSRB a UCSRC, v kterých se aktivuje přijímací a vysílací část, obsahují informace o přenosu a jeho chybách a slouží k povolení přerušení od sériového rozhraní USART0. Vstupním parametrem funkce je velikost přenosové rychlosti sériového rozhraní. Funkce podle vstupního parametru určí hodnotu 12-ti bitového

registru UBRR0, který určuje hodnotu dělicího poměru pro výpočet přenosové rychlosti. Výhodou mikroprocesoru je, že přenosová rychlost již není odvozována od hodnoty, kterou určovaly časovače. Parametry přenosu jsou nastaveny následovně:

- Počet bitů: 8
- Parita: Žádná
- Počet Stop bitů: 1
- Řízení toku: Žádné

Druhá vytvořená funkce *USART0_Write(unsigned char data)* se používá k odeslání jednoho bajtu. Datový bajt je vstupní parametrem této funkce. Funkce ověřuje, je-li výstupní registr UDR0 prázdný. Ověření je prováděno zkoumáním bitu UDRE. Dané řešení by se však dalo modifikovat použitím přerušování.

Data získaná z A/D převodníku se převádí podle určených konstant. Převedená čísla jsou uložena do datové typu float. Aby bylo možno data odeslat po bajtech sériovým rozhraním, je použita funkce *rprintfFloat(char numDigits, double x)*, která je získána ze zdrojového kódu *rprintf.c*. Vstupem této funkce je číslo uložené v datovém typu float nebo double a počet vypisovaných míst za desetinou čárkou. Funkce byla podle potřeb program upravena.

I₂C rozhraní

V dokumentaci[24] mikroprocesoru ATMEGA644P nenajdeme označení I₂C. Místo toho je rozhraní označeno jako TWI(Two-wire Serial Interface). Důvody tohoto označení rozhraní jsou výlučně věcí výrobce.

Komunikace po rozhraní I₂C probíhá podle stanoveného standardu[18]. Komunikaci řídí arbit(MASTER), který vysílá požadavky na podřízené stanice SLAVE a ty na požadavky odpovídají. MASTER generuje signál sloužící k synchronizaci SCL. Nejdříve je vyslána startovací podmínka, následuje adresa zařízení, která bývá 7-bitová a poslední bit určuje, jestli se bude jednat o zápis nebo čtení ze zařízení SLAVE.

Jestliže adresa zařízení souhlasí, může MASTER číst nebo zapisovat zařízení SLAVE identifikované právě danou adresou. Data po sběrnici I₂C jsou posílána v osmibitových rámcích. Je možné vysílat nebo přijímat velké množství těchto rámců. K ukončení komunikace mezi MASTER a SLAVE stanicí dochází po vyslání stop podmínky.

Na desce univerzální mikropočítačové jednotky je umístěna většina obvodů, které jako komunikační rozhraní používají I₂C sběrnici. Každé zařízení má však odlišnou délku vysílaných nebo přijímaných dat, a proto nebylo možné vytvořit univerzální funkci pro vysílání a příjem po I₂C sběrnici. Proto bylo přistoupeno k řešení, že jednotlivé části dávající dohromady celý formát přenášeného rámce jsou rozděleny na menší funkce. Jejich řazením za sebou vznikne potřebný formát datového rámce

pro zahájení přenosu, přenos dat ze zařízení a ukončení přenosu na základě požadavků zařízení. Vznikly tak funkce:

```

I2C_Init()
I2C_Start()
I2C_Stop()
I2C_Address(unsigned char device, unsigned char R_W)
I2C_Write(unsigned char data)
unsigned char I2C_Read( unsigned char ACK_NACK)

```

Vytvořené funkce využívají tři registry TWI rozhraní. Jedná se o registr TWCR, pomocí něj je řízena komunikace po TWI rozhraní. Dále jsou to registry TWSR a TWDR. Registr TWSR je Status registr TWI rozhraní a obsahuje informace o průběhu přenosu. Poslední dva bity slouží k nastavení dělicího poměru pro výpočet frekvence generovaného synchronizačního signálu SCL[24]. Registr TWDR je 8-bitový datový registr rozhraní TWI. Data se do něj ukládají pokud se jedná o zápis na sběrnici, nebo se z něj načítají, to v případě, když se ze sběrnice data čtou. Uspořádání bitů v registru TWCR je uvedeno v tabulce[24].

TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE
7	6	5	4	3	2	1	0

Tabulka 3.7 - Uspořádání bitů v registru TWCR[24]

TWINT - Příznak přerušení TWI - pokud rozhraní TWI dokončilo aktuální činnosti, je bit nastaven

TWEA - Řízení generování bitu ACKNOWLEDGE - používá se v případě příjmu většího počtu datových rámců

TWSTA - Je-li bit nastaven, bude generována start podmínka

TWSTO - Je-li bit nastaven, bude generována stop podmínka

TWWC - Detekce kolize na TWI rozhraní

TWEN - TWI Enable - povolení činnosti TWI rozhraní

TWIE - Povolení přerušení od TWI rozhraní. Musí však být nastaven bit I v SREG, který povolí globální přerušení.

K inicializaci TWI rozhraní a nastavení frekvence synchronizačního signálu SCL je definována funkce *I2C_Init*. Funkce se umísťuje na začátek funkce *main()* mimo hlavní cyklus program, jelikož stačí jedna inicializace TWI rozhraní. Frekvence synchronizačního signálu je dána vztahem[24]:

$$f_{SCL} = \frac{f_{osc}}{16 + 4 \cdot TWBR \cdot 2^{TWPS}} = \frac{9216000}{16 + 4 \cdot 9 \cdot 2^1} = 104kHz \quad (3.15)$$

TWBR - Hodnota registru určující poměr dělení kmitočtu [-]

TWPS - Hodnota před-děličky kmitočtu [-]

f_{osc} - frekvence hodnového signálu [Hz]

Funkce *I2C_Start()* generuje startovací podmínku. Startovací podmínka je generována nastavením bitů TWINT, TWSTA a TWEN. Bit TWINT je poté vynulován a funkce čeká do doby než je znovu nastaven, což indikuje že požadovaná činnost proběhla.

Funkce *I2C_Stop()* generuje stop podmínku. Princip je podobný jako u funkce generující start podmínku jen s tím rozdílem, že musí být nastaveny bity TWINT, TWSTO a TWSTO.

Funkce *I2C_Address* má za úkol vyslat na sběrnici adresu SLAVE zařízení, se kterým má být komunikováno. Má v sobě definovány adresy všech zařízení umístěných na univerzální mikropočítačové jednotce. Podle vybraného zařízení a typu přenosu, zda-li půjde o čtení nebo zápis je ve funkci vytvořen adresovací byte. Funkce poté odešle adresu přes I₂C sběrnici a to tak, že adresu uloží do datového registru TWDR. Při zápisu do datového registru musí být hodnota bitu TWINT 1, jinak dojde ke kolizi, která je indikována bitem TWWC. Následně funkce čeká dokud není adresový byte odeslán, opět indikaci zajišťuje bit TWINT.

Poslední dvě definované funkce *I2C_Read* a *I2C_Write* slouží k příjmu nebo vysílání dat. Dané funkce vysílají data po jednotlivých bajtech. Vysílání je zajištěno uložení datového bytu do datového registru TWDR. V opačné případě, jde-li o čtení, jsou dat z registru načítána. Při čtení dat je možností funkce *I2C_Read* nastavení, zda-li bude MASTER potvrzovat data pomocí ACK. Toho se využívá, pokud se čte více datových rámců jdoucích za sebou. Poslední přijímaný datový rámec je totiž potvrzen bitem NACK.

Komunikace s A/D převodníkem

Komunikace s A/D převodníkem probíhá přes sběrnici I₂C. Pro dané zařízení byla vytvořena funkce *float A_D_Convert(unsigned char Channel, unsigned char SingleEnded, unsigned char Power_down)*. Pomocí této funkce lze jednoduše získat data z A/D převodníku.

