

Nastavitelný zdroj řízený mikroprocesorem

Microprocessor Controlled Regulated Power Supply

Martin Řezníček

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin ŘEZNÍČEK**
Osobní číslo: **A07312**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Nastavitelný zdroj řízený mikroprocesorem**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s mikropočítači rodiny Freescale HC(S)08 a vyberte typ vhodný pro danou aplikaci.
2. Navrhněte hardwarové řešení zapojení zdroje se zvoleným mikropočítačem.
3. Realizujte navržené zařízení
4. Vytvořte programové vybavení pro řízení zdroje.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. MC9S08QE128 Data Sheet [online]. Freescale Semiconductor, 2008 [cit. 2010-01-25]. Dostupný z URL:>http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QE128.pdf<.
2. MC9S08EQ128, QE96, QE64 Reference Manual [online]. Freescale Semiconductor, 2007 [cit. 2010-01-22]. Dostupný z URL:>http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08QE128RM.pdf<.
3. CPU08 Central Processor Unit Reference manual [online]. Freescale Semiconductor, 2006 [cit. 2010-01-25]. Dostupný z URL:>http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/CPU08RM.pdf<.
4. BEZDĚK, Miroslav. Elektronika I. České Budějovice: KOPP, 2008. 341 s. ISBN 978-80-7232-365-4.
5. ANTOŠOVÁ, Marcela, DAVIDEK, Vratislav. Číslicová technika. České Budějovice: KOPP, 2009. 308 s. ISBN 978-80-7232-394-4.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Dolinay

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

5. března 2010


Termín odevzdání bakalářské práce:

1. června 2010

Ve Zlíně dne 5. března 2010


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o konstrukční a programové realizaci regulovaného zdroje napětí a proudu. Bude zde zkráceně popsána celá konstrukce. Začátek práce je věnován teorii zdrojů proudu, napětí a teorii stěžejních komponentů. Postupně je vysvětleno programové vybavení s názornými ukázkami programu a vývojových diagramů, popis konkrétně využitých součástí, včetně funkce a jejich začlenění do celé konstrukce. Příloha obsahuje schémata, okomentovaný zdrojový kód pro mikrokontrolér a fotodokumentaci.

Klíčová slova:

Nastavitelný zdroj, mikrokontrolér, převodník, posuvný registr, napětí, proud

ABSTRACT

This thesis deals with development of software and hardware of functional laboratory power supply. The entire structure will be briefly described. Beginning of the work is devoted to the theory of sources of current, voltage, and the theory of main components. The software for controlling the power supply is described with examples of source code and flow charts; there is also description of used electric components including function and their usage in the construction. Supplement contains schematics, described source code for MCU and photo-documentation.

Keywords:

Regulated Power Supply, microcontroller, converter, shift register, voltage , current

Vedoucím bakalářské práce je Ing. Jan Dolinay, kterému chci poděkovat za cenné rady při softwarové realizaci a za čas věnovaný bakalářské práci.

Motto

“

Neříkej, že to nejde, raději řekni, že to zatím neumíš.

”

Tomáš Baťa (*1876 - †1932)

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OBECNÁ TEORIE	11
1.1 IDEÁLNÍ A REÁLNÝ ZDROJ KONSTANTNÍHO NAPĚTÍ.....	11
1.1.1 Imaginární zdroj napětí	11
1.1.2 Reálný zdroj napětí	12
1.2 IDEÁLNÍ A REÁLNÝ ZDROJ KONSTANTNÍHO PROUDU	14
1.2.1 Ideální zdroj proudu	14
1.2.2 Reálný zdroj proudu	16
2 TEORIE POUŽITÝCH SOUČÁSTÍ	18
2.1 A/D PŘEVODNÍK	18
2.2 D/A PŘEVODNÍK	20
2.3 POSUVNÝ REGISTR	20
2.3.1 Posuvný registr typu SIPO	20
2.3.2 Posuvný registr typu PISO	22
2.4 ROTAČNÍ N-KODÉR	22
2.5 MCU.....	23
2.5.1 Generátor taktů.....	23
2.5.2 Mikroprocesor	23
2.5.3 Paměť ROM (paměť programu)	24
2.5.4 Paměť RWM (operační paměť)	24
2.5.5 Vstupní a výstupní porty (periférie).....	24
2.5.6 Struktura mikroprocesoru.....	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 STĚŽEJNÍ SOUČÁSTKY	27
3.1 MIKROKONTROLÉR MC9S08QE128	27
3.2 POSUVNÝ REGISTR 74HC595	29
3.3 ANALOGOVĚ DIGITÁLNÍ PŘEVODNÍK AD7888.....	30
3.4 DIGITÁLNĚ ANALOGOVÝ PŘEVODNÍK AD7244.....	30
3.5 GALVANICKÝ ODDĚLOVAČ ADUM.....	31
4 HARDWAROVÉ VYBAVENÍ	32
4.1 NAPÁJECÍ ČÁST	32
4.1.1 Napájecí blok (Nap1)	33
4.2 ŘÍDÍCÍ A REGULAČNÍ ČÁST.....	35
4.2.1 Budící část předního panelu	36
4.2.2 Deska MCU.....	37
4.2.3 Analogové digitální, digitálně analogové převodníky	39
4.2.4 Koncový stupeň regulovatelného zdroje	40
4.2.5 PWM řízení ventilátorů a teploměrů	41
5 SOFTWAREOVÉ VYBAVENÍ	43

5.1	POPIS PROGRAMU CODEWARRIOR	43
5.2	ZDROJOVÝ KÓD	44
5.2.1	Blok deklarace proměnných.....	44
5.2.2	Blok nastavení systémových registrů.....	45
5.2.3	Blok hlavního programu	45
5.2.4	Blok přepínání vinutí.....	46
5.2.5	Blok výpočtu diference	47
5.2.6	Blok bargrafů	47
5.2.7	PWM řízení ventilátorů.....	47
5.2.8	Blok obsluhy D/A převodníků	48
5.2.9	Přerušení časovače 1	49
5.2.10	Časovač 2	50
5.2.11	Přerušení tlačítek 1	51
5.2.12	Přerušení tlačítek 2	52
	ZÁVĚR	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Cílem bakalářské práce bylo zkonstruovat nastavitelný zdroj řízený mikrokontrolérem. Nastavitelný zdroj napětí či proudu je nedílnou součástí každé elektro laboratoře. Je využíván při měření elektronických prvků, pro napájení vlastních konstrukcí, při opravách elektronických zařízení a mnoha dalších aplikacích.

Díky výuce založené na programování mikrokontrolérů firmy Freescale Semiconductor, byl zvolen 8-bitový mikrokontrolér MC9S08QE128 z rodiny HCS08. V zapojení konstruovaného laboratorního zdroje zaujímá pozici měřicího a řídicího prvku. Zajišťuje řízení a měření výstupního napětí a proudu a mimo jiné obsluhuje zobrazení a ovládání předního panelu. Celá konstrukce poukazuje na jedno z možných využití mikrokontrolérů v praxi. Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část pojednává o základních rozdílech mezi ideálním a reálným zdrojem napětí a proudu. Součástí teoretické části je také popis funkce nejdůležitějších součástí zdroje, funkce analogově digitálních a digitálně analogových převodníků, posuvného registru, mikrokontroléru a rotačního N-kodéru. Praktická část obsahuje tři kapitoly, popisující stěžejní součástky, hardwarovou a softwarovou realizaci regulovaného zdroje. V kapitole stěžejních součástí jsou uvedeny parametry součástí použitých v konstrukci. V části zabývající se hardwarem jsou popsána schémata a funkce komponentů regulovaného zdroje. Software pro mikrokontrolér je ilustrován vývojovým diagramem a jednotlivé bloky jsou popsány slovně s krátkou ukázkou zdrojového kódu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

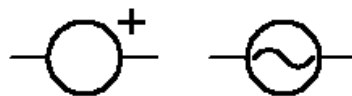
1 OBECNÁ TEORIE

V následující části budou definovány pojmy, týkající se obecných vlastností ideálního a reálného zdroje napětí a proudu. Budou zmíněny důležité vlastnosti obou zdrojů, rozdíly ideálního a reálného zařízení.

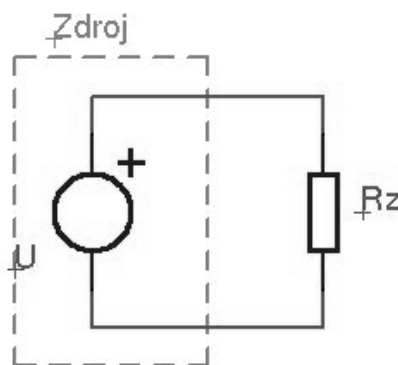
1.1 Ideální a reálný zdroj konstantního napětí

1.1.1 Imaginární zdroj napětí

Ideální zdroj napětí je imaginární zdroj, který na svých svorkách udržuje stálé napětí bez ohledu na zátěž. Imaginární je proto, že takto se žádný zdroj nechová. Reálný zdroj napětí má vnitřní odpor, který omezuje jeho maximální proud. Vnitřní odpor ideálního zdroje napětí $= 0\Omega$ [1].



Obr. 1 Schematické značky zdrojů napětí [1]



Obr. 2 Zapojení ideálního zdroje napětí [1]

Zapojení ideálního zdroje napětí do obvodu, v kterém se vyskytuje pouze ideální zdroj napětí a zátěž R_z . Veškeré veličiny v tomto obvodu lze spočítat z Ohmova zákona, a to úplně z toho nejzákladnějšího vzorce. Kde nás zajímá tekoucí proud, a dosazujeme známé veličiny: Napětí zdroje a velikost zátěže [1].

$$I = \frac{U_z}{R_z} [A], U_z = U \quad (1)$$

$$I_{k=\infty}, U_0 = U \quad (2)$$

kde:

U_z ... napětí ideálního zdroje

U_0 ... napětí zdroje naprázdno, tedy bez zátěže

U_{Rz} ...napětí na zátěži

U ... napětí na svorkách zdroje a tedy i napětí na zátěži

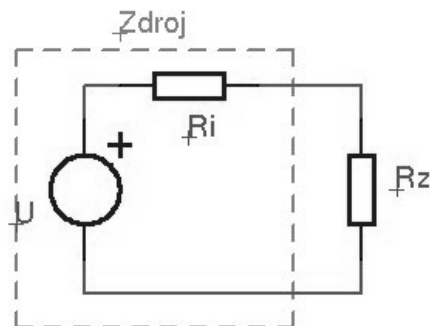
I_k ... proud zdroje na krátko, tedy s zkratovanými výstupními svorkami

I ... proud tekoucí zdrojem

R_z ... odpor zátěže

Ze vztahu vidíme, že proud lineárně roste úměrně s klesající ohmickou hodnotou odporu.[1]

1.1.2 Reálný zdroj napětí



Obr. 3 Zapojení reálného zdroje napětí [1]

U reálného zdroje nám přibývá jeden rezistor. Je ve schématu vyznačen jako R_i . Prochází-li tímto odporem proud vzniká na něm dle Ohmova zákona úbytek napětí a právě o tento úbytek napětí poklesne napětí na svorkách zdroje. Vnitřní odpor také omezuje maximální proud zdroje, tedy proud který zdrojem poteče, zkratujeme-li výstupní svorky. Rezistor R_i není fyzicky sériově zařazený rezistor, je to hodnota odporu samotného článku. Čím je tento vnitřní odpor větší, tím je zdroj měkčí, tedy čím větší proud z něj odebíráme, tím více

klesá napětí. Naopak tvrdý zdroj má malý vnitřní odpor a napětí na výstupních svorkách klesá jen pozvolna. Více ale ze vzorců pro výpočty na reálném zdroji napětí [1].

$$I = \frac{U_0}{R_z + R_i} [A] \quad (3)$$

$$U = U_z - U_{R_i}, U_{R_i} = I \cdot R_i \quad (4)$$

$$I_k = \frac{U_z}{R_i} \quad (5)$$

$$U_0 = U \quad (6)$$

Kde:

U_z - napětí ideálního zdroje

U_0 - napětí zdroje naprázdno

U_{R_z} - napětí na zátěži

U_{R_i} - napětí na vnitřním odporu zdroje

U - napětí na svorkách zdroje a tedy i napětí na zátěži

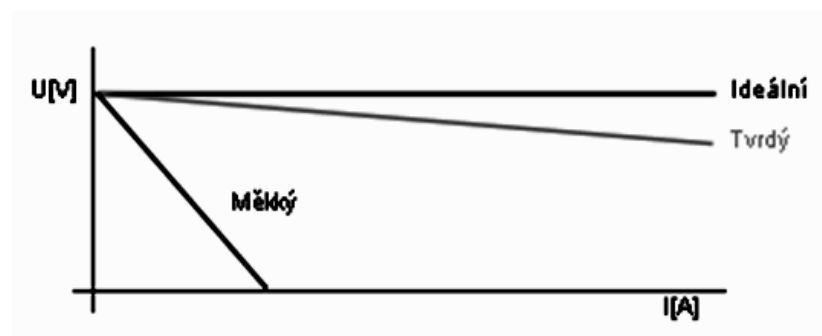
I_k - proud zdroje na krátko

I - proud tekoucí zdrojem

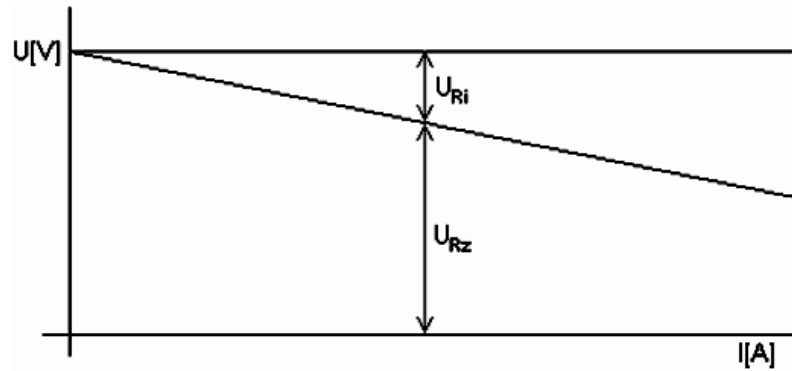
R_z - odpor zátěže

R_i - vnitřní odpor zdroje

Následující obrázek ukazuje, jak se chovají různě tvrdé zdroje. Upozorňuji ještě, že napětí je na ose Y a proud na ose X [1].



