

Mikropočítačové řízení ventilátorů

Microcontroller-based fan control

Lukáš Hess

Bakalářská práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš HESS**
Osobní číslo: **A08040**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Mikropočítačové řízení ventilátorů**

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte koncepci zařízení pro řízení otáček počítačového ventilátoru v závislosti na teplotě pomocí mikropočítače.
2. Zvolte vhodné komponenty a navrhněte hardwarové zapojení obvodu.
3. Realizujte funkční prototyp zařízení.
4. Vytvořte obslužné programové vybavení a ověřte funkci zařízení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a Mikropočítače. Praha : BEN – technická literatura, 2004. 220 s. ISBN 80-7300-110-1.
2. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry. Praha : BEN – technická literatura, 2004. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
3. CATSOULIS, John. Designing Embedded Hardware. O'Reilly Media, 2005. 400 s. ISBN 978-0-596-00755-3.
4. IBRAHIM, Dogan. Microcontroller-Based Temperature Monitoring and Control. Newnes, 2002. 234 s. ISBN 978-0-750-65556-9.
5. CADY, Frederick M. Microcontrollers and Microcomputers Principles of Software and Hardware Engineering. Oxford University Press USA, 2009. 496 s. ISBN 978-0-195-37161-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

7. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a praktickou realizací modulu, jenž automaticky řídí otáčky PC ventilátorů na základě naměřené teploty z teplotních senzorů. Modul je postaven na mikropočítači z vývojové řady Freescale HCS08. Naměřená teplota je zobrazena uživateli skrze sedmi-segmentový LED displej. V teoretické části je popsán mikropočítač, informace o měření teploty a použitý software. Praktická část se pak věnuje návrhu hardware a obslužného software zařízení.

Klíčová slova: Freescale, HCS08, mikropočítač, EAGLE, CodeWarrior, ventilátor, PWM

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the design and practical implementation of the module, which automatically controls the speed of the PC fans on the basis of the measured temperature from temperature sensors. The module is based on a microcontroller from Freescale HCS08 family. The measured temperature is displayed to the user through a seven-segment display. The theoretical part describes a microcomputer, informs about temperature measurement and used software, the practical part is devoted to the hardware design and creation of service software.

Keywords: Freescale, HCS08, microcontroller, EAGLE, CodeWarrior, fan, PWM

Rád bych poděkoval panu Ing. Jan Dolinay, Ph.D. za pomoc a odborné vedení mé bakalářské práce. Také bych dále rád poděkoval panu Ing. Michalu Brázdovi a panu Jindřichu Vavříkovi za cenné rady při praktické realizaci. Rodině a přátelům děkuji za podporu.

„The night is darkest just before the dawn.“

Harvey Dent

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 MIKROPOČÍTAČ	11
1.1 Jednočipový mikro počítač.....	11
1.1.1 Instrukční sady mikroprocesoru.....	12
1.1.2 Freescale HCS08 architektura.....	12
1.1.3 Mikro počítač Freescale MC9S08QE8.....	13
1.1.4 Zapouzdření.....	15
1.1.5 Mikroprocesor.....	16
1.1.6 Sběrnice.....	17
1.1.7 Paměť.....	18
1.1.8 Periférie mikro počítače.....	19
1.2 Programátor Freescale Open Source BDM.....	22
1.3 PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ.....	23
1.3.1 Assembler.....	24
1.3.2 Vyšší programovací jazyky.....	24
2 POUŽITÉ SOFTWARE NÁSTROJE	25
2.1 EAGLE.....	25
2.2 CodeWarrior IDE.....	27
2.3 Processor Expert.....	28
3 MĚŘENÍ TEPLoty	30
3.1 Teplota.....	30
3.2 Měření teploty.....	31
3.2.1 Druhy kontaktních snímačů teploty.....	31
3.3 Teplotní čidlo SMT 160-30.....	33
3.3.1 Základní charakteristiky.....	33
3.3.2 Typické oblasti použití.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
4 NÁVRH MODULU	37
4.1 Princip činnosti.....	37
4.2 Základní deska.....	39
4.2.1 Napájení.....	39
4.2.2 Připojení programátoru.....	40
4.2.3 Schéma základní desky bez stabilizátorů.....	41
4.3 Ovládací deska.....	42
4.3.1 Obvod 74LS247.....	43

UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2011	8
4.3.2 Obvod HCF4017B	44
4.3.3 Displej	45
4.3.4 Schéma ovládací desky	46
4.3.5 Destička s čidlem	47
5 PRAKTICKÁ REALIZACE MODULU	48
5.1 Výroba plošných spojů fotocestou	48
5.2 Odzkoušení modulu.....	50
6 ŘÍDÍCÍ ALGORITMUS	52
6.1 Popis algoritmu	52
ZÁVĚR.....	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK.....	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

ÚVOD

Vývoj polovodičových technologií ve 2. polovině 20. století nastartoval revoluci v elektrotechnice, elektronice a mikroelektronice, zejména vynález tranzistoru měl velký dopad ve všech oborech využívajících nejnovější technologie k zefektivnění své činnosti. Následný vznik mikroprocesoru, jednočipových mikropočítačů a mikrokontrolerů a jejich postupná integrace, optimalizace a miniaturizace zpřístupnila tyto elektronické součástky nejen v oblastech výpočetní a řídicí techniky, ale také pro širokou veřejnost. Díky jejich finanční výhodnosti a velkému rozsahu využití lze mikropočítače nasadit téměř do libovolné aplikace a jejich využitelnost je při správném použití prakticky neomezená.

Současně s vývojem stále výkonnějších mikroprocesorů a prvních počítačů však vyvstal problém s jejich chlazením. Pasivní chlazení spočívající v odvodu tepla pomocí jiného materiálu (nejčastěji měď v kombinaci s hliníkem) již nebylo dostačující a začalo se přistupovat k chlazení aktivnímu. Kombinované vzduchové chlazení při vhodné kombinaci pasivního a aktivního prvku (ventilátoru) přivádí na chladič studenější vzduch a prouděním odebírá vznikající teplo pryč od součástky. Tento typ chlazení s aktivním prvkem tak poskytuje výrazně lepší chladicí účinek.

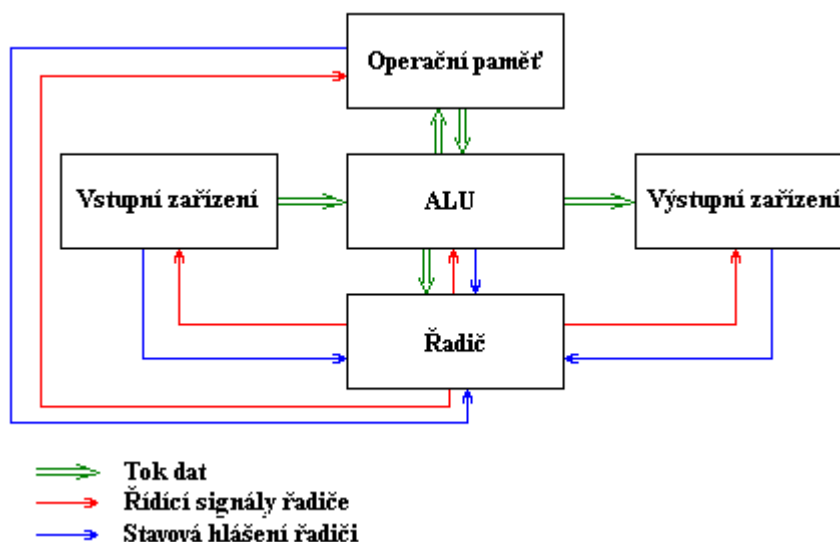
Tato práce se bude věnovat návrhu a realizaci prototypu zařízení založenému na mikropočítači Freescale ve funkci regulátoru otáček ventilátorů v závislosti na vstupním signálu z teplotních senzorů. Modul bude možné umístit všude tam, kde je potřeba aktivní chlazení, avšak s důrazem na omezení hlučnosti, které poskytuje plynulá regulace otáček.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MIKROPOČÍTAČ