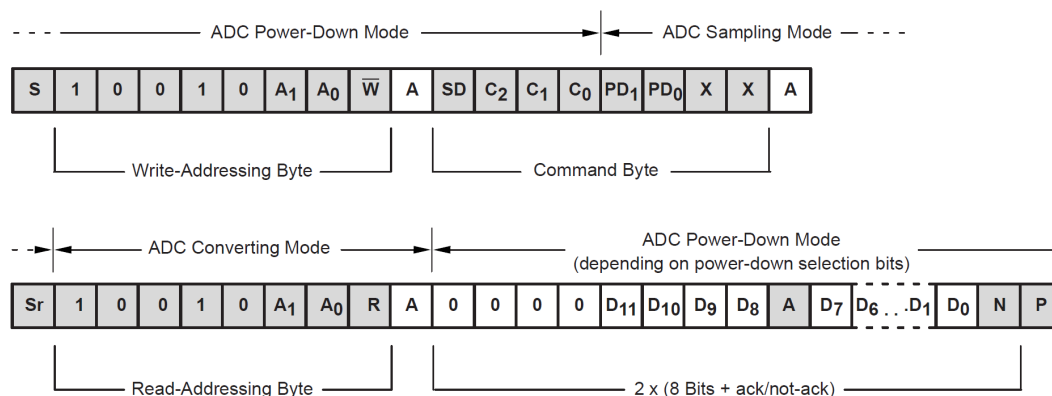
Samotná funkce je navržena tak, aby poskytovala určitou formu abstrakce. To znamená, že uživatel vytvářející program s A/D převodníkem zadává pouze parametry výběru měřicího kanálu - proměnná *Channel*, dále jestli bude měření probíhat mezi zemí, nebo jestli je potenciál vstupu vztažen k sousednímu vývodu (diferenční měření) - proměnná *SingleEnded* a posledním vstupním parametrem funkce je proměnná *Power_Down* pomocí ní se nastavuje spínání celků A/D převodníku z důvodu omezení spotřeby. Proměnná pro výběr požadovaného kanálu je definována pro hodnoty 0-7, tedy vybraný kanál koresponduje s číselnou hodnotou zadanou jako parametr proměnné. Proměnná *SingleEnded* má definovány hodnoty pouze 0 a 1. Pokud je zadána jako 0,

bude měření probíhat v diferenčním zapojení. V opačném případě je vstupní napětí měřeno proti zemi. Módy omezení spotřeby jsou uvedeny v tabulce.

Hodnota <i>Power_Down</i>	Mód
0	Vypnutí všech částí mezi převody
1	Vnitřní reference vypnuta, A/D převodník zapnut
2	Vnitřní reference zapnuta, A/D převodník vypnut
3	Vnitřní reference zapnuta, A/D převodník zapnut

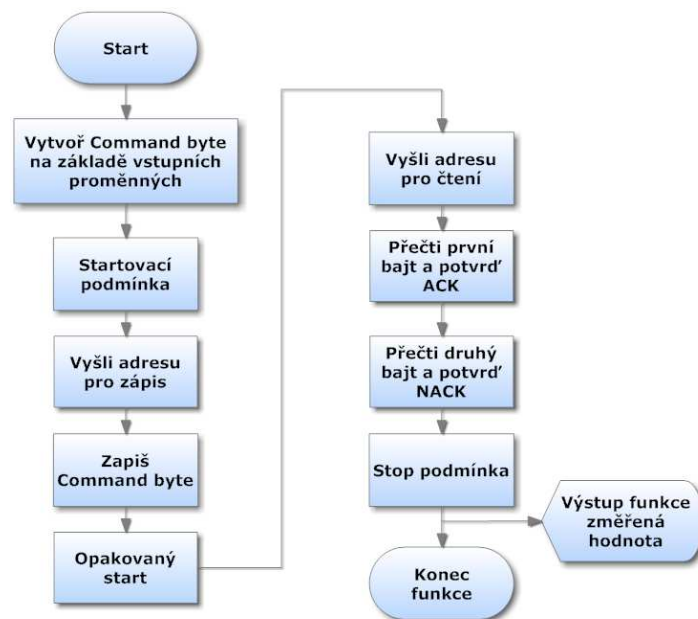
Tabulka 3.8 - Módy řízení spotřeby A/D převodníku [4]

Zadáním těchto vstupních parametrů funkce je vygenerován datový rámec, označený v dokumentaci[1] jako COMMAND BYTE. Funkce poté obsahuje komunikační část. Komunikační část vznikla poskládáním jednotlivých funkcí definující parametry přenosu po I₂C rozhraní. Vývojový diagram funkce je zobrazen na obrázku 3.19. Pro lepší pochopení jsou na obrázku 3.18 zobrazeny datové rámce, které se používají pro komunikaci s A/D převodníkem. Formát datových rámců a jejich pořadí je striktní, jinak by komunikace nefungovala.



Obrázek 3.18 - Formát rámců přenosu u A/D převodníku ADS7828[4]

Data jsou stahována tak, že je vyslán adresový byte, který odpovídá zápisu do zařízení. Přijetí adresy je potvrzeno bitem ACK od stanice SLAVE. Poté vyšle MASTER Command Byte, který se nastaví výše popsané parametry. Následuje opakované vyslání startovací podmínky, po které následuje adresový byte odpovídající módu čtení. Po potvrzení již A/D převodník vysílá dva datové bajty odpovídající převedené hodnotě napětí. Master po přijetí prvního bajtu vysílá potvrzení ve formě bitu ACK a po druhém bajtu potvrzuje bitem NACK. Poté je komunikace ukončena vysláním stop podmínky. Tento postup se opakuje při každém stahování dat z A/D převodníku.