Obr. 4 Výstupní parametry zdrojů napětí



Obr. 5 Ukázka závislosti napětí na vnitřním odporu a na výstupním odporu

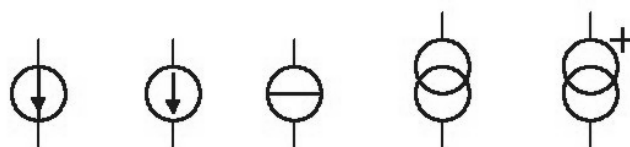
$$U_{R_i} = I \cdot R_i \quad (7)$$

$$U_{R_z} = I \cdot R_z \quad (8)$$

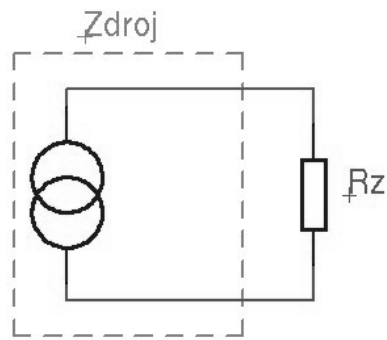
1.2 Ideální a reálný zdroj konstantního proudu

1.2.1 Ideální zdroj proudu

Ideální zdroj proudu je imaginární zdroj, který do připojené zátěže dodává konstantní proud. Imaginární je proto, že takto se žádný zdroj nechová. Reálný zdroj proudu má vnitřní vodivost (odpor), která je k němu připojen paralelně. Tato vnitřní vodivost omezuje maximální napětí, které může být na svorkách reálného zdroje proudu. Vnitřní odpor ideálního zdroje proudu $= \infty \Omega$ [2].



Obr. 6 Schematické značky zdrojů proudu[2]



Obr. 7 Zapojení ideálního zdroje proudu [2]

V zapojení ideálního zdroje se vyskytuje pouze ideální zdroj proudu a zátěž. Na výpočet nám opět stačí jen Ohmův zákon v základním tvaru: [2].

$$I_k = I \quad (9)$$

$$U_0 = \infty \quad (10)$$

$$U_{Rz} = I \cdot R_z \quad (11)$$

Kde:

U_0 - napětí zdroje naprázdno

U_{Rz} - napětí na zátěži

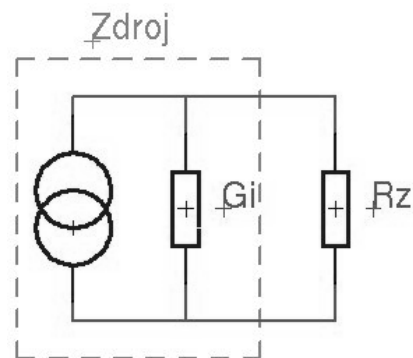
I_k - proud zdroje na krátko

I - proud tekoucí zdrojem

R_z - odpor zátěže

Ze vztahu vidíme, že roste úměrně s rostoucí ohmickou hodnotou odporu, tedy čím je ohmická hodnota zátěže vyšší, tím vyšší musí být napětí, aby byl do zátěže dodán požadovaný proud. [2].

1.2.2 Reálný zdroj proudu



Obr. 8 Zapojení reálného zdroje proudu [2]

U reálného zdroje nám přibývá jedna vodivost (rezistor). Je ve schématu vyznačen jako G_i . Prochází-li touto vodivostí proud, vzniká na ní dle Ohmova zákona úbytek napětí a právě tento úbytek napětí určuje hodnotu napětí, která bude na výstupu reálného zdroje proudu. Proud procházející vodivostí, je-li zdroj nezátížen je roven proudu ideálního zdroje, k němuž je paralelně připojená zmíněná vodivost. Zároveň je tento proud roven proudu, který teče zkratovanými svorkami. [2].

$$I_k = I[A] \quad (12)$$

$$U_0 = \frac{I}{G_i} [V] \quad (13)$$

$$G_i = \frac{I}{R_i} [S] \quad (14)$$

$$U_{Rz} = \frac{I_{Rz}}{R_z} [V] \quad (15)$$

$$I_{Rz} = I - I_{G_i} [A] \quad (16)$$

$$\text{kde } I_{G_i} = U G_i [A] \quad (17)$$

Kde:

U_0 - napětí zdroje naprázdno

U_{Rz} - napětí na zátěži

I_k - proud zdroje nakrátko

I - proud tekoucí zdrojem

I_{Gi} - proud tekoucí vnitřní vodivostí

I_{Rz} - proud tekoucí zátěží

R_z - odpor zátěže

R_i - vnitřní odpor

G_i - vnitřní vodivost

2 TEORIE POUŽITÝCH SOUČÁSTÍ

Důležitým prvkem měřicího řetězce, zpracovávajícího číslicový signál, jsou analogově-digitální (A/D) a digitálně-analogové (D/A) převodníky. Většina používaných snímačů poskytuje informace v analogovém tvaru, který převádíme prostřednictvím A/D převodníků na digitální tvar. Aby bylo umožněno zpětné působení (např. analogové řízení nebo zápis), je někdy nezbytné převést digitální signál zpět na signál analogový. Takový zpětný převod zajišťují D/A převodníky [3].

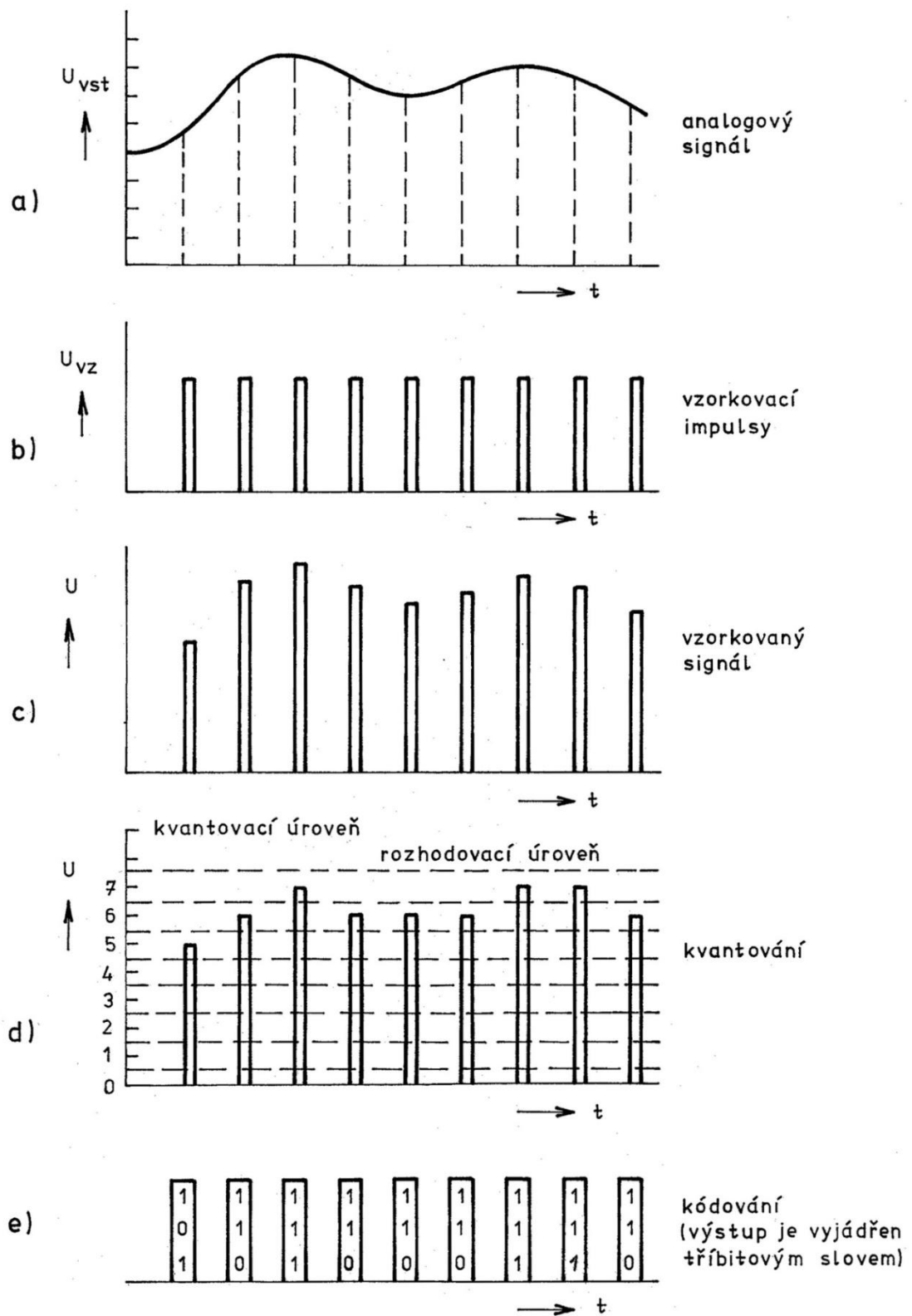
2.1 A/D převodník

Analogově-digitální převod lze rozdělit na tři základní fáze: vzorkování, kvantování a kódování (obr.9).



Obr. 9 Funkční schéma A/D převodníku [3]

Při *vzorkování* se pravidelně odebírají vzorky amplitudy analogového signálu (obr. 10a). Vzorkování (obr. 10b) se musí provádět nejméně s dvojnásobným opakovacím kmitočtem v porovnání s nejvyšší kmitočtovou složkou analogového signálu. Získané signálové vzorky (obr. 10c) jsou diskrétní, ale mohou stále ještě nabývat nekonečně mnoha amplitudových hodnot v rozsahu analogového signálu. Jejich přiřazení k pevně zvoleným napěťovým úrovním se nazývá *kvantování*. Mezi kvantovacími úrovněmi leží rozhodovací úrovně, podle nichž se rozhoduje, zda se amplituda vzorku přiřadí k nižší nebo vyšší kvantovací úrovni (obr. 10d). Počet rozhodovacích úrovní odpovídá počtu bitů pro vyjádření hodnoty jednoho vzorku. Nakonec se provede *kódování*, při kterém se kvantovaná úroveň vyjádří v určitém kódu, např. binárním (obr. 10e). Digitální signál je zde symbolicky vyjádřen 3-bitovými slovy [3].



Obr. 10 Analogově-digitální převod [3]

V praxi se používá několika různých způsobů A/D převodu. Převodníky můžeme dělit na komparační, kompenzační, s postupnou aproximací a integrační.

2.2 D/A převodník

D/A převodníky zajišťují převod vstupní číslicové informace (datového slova) na výstupní analogový signál, obvykle na odpovídající hodnotu elektrického napětí (méně často elektrického proudu). Typy D/A převodníků nejčastěji dělíme na přímé a nepřímé. U přímých převodníků je vstupní datové slovo přímo převedeno na výstupní napětí, příp. proud. Tyto převodníky jsou nejčastěji řešeny pomocí příčkové nebo váhové struktury odporové sítě. Základní charakteristikou nepřímých D/A převodníků je rozdělení převodu na dvě části – v první části je číslicová veličina převedena na pomocný diskretní signál (na šířku pulsu nebo počet pulsů za jednotku času), který je ve druhé části převeden na výstupní analogový signál. [4]

Využití D/A převodníků je velké a to jak v komerční nebo průmyslové elektronice. V komerčním zařízení jej můžeme nejčastěji najít pro převod digitálních dat na audio signál. Nejčastěji v mobilních telefonech, zvukových kartách počítače a mnoha dalších. V průmyslu či automatizaci zastupují funkci řízení pomocí analogové veličiny.

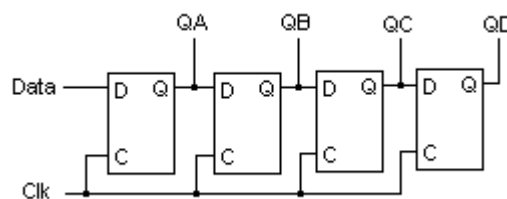
2.3 Posuvný registr

Posuvný registr členíme do tzv. sekvenčních logických obvodů. Základním prvkem posuvného registru jsou kaskádně řazené bistabilní klopné obvody typu D nebo JK. Posuvný registr lze také členit podle typu převodu vstupního a výstupního datového slova na PISO a SIPO.

2.3.1 Posuvný registr typu SIPO

Zkratka SIPO u posuvných registrů reprezentuje funkci registru, jako sériově paralelní převodník. Ten je schopen převést sériovou posloupnost dat na paralelní.

Funkce a vnitřní zapojení posuvného registru:

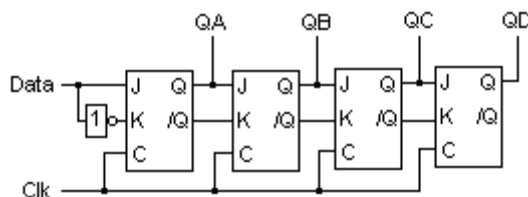


Obr. 11 Posuvný registr SIPO z D klopných obvodů [5]

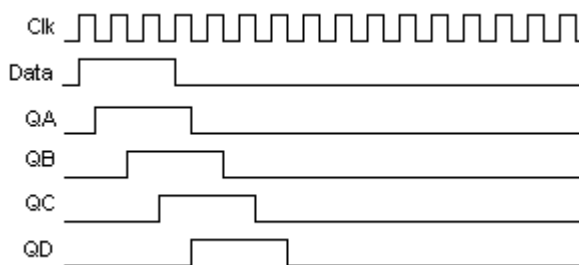
V okamžiku vzestupné hrany hodinového signálu se do každého obvodu D zapíše stav výstupu předchozího obvodu, který byl těsně před příchodem této hrany. Z toho vyplývá, že se informace "posunují" synchronně s hodinovým signálem. Vyrábějí se převážně 8-bitové (74HC164), případně doplněné o výstupní záchytné registry (74HC595). [5]

Záchytné registry mají další vstup tzv. záchytný vstup. Funkce záchytného vstupu je vhodná, když potřebujeme data až po celém přesunu do všech D klopných obvodů. V případě nevyužití tohoto vstupu by docházelo k rušení od posouvajících se dat. Příkladem může být zapojení sedmi-segmentového displeje na posuvný registr. Segment by po dobu posunu v registru blikal.

Stejnou funkci je možné docílit i zapojením obvodů JK.



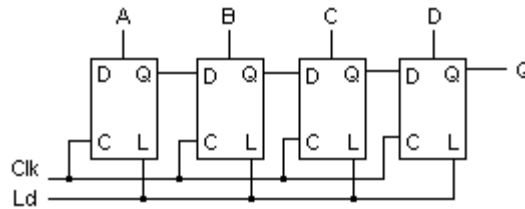
Obr. 12 Posuvný registr SIPO z JK klopných obvodů [5]



Obr. 13 Příklad průběhu signálů [5]

2.3.2 Posuvný registr typu PISO

Obdobně je možné zapojit i posuvný registr pro převod paralelní posloupnosti na sériovou.



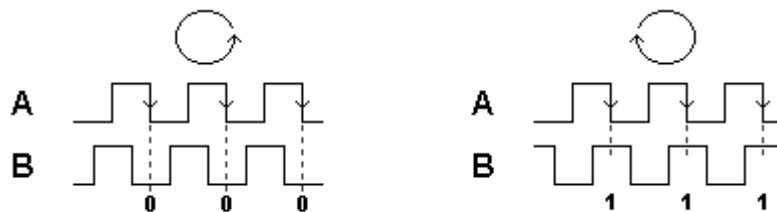
Obr. 14 Posuvný registr PISO z D klopných obvodů [5]

Posuvný registr je doplněn obvodem pro načtení paralelní informace. Načtená paralelní data jsou posouvána na výstup s každou náběžnou hranou na hodinovém vstupu Clk. Vstup Ld (load) zamezuje nebo povoluje zápis paralelních dat do vstupních záchytných registrů. Vyrábějí se opět zpravidla 8-bitové (74HC165), se vstupními záchytnými registry (74HC597) [5].