1.1 Jednočipový mikropočítač

Jednočipový mikropočítač je druh počítače nebo přesněji druh von Neumannova počítače, pojmenovaném po významném matematikovi Johnu von Neumannovi, který jej vymyslel. Všechny von Neumannovy počítače obsahují čtyři komponenty: paměť, řadič, aritmeticko-logickou jednotku a vstupně výstupní brány a periferie (I/O), které jsou připojeny přes adresovou a datovou sběrnici. Zjednodušený diagram počítače je zobrazen na obr. 1. V paměti se ukládají jak data, tak program a vstupně výstupní periferie (I/O) poskytují možnost komunikace s okolním prostředím. V konvenčním osobním počítači (PC) jsou vstupně výstupní periferie realizovány skrze zobrazovací monitory, klávesnice, myši, scannery, tiskárny, modemy atd. U typické mikropočítačové aplikace poskytuje vstupně výstupní rozhraní komunikační prostředky se zařízením, ke kterému je připojený, jako např. PC, automobil, domácí spotřebiče, hračky, ovladače nebo laboratorní nástroje. Aritmeticko logická jednotka (ALU) provádí aritmetické a logické operace na datech, např. sčítání, logický součin AND apod. Řadič řídí tok informací mezi komponentami pomocí řídicích, adresových a datových linek(Obr.1). [1][13]



Obr. 1 Architektura Von Neumannova počítače[13]

Na sběrnici mikropočítače může být v jednom okamžiku připojen pouze jeden zdroj dat. Řízení sběrnice pak nejčastěji provádí procesor. Mikrokontrolery můžeme dělit podle různých kritérií jako je architektura nebo velikosti instrukční sady.

1.1.1 Instrukční sady mikroprocesoru

Instrukce – je základní stavební kámen každého programu, každá instrukce předepisuje jednoduchou operaci mikroprocesoru (např. přesun dat do paměti nebo registru, aritmetické operace atd.) Při samotném běhu programu jsou pak jednotlivé instrukce načítány z paměti, dekodovány a prováděny.

CISC - Základní charakteristikou této sady je poměrně rozsáhlá instrukční sada stroje a její komplexnost. Na každý obtížnější problém, jako je například násobení dvou čísel, existuje zvláštní instrukce. Dalšími specifiky jsou vysoký počet adresovacích módů a proměnná délka instrukcí. Zastánci ostatních architektur považují tuto vlastnost za hlavní nevýhodu celé architektury.

RISC - První návrh RISC procesoru byl roku 1974 představen Johnem Cockem z firmy IBM. Jednalo se o mikroprocesor IBM 801, který se nikdy nedostal do prodeje, ale představuje významnou událost ve vývoji mikroprocesorů. RISCový stroj obsahuje pouze malý počet jednoduchých instrukcí a je na programátorovi, jak se s nimi vypořádá. Všechny instrukce mají pevnou délku, v poslední době většinou 32 bitů. Všechny instrukce jsou jednoduché, tzn. žádná neprovádí více věcí najednou, narozdíl od komplexní instrukce v CISC. Omezená sada jednoduchých instrukcí a jejich pevná délka výrazně zrychlí práci procesoru, jak při dekodování instrukce tak při jejím načítání. Mezi RISCové procesory se řadí zejména ARM (Advanced RISC Machine/Acorn RISC Machine) a SPARC (Scalable Processor Architecture). [2].

V poslední době se rozdíl mezi CISC a RISC postupně smazávají a procesory zůstávají v dané kategorii spíše s ohledem na jejich vývojové předchůdce.

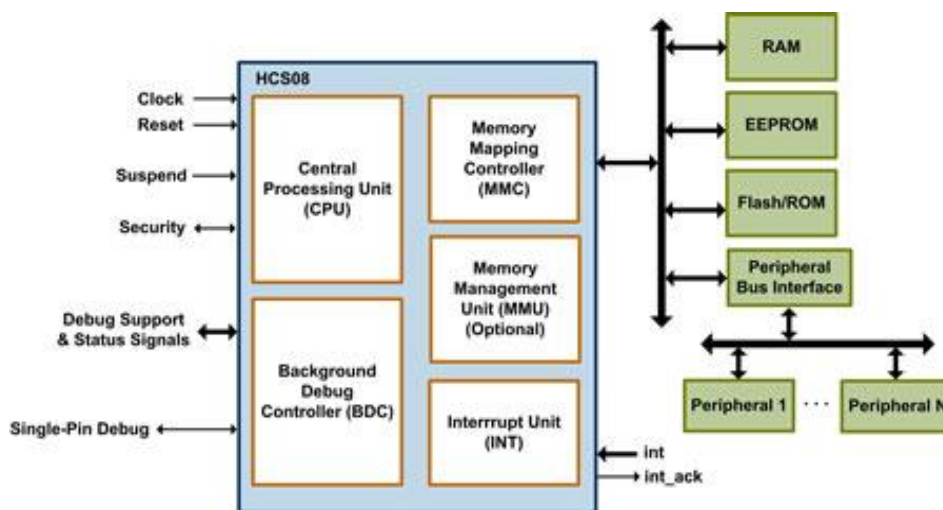
1.1.2 Freescale HCS08 architektura

Nová rodina mikrokontrolerů s názvem HCS08 obsahuje nové instrukce pro rychlejší ladění a vývoj aplikace, přičemž je plně kompatibilní s kódy napsanými pro rodinu mikrokontrolerů M68HC08. Každý mikrokontroler (MCU) v rodině HCS08 se skládá z jádra HCS08 a několika paměťových modulů a periférií. Instrukční soubor je typu CISC.

Jádro HCS08 obsahuje:

- HCS08 CPU
- Background debug controller (BDC)
- Podporu až 32 zdrojů přerušení/resetu
- Dekodování adresy pro přístup do paměti na úrovni čipu

BDC umožňuje přístup do vnitřních registrů a paměťových míst skrze jediný pin na mikropočítači. Ačkoliv se přesná paměťová mapa pro každý odvozený mikropočítač liší, některé základní aspekty jsou řízeny dekodovací logikou v jádře HCS08, která je u všech mikropočítačů rodiny HCS08 stejná. Registry vstupně výstupních portů (I/O) a většina řídicích a stavových registrů pro moduly periférií začínají na adrese \$0000 a zabírají 32, 64, 96 nebo 128 bytů. Tyto registry jsou nazývané přímo adresovatelné (Direct-page). Od tohoto místa v paměti až po adresu \$107F je paměť vyhrazena pro statickou paměť RAM (SRAM). Od adresy \$1800 je v paměti vyhrazeno místo pro nepřímo adresovatelné registry (Indirect-page)- méně často využívané registry (například registry pro nastavení systému po resetu), jejichž přesunutím do tohoto bloku se získalo více paměti pro RAM. Zbývající místo od \$1C00 až po \$FFFF je rezervováno pro FLASH nebo ROM paměť. V této oblasti je také obsažen vektorový prostor (pro až 32 vektorů přerušení a resetu). [3]



Obr. 2 Blokový diagram HCS08

1.1.3 Mikropočítač Freescale MC9S08QE8

Mikropočítače MC9S08QE8 a MC9S08QE4 jsou členy výkonné rodiny 8-bitových mikrokontrolerů HCS08, která se vyznačuje nízkou cenou a nízkým odběrem energie. Tyto mikropočítače jsou dostupné v několika pouzdrech, lišících se rozměry popř. počtem pinů.

Základní vlastnosti MC9S08QE8 lišící se dle počtu pinů:

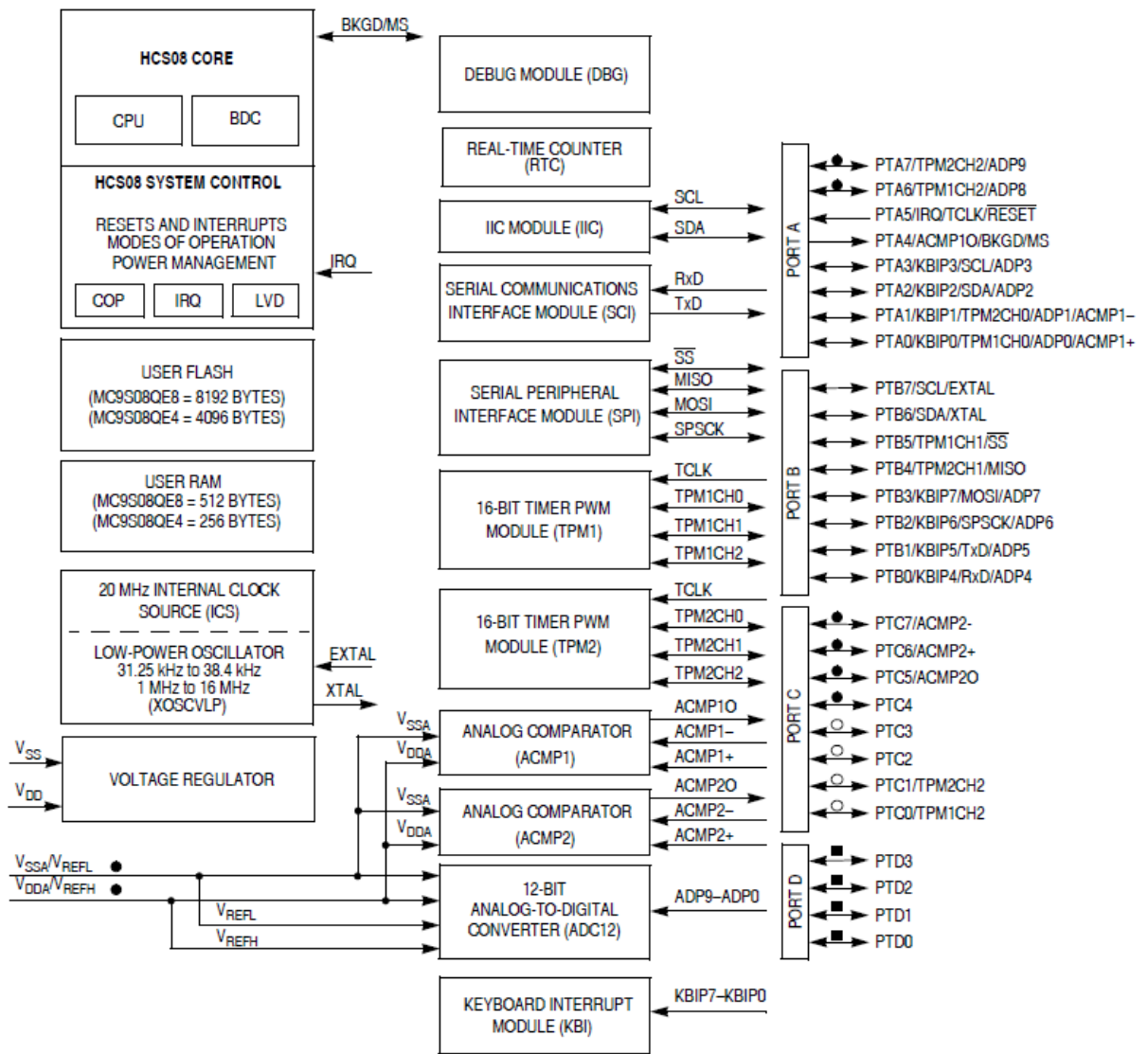
Vlastnost	MC9S08QE8			
Velikost FLASH paměti (byty)	8192			
Velikost RAM paměti (byty)	512			
Počet pinů	32	28	20	16
ACMP1	Ano			
ACMP2	Ano	Ano	Ne	Ne
ADC kanály	10	10	8	8
Rozlišení ADC (bity)	12	12	10	10
DBG	Ano			
ICS	Ano			
IIC	Ano			
IRQ	Ano			
KBI	8			
I/O piny	26	22	16	12
RTC	Ano			
SCI	Ano			
SPI	Ano			
TPM1 kanály	3	3	3	2
TPM2 kanály	3	3	3	2
XOSCVLP	Ano			

Tab. 1 Vlastnosti MC9S08QE8

V Tab.1 mezi I/O piny nejsou zahrnuty pin PTA4, který je pouze výstupní a PTA5, který je pouze vstupní.

Mikrokontroler MC9S08QE4 se od MC9S08QE8 liší pouze ve velikosti FLASH paměti (4096 B) a velikosti paměti RAM (256B).

Blokové schéma mikropočítače MC9S08QE8 s rozdělením jednotlivých portů:



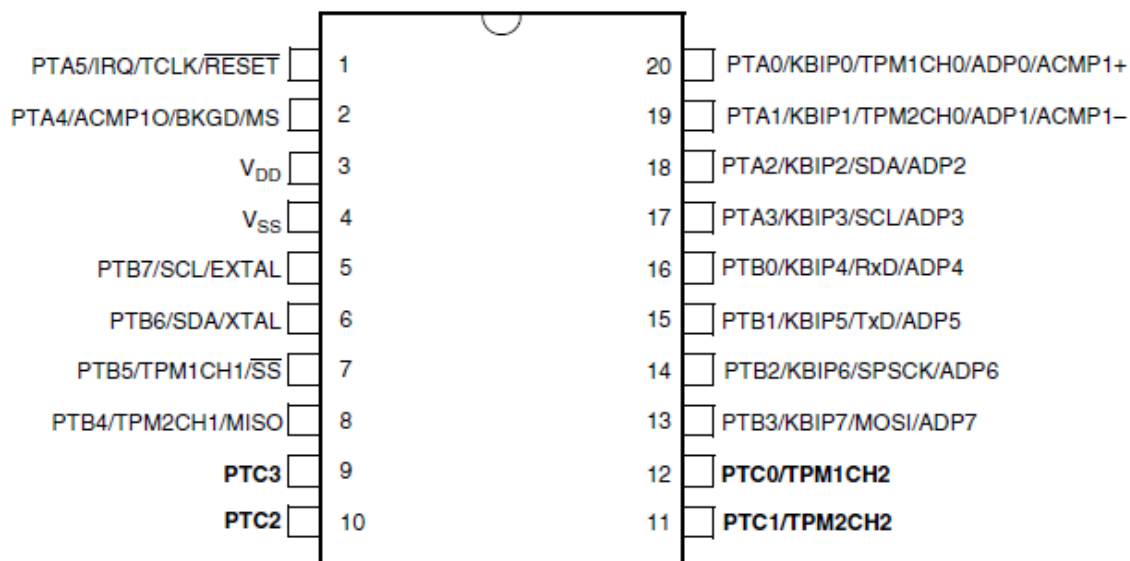
Obr. 3 blokové schéma MC9S08QE8

- Piny nejsou dostupné v 16ti pinovém provedení
- Piny nejsou dostupné v 16ti a 20ti pinovém provedení
- Piny nejsou dostupné v 16ti, 20ti a 28mi pinovém provedení

1.1.4 Zapouzdření

Mikropočítač se vyrábí v pouzdrech LQFP (32 pinů), SOIC(28 a 20 pinů), PDIP/TSSOP (16 pinů). Tato pouzdra se liší jak počtem pinů, tak velikostí pouzdra, pinů a jejich roztečí. Některé piny mají až 5 funkcí mezi kterými lze libovolně přepínat. V jednom okamžiku

může být zapnuta pouze jediná funkce. Funkce jsou uvedeny vedle pinu mikropočítače, seřazeny podle priority (Obr.4)



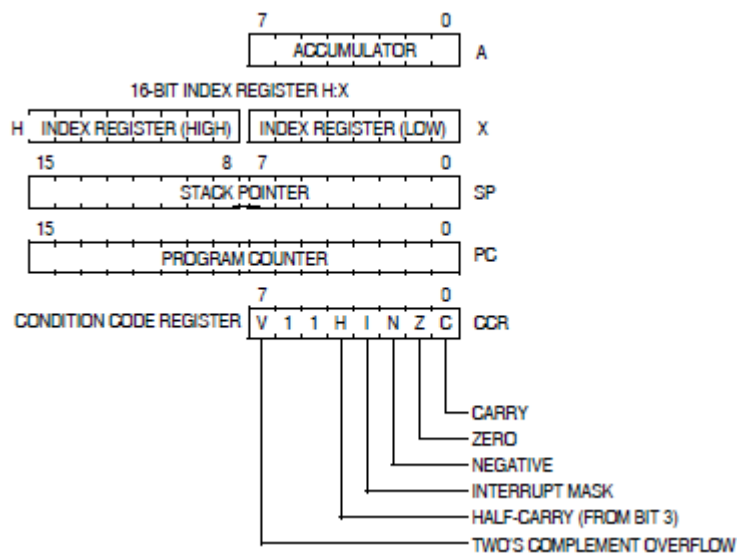
Obr. 4 Příklad rozdělení pinů SOIC20 pouzdra

1.1.5 Mikroprocesor

CPU (Central processor unit) neboli mikroprocesor je základní výkonná jednotka mikrokontroleru. Je složen z řadiče a aritmeticko-logické jednotky (ALU). Řadič slouží k řízení vysílání a příjmu informací, dekódování instrukcí z instrukčního listu, časování a řízení přenosů dat a informací po sběrnicích. ALU provádí na základě instrukcí z řadiče aritmetické a logické operace.