Obrázek 3.19 - Vývojový diagram funkce pro řízení A/D převodníku

4 ZÁVĚR

Diplomová práce vznikla za účelem návrhu univerzální mikropočítačové jednotky, která bude vykonávat požadované funkce, které jsou uvedeny v zadání.

Prvotním úkolem byl výběr použitého mikroprocesoru, který bude celé zařízení řídit. Přes všechny vzniklé problémy se podařilo vybrat 8-bitový mikroprocesor AVR od firmy Atmel typ ATMEGA644P. Přínosem diplomové práce je porovnání třech zkoumaných mikroprocesorů a popis rozdílů.

Jakmile byl vybrán daný typ mikroprocesoru, přešlo se k návrhu mikropočítačové jednotky. Obsah a požadavky zadání jsou značně rozsáhlé. Samotný výběr vhodných obvodů realizující dané funkce univerzální mikropočítačové jednotky nebyl lehkým úkolem. Použité obvody a jejich parametry byly dostatečně teoreticky rozebrány a popsány v této práci, aby bylo zřejmé, jak použitá zařízení realizující dané funkce pracují a případně to pomohlo čtenáři pochopit důvody výběru právě daných integrovaných obvodů. Požadavkem práce je, aby obvody měly nízkou spotřebu a také nízkou cenu. Tyto požadavky byly zohledněny při jejich výběru. Většina použitých obvodů má minimální spotřebu a dokonce obsahují módy, které umožňují ještě vyšší snížení spotřeby. Obvody byly vybírány s ohledem na jejich cenu. Samozřejmě určitý výkon zařízení a cena jsou dvě protichůdné věci, proto byl v některých případech volen kompromis.

Po výběru obvodů následovala samotná konstrukce. Samotná konstrukce však měla jediný hlavní nedostatek, a ten byl, že nebyl přesně předem dán typ zdroje (baterie, externí zdroj) a velikost napájecího napětí. To v důsledku vedlo k tomu, že musel být návrh napájecího zdroje častokrát modifikován, což protahovalo průběh samotné konstrukce. Přes vzniklé okolnosti se podařilo provést návrh celé konstrukce univerzální mikropočítačové jednotky a provést ji. Při konstrukci vznikly dvě desky plošného spoje. Na první desce je umístěn pouze mikroprocesor s vyvedenými V/V porty. Deska má rozměry 47 x 57 mm. Na druhé desce jsou umístěny všechny periferní obvody, pomocí nichž jsou realizovány funkce ze zadání. Tato deska má rozměry 152 x 102 mm. Při jejich návrhu byl kladen důraz na co nejmenší rozměry.

Jejich oživení bylo úspěšné. Projevily se sice vady, které byly při návrhu opomenuty, ale veškeré vady byly odstraněny. Bylo přistoupeno k vývoji firmwaru mikroprocesoru, který má celou jednotku řídit. Podařilo se vytvořit univerzální funkce pro komunikaci s rozhraními RS-232 a I²C. Pomocí daných rozhraní byla navázána komunikace s A/D převodníkem a připojeným počítačem, kde byla stažená data zobrazována. Bohužel se kvůli průtahům při konstrukci zařízení nepodařilo vytvořit celkový program, a tak odzkoušet všechna zařízení a demonstrovat všechny funkce univerzální mikropočítačové jednotky.

Práce má však obrovský přínos v jejím samotném návrhu a konstrukci. Jedná se opravdu o univerzální mikročítačovou jednotku, která poskytuje široké spektrum použití a dala by se využít v mnohých aplikacích.

Celé zařízení může být dokončeno v případě dokončení celkového firmwaru a odzkoušení funkcí jednotlivých bloků.