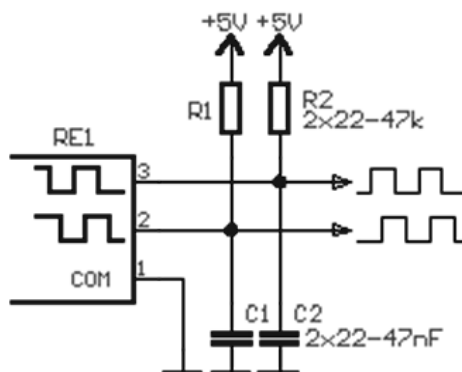
2.4 Rotační N-kodér

Rotační N-kodér, v automatizaci také znám pod pojmem inkrementální čidlo, je konstruován dvěma způsoby, optickým nebo mechanickým snímáním. Mechanické snímání je velmi často využíváno u spotřební elektroniky. Princip mechanického snímání je založen na přejíždění dvěma kontakty přes uhlíkové dráhy. Uhlíkové dráhy jsou rozděleny, hřídel N-kodéru je pomocí pružinky aretována do přesných poloh. Rotační N-kodéry tak nahrazují v digitální technice analogové potenciometry. Optické snímání se hojně využívá v automatizaci jako zpětná vazba pohonů. Princip je založen na zdroji světla, rastrovou deskou, otočným kotoučem a fotosenzory.

Samotný princip N-kodérů je založen na generování dvou obdélníkových signálů vzájemně fázově posunutých o 90° při rotaci hřídele N-kodéru.



Obr. 15 Funkce rotačního N-kodéru[6]



Obr. 16 Zapojení rotačního N-kodéru[6]

2.5 MCU

MCU je zkratka pro monolitický integrovaný obvod nazývaný: jednočipový počítač, mikrokontrolér. Obvody mikropočítače můžeme rozložit do pěti částí, jak je zobrazeno na obr.17. Data jsou mikropočítačem zpracovávána po slovech. V daném časovém okamžiku (takt procesoru) mikropočítač pracuje s jedním slovem. Typická délka slova je 8, 16, 32 nebo 64-bitů. Nejrozšířenější jsou mikropočítače s délkou slova 8 a 16-bitů. 8-bitové slovo nazýváme bajt [7].

2.5.1 Generátor taktů

Generuje hodinový (taktovací, synchronizační) signál, který synchronizuje činnost samotného procesoru a také jeho spolupráci s ostatními částmi mikropočítače. U současných typů mikroprocesoru bývá již tento generátor jejich součástí [7].

2.5.2 Mikroprocesor

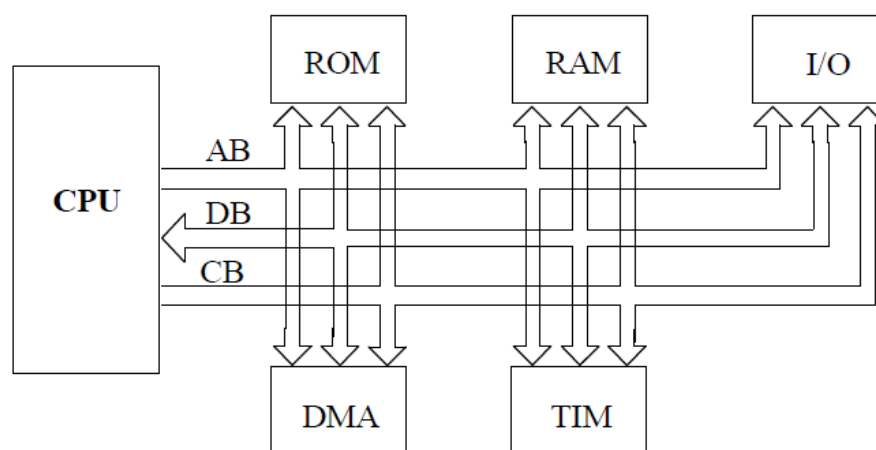
Je základním prvkem mikropočítače. Řídí jeho celou činnost. Zajišťuje provádění instrukcí uložených v paměti, řídí toky dat ze vstupních částí mikropočítače, tyto data zpracovává a následně řídí tok dat směrem k výstupním portům [7].

2.5.3 Paměť ROM (paměť programu)

Obsahuje ve většině případů instrukce, které zajišťují realizaci daného algoritmu řízení pro přizpůsobení mikropočítače určité aplikaci. Dále paměť může obsahovat konstanty a neměnné tabulky používané v programu [7]. Této paměti se také říká paměť programu a dat. Určitými variantami paměti ROM jsou paměti EPROM, EEPROM nebo Flash. Původní paměti typu EPROM bylo možné pro přeprogramování mazat ultrafialovým světlem a poté znovu naprogramovat. Nynější paměti typu EEPROM, Flash lze programovat elektronicky.

2.5.4 Paměť RWM (operační paměť)

Označována někdy také RAM zajišťuje dočasné uložení dat zpracovávaných mikroprocesorem [7]. Data do paměti může mikroprocesor uložit a opět zpětně vyzvednout. Tato paměť uchovává data jen v případě napájeného MCU.



Obr. 17 Blokové schéma MCU [7]

2.5.5 Vstupní a výstupní porty (periférie)

Umožňují spojení mikropočítače s okolním prostředím (paralelní porty, sériové porty, porty komunikačních sběrnic, A/D převodníky, D/A převodníky, PWM výstupy, vstupy pro zachycování času a počítání událostí, aplikačně zaměřené porty). Všechny tyto periférie však někdy nemusí být součástí každého mikropočítače.

Těchto pět částí tvoří nutný základ mikropočítače. Mikropočítač však může být tvořen i dalšími částmi, jež zefektivňují jeho práci. [7]

2.5.6 Struktura mikroprocesoru

Termín mikroprocesor označuje ve většině případů integrovaný obvod vyrobený technologií vysoké hustoty integrace. U starších typů mikroprocesorů nebyly vždy součástí mikroprocesoru všechny jeho nezbytné části, jako jsou např. generátor hodinového signálu, obvody pro řízení sběrnice a jiné. Výrobci k těmto mikroprocesorům dodávali specializované obvody, které doplňovaly mikroprocesor o tyto části. Tyto obvody pak tvořily spolu s mikroprocesorem tzv. skupinu mikroprocesoru. Současné typy vyráběných mikroprocesorů jsou již těmito potřebnými částmi vybaveny přímo na čipu. Každý mikroprocesor obsahuje řadič, který řídí chod celého mikroprocesoru a je tvořen registrem instrukcí, obvodem pro dekódování instrukce a řídicím obvodem, což souhrnně nazýváme řídicí částí. Další částí mikroprocesoru je aritmeticko-logická jednotka, soubor registrů – tzv. paměťová část a sběrnice, které všechny tyto části propojují. [7]

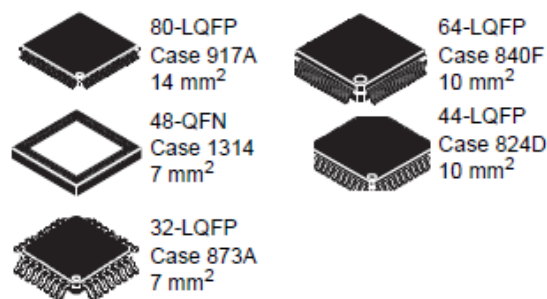
Jednočipové mikrokontroléry se vyznačují velkou spolehlivostí a kompaktností, proto jsou určeny především pro jednoúčelové aplikace jako je řízení, regulace apod. Často jsou jednočipové počítače součástí vestavěných (embedded) systémů.[8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STĚŽEJNÍ SOUČÁSTKY

3.1 Mikrokontrolér MC9S08QE128

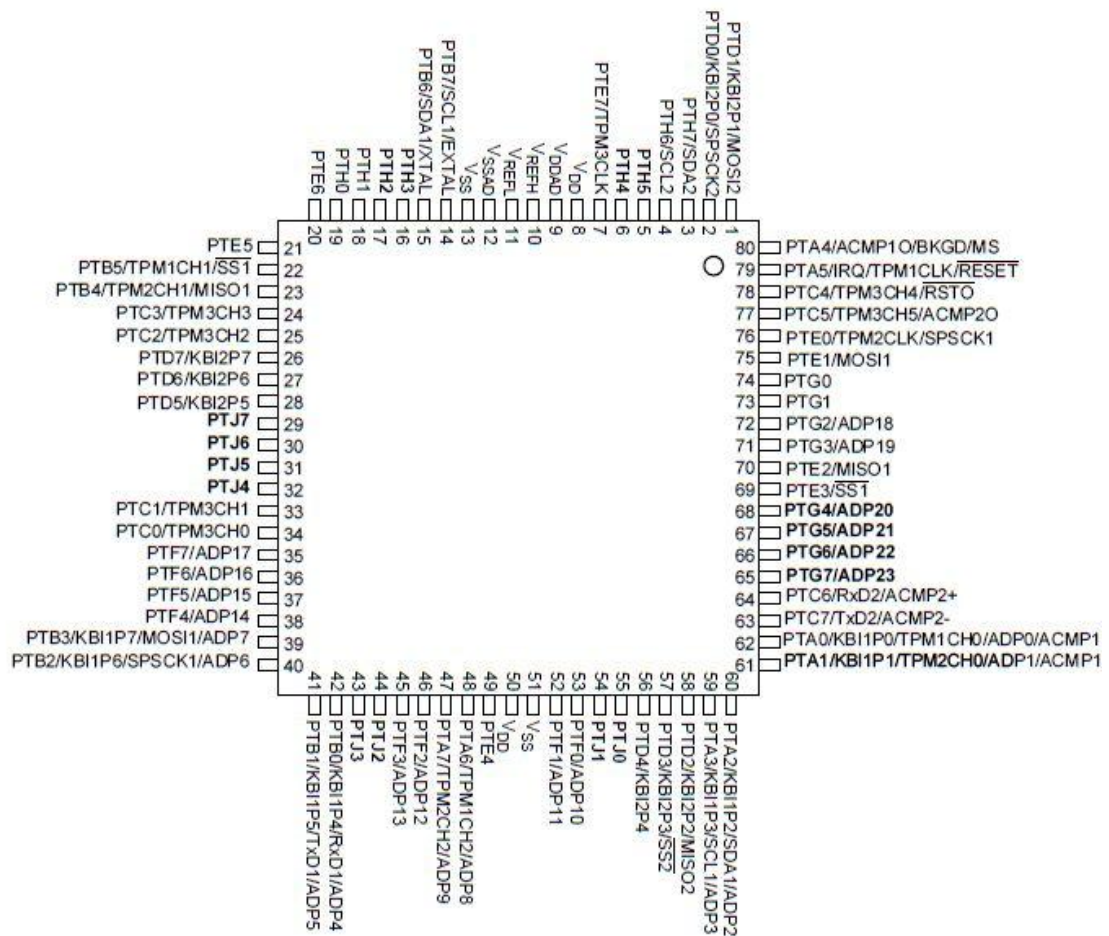
MC9S08QE128 je 8-bitový MCU s jádrem procesoru HCS08. Jde o řadu Flexis, to znamená, že mikrokontrolér je v kompatibilním zapojení pinů jako jeho následník s 32-bitovým jádrem. Tím je docíleno případné náhrady za výkonnější. Mikrokontrolér se vyrábí v různém provedení pouzder a různém počtu vstupně výstupních pinů. V mé konstrukci je použit mikrokontrolér v pouzdru 80-LQFP, ten bude také následně popsán podrobněji. [14]



Obr. 18 Pouzdra mikrokontroléru MC9S08 [9]

Zmíněný mikrokontrolér je napájen 3,3V. Při tomto napětí je schopen pracovat na 50 MHz taktu mikroprocesoru. Patříčné taktovací frekvence lze dosáhnout dvěma různými způsoby, interním nebo externím krystalem. Externí krystal je možné volit v rozsahu 31.25 kHz až 16 MHz, výslednou taktovací frekvenci lze doladit pomocí systémových registrů. Musíme však dodržet maximální frekvenci 25 MHz rychlosti sběrnice. Požadované taktovací frekvence lze také dosáhnout využitím interního oscilátoru a následným nastavením systémových registrů. Nastavováním systémových registrů pro takt procesoru se mění děličky nebo násobičky frekvence integrované v mikrokontroléru. Mikrokontrolér využívá dvou pamětí, 128Kb flash paměť a 8Kb RAM. Pro propojení s okolím využívá mikrokontrolér vstupně výstupní periférie. Osmdesáti pinový MC9S08QE128 disponuje sedmdesáti vstupně výstupními piny. Každý vstupně výstupní bit má možnost zapnutí svého interního pull up rezistoru. Vstupně/výstupní piny obsahují i jiné periférie a lze je přepínat nastavením registru mikrokontroléru. Mikrokontrolér umožňuje 16 přerušení tlačítka s volbou reakční hrany. Pro komunikaci s okolními perifériemi je možno využít 2x

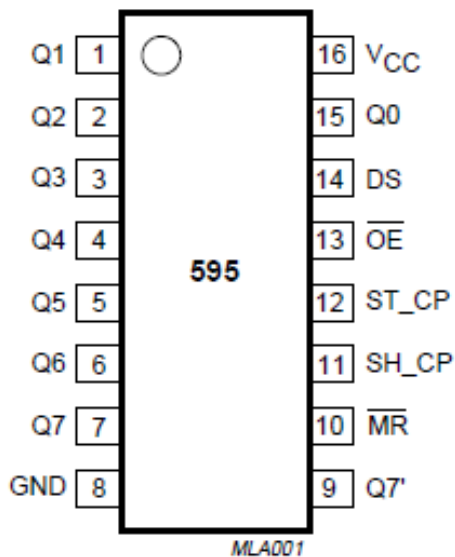
SPI linkou, 2x I²C linkou, 2x SCI. Pro měření analogových veličin je mikrokontrolér vybaven 24 kanálovým 12-bitovým AD převodníkem. Pro porovnání dvou analogových hodnot je vhodné využít komparátor 2xACMP. Nedílnou součástí mikrokontroléru jsou také tři 16-bitové časovače/ čítače. V případě MC9S08QE128 jsou časovače a čítače rozšířeny o vstupně/výstupní PWM periférii. Pro naprogramování a debug je mikroprocesor vybaven BDM rozhraním, jedná se o jednodrátové datové spojení s programátorem a následně s PC. [14]