8-bitové HCS08 CPU pracuje při napětí 1.8-3.6 V na frekvenci až 20 MHz v rozmezí teplot -45 °C až 80 °C. Vnitřní sběrnice pak pracuje na frekvenci 1-10MHz v závislosti na nastavení a zdroji hodinového signálu. MC9S08QE8 obsahuje vnitřní nízko-odběrový digitálně řízený oscilátor pracující na frekvenci 31.25 kHz až 38.4 kHz dle nastavení. Tento oscilátor však dosahuje poměrně velkých nepřesností ($\pm 25\%$), které jdou příslušnými registry doladit na přesnost okolo $\pm 5\%$. Avšak i tato nepřesnost je příliš velká, jestliže jsme v naší aplikaci závislí na přesném časování. V takovém případě je pak řešením připojení externího oscilátoru, RC oscilátoru, keramického rezonátoru nebo krystalu s příslušnou hodnotou frekvence. Pro správný chod je nutno dodržet maximální frekvenci 20 MHz. Frekvence vnitřní sběrnice je pak zpravidla mezi $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$ hodinové frekvence – signálu v mikropočítači s nejvyšším kmitočtem. Délka vykonávání instrukcí a délka strojového cyklu je pak odvozena právě od kmitočtu mikroprocesoru a vnitřní sběrnice.

Všechny registry a paměť jsou namapovány na 64 kB adresový prostor paměti. Ukazatel zásobníku je 16-ti bitový stejně jako indexový registr (H:X), programový čítač a 8-bitový příznakový registr. MCU také obsahuje 8-bitový akumulátor, sloužící k uložení dat pro využití v aritmeticko-logických operacích. Mezi základní vlastnosti HCS08 CPU také patří rychlé násobení 8x8bitů a dělení 16/8bitů. Úsporný režim je realizován pomocí módů WAIT a STOP. Schéma pěti CPU registrů je na obr. 5.



Obr. 5 Pracovní registry MC9S08QE8

1.1.6 Sběrnice

Vzájemné spojení jednotek je v počítači zásadně zprostředkováno soustavou sběrnice. Sběrnice umožňují stavebnicovou koncepci, rozšiřování počítače o další jednotky, a to vše beze změn ve vnitřním zapojení jednotek. Činnost sběrnice je v každém okamžiku řízena jen jednou z jednotek - zpravidla je to procesor, ale v některých případech může dočasně přebírat řízení i jiná jednotka.

Datová sběrnice slouží k předávání dat a její šířka (tj. počet vodičů) je zpravidla celým násobkem osmi (tj. jednoho byte). Jednotka, připojená na sběrnici, může být zdrojem dat (pak se z ní čte), příjemcem dat (pak se do ní zapisuje), nebo střídavě obojím. Jednotka, která je zdrojem dat, se na datovou sběrnici zásadně připojuje prostřednictvím třístavových členů.

Adresová sběrnice je nutná pro adresování paměti (případně i jiných adresovatelných obvodů) a pro rozlišování mezi jednotkami, připojenými na datovou sběrnici. Šířka adresové sběrnice určuje maximální počet adres. U osmibitových počítačů má adresová sběrnice šířku nejčastěji 16 bitů, u šestnáctibitových počítačů bývá minimálně 20bitová.

Čtení, zápis a další aktivity jednotek jsou řízeny signály **řídící sběrnice**. Většina řídicích signálů je generována procesorem, ale některé mohou být generovány i ostatními jednotkami, které tak mohou částečně ovlivňovat činnost procesoru - takovéto signály jsou pak na řídicí sběrnici připojeny zpravidla přes členy s otevřeným kolektorem. Řídicích signálů bývá obecně větší počet a podoba řídicí sběrnice je silně závislá na celkové architektuře počítače.[4]

1.1.7 Paměť

Paměť mikrokontroleru MC9S08QE8 se skládá z paměti RAM, FLASH paměti programu, řídicích a stavových registrů a I/O registrů. Jedná se o polovodičově vytvořený adresovatelný prostor, sloužící k uchování, zápisu a čtení dat. U pamětí jsou pro nás důležité zejména parametry udávající kapacitu paměti, přístupovou dobu, schopnost čtení/zápisu, energetickou náročnost, spolehlivost a cenu za jeden bit paměti. Adresovatelnou paměť v mikropočítačích můžeme logicky rozdělit na 3 typy:

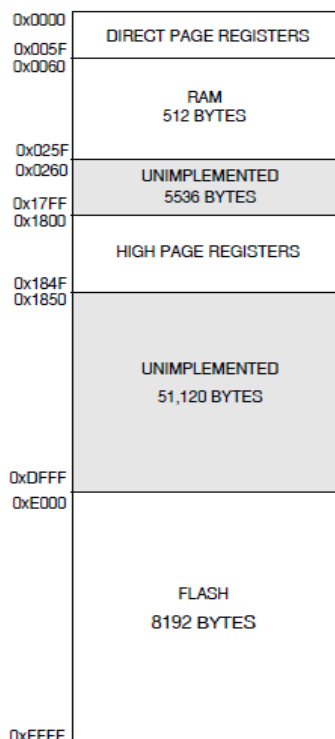
- Zásobník
- Akumulátor a registry
- Datová paměť

Zásobník je paměť typu LIFO (Last In First Out), která už z názvu napovídá, že data uložená jako poslední budou čtena ze zásobníku jako první. Zásobník je omezen svou velikostí, tu je možné nastavit v příslušném vývojovém. Ukazatel zásobníku (SP – Stack Pointer) svou adresou ukazuje na aktuální paměťovou buňku, na vrchol zásobníku. Zásobník může využívat jak program, tak i CPU – např. pro uložení návratové adresy při skoku do podprogramu nebo při vyvolání přerušení nebo na uložení. Po obslužení přerušení se znovu načte návratová adresa a program pokračuje v místě, kde přerušení vzniklo.

Akumulátor a registry slouží k práci s aktuálně zpracovávanými daty. Registry jsou využívány pro ukládání důležitých informací o chodu programu, stavu jednotlivých periférií, kódů instrukcí a obsahu paměťových buněk, s nimiž právě pracujeme. Registry rozdělujeme na programátorovi přístupné a nepřístupné.

Akumulátor je paměť typu RAM (Random Acces Memory) a slouží k ukládání např. mezivýsledků při složitějších operacích, operandů nebo jiných aktuálně využívaných proměnných. Akumulátor má nízkou kapacitu (u QE8 – 8bitů).

Datová paměť je velikostí největší oblast v paměti (u QE8 paměť typu FLASH) a slouží k uložení datových struktur, proměnných a samotného uživatelského programu. Při výběru vhodného mikrokontroleru pro naši aplikaci je potřeba zvážit paměťovou náročnost programu a výběr tomu přizpůsobit. Rozdělení paměti u HCS08 je zobrazeno na obr. 6.



Obr. 6 Paměťová mapa S08QE8

1.1.8 Periferie mikropočítače

Analogový komparátor - MC9S08QE8 obsahuje 2 nezávislé analogové komparátory (ACMP), pojmenované ACMP1 a ACMP2. Modul komparátoru poskytuje možnost porovnání dvou analogových vstupních napětí nebo porovnání jednoho vstupního napětí s vnitřním referenčním napětím mikropočítače. Obvody komparátoru pracují v celém rozsahu napájecího napětí. ACMP u S08QE8 se vyznačuje malým napěťovým offsetem a hysterezí.

Analogově – digitální převodník

Integrovaný 8/10 kanálový analogově digitální převodník převádí analogový napěťový vstup na diskrétní hodnoty, s kterými může mikropočítač dále pracovat. Pracuje s přesností 10 bitů (1024 hodnot) nebo 12 bitů (4096 hodnot) v závislosti na typu pouzdra S08QE8. Převod může být jednorázový nebo kontinuální. Při dokončení převodu je nastaven 7. bit v registru ADSC1/2, jenž je vynulován při přečtení hodnoty převodu z registru ADCR. Lze také nastavit vyvolání přerušení při dokončení převodu.