Literatura

- [1] STMicroelectronics. *L6920DB* [online]. 13-Oct-2006 [cit. 2010-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/48182.pdf>>.
- [2] Texas Instruments. *REMOTE 16-BIT I2C AND SMBus LOW-POWER I/O EXPANDER WITH INTERRUPT OUTPUT, RESET, AND CONFIGURATION REGISTERS* [online]. SCPS130E [cit. 2010-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/pca9539.pdf>>.
- [3] Freescale Semiconductor. *±2g/±4g/±8g Three Axis Low-g Digital Output Accelerometer* [online]. MMA7455L [cit. 2010-12-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/47838.pdf>>.
- [4] Texas Instruments. *12-Bit, 8-Channel Sampling ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER with I2C™ Interface* [online]. SBAS181C [cit. 2010-12-5]. Dostupný z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads7828.pdf>>.
- [5] Philips. *PCF8563 Real time clock/calendar* [online]. 9397 750 12999 [cit. 2010-12-5]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/60445.pdf>>.
- [6] STMicroelectronics. *M24M01-HR, M24M01-R, M24M01-W* [online]. 12943 REV.7 [cit. 2010-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/12943/m24m01-r.pdf>>.
- [7] AVX. *NJ 28 – NI 24 – NK 20* [online]. [cit. 2010-11-8]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/86141.pdf>>.
- [8] Intersil. *ICL3221, ICL3222, ICL3223, ICL3232, ICL3241, ICL3243* [online]. FN4805.15 [cit. 2010-12-9]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/76732.pdf>>.
- [9] Microchip. *MCP4725 12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory in SOT-23-6* [online]. DS22039C [cit. 2010-12-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/37979.pdf>>.
- [10] VÁGNER, M.: *Vzdálená správa jednočipových systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 92 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Kučera, Ph.D.

- [11] DOHNAL, P. *Záznamník/přehrávač s kartou SD*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 49 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.
- [12] VOREL, Pavel; PATOČKA, Miroslav. *Řídicí elektronika - 2. díl*. [s.l.] : [s.n.], 2004. Operační zesilovače, s. 72-113.
- [13] FELD ČVUT. *Zdroje proudu - teorie* [online]. [cit. 2010-12-4]. Dostupný z WWW: <www.micro.feld.cvut.cz/.../05b%20-%20zdroje%20proudu%20-%20teorie.doc>.
- [14] MOXA. *NE-4100 Series* [online]. [cit. 2010-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.moxa.com/doc/specs/NE-4100_Series.pdf>.
- [15] MOXA. *NE-4100T recommend circuit design* [online]. [cit. 2010-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.moxa.com/doc/manual/NE/4100/Circuit/4100T/v1.2/NE4100Tcircuit_12.pdf>.
- [16] MOXA. *NE-4100 Series User's Manual v. 9* [online]. [cit. 2010-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.moxa.com/doc/man/NE-4100_Series_Users_Manual_v9.pdf>.
- [17] Electronic Lives. *How to use MMC/SDC* [online]. [cit. 2011-04-03]. Dostupný z WWW: <http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html>.
- [18] Philips Semiconductors. *The I²C-bus specification* [online]. v2.1.[cit. 2010-12-3]. Dostupný z WWW: <<http://i2c2p.twibright.com/spec/i2c.pdf>>.
- [19] HW Server. *HW server představuje - Sériová linka RS-232* [online]. [cit. 2010-11-5]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/rs-232>>.
- [20] Atmel Corporation. *AVR505: Migration between ATmega16/32 and ATmega164P/324P/644P* [online]. 8001C-AVR-06/06 [cit. 2010-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8001.pdf>.
- [21] Atmel Corporation. *AVR508: Migration from ATmega644 to ATmega644P* [online]. 8038A-AVR-07/06 [cit. 2010-03-12]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8038.pdf>.
- [22] Atmel Corporation. *AVR527: Migrating from ATmega164P/324P/644P to ATmega164PA/324PA/644PA* [online]. 8190C-AVR-08/09 [cit. 2010-03-12].

- Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8190.pdf>.
- [23] Atmel Corporation. *ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P* [online]. 8272A–AVR–01/10 [cit. 2010-04-28]. Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8272.pdf>.
- [24] Atmel Corporation. *ATmega164P/V, ATmega324P/V, ATmega644P/V* [online]. 80110–AVR–07/10 [cit. 2010-12-17]. Dostupný z WWW:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8011.pdf>.
- [25] National Semiconductor. *LM185-1.2/LM285-1.2/LM385-1.2* [online]. DS005518, January 2000 [cit. 2010-11-10]. Dostupný z WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/934/934-047/dsh.934-047.1.pdf>.
- [26] Analog devices. *Datasheet ADP1111* [online]. D08365-0-11/09(A) [cit. 2010-02-18]. Dostupný z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADP1111.pdf>.
- [27] International Rectifier. *Datasheet IRF5810* [online]. PD -94198A, 1/13/03 [cit. 2010-01-15]. Dostupný z WWW:
<<http://www.farnell.com/datasheets/52388.pdf>>.
- [28] International Rectifier. *Datasheet IRF7416* [online]. PD - 9.1356D, 8/25/97 [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/915/915-023/dsh.915-023.1.pdf>.
- [29] ROHM. *Datasheet EMT1/UMT1N/IMT1A* [online]. Rev. C [cit. 2010-12-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.rohm.com/products/databook/tr/pdf/umt1n.pdf>>.
- [30] Vishay Semiconductors. *Datasheet TCMT11.. Series/ TCMT4100* [online]. Rev. 1.6, 26-Oct-04 [cit. 2011-02-09]. Dostupný z WWW:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/6/0erfslatdarxjtzjjejp56w8jcdfy.pdf>>
- [31] Microchip. *Datasheet MCP9700/MCP9700A* [online]. Revision E, April 2009 [cit. 2011-03-01]. Dostupný z WWW:
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf>>
- [32] STMicroelectronics. *Datasheet STPS1L30* [online]. Rev. 6, August 2004 [cit. 2011-11-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/83885.pdf>>

- [33] Texas Instruments. *Datasheet LM317* [online]. SLVS044H – SEPTEMBER 1997 – REVISED DECEMBER 2001 [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/331/331-004/dsh.331-004.1.pdf>
- [34] SEMTECH Electronics LTD. *Datasheet M1 THRU M7* [online]. 14.04.2008 [cit. 2011-04-23]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/917/917-016/dsh.917-016.1.pdf>
- [35] STMicroelectronics. *Datasheet TS922/TS922A* [online]. Doc ID 5150 Rev 8 [cit. 2011-05-06]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/925/925-030/dsh.925-030.1.pdf>
- [36] Atmel Corporation. *Novice's Guide to AVR Development* [online]. [cit. 2011-05-15]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/novice.pdf>
- [37] GM electronic. *AVR Dragon návod k použití* [online]. Rev. 1.6, 26-Oct-04 [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/752/752-534/czn.752-534.1.pdf>
- [38] RICKEY'S WORLD. *Functions in Keil C* [online]. 2010 [cit. 2011-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.8051projects.net/keil-c-programming-tutorial/functions.php>>

SEZNAM SYMBOLŮ

R[Ω]	Elektrický odpor
U[V]	Elektrické napětí
L[H]	Indukčnost
I[A]	Elektrický proud
C[F]	Elektrická kapacita
f [Hz]	Kmitočet
K [-]	Přenos, zisk, zesílení
t [s]	Čas
t [°C]	Teplota
a [m/s ²]	Zrychlení

Seznam zkratek

CPU.....	Central processor unit
ALU	Aritmetic logic unit
SP.....	Stack Pointer
SREG	Status Register
PC.....	Program Counter
EEPROM	Electrically-erasable programmable read-only memory
SRAM	Static Random Access Memory
MIPS	Million Instructions Per Second
CISC.....	Complex Instruction Set Computer
RISC.....	Reduced Instruction Set Computer
PWM.....	Pulse Width Modulation
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
SPI.....	Serial Peripheral Interface
JTAG.....	Joint Test Action Group
PGA	Programmable Gain Amplifier
GND.....	Ground
ISP.....	In-System Programming
TWI.....	Two-wire seriál interface
I ₂ C	Inter Integrated Circuit Bus
INT.....	Interrupt

Seznam příloh

- Příloha 1. CD s obsahem diplomové práce a s zdrojovým kódem
- Příloha 2. Schéma zapojení procesorové jednotky – formát A4
- Příloha 3. Schéma zapojení periferní jednotky – formát A3
- Příloha 4. Obrázek plošného spoje procesorové jednotky
- Příloha 5. Osazovací plán procesorové jednotky
- Příloha 6. Fotografie procesorové jednotky
- Příloha 7. Obrázek plošného spoje periferní jednotky – strana součástek
- Příloha 8. Obrázek plošného spoje periferní jednotky – strana spojů
- Příloha 9. Osazovací plán periferní jednotky
- Příloha 10. Fotografie periferní jednotky
- Příloha 11. Fotografie periferní jednotky s připojenou procesorovou jednotkou a serverem
- Příloha 12. Seznam použitých součástek procesorové jednotky
- Příloha 13. Seznam použitých součástek periferní jednotky