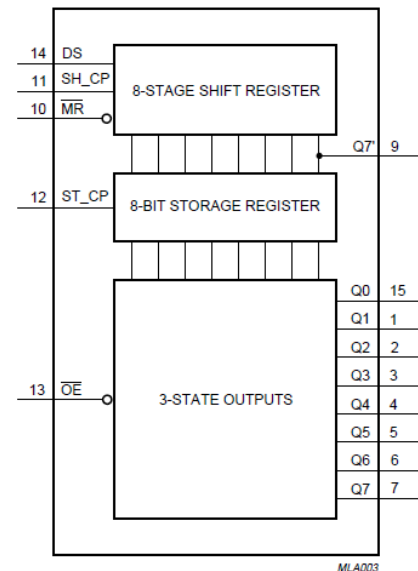
Obr. 19 Funkce pinů MCU [9]

3.2 Posuvný registr 74HC595

74HC595 je 8-bitový sériový posuvný registr s paměťovým registrem a třístavovým výstupním obvodem. Posuvný registr využívá vlastní hodinový signál a to jak pro posuvný, tak paměťový registr. Posuvný registr 74HC595 je vyroben CMOS technologií a tím je možné dosáhnout maximální frekvence hodinového signálu do registru až 100MHz. Všeobecné použití posuvného registru je sériově paralelní převodník, pozastavující paměťový registr. [10]

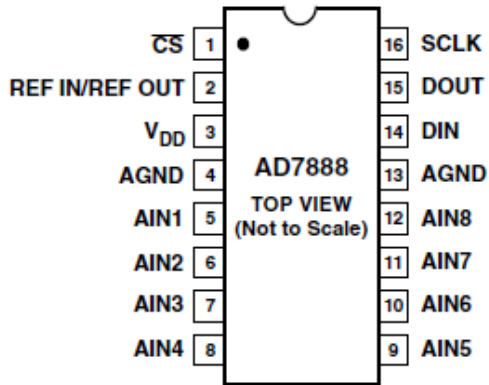


Obr. 20 Pouzdro a funkce pinů posuvného registru [10]

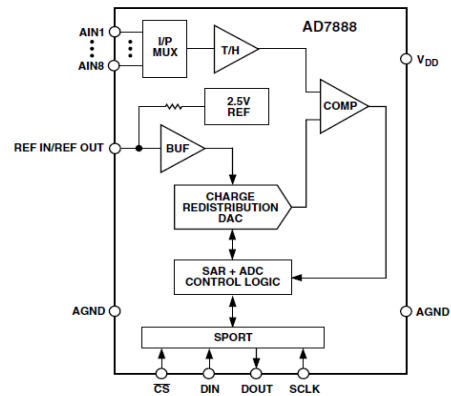


Obr. 21 Vnitřní struktura posuvného registru [10]

3.3 Analogově digitální převodník AD7888



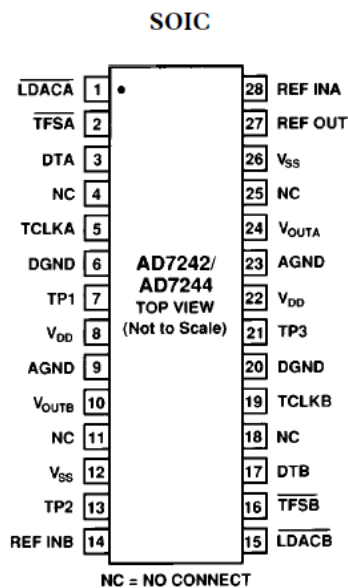
Obr. 22 Pouzdro a funkce pinů A/D převodníku [11]



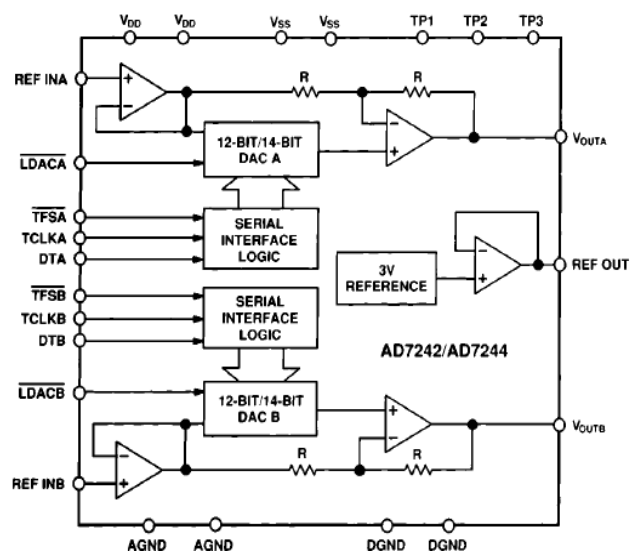
Obr. 23 Vnitřní struktura A/D převodníku [11]

AD7888 je 8-kanálový 12-bitový analogově digitální převodník. Převodník komunikuje přes SPI rozhraní, viz. blokové schémata (obr.28). AD7888 má možnost volby externí nebo interní reference, v mém případě byla zvolena interní reference. Převodník v mém zapojení pracuje s rozlišením 0,61mV. Je nutné převodník dobře odstínit a odfiltrovat rušení v napájecím napětí. To vše má velký vliv na přesnost měření. [11]

3.4 Digitálně analogový převodník AD7244



Obr. 24 Pouzdro a funkce pinů D/A převodníku [12]

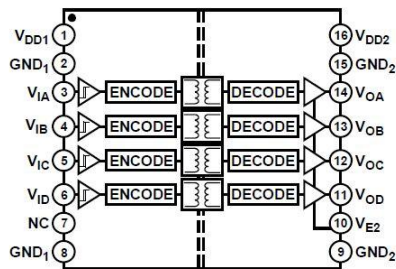


Obr. 25 Vnitřní struktura D/A převodníku [12]

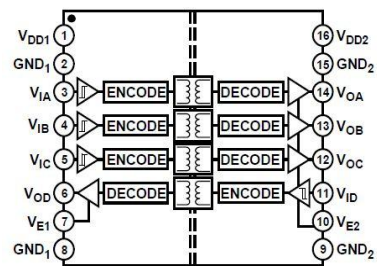
AD7244 je 2-kanálový 14-bitový digitálně analogový převodník. Vlastností převodníku je vysokorychlostní SPI rozhraní. Volba interní nebo externí reference. Možnost převodu digitálního signálu na výstupních $\pm 3V$ při napájení $\pm 5V$. Převodník pracuje při referenci $3V$ s přesností rozlišení $0,366mV$. [12]

3.5 Galvanický oddělovač ADUM

Adum je galvanický oddělovač s využitím vysokorychlostních CMOS obvodů a monolitickou vzduchovou technologií jádrového transformátoru. Vstupy adumu jsou ošetřeny Schmittovým klopným obvodem. Adum vykazuje lepší vlastnosti než klasické optočleny, výhodou je také absence dalších součástek pro správnou funkci. Vyráběny jsou varianty s různým poměrem směrů převodu. Hlavním využití je jako oddělovač u sériových rozhraní. [13]



Obr. 26 Vnitřní struktura adum 1400 [13]



Obr. 27 Vnitřní struktura adum 1401 [13]

4 HARDWAROVÉ VYBAVENÍ

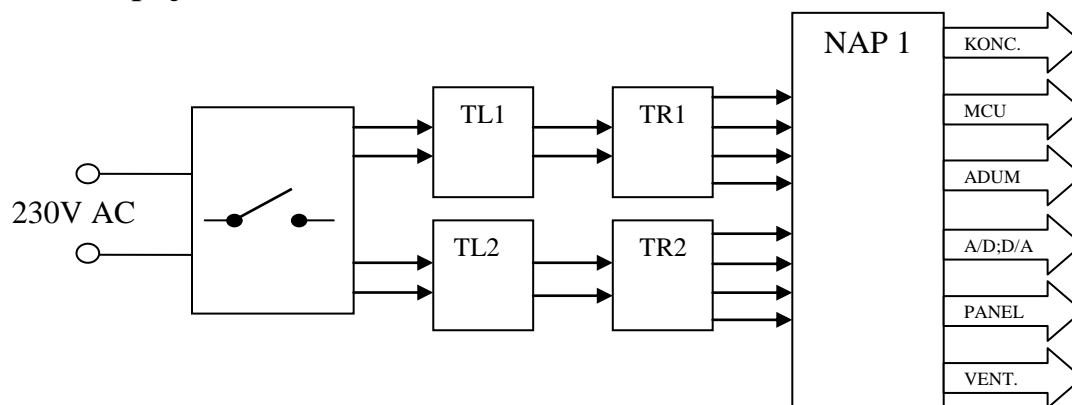
Regulovaný zdroj byl postaven jako laboratorní dvoukanálový zdroj napětí a proudu. Jeho hlavními přednostmi je regulace výstupu podle napětí nebo proudu. Po nastavení napětí a proudu je výstup regulován napěťově do doby, než je výstupní proud roven nastavenému. Při docílení výstupního proudu nastavenému, začne zdroj omezovat výstupní napětí tak, aby byl roven nastavenému. Další předností může být kompletní galvanické oddělení obou kanálů. Zmíněné galvanické oddělení umožňuje oba kanály libovolně spojovat. Parametry zdroje jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 1 Parametry zdroje

Napájecí napětí:	230V AC
Výstupní napětí :	2x 40V DC
Výstupní proud :	2x0-30V při 3,5A* DC 2x0-40V při 2,5A* DC
Zvlnění:	při 1A – 50mV
	při 3A – 200mV
Přesnost nastavení:	
Proud:	10mA
Napětí:	10mV

*Překročením hranice 30V je výstupní proud snižen z 3,5A na 2,5A.

4.1 Napájecí část

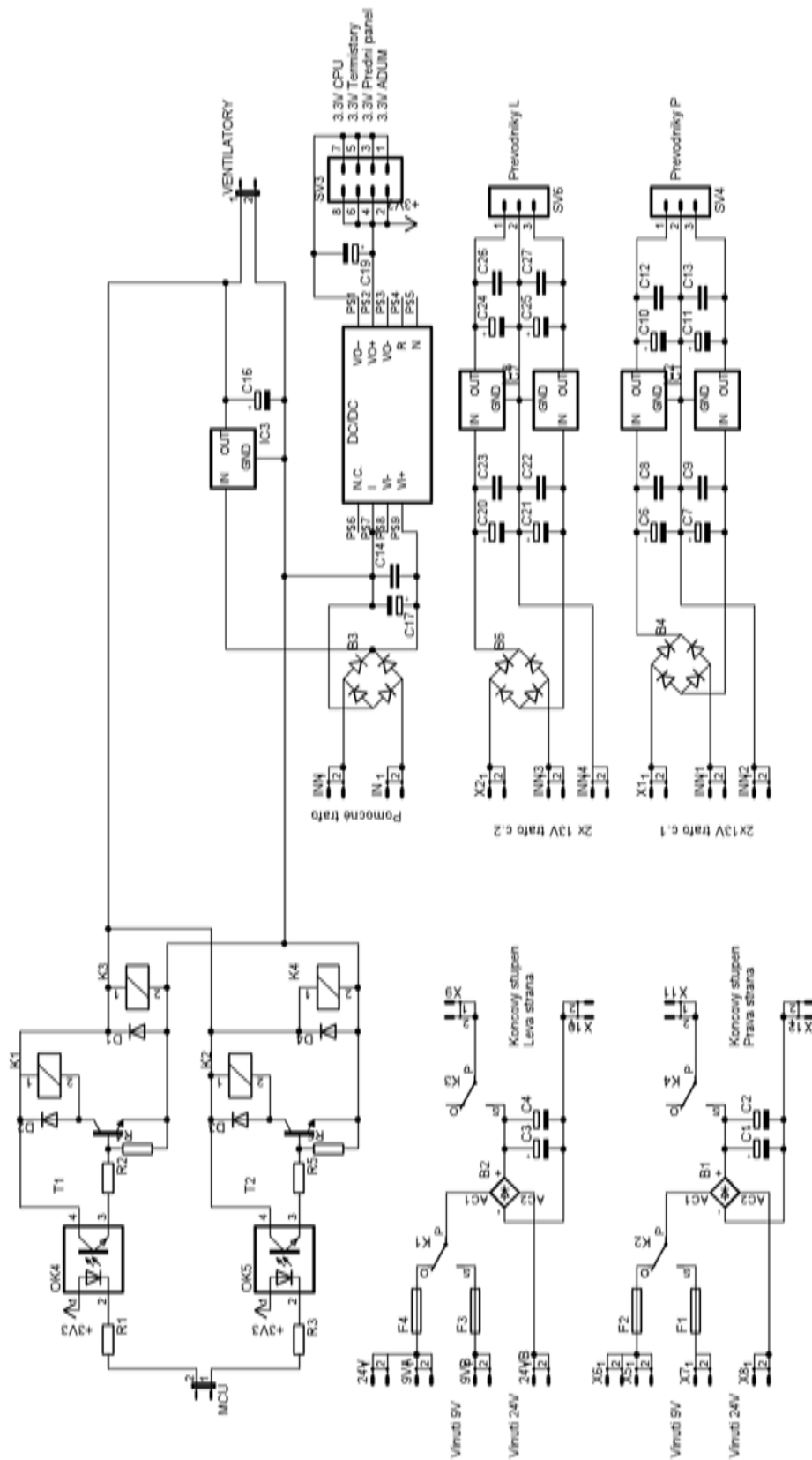


Obr. 28 Blokové schéma napájecí části

- TL 1,2: Blok tlumivky sloužící jako odrušení transformátorů v laboratorním zdroji vůči okolí.
- TR 1,2: Blok toroidních transformátorů sloužící pro napájení celého laboratorního zdroje a to jak silovou, tak řídicí část.
- NAP1: Blok hlavní napájecí části celého laboratorního zdroje, přepínání vinutí toroidních transformátorů, následné usměrnění a stabilizace pomocných napětí. Podrobněji vysvětleno níže.