Čítač/Časovač

Základní časovací periférie, která slouží v mikropočítačích HC08 ke generování časových signálů, jejich přesnému měření a také ke generování pravidelných maskovatelných přerušení v programu. Dvoukanálový 16-ti bitový časovač/čítač umožňuje také funkci čítání impulsů s volitelnou hranou (sestupná, náběžná, oboje) a pulzně-šifkovou modulaci (PWM). Max. hodnota volně běžícího čítače může být omezena nastavením modulu registru TPMxMOD.

Funkce:

- **Input capture** – funkce zachytávání hran je důležitá všude tam, kde chceme měřit časovou vzdálenost událostí na vstupu. Lze ji nastavit na zachytávání náběžných, sestupných nebo obou typů hran. Při zachycení je do záchytného registru nastavena hodnota volně běžícího čítače, popř. vygenerováno přerušení pro obsluhu události.
- **Output Compare** – funkce časovače, která porovnává volně běžící čítač s hodnotou nastavenou v porovnávacím registru. Pokud dojde ke shodě, je vygenerován impuls na výstupu definovaného pinu některého z kanálů časovače. Output compare funkci lze jednoduše použít k vytvoření hardwarového PWM, kde hodnota porovnávacího registru/ modulu časovače tvoří střídu PWM – pulzně šifkové modulace. PWM modulaci signálu lze pak využít například ke spínání stejnosměrných motorů nebo ventilátorů. Tento způsob regulace výkonu má výhodu v tom, že spíná vždy plné napětí a tudíž má regulovaná soustava vyšší výkon než při omezování vstupního napětí.
- **COP** (Computer Operating Properly) také nazývaný jako „WATCHDOG“ je nezávislý časovač, s nastavitelnou periodou, který slouží jako kontrola správného běhu programu. Jestliže nebude v programu pravidelně resetován, dojde k přetečení časovače, které vyvolá přerušení mající za následek restartování mikropočítače.
- **Reset** mikropočítače umožňuje opětovné spuštění programu z výchozího bodu včetně načtení počátečních nastavení registrů a podmínek. Moduly periférií jsou vypnuty a I/O piny jsou nastaveny jako vysoko impedanční vstupy. První bit v příznakovém registru (CCR) je nastaven na blokování maskovatelných přerušení, aby uživatelský program měl možnost inicializovat ukazatel zásobníku a systémové řídicí registry.

Mezi zdroje vyvolávající reset MCU patří:

- Zapnutí napájení (POR)
- Reset pomocí externího pinu
- Přetečení COP časovače
- Detekce neplatné instrukce
- Detekce přístupu do neplatné části paměti
- Detekce nízkého napětí (LVD)
- Vynucený reset debugovacího rozhraní (BDC)

Přerušení umožňuje uložení CPU stavu a registrů a vykonání obslužení přerušení (ISR), přesun v paměti na vektor přerušení a vykonání obslužení přerušení. Následně se obnoví stav mikroprocesoru a registrů a program pokračuje od místa, kde byl přerušen. Přerušení může vzniknout jako reakce na software (SWI) nebo na hardwarovou událost - typicky zachycení hrany na IRQ pinu, KBI (Keyboard interrupt) nebo přetečení časovače/čítače. SWI přerušení může generovat za určitých okolností také debugovací modul. Podle umístění žadatele dělíme přerušení na vnitřní a vnější. Prioritu nejčastějších přerušení zobrazuje tab. 2.

Priorita (od nejvyšší)	Popis	Číslo vektoru	Adresa
↓	RESET	0	0xFFFFE/0xFFFF
	SWI	1	0xFFFFC/0xFFFFD
	IRQ	2	0xFFFFA/0xFFFFB
	TPM1	4-7	0xFFFF0/0xFFFF7
	TPM2	8-11	0xFFFE6/0xFFEF
	SPI	13	0xFFE4/0xFFE5
	KBI	18	0xFFDA/0xFFDB
	ADC	19	0xFFD8/0xFFD9
	ACMPx	20	0xFFD6/0xFFD7

Tab. 2 Tabulka vektorů přerušení

Sériové rozhraní

U sériové komunikace probíhá přenos dat po jednom signálním vodiči, což znamená nižší přenosovou rychlost oproti paralelnímu přenosu, avšak výhodami jsou nižší počet vodičů/pinů a lepší galvanické oddělení komunikační linky. Podle způsobu komunikace rozlišujeme dva druhy sériové komunikace.

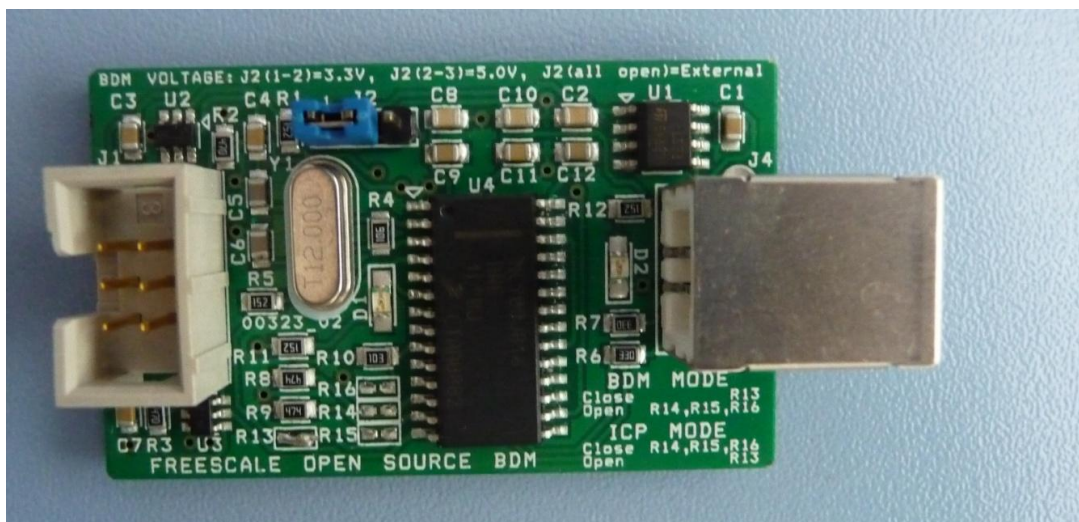
- **SPI** (Synchronní komunikace) – využívá k přenosu signálový vodič a vodič, přenášející synchronizační hodinový signál, synchronizující přenášenou informaci s náběžnou hranou hodinového signálu. Synchronizační signál lze také namodulovat k datovému kanálu. Synchronní komunikace se využívá jak ke komunikaci mezi zařízeními na malé vzdálenosti, tak v rámci jednoho obvodu, např. mezi periferiemi. SPI periferie umožňuje detekovat kolize, nastavovat přenosovou rychlost a plně duplexní provoz popř. jednovodičový přenos se změnou toku dat. Zařízení při komunikaci pracují v režimech Master/Slave.
- **SCI** (Asynchronní komunikace) je druh komunikace, kde není vysílač časově synchronizovaný s přijímačem. Data jsou uzavřena v rámcích o pevné délce, přičemž začátek komunikace uvozuje tzv. „start bit“, následují data, paritní kontrolní kód a ukončena je tzv. „stop bity“, uzavírající datový rámeček. Vzhledem k nesynchronnímu přenosu je nutné přijatý signál vzorkovat. Přenosová jednotka 1 Baud značí 1 změnu úrovně signálu za jednotku času.

1.2 Programátor Freescale Open Source BDM

Open source BDM programátor (OSBDM) je zařízení sloužící k programování, debugování a ladění mikropočítačů od firmy Freescale, jehož zdrojové kódy včetně schémat pro sestavení jsou šířeny pod licenci Open source (volně šiřitelné).

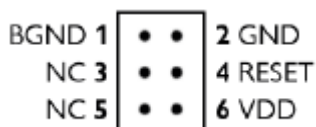
OSBDM poskytuje přístup do BDM mikrokontrolerů RS08, HCS08, HCS12 a procesoru Coldfire V1 přičemž pro připojení k PC využívá USB portu.

Tento OSBDM programátor lze získat např. ve verzi JB16 (Obr. 7) od firmy Freescale jako vzorek zdarma.



Obr. 7 OSBDM programátor

K procesoru se pak připojuje přes speciální BDM konektor (Obr. 7 - vlevo). Připojení programátoru k jednotlivým pinům je popsáno v praktické části.



Obr. 8 Rozmístění pinů
BDM konektoru

1.3 PROGRAMOVÁNÍ MIKROPOČÍTAČŮ

Znalost instrukčního souboru mikrokontroleru je potřebná při jeho programování, a to ať jde o programování v assembleru, tak i při programování ve vyšších programovacích jazycích. Můžeme totiž stále narazit na úlohy při jejichž řešení je využití assembleru nezbytné nebo pro něž neexistuje v příslušném jazyce zabudovaná podpora. Instrukce jako takové pak můžeme rozdělit do několika skupin:

- Aritmetické
- Logické
- Rotace a posuny
- Přesuny
- Bitové operace
- Skoky a volání podprogramů
- Speciální instrukce

Instrukce dostupné pro náš mikrokontroler HCS08 nalezneme v příslušném datasheetu na stránkách výrobce Freescale. Nalezneme v něm jejich mnemotechnické zkratky včetně operandů, jejich popis, použité adresovací módy, příznaky a počet cyklů potřebných pro provedení instrukce [4].

1.3.1 Assembler

Jazyky symbolických adres patří mezi nejstarší programovací jazyky se kterými se setkáváme již u počítačů první generace, tj. před několika desítkami let. Před nimi se programovalo přímo ve strojovém kódu, v binární, oktálové nebo hexadecimální soustavě. Zápis takového programu byl nepřehledný a zdlouhavý, přičemž postačoval pouze v začátcích, kdy byly programy jednoduché. S růstem nároků na obsáhlost programů vznikl požadavek na označování instrukcí, konstant a proměnných symbolickými jmény místo číselného vyjádření.

Zpětné přeložení těchto symbolických jmen na číselný kód pak zajišťoval specializovaný program - tzv. překladač symbolických adres (assembler). V dalším vývoji byly do jazyka symbolických adres vkládány nové prostředky (např. makrojazyk, makra) s tím, jak se rozšiřovalo množství symbolických objektů. Assemblerů existuje velké množství, z důvodů různých instrukčních sad procesorů. Vždy je tedy nutné při změně zařízení, které chceme programovat, se seznámit s konkrétním typem assembleru pro daný hardware. Assemblery umožňují programátorovi zůstat v bližším kontaktu s hardwarem, což má za následek při správném psaní větší optimalizaci kódu a rychlejší vykonávání ve srovnání s vyššími programovacími jazyky. [4]

1.3.2 Vyšší programovací jazyky

Alternativou k Assembleru je možnost využít některého vyššího programovacího jazyku s mezinárodně uznávanou normou, např. jazyk C (ANSI C, ANSI C++). I samotné jádro mikrokontroleru HCS08 (i HC08/HC05) bylo projektováno pro podporu jazyka C. Při psaní kódu v jazyce C pro jednočipový mikropočítač je však potřeba mít na paměti, že cílová platforma je jednočipový mikropočítač s omezenou velikostí paměti a výpočetního výkonu. Výhoda použití vyšších programovacích jazyků je zejména v tom, že se programátor může soustředit na abstrakci řešeného problému a přehlednost zdrojového kódu, přičemž všechnu ostatní práci s optimalizací a přeložením nechává na překladači. Výsledný kód je obvykle delší, než kód psaný v assembleru, použití jazyka je tedy vždy závislé na konkrétní aplikaci a omezeních, které z ní vyplývají.

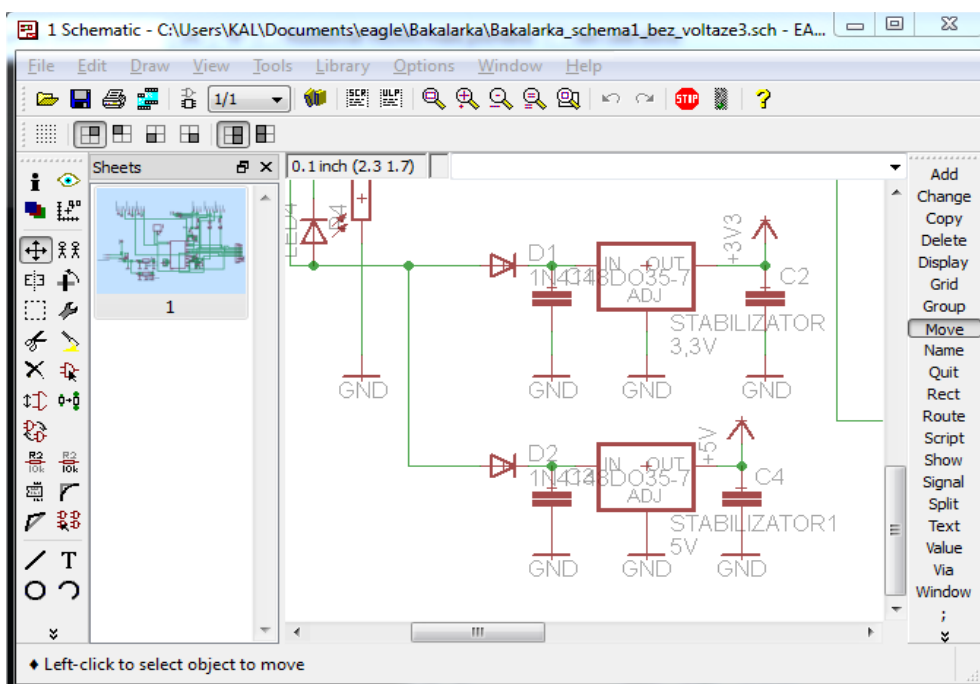
2 POUŽITÉ SOFTWAREVÉ NÁSTROJE

2.1 EAGLE

Softwarový editor plošných spojů EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) je výkonný nástroj pro návrh desek plošných spojů (DPS, anglicky PCB) a elektrotechnických schémat. Skládá se ze tří základních modulů:

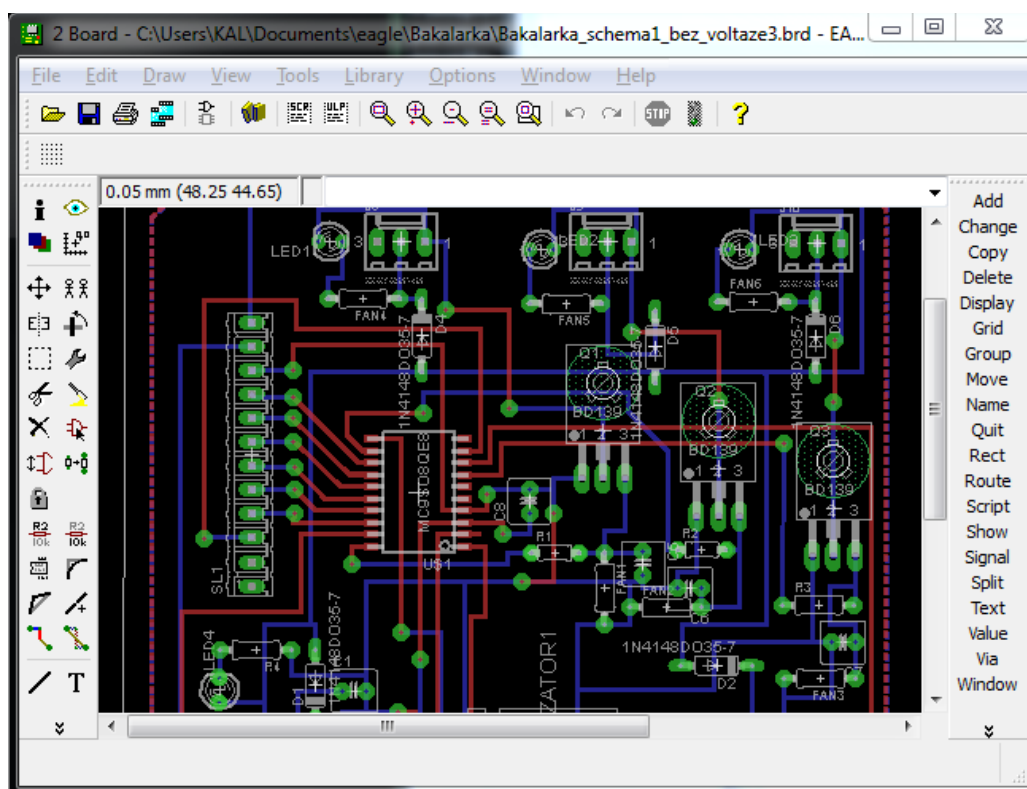
- Editor schémat
- Editor spojů
- Autorouter

Editor schémat – při vytvoření nového projektu se otevře prázdné okno s nástrojovými lištami po stranách. Na toto volné místo je možné skrze tlačítko *add* přidat z libovolné knihovny (buď vestavěné nebo námi vytvořené) součástku, kterou chceme použít, včetně specifikace pouzdra. Součástku logicky umístíme (bez ohledu na budoucí pozici na DPS) a její vývody propojíme pomocí nástroje *wire* s ostatními součástkami. Můžeme jí také pomocí nástroje *name* označit jménem a nástrojem *value* jí přidáme žádanou hodnotu. Při tvorbě schématu je vhodné si navolit správně rastr, v GUI označený tlačítkem *grid*, který nám usnadní pozicování součástek ve schématu a jejich přichycení k ortogonálnímu rastru. Chyby v zapojení nebo odchylky od předdefinovaných vlastností schématu se zobrazí při stisku tlačítka *ERC*.