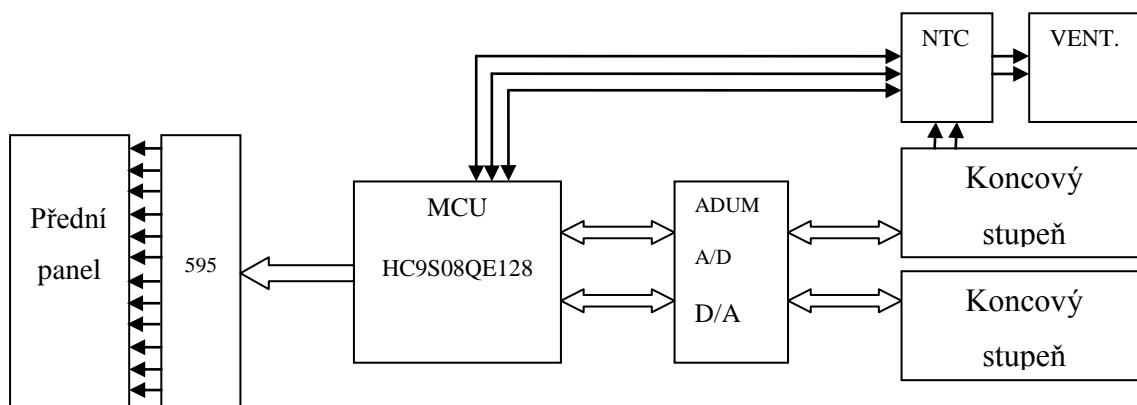
4.1.1 Napájecí blok (Nap1)

Základem pro regulovaný laboratorní zdroj je usměrnění a následná dobrá filtrace přivedeného napětí z transformátorů. Usměrnění a filtraci zajišťuje levá část na schématu (obr.29). Na vstupní svorky je připojen toroidní transformátor. Transformátor má dvě silová vinutí 24V a 9V. Pro ochranu proti přetížení vinutí jsou použity pojistky F1 až F4. Dále následuje relé zajišťující sériové připínání 9V vinutí k 24V. V případě potřeby výstupního napětí většího než 30V. Střídavé napětí je usměrněno pomocí Graetzova můstku B1 a B2. Filtraci usměrněného napětí obstarává dvojice paralelně řazených kondenzátorů C1 a C2. Výsledná kapacita kondenzátorů C1 a C2 je 20mF. Z důvodů velké kapacity kondenzátorů bylo nutné vždy po vypnutí zdroje odepnout kondenzátory, neboť na výstupních svorkách zůstávalo napětí. Ošetření tohoto problému bylo vyřešeno relátkou K3 a K4. V pravé části schématu se nachází usměrnění, filtrace a následná stabilizace napětí pro převodníky a to jednotlivě pro každý kanál zvlášť. Pro napájení MCU, předního panelu a dalších zařízení, byl zvolen DC/DC měnič, který mění vstupního napětí 8V až 35 V na 3,3V. Měnič DC/DC byl použit pro galvanické oddělení od ostatních zařízení. Také byl zvolen z důvodu poměrně velkého rušení od ventilátorů, které jsou připojeny na stejném vinutí transformátoru.



Obr. 29 Schéma napájecího bloku

4.2 Řídící a regulační část



Obr. 30 Blokové schéma napájecí a řídicí části

Přední panel: Blok sloužící k zobrazení a ovládní laboratorního zdroje.

595: Blok posuvných registrů sloužící jako sériově paralelní převodník.

MCU: Blok hlavního mikrokontroléru řídicí celý laboratorní zdroj.

ADUM: Blok galvanického oddělení.

A/D: Blok A/D převodníků sloužící pro měření výstupních veličin.

D/A: Blok D/A převodníků sloužící pro nastavení výstupních veličin.

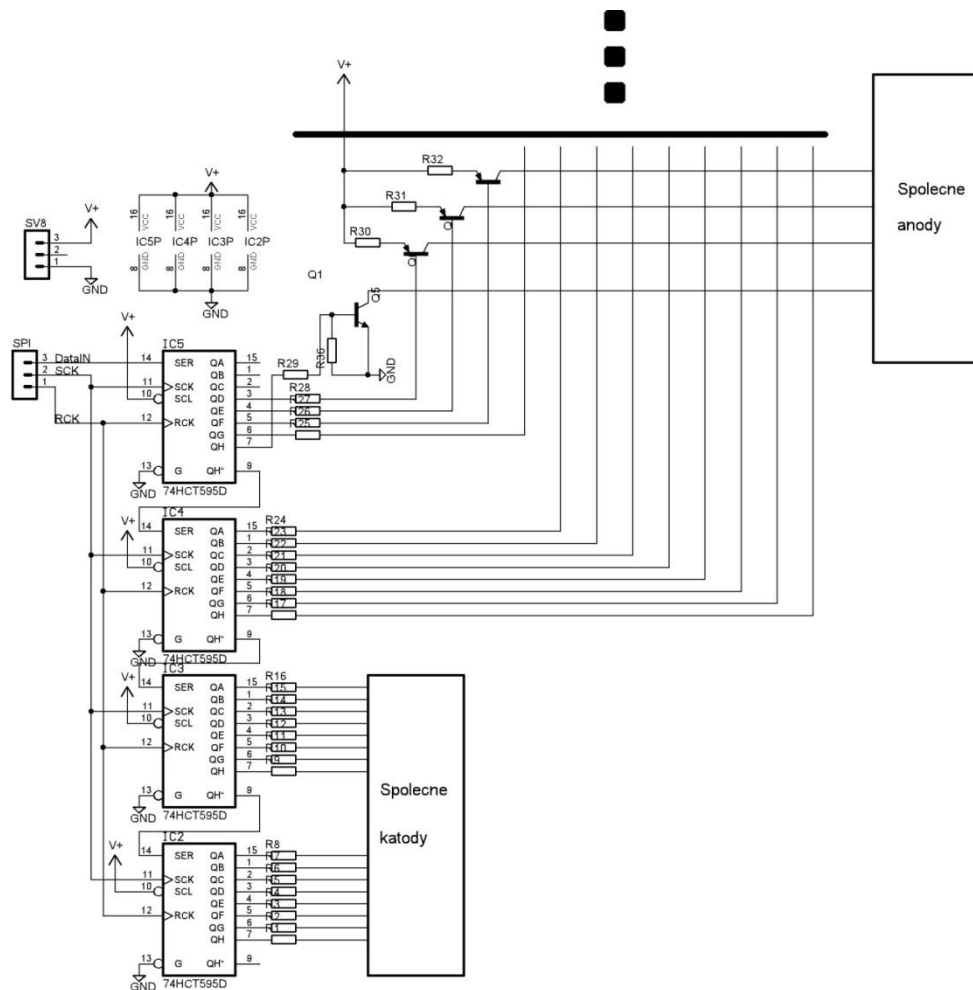
Koncový

stupeň A,B Blok koncových stupňů pro výslednou regulaci výstupního napětí.

NTC Blok negativních termistorů pro měření teploty chladiče koncového stupně.

VENT. Blok posílení a oddělení ventilátorů od mikrokontroléru.

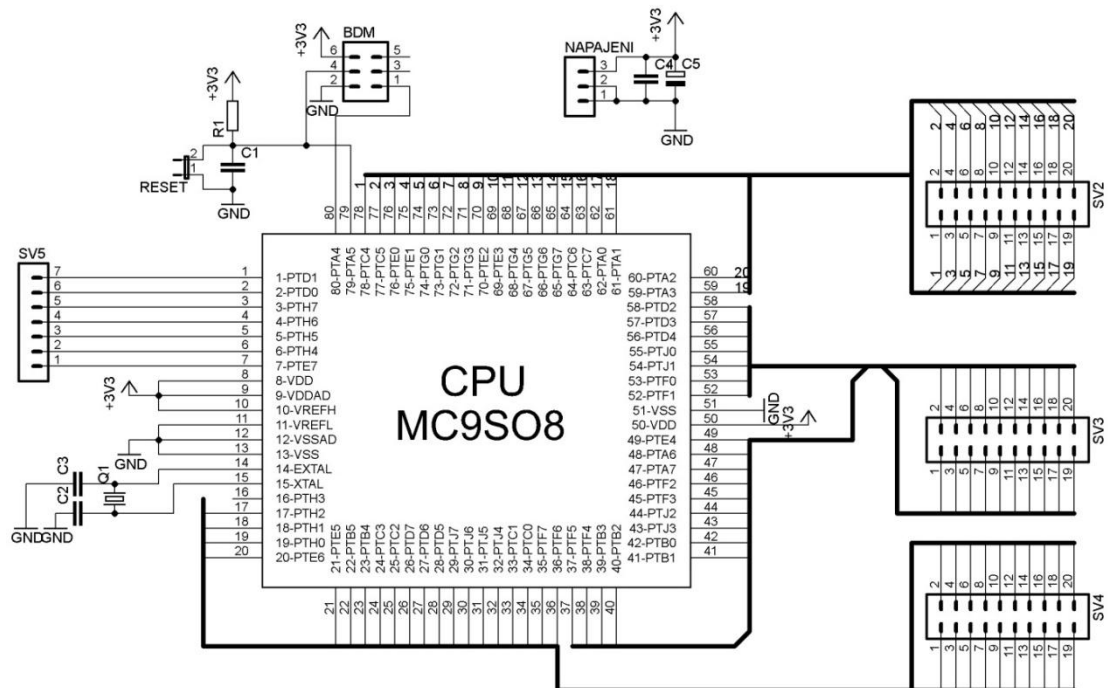
4.2.1 Budící část předního panelu



Obr. 31 Schéma budící části předního panelu

Základem budící části předního panelu jsou posuvné registry 74HC595. Z důvodu velkého množství zobrazovacích prvků bylo nutné budit přední panel sériovými daty. MCU odesílá sériová data po SPI kanálu do posuvných registrů, ty převedou sériový signál na paralelní. Díky paměťovému registru integrovanému v posuvném registru, se hodnota udrží do dalšího přepsání. Pro proudové posílení výstupů posuvných registrů bylo nutné na každý tento výstup zapojit PNP tranzistor pro buzení společných anod jednotlivých segmentů. Schéma bylo oříznuto o vrchní část PNP tranzistorů. Tranzistory však analogicky navazují na ukázkou. Výstup z posuvných registrů je přiveden na jednotlivé segmenty sedmi-segmentových LED displejů.

4.2.2 Deska MCU



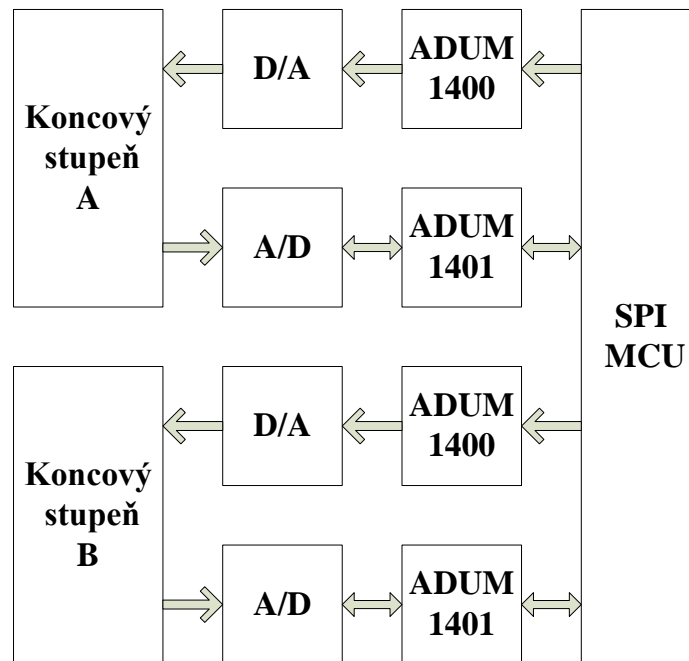
Obr. 32 Schéma MCU desky

Deska plošného spoje je osazena MCU MC9S08QE128RM firmy Freescale Semiconductor. MCU je napájen 3,3V. Toto napětí je filtrováno kondenzátory C4 a C5. Filtrované napájecí napětí je společné pro napájení MCU a referenční napájení převodníků integrovaných v MCU. Taktován je krystalem Q1 o frekvenci 16MHz. Konektor BDM zajišťuje komunikaci MCU s programátorem a následně s PC. Rozhraní BDM umožňuje programování a real time debug přímo v zařízení. MCU je také možno restartovat propojením resetovacích pinů. Výstupy a vstupy jsou přivedeny na konektory SV2 až SV5. Z konektorů jsou nadále přivedeny k jednotlivým deskám plošného spoje.

Tab. 2 Zapojení pinů MCU k okolí

Pin MCU	Port MCU	Připojené zařízení
1	SPI2_MOSI	Přední panel
2	SPI2_SCK	Přední panel
3	PTH7_CS	Přední panel
8	VDD	3,3V
9	VDDAD	3,3V
10	VREFH	3,3V
11	VREFL	GND
12	VSSAD	GND
13	VSS	GND
14	EXTAL	Krystal
15	XTAL	Krystal
26	PTD7_KBI2	přerušení tlačítek panelu
28	PTD5_KBI2	Přerušení N-Kodéru
30	PTJ6	Směr N-Kodéru
35	PTF7	Relé 9V vinutí Levá
36	PTF6	Relé 9V vinutí Pravá
39	SPI1_MOSI	D/A převodník
40	SPI1_SCK	D/A převodník
50	VDD	3,3V
51	Vss	GND
61	PTA1	A/D převodník slave select P
62	PTA0	Mute
65	PTG7_ADP23	Teploměr L
66	PTG7_ADP22	Teploměr P
67	PTG5	D/A převodník slave select L
68	PTG4	D/A převodník slave select L
70	SPI1_MISO	A/D převodník
71	PTG3	A/D převodník slave select L
73	PTG1	D/A převodník slave select P
74	PTG0	D/A převodník slave select P
75	SPI1_MOSI	A/D převodník
76	SPI1_SCK	A/D převodník
77	PTC5_TMP3	Ventilátory PWM L
78	PTC5_TMP2	Ventilátory PWM P
79	RESET	Reset
80	BDM	BDM

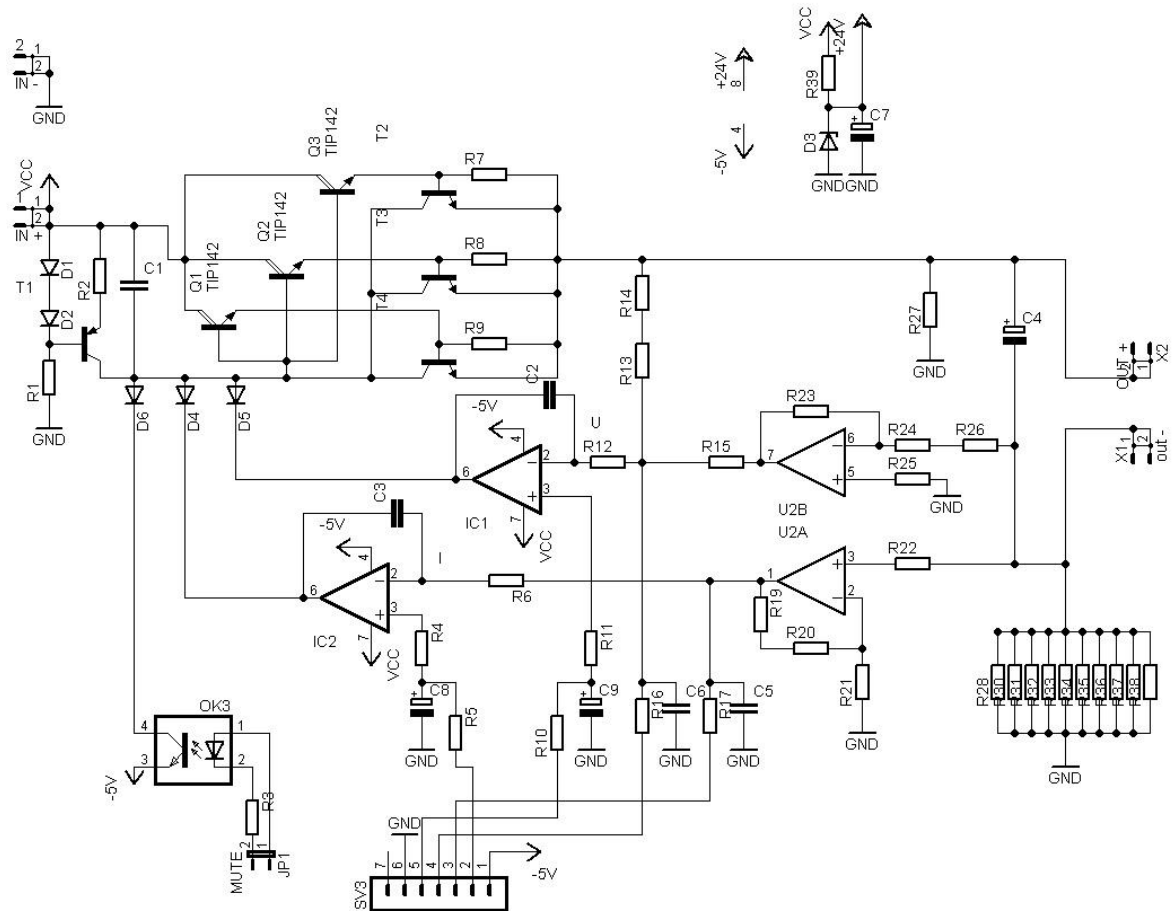
4.2.3 Analogové digitální, digitálně analogové převodníky



Obr. 33 Blokové schéma převodníků

Žádoucí od konstrukce převodníků bylo propojení přes jedno rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface) nebo-li sériové periferní rozhraní, s dodržением galvanického oddělení obou koncových stupňů. Pro případné sériové nebo paralelní spojení koncových stupňů, k dosažení vyššího výstupního napětí nebo proudu. Vzhledem k tomu, že veškeré analogové D/A převodníky a A/D převodníky by měly společnou zem, bylo nutné každý kanál zvlášť galvanicky oddělit. Také je zapotřebí zvlášť napájet převodníky symetrickým napětím 5V.