Obr. 9 Snímek prostředí tvorby schémat software EAGLE

Editor spojů – jestliže máme hotové schéma obvodu, stiskem tlačítka *board* se můžeme přepnout do modulu tvorby DPS. V něm si opět nastavíme rastr, nejlépe na velikost 0.1 inch (2,54 mm – odpovídá rozteči vývodů většiny součástek) a umístíme jednotlivé součástky na prostor budoucí desky. Součástky jsou propojené takzvanými vzdušnými spoji (air wires). V tomto režimu jsou nejdůležitější dva nástroje – *route* a *rip-up*. První jmenovaný nám umožní propojit vývody součástek signálními cestami, popřípadě je zrušit zpět do podoby vzdušných spojů nástrojem *rip-up*. Při tvorbě signálových cest se můžeme libovolně přepínat mezi vrstvami plošného spoje (program podporuje až 16 vrstev). Prokovy se vytvářejí nástrojem *vias* a díry pro vrtání umísťují skrze nástroj *holes*. Funkcí *DRC* (Design Rule Check) si opět můžeme zkontrolovat přítomnost chyb v návrhu (např. překrytí součástek). DPS pak můžeme přímo vytisknout v tiskárně nebo exportovat např. do PDF formátu.



Obr. 10 Snímek prostředí tvorby DPS programu EAGLE

Autrouter je výkonný nástroj programu EAGLE, usnadňující vytvoření desky plošných spojů automatickým propojením všech souvisejících pinů a vývodů signálovými cestami. Autorouter je plně konfigurovatelný jak pomocí DRC (design rule check), kde si navolíme např. šířku izolace, vzdálenost cest, pinů a součástek, tak i v samotném nástroji Autorouter, plně integrovaném do vývojového prostředí modulu pro tvorbu DPS. Při otevření nástroje *Auto* můžeme zvolit velikost routovacího rastru, směr návrhu cest v jednotlivých vrstvách, omezení autorouteru v množství prokovů, změnu směru, využití jednotlivých vrstev DPS

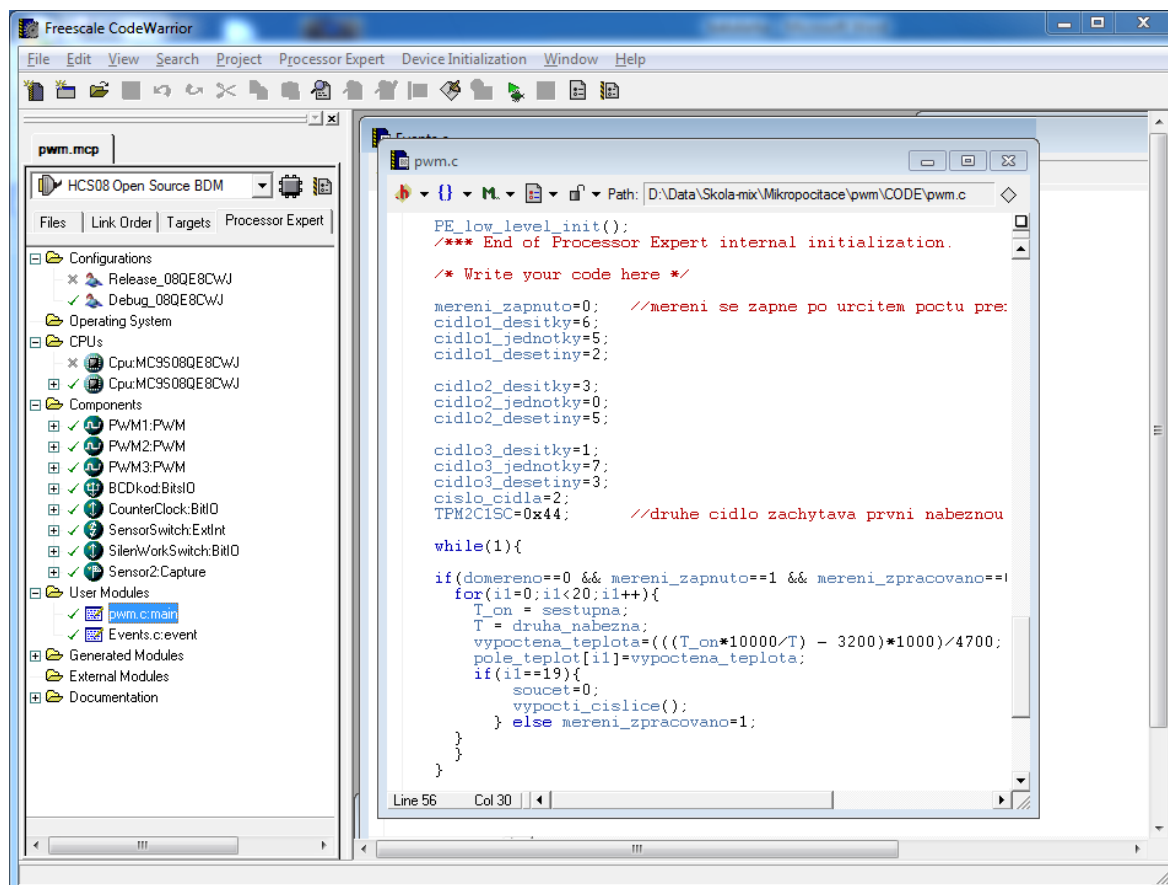
atd. Nástroj autorouter při správném nastavení a v kombinaci s ruční úpravou vytvořených cest může výrazně usnadnit návrh celé desky, zejména při prvních projektech vytvářených v programu EAGLE.

2.2 CodeWarrior IDE

CodeWarrior Development studio je kompletní integrované vývojové prostředí, které poskytuje přehledný a komplexní framework pro rychlý vývoj aplikací integrovaných systémů využívajících procesory Freescale. CodeWarrior byl původně vyvinut kanadskou společností Metrowerks a byl zaměřen na PowerPC od Macintoshe. Po akvizici Metrowerks Motorolou byl CodeWarrior zacílen na zabudované systémy. V nynější době patří CodeWarrior IDE(integrované vývojové prostředí) firmě Freescale.

CodeWarrior IDE také podporuje většinu mezi vývojáři nejpoužívanějších platforem: Windows, Linux, Mac, Solaris. IDE je zaměřeno na kompilátory jazyka C a C++, přičemž obsahuje všechny nástroje potřebné k dokončení integrovaného řešení: textové editory, kompilátory, simulátory, debugovací moduly apod. [5]

CodeWarrior IDE lze stáhnout z domovské stránky společnosti Freescale, kde je k dispozici také bezplatná verze CodeWarrior: Special Edition, která umožňuje psát programy omezené velikostí kódu (v ANSI C 32kB) pro mikropočítače RS08, HC(S)08 a ColdFire V1 nebo si zdarma vyzkoušet plnou verzi CodeWarrioru ve 30 denní zkušební lhůtě. Při vytváření projektu pak nastavíme typ mikropočítače, linkované přídatné knihovny, podporu výpočtů s plovoucí desetinnou čárkou a zvolíme, jaké programovací jazyky bude projekt podporovat. V CodeWarrioru lze programovat v jazyce symbolických adres – assembleru, ale i v jazyce C a jeho objektové variantě C++. Součástí IDE je i debugger, který umožňuje spustit, pozastavit nebo krokovat jak simulaci vykonávaného programu tak i program nahraný přímo v paměti mikropočítače.

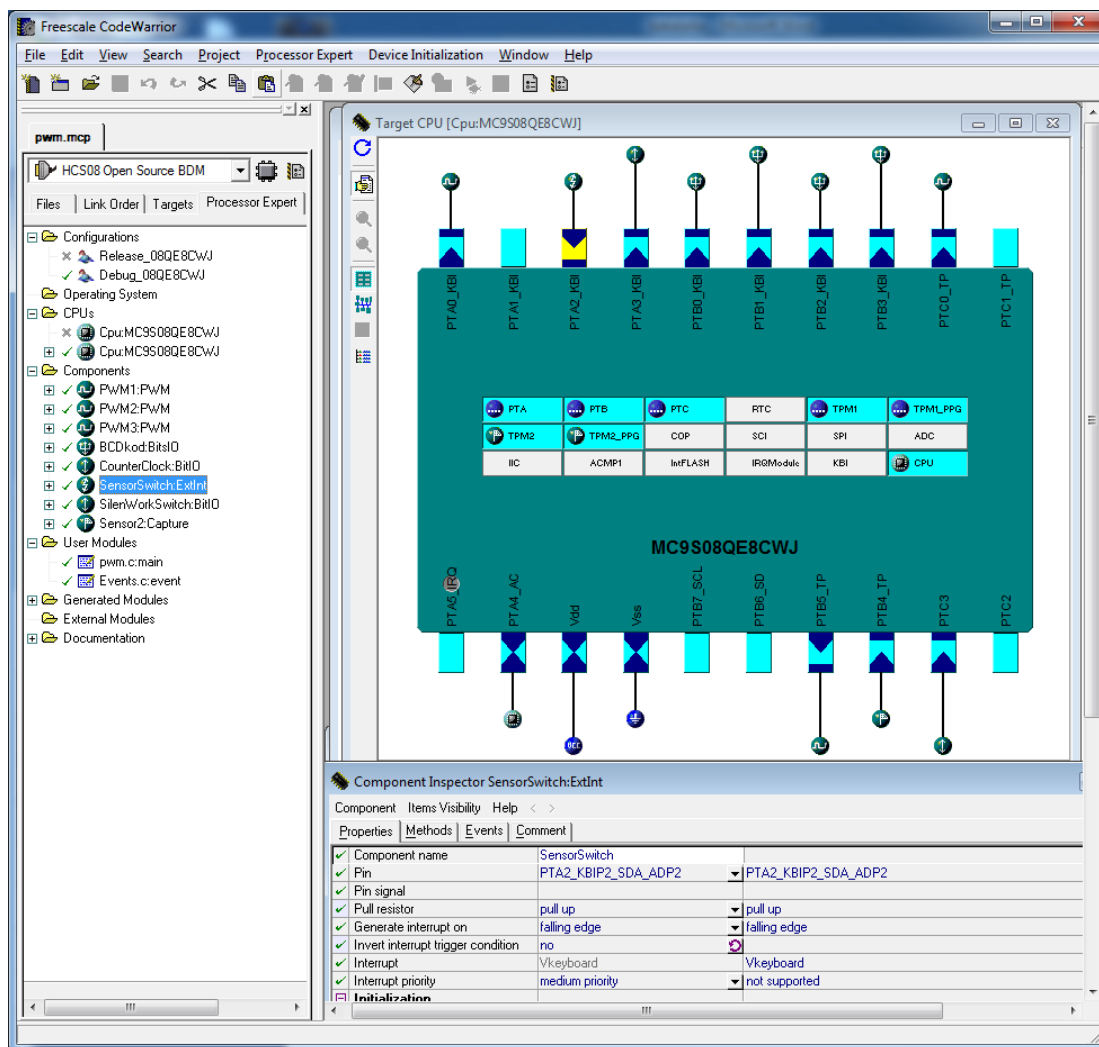


Obr. 11 Snímek vývojového prostředí CodeWarrior v6.3

2.3 Processor Expert

Processor Expert je přídatný softwarový plug-in pro vývojářské nástroje CodeWarrior. Umožňuje rychlý vývoj aplikací za pomoci generování objektově orientovaného kódu. Procesor a periférie mikropočítače lze několika kliknutími nastavit skrze grafické GUI integrované do CodeWarrioru, přičemž si uživatel sám volí, pro které metody z nabízených si chce nechat vygenerovat obslužný kód. Veškerá nastavení jsou okamžitě na pozadí kontrolována, jestli nedochází ke kolizi mezi perifériemi nebo k chybě v nastavení. U všech periférií si během jejich nastavování může uživatel zároveň zobrazovat změny v souvisejících registrech v různých číselných soustavách.

Při zadávání hodnot si lze také zvolit (pokud to PE umožňuje) jednotku veličiny (např. rychlost přenosu sériové linky v Baudech nebo přerušování časovače v milisekundách apod.). Inicializace mikropočítače, jeho periférií, taktování procesoru popř. změna cílového MCU je otázka několika kliknutí. Utilita po dokončení vše následně přeloží do zdrojového C kódu a uživatel může začít psát algoritmy s využitím vygenerovaných metod, které již obsahují textové komentáře, usnadňující orientaci v daném kódu.



Obr.12 Snímek integrovaného uživatelského rozhraní plug-inu PE

3 MĚŘENÍ TEPLOTY

3.1 Teplota

Teplota je stavová veličina charakterizující termodynamický stav jakékoliv makroskopické soustavy. Z nultého termodynamického principu plyne, že každému rovnovážnému stavu soustavy lze přiřadit určitou hodnotu teploty, která je v každém místě dané homogenní soustavy stejná a že tato hodnota je táž pro všechny soustavy, které jsou navzájem v termodynamické rovnováze s danou soustavou.

Nejrůznější stavové veličiny závisejí na teplotě, tj. mění se při její změně. Proto může být k definici teploty a k jejímu měření použita, obecně vzato, kterákoli z těchto závislostí, a to tak, že se předepíše její tvar u zvolené látky za přesně stanovených podmínek. Taková definice teploty je však založena na vlastnostech dané látky, tzv. *teploměrné látky*, popř. skupiny látek (ideálních plynů). Navíc je možná jen pro jistý omezený teplotní interval.

Nezávisle na vlastnostech vybraných látek je definována termodynamická teplota, která je od roku 1960 také jednou ze základních fyzikálních veličin Mezinárodní soustavy jednotek. Pro praktické měření teploty se používá Mezinárodní teplotní stupnice z roku 1990.[6]

Mezinárodní teplotní stupnice z roku 1990, mezinárodní zkratka *ITS – 90*, je teplotní stupnice přijatá mezinárodně pro praktická měření teploty od 0,65K až do nejvyšších teplot prakticky měřitelných na základě *Planckova zákona vyzařování*.

Veličiny odpovídající termodynamické teplotě T a Celsiově teplotě t definované v této stupnici z roku 1990 se označují T_{90} a t_{90} .

$$t_{90} = T_{90} - 273,15 \text{ K [6]}$$

T_{90} se nazývá **mezinárodní Kelvinova teplota** a t_{90} **mezinárodní Celsiova teplota**. Jednotka teploty je T_{90} kelvin [K], stejně jako pro teplotu T . Jednotka teploty t_{90} je Celsiův stupeň [°C], stejně jako pro teplotu t . [6]

3.2 Měření teploty

Nejčastěji se k měření teploty používají standardní měřicí řetězce sestavené z čidla, převodníku a vyhodnocovací a zobrazovací jednotky. Převod teploty na elektrický signál zajišťuje čidlo, jehož signál se v převodníku zesiluje, upravuje a většinou digitalizuje a vyhodnocovací jednotka ho ve vhodném tvaru zobrazuje a popř. dokumentuje. Převodník a vyhodnocovací jednotka zpravidla tvoří jeden celek, v poslední době často samostatně nabízený jako inteligentní (smart) snímač teploty.

Teplota je v průmyslové praxi nejčastěji sledovanou či regulovanou veličinou a její přesné měření je nejčastěji prováděným měřicím úkonem. Přes rostoucí význam bezkontaktních měřicích metod se teplota v průmyslu nejčastěji měří kontaktními metodami.[7]

3.2.1 Druhy kontaktních snímačů teploty

Odporové kovové senzory teploty

Atomy v krystalové mřížce kovů s rostoucí teplotou zvětšují amplitudu svých kmitů, a kladou tak větší odpor průchodu elektronů. To je zjednodušená představa závislosti elektrického odporu kovů na teplotě