4.2.4 Koncový stupeň regulovatelného zdroje



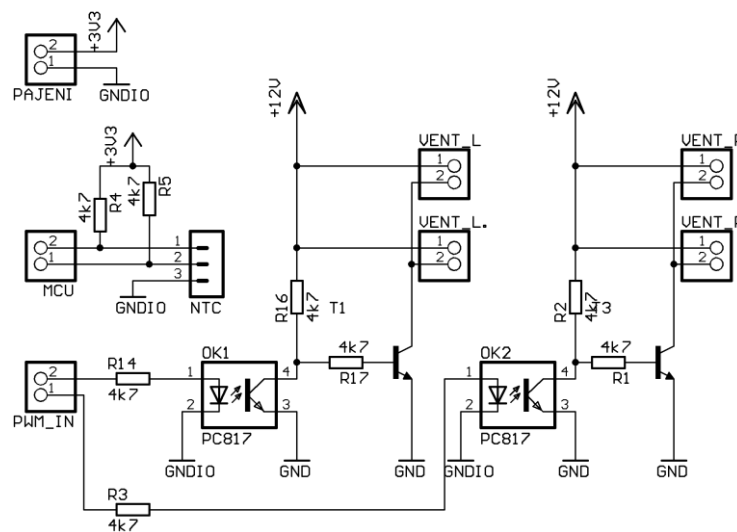
Obr. 34 Schéma koncového stupně

Hlavním požadavkem na koncový stupeň bylo řízení výstupního napětí a proudu pomocí D/A převodníku. Dále možnost regulace napětí v rozsahu 0 až 40 volt / 0 až 3 ampéry.

Hlavním regulačním prvkem koncového stupně laboratorního zdroje jsou komparátory IC1 a IC2. Komparátor IC2 slouží k regulaci proudu a IC1 k regulaci napětí. Komparátory mají ve své zpětné vazbě kondenzátory, sloužící jako filtry dolní propusti, bránící rozkmitání koncových tranzistorů. Báze koncových tranzistorů je napájena zdrojem konstantního proudu. Zdroj konstantního proudu je konstruován tranzistorem T1 a součástkami kolem něj. Výstupní proud ze zdroje konstantního proudu je určen rezistorem R2. Diody D6 až D4 slouží, jako člen OR tzv. člen „nebo“, tím je zajištěno, že může být regulováno podle napětí, proudu nebo nulováno optočlenem OK3. Optočlen je zapojen k okamžitému nulování výstupního napětí při havarijní situaci. Další ochranou koncových tranzistorů jsou tranzistory T2 až T4 s rezistory R7 až R9. Tato ochrana eliminuje

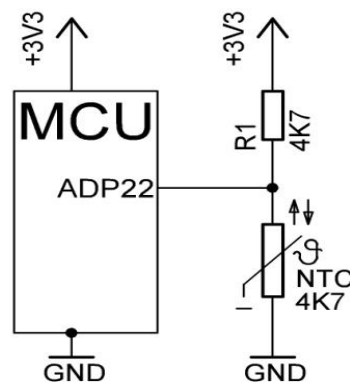
proudové špičky při zapojení výstupu nakrátko. Při spojení nakrátko a překročení úbytku napětí na rezistorech R7 až R9 se otevřou tranzistory T2 až T4, což vede k uzemnění proudového zdroje a tím snížení výstupního proudu. Operační zesilovač U2A, zapojený jako neinvertující zesilovač, zesiluje úbytek na bočníku. Zajišťuje tak měření výstupního proudu. Přesnost měření je značně závislá na použitém operačním zesilovači a přesnosti použitých rezistorů. Naměřený proud je vstupem do A/D převodníku, měřícího výstupní proud, zároveň je vstupem do komparátoru IC2 na invertující vstup. V případě, že je napětí na invertující vstup ICI2 větší než na neinvertující vstup, je operační zesilovač překlápán do stavu výstupního napětí, rovnajícímu se zápornému napájecímu napětí OZ. V případě nižšího napětí na invertující vstup zesilovače nastává opačná situace než u předešlého případu. Výstupní napětí OZ je téměř rovno jeho napájecímu napětí. OZ U2B v zapojení jako invertující zesilovač slouží ke kompenzaci ztráty úbytku napětí na bočníku. Výstupní napětí je měřeno přes dělič napětí R12 až R14. Pro odfiltrování šumu jsou při měření pomocí A/D převodníků použity kondenzátory C5 a C6. Zenerova dioda D3 slouží k napájení OZ U2A a U2B. Z důvodu možnosti zdroj napájet poměrně „velkým“ napájecím napětím a možností odebírat až 3A výstupního proudu je nutné zajistit dobré, nejlépe aktivní chlazení koncových tranzistorů díky velkému ztrátovému výkonu na tranzistorech.

4.2.5 PWM řízení ventilátorů a teplotměřů



Obr. 35 Schéma PWM řízení ventilátorů

Pro nutnost dobře chladit koncové tranzistory bylo zvoleno aktivní chlazení. Díky relativně malému použitému chladiči, byly použity čtyři 12V ventilátory pro ochlazení chladiče. Pro snížení hlučnosti a zlepšení regulace otáček ventilátorů v závislosti na rostoucí či klesající teplotě byla zvolená PWM regulace otáček. Na schématu „viz výše“ je patrné zapojení ventilátorů. Ventilátory jsou zapojeny paralelně vždy po dvou a to na každý kanál zvlášť. Galvanické oddělení MCU od ventilátorů bylo realizováno optočleny. Z důvodu malého výstupního proudu optočlenu bylo nutné výstup posílit NPN tranzistorem. Vlastností tohoto zapojení je však otočení logiky tz. Při vstupu log. 0 na vstup PWM_IN jsou otáčky ventilátorů maximální. V opačném případě přivedením log. 1 na vstup PWM_IN je ventilátor zastaven. Teplota pro řízení ventilátorů a případné odstavení zdroje při přehřátí je měřena NTC (negativními termistory). Měření teploty je znázorněno níže „viz schéma“. Úbytek napětí na termistoru je přiveden na pin MCU se vstupem jako A/D převodník. Teplota je měřena pro oba kanály zdroje nezávisle a tím i ovládání ventilátoru PWM je pro každý kanál nezávislé.



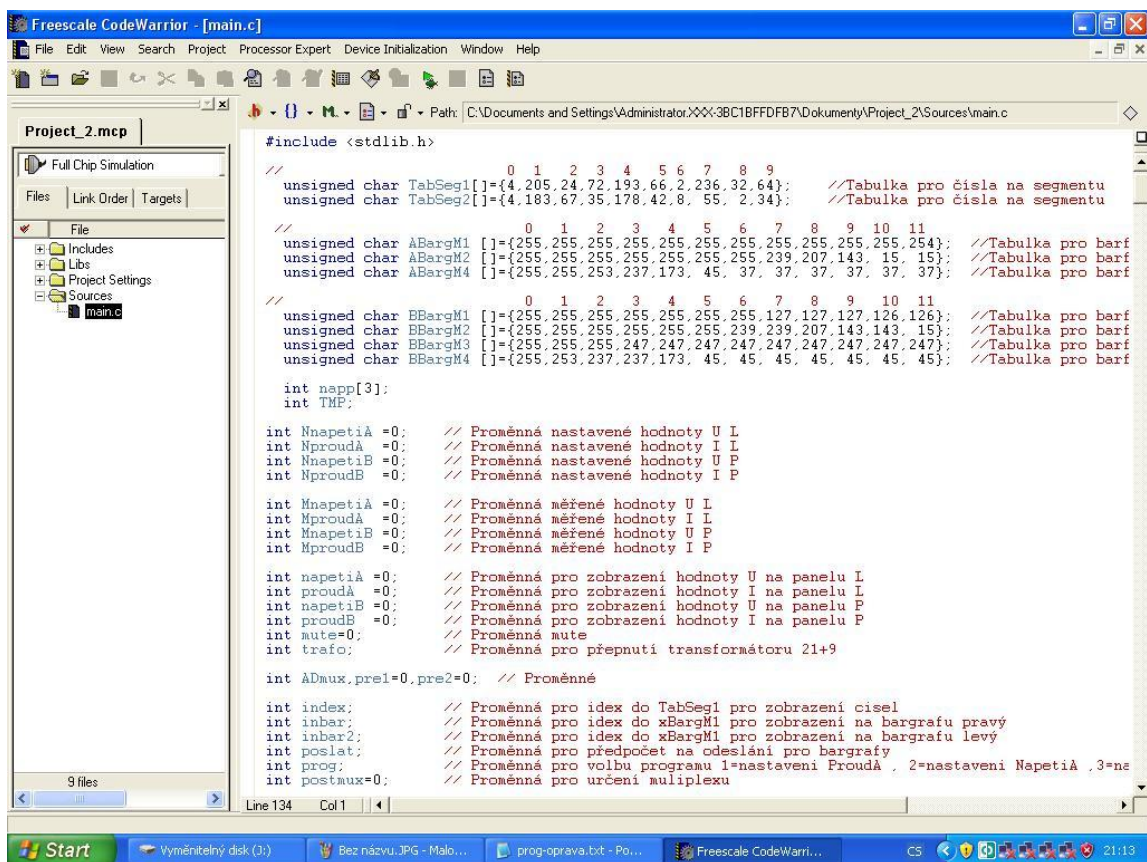
Obr. 36 Schéma připojení termistoru k MCU

5 SOFTWARE VYBAVENÍ

V následující části bude popsána realizace nastavitelného zdroje z hlediska softwaru. Program pro MCU je napsán ve vyšším programovacím jazyce C. Pro zvolený MCU firmy Freesacele je k dispozici vývojové prostředí CodeWarrior, které je také využito. Samotný program v jazyce C je v rozsahu cca 1000 řádků. Následně bude program pro zjednodušení popsán v blocích a ty následně stručně objasněny s případnou ukázkou související části programu. Program nebude popisován celý, ale jen důležité části, kompletní okomentovaný zdrojový kód programu je přiložen v příloze.

5.1 Popis programu CodeWarrior

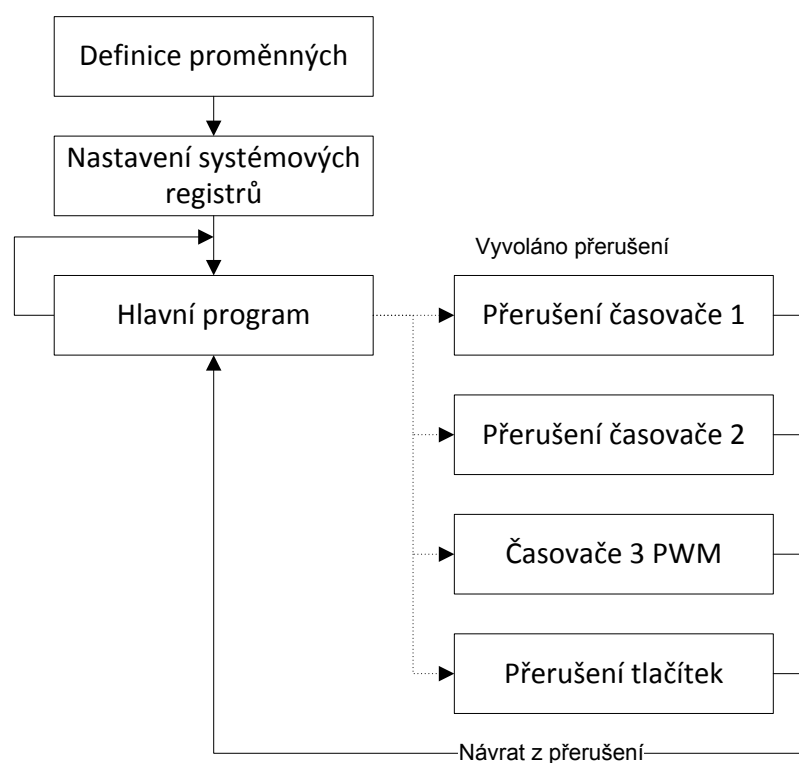
Program CodeWarrior je vývojové prostředí pro programování, kompilaci a ladění (debugging) napsaného kódu pro MCU firmy Freescale. Program podporuje programování v jazycích: Asembler, C, C++. Napsaný kód programu je kompilován (převeden) na strojový kód MCU. Po nahrání strojového kódu do MCU je možno provést debugging (odladění) programu krokováním, kontrolou nebo přepisem proměnných.



Obr. 37 Vývojové prostředí CodeWarrior

5.2 Zdrojový kód

Zdrojový kód celého laboratorního zdroje je možno rozdělit do tří základních skupin. Skupina iniciační obsahuje bloky definice proměnných a nastavení systémových registrů, tato skupina se provádí pouze jednou a to při každém startu nebo restartu MCU. Skupinu cyklickou může obsadit pouze blok hlavního programu. Hlavní program se neustále vykonává cyklicky, do doby než jej přeruší poslední skupina přerušení. Po obslužení přerušení se MCU vrací na to místo hlavního programu ze kterého byl přerušen. Jednotlivé bloky budou následně níže popsány.



Obr. 38 Vývojový diagram celého programu

5.2.1 Blok deklarace proměnných

V bloku deklarace proměnných se definují všechny proměnné, které budou využity v programu. Využity jsou pouze proměnné datového typu integer. Blok deklarace proměnných se provádí pouze jednou, a to po každém prvotním zapnutí nebo po vyvolání resetu.

Ukázka programu deklarace proměnných

```

int NnapetiA =0; // Proměnná nastavení hodnoty U L
int NproudA =0; // Proměnná nastavení hodnoty I L
  
```

```
int NnapetiB =0; // Proměnná nastavení hodnoty U P  
int NproudB =0; // Proměnná nastavení hodnoty I P
```

5.2.2 Blok nastavení systémových registrů

Systémové registry určují veškeré nastavení MCU, a to od nastavení přerušení, čítačů a periférií až po nastavení taktu MCU. Veškerá systémová nastavení jsou definována v dokumentaci každého typu MCU rozdílně. Blok nastavení systémových registrů se provádí pouze jednou a to po každém prvotním zapnutí, nebo po vyvolání resetu.

Ukázka programu nastavení systémových registrů

```
TPM1SC = 0b01001000;  
TPM1MOD = 30000;
```

TPM systémový registr nastavuje časovač. Možnosti nastavení jsou: bit pro čtení přetečení časovače, povolení časovače, nastavení výstupu jako PWM, nastavení děliče časovače. Dalším důležitým nastavením je modulo registr, jehož hodnota určuje do kolika má časovač počítat.

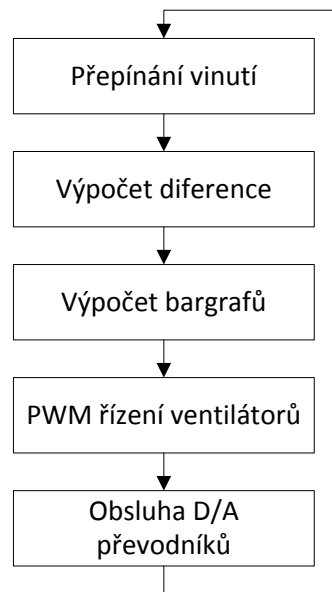
```
SPI2C1=0b01010000;  
SPI2C2=0b00001000;  
SPI2BR=0b00000011;
```

SPI systémový registr, nastavuje sériové rozhraní komunikace. Pro správnou funkci je nutno nastavit přenosovou rychlost, samotné povolení a další důležitá nastavení.

Nastavení pokračují pro další systémové registry.

5.2.3 Blok hlavního programu

Tento blok se na rozdíl od předešlých neustále cyklicky opakuje a to do doby než je vyvoláno přerušení, které je obslouženo a dále se pokračuje v hlavním programu. Hlavní program bude popsán podrobněji následně.



Obr. 39 Blokové schéma hlavního programu

5.2.4 Blok přepínání vinutí

Blok přepínání vinutí vyhodnotí, zda je požadované napětí větší než 30V, v případě splnění podmínky je nastaven výstupní signál pro připnutí vinutí nulován. V opačném případě je výstupní signál nastaven do úrovně logické jedničky. Tato podmínka je testována pro oba kanály zdroje zvlášť a to v každém cyklu.

Ukázka kódu programu:

```

if(NnapetiA>=3000)      //Podmínka připnutí vinutí transformátoru A
{
    PTFD_PTFD7=0;      //Připnutí vinutí transformátoru
} else{
    PTFD_PTFD7=1;      //Odepnutí vinutí transformátoru
}
  
```

5.2.5 Blok výpočtu difference

Blok výpočtu difference slouží k výpočtu rozdílu hodnoty měřeného a nastaveného napětí a proudu. Tak můžeme určit, zda probíhá regulace napěťová nebo proudová. Signalizace je provedena pomocí RG led diod. V případě rozdílu hodnoty naměřené a nastavené přesahující hranici 20mV nebo 20mA je rozsvícená červená led dioda, zelená v opačném případě.

```
difNA=MnapetiA-NnapetiA; //odečtení napětí nastavené od naměřené  
difNA=abs(difNA); //výpočet absolutní hodnoty
```

Výpočet je analogický pro oba kanály a to pro hodnoty napětí či proudu.

5.2.6 Blok bargrafů

Blok ovládání vodorovných bargrafů zobrazuje hodnotu proudu. Bargraf je konstruován z 12 Led diod a proto připadá výstupní proud 300mA na jednu led diodu. Naměřený proud je podělen 300, tak aby výsledek byl roven počtu zobrazovaných led.

5.2.7 PWM řízení ventilátorů

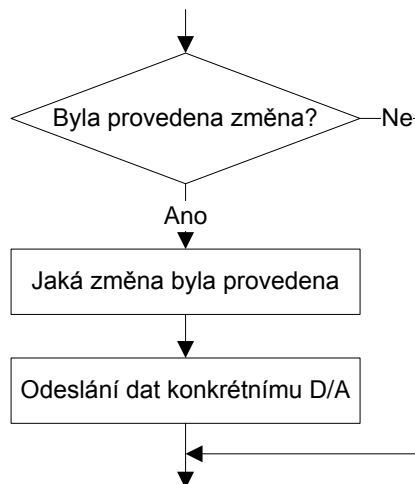
Pro řízení ventilátorů bylo využito PWM periférie MCU. PWM periférie využívá přímo posledního třetího časovače. Rychlost otáček ventilátoru je přímo závislá na růstu teploty. Teplota je měřena interním A/D převodníkem. Naměřená hodnota z termistoru je exponenciální. Nenáročnost výpočtu byla zajištěna zjištěním křivky, provedením selekce nejpoužívanějšího rozsahu teplot a následně proložena přímkou. Tato přímka je funkcí rychlosti otáček ventilátoru.

```
TPM3C4V = (700*teplotaL)-35700;
```

```
TPM3C5V = (700*teplotaP)-35700;
```

Naměřená hodnota napětí, odpovídající teplotě, je uložena v proměnných teplota L a P. Hodnota modulu registru je vyčíslena z rovnice výše.

5.2.8 Blok obsluhy D/A převodníků



Obr. 40 Vývojový diagram obsluhy D/A převodníků

Blok obsluhy D/A převodníků slouží k odeslání nastavené hodnoty napětí a proudu do D/A převodníků a tím následně na výstup celého zdroje. Z důvodu lepší stability výstupního napětí jsou data do převodníku odeslána až po změně nastavené hodnoty. V obsluze přerušení tlačítek je zaznamenáno, která hodnota napětí či proudu byla změněna. Následně v hlavním programu je testováno, jaká změna byla provedena a nová data jsou odeslána do příslušného převodníku.

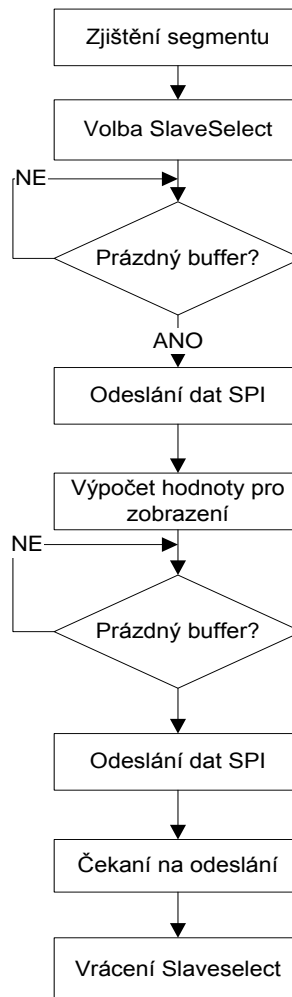
```

if(priznDA==1||mute==1)           //byla změněna hodnota napětí A?
{
    PTGD_PTGD4=0;                 // nastavení Slave select
    bufferDA2=NnapetiA*1.672;     //konstanta pro nastavení
    bufferDA =bufferDA2>>8;      //posun 8 bit
    DAprevod();                   //podprogram odeslání dat
    cekej();                       //Volání podprogramu, čas pro pin Slave select
    PTGD_PTGD4=1;                 //nastavení Slave select
}
  
```

Hlavní program je ve svém běhu přerušován časovačem 1, 2 a externím přerušením tlačítka.

5.2.9 Přerušení časovače 1

Časovač 1 je využit k přesnému odměření času pro odeslání dat patřičnému segmentu displeje. Data jsou odesílána pro segmenty multiplexně (postupně) v pořadí zleva doprava. Důvod přesného času odesílání je blikání nebo pozastavování zobrazované hodnoty na displeji.



Obr. 41 Vývojový diagram přerušení časovače 1

První důležitou věcí po vyvolání přerušení časovače je selekce segmentu pro zobrazení. Následuje výpočet zobrazovaného čísla. Výpočet je dále převeden na binární slovo odpovídající číslu zobrazovanému na segmentu.

```

if(postmux==1)          // První multiplex, první levé číslo pro napětí A a proud A
{
    tlacmux=0;          // Nuluj tlacmux z důvodu zamezení volby programu při odesílání
    cekej();            // Volání podprogramu pro čas Slave select
    PTHD_PTHD7=0;      // Nastavení Slave select pro odesílání
    while(SPI2S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru
    SPI2D=TabSeg2[index]; // Zjištění hodnoty z tabulky a následné odeslání
    index=napetiA/1000; // V době odesílání se počítá další hodnota pro odeslání
    while(SPI2S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru SPI1
    SPI2D=TabSeg1[index]; // Zjištění hodnoty z tabulky a následné odeslání
    while(SPI2S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru SPI1
    SPI2D=0b01111111; // Odeslání dané pozice společné katodě v multiplexu
    index=((proudA%1000)/100); // Výpočet hodnoty k odeslání
    while(SPI2S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru SPI1
    SPI2D=0b01111111; // Odeslání dané pozice společné katodě v multiplexu
    cekej();            // Čekání na odeslání
    PTHD_PTHD7=1;      // Pull up Slave select pro konec zápisu a začátek zobrazení
    tlacmux=postmux;    // Zápis multiplexu do reg. tlačítek
}

```

Po splnění podmínky správného segmentu pro zobrazení je nulována proměnná aktuálního ukazatele na tlačítko. Dále je volán podprogram časové smyčky pro čas potřebný před volbou slave select. Po volbě slave select je nutno počkat na případné vyprázdnění bufferu sériového rozhraní od předešlé hodnoty. Odesílání dat po SPI trvá určitý čas a je nutné tuto dobu čekat. Pro dobré využití času bylo vhodné si při odesílání vypočítat hodnotu potřebnou k následujícímu odeslání. Data jsou odesílána po 8-bitech. Po odeslání se volá podprogram časové smyčky a následně vrácení hodnoty slave select. Analogicky pokračuje odesílání pro všechny ostatní segmenty.

5.2.10 Časovač 2

Časovač 2 je využit k časování čtení všech A/D převodníku. Po vyvolání přerušování časovače se přečte hodnota jedné veličiny napětí, proudu nebo teploty. Při vyvolání dalšího

přerušeni se čte další veličina. Výhodou využití časovače je konstantní perioda čtení hodnot. Hodnoty napětí a proudu jsou měřeny externími A/D převodníky, hodnota odpovídající teplotě je naopak čtena integrovaným převodníkem v MCU.

```

if(ADmux==1)
{
    PTAD_PTAD1=0;           // Nastavení Slave select
    cekej();                // Volání podprogramu pro čas pro pin Slave select
    while(SPI1S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru
    SPI1D=0b00001000;      // Odeslání řídicího
    while(SPI1S_SPRF==0); // Podmínka prázdného buffru
    pre1=SPI1D;            // přečtení naměřených dat
    while(SPI1S_SPTEF==0); // Podmínka prázdného buffru
    SPI1D=0b00000000;      // Odeslání řídicího reg.
    while(SPI1S_SPRF==0); // Podmínka prázdného buffru
    pre2=SPI1D;            // Přečtení naměřených dat
    cekej();                // Volání podprogramu pro čas pro pin Slave select
    PTAD_PTAD1=1;         // Nastavení Slave select
}

```

Čtení z externích A/D převodníků vyžaduje mimo jiné také odeslání dat do stavového registru. Stavový registr obsahuje adresu čteného vstupu a dále režim napájení a volbu referenčního napětí. Odesláním dat do stavového registru jsou naměřená data odeslána do MCU. Velký důraz musí být kladen na čekání odeslání celého bufferu SPI. Podmínkou „while“ je tento problém odstraněn. V případě absence této podmínky docházelo k přečtení předešlých dat.

5.2.11 Přerušeni tlačítek 1

Na všechna tlačítka předního panelu je využito pouze jedno přerušeni. Veškerá tlačítka jsou navázána na rozdílné segmenty. Rozsvícením daného segmentu se napájí pouze určité tlačítko. Samotné přerušeni funguje následovně. Po zmáčknutí tlačítka se vyvolá přerušeni,

obsluha přerušení přečte aktuální hodnotu multiplexu displeje a tím určí, které z tlačítek bylo zmáčknuto.

```
if(tlacmux==9)                // test tlačítka pro jemné inkrementální doladění
{
    if(prog==1 && NproudA<=3500) // test který program je zvolen a test maxima
    {
        priznDA=2;                // nastavení příznaku změny hodnoty pro odesílání do D/A
        ++NproudA;                //inkrementace hodnoty proudu
    }
    if(prog==2 && NnapetiA<=4000) //test který program je zvolen a test maxima
    {
        priznDA=1;                // nastavení příznaku změny hodnoty pro odesílání do D/A
        ++NnapetiA;                //inkrementace hodnoty napětí
    }
}
```

Jako první v obsluze přerušení je čtená hodnota multiplexu displeje. Tím je určeno tlačítko. Funkce tlačítka je odvozena od zvoleného programu. Každé z tlačítek má svou specifickou funkci.

5.2.12 Přerušení tlačítek 2

Druhé přerušení tlačítka je využito na čtení rotačního N-kodéru. Rotační N-kodér při otáčení generuje dva obdélníkové signály posunuté o 90°. Čtení směru je realizováno připojením jednoho obdélníkového signálu na přerušení. Obsluha přerušení přečte úroveň druhého obdélníkového signálu. Hodnota úrovně pak určuje směr otáčení.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat regulovatelný napájecí zdroj. Konstrukci předcházelo studium odborných materiálů, týkajících se dané problematiky. Nabízela se zde celá řada možných řešení. Na základě získaných informací byla zvolena konstrukce dvojnásobného lineárního regulovatelného zdroje. Časově nejnáročnější byla výroba jednotlivých komponentů, z nichž některé bylo z důvodu špatné funkčnosti nutno lépe navrhnout a znovu zkonstruovat. Psaní zdrojového kódu usnadnil vyšší programovací jazyk „C“ a dobře zpracované vývojové prostředí CodeWarrior, ve kterém je možno provádět ladění programu v reálném čase (real time debugging). Projekt jako celek byl poměrně náročný a vyskytlo se při něm mnoho potíží. Odstraňování problémů mi ale přineslo mnoho cenných zkušeností a většinu nedostatků se podařilo úspěšně odstranit. Některé z nich sice přetrvávají i nadále, ale jejich odstranění by bylo časově náročné a na funkčnost nemají zásadní vliv a zdroj lze běžně využívat.

Dlouhodobým problémem bylo řešení regulace výstupního napětí do 40V. Operační zesilovače, regulující výstupní napětí musí být na takové napětí konstruovány. Běžně dostupné operační zesilovače jsou dimenzovány do napětí 35V. Tímto napětím je většina regulovatelných zdrojů omezena. Řešením bylo osazení koncových stupňů speciálními operačními zesilovači, které umožňují regulaci až do 70V.

Jako drobný nedostatek se může jevit nedokonalá stabilizace a filtrace napájecího napětí pro analogově digitální převodníky, která ovlivňuje použitou interní referenci napětí převodníků. Projevuje se rušením naměřeného výstupního napětí v rozmezí $\pm 20\text{mV}$ a naměřeného proudu v rozmezí $\pm 20\text{mA}$. Použitím speciálních stabilizátorů napětí, stíněním přívodních vodičů a volbou externího zdroje referenčního napětí by byla nepřesnost eliminována. Nedostatek způsobuje pouze rozptyl měřeného výstupního napětí a proudu zobrazovaného na předním panelu, avšak na celkovou regulaci nemá žádný vliv.

Cíle bakalářské práce bylo dosaženo sestavením regulovatelného napájecího zdroje, který je plně funkční a slouží danému účelu. Regulovatelný napájecí zdroj řízený mikrokontrolérem představuje jedno z možných využití mikrokontrolérů v praxi. Bakalářská práce může být námětem pro další konstrukce regulovatelných zdrojů. Výsledek práce byl prezentován v rámci školní soutěže firmy Freescale Semiconductor, kde získal první místo.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was to design and construct regulated power supply. Before construction it was necessary to study materials related to the issue. There were plenty of options. Based on the obtained information a construction of double linear regulated power supply was chosen. Most time consuming work was the production of individual components. Due to malfunctions of some parts it was necessary to create better design and again construct new parts. Thanks to higher programming language ‘‘C’’ and well designed development interface CodeWarrior in which it is possible to perform debugging in real-time. Writing of the source code was easier. Whole project was technically demanding and there were many problems to solve. By solving the problems I have learned many valuable things. Most of the problems were successfully solved, some of them still exist and their elimination would be very time consuming. However, those problems have no major effect on functionality so the source can be normally used. Long-term problem was obtaining output voltage up to 40V. Operational amplifiers must endure the output voltage. Commercially available operational amplifiers are designed up to 35V voltage. Most of regulative sources are limited by this voltage. The solution was installing special operational amplifiers which allow regulation up to 70V. One smaller unsolved flaw is the lack of filtration and stabilization of power supply for AD converters.

This is influenced by the use of internal reference voltage. It shows as interference in measured output voltage in range $\pm 50\text{mV}$ and measured current in range $\pm 20\text{mA}$. Inaccuracy could be eliminated by usage of special voltage stabilizers, shielding of incoming conductors and the choice of an external source reference voltage. This flaw causes only a scattering of measured output voltage and current displayed on the front panel, but it has no influence on regulation. The aim of this thesis was achieved by constructing the controllable power source, which is fully functional and serves its intended purpose. Adjustable power supply controlled by microcontroller is one of many possible uses of MCU in practice. Work can be a topic for further developments of controllable sources. The power supply was also presented in the school competition by Freescale Semiconductor, and it won the first place.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Základy elektrotechniky - 7 - Zdroje napětí Dostupný z URL:
<<http://www.8bitu.cz/clanek/zaklady-elektrotechniky-7-zdroje-napeti/>>
- [2] Základy elektrotechniky - 8 - Zdroje proudu Dostupný z URL:
<<http://www.8bitu.cz/clanek/zaklady-elektrotechniky-8-zdroje-proudu/>>
- [3] A/Č a Č/A převodníky, Autor: K. Kadlec Dostupný z URL:
<http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mt_ji/prednasky/Text_AD-DA3.doc>
- [4] A/D a D/A převodníky, Dostupný z URL:
<<http://home.zcu.cz/~jassica/tchp1/%A7umpa/prevodniky.pdf>>
- [5] Logické obvody III proudu Dostupný z URL:
<<http://www.dmaster.wz.cz/teorie/logicke3/logicke3.htm>>
- [6] Použití rotačních enkodérů Dostupný z URL:
<<http://elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/tutorial/RotaryEncoder/RotaryEncoder.html>>
- [7] MIKROPOČÍTAČOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY I, Autor: Petr Palacký Dostupný z URL:
<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/MRS1/Palacky_MRS_elerning.pdf>
- [8] Jednočipový počítač, Dostupný z URL:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Jednočipový_počítač>
- [9] MC9S08EQ128, QE96, QE64 Reference Manual [online]. Freescale Semiconductor, 2007 [cit. 2010-01-22]. Dostupný z URL:
<http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08QE128RM.pdf>
- [10] 74HCT595 Data Sheet, Dostupný z URL:
<http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT595.pdf>
- [11] AD7888 Data Sheet, Dostupný z URL:
<http://www.analog.com/static/imported-files/Data_Sheets/AD7888.pdf>
- [12] AD7242_7244 Data Sheet, Dostupný z URL:
<http://www.analog.com/static/imported-files/Data_Sheets/AD7242_7244.pdf>
- [13] ADuM1400/ADuM1401/ADuM1402 Data Sheet, Dostupný z URL:
<http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUM1400_1401_1402.pdf>

- [14] MC9S08QE128 Data Sheet [online]. Freescale Semiconductor, 2008 [cit. 2010-01-25]. Dostupný z:URL: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QE128.pdf
- [15] CPU08 Central Processor Unit Reference manual [online]. Freescale Semiconductor, 2006 [cit. 2010-01-25]. Dostupný z URL: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/CPU08RM.pdf
- [16] BEZDĚK, Miroslav. Elektronika I. České Budějovice: KOPP, 2008. 341 s. ISBN 978-80-7232-365-4.
- [17] ANTOŠOVÁ, Marcela, DAVÍDEK, Vratislav. Číslicová technika. České Budějovice: KOPP, 2009. 308 s. ISBN 978-80-7232-394-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MCU	Jednočipový počítač (Microcontroller)
Ω	Ohm jednotka odporu
A/D	Analogově digitální
D/A	Digitálně analogový
PISO	Paralelní vstup sériový výstup
SIPO	Sériový vstup paralelní výstup
ROM	Paměť pouze pro čtení (Read-Only Memory)
RWM	Paměť pro čtení a zápis (Read-Write-Memory)
RAM	Paměť s libovolným přístupem (Random-access memory)
EPROM	Mazatelná a programovatelná paměť
EEPROM	Elektricky mazatelná a programovatelná paměť
PWM	Pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
V	Volt jednotka napětí
A	Ampér jednotka proudu
Hz	Hertz jednotka frekvence
SPI	Sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)
I ² C	Multi-master sériová sběrnice
BDM	Rozhraní pro programování mikrokontrolérů
PC	Osobní počítač
CMOS	Technologie výroby integrovaných obvodů
DC	Stejnoseměrný proud
LED	Elektroluminiscenční dioda (Light-emitting diode)
OZ	Operační zesilovač

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schematické značky zdrojů napětí [1].....	11
Obr. 2 Zapojení ideálního zdroje napětí [1].....	11
Obr. 3 Zapojení reálného zdroje napětí [1].....	12
Obr. 4 Výstupní parametry zdrojů napětí	13
Obr. 5 Ukázka závislosti napětí na vnitřním odporu a na výstupním odporu	14
Obr. 6 Schematické značky zdrojů proudu[2]	14
Obr. 7 Zapojení ideálního zdroje proudu [2]	15
Obr. 8 Zapojení reálného zdroje proudu [2]	16
Obr. 9 Funkční schéma A/D převodníku [3]	18
Obr. 10 Analogově-digitální převod [3]	19
Obr. 11 Posuvný registr SIPO z D klopných obvodů [5]	20
Obr. 12 Posuvný registr SIPO z JK klopných obvodů [5].....	21
Obr. 13 Příklad průběhu signálů [5]	21
Obr. 14 Posuvný registr PISO z D klopných obvodů [5]	22
Obr. 15 Funkce rotačního N-kodéru[6]	23
Obr. 16 Zapojení rotačního N-kodéru[6].....	23
Obr. 17 Blokové schéma MCU [7].....	24
Obr. 18 Pouzdra mikrokontroléru MC9S08 [9].....	27
Obr. 19 Funkce pinů MCU [9].....	28
Obr. 20 Pouzdro a funkce pinů posuvného registru [10].....	29
Obr. 21 Vnitřní struktura posuvného registru [10]	29
Obr. 22 Pouzdro a funkce pinů A/D převodníku [11]	30
Obr. 23 Vnitřní struktura A/D převodníku [11].....	30
Obr. 24 Pouzdro a funkce pinů D/A převodníku [12]	30
Obr. 25 Vnitřní struktura D/A převodníku [12].....	30
Obr. 26 Vnitřní struktura adum 1400 [13].....	31
Obr. 27 Vnitřní struktura adum 1401 [13].....	31
Obr. 28 Blokové schéma napájecí části	32
Obr. 29 Schéma napájecího bloku	34
Obr. 30 Blokové schéma napájecí a řídicí části	35
Obr. 31 Schéma budicí části předního panelu	36
Obr. 32 Schéma MCU desky	37

Obr. 33 Blokové schéma převodníků	39
Obr. 34 Schéma koncového stupně.....	40
Obr. 35 Schéma PWM řízení ventilátorů.....	41
Obr. 36 Schéma připojení termistoru k MCU.....	42
Obr. 37 Vývojové prostředí CodeWarrior	43
Obr. 38 Vývojový diagram celého programu	44
Obr. 39 Blokové schéma hlavního programu	46
Obr. 40 Vývojový diagram obsluhy D/A převodníků	48
Obr. 41 Vývojový diagram přerušení časovače 1	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Parametry zdroje.....	32
Tab. 2 Zapojení pinů MCU k okolí.....	38

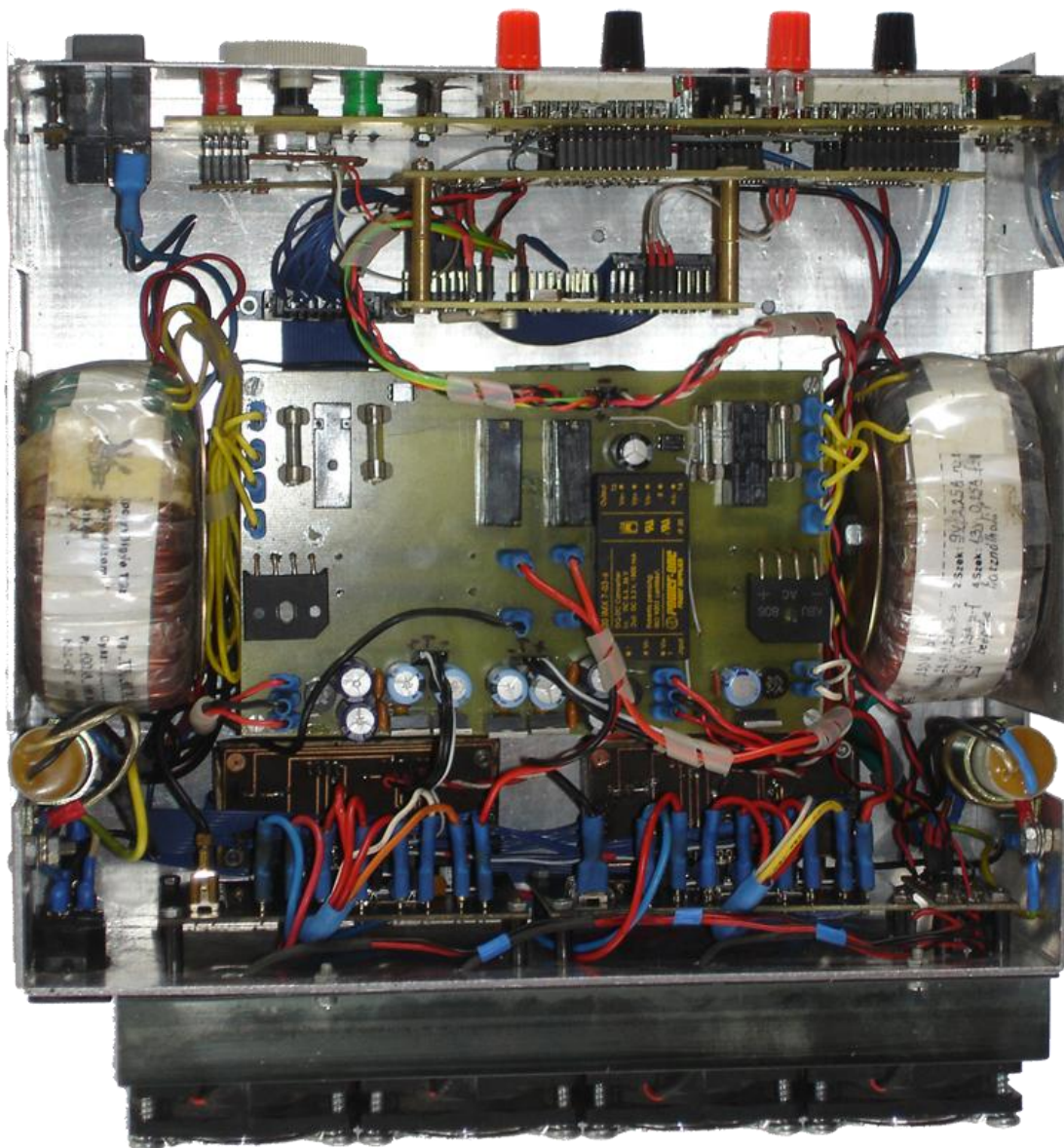
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Fotografie předního panelu regulovaného zdroje
- P II Fotografie vnitřního zapojení regulovaného zdroje
- P III Fotografie zadního panelu regulovaného zdroje
- P IV CD disk s bakalářkou prací, zdrojovým kódem, schémata a fotografiemi.

**PŘÍLOHA P I: FOTOGRAFIE PŘEDNÍHO PANELU
REGULOVANÉHO ZDROJE**



PŘÍLOHA P I: FOTOGRAFIE VNITŘNÍHO ZAPOJENÍ REGULOVANÉHO ZDROJE



**PŘÍLOHA P I: FOTOGRAFIE ZADNÍHO PANELU
REGULOVANÉHO ZDROJE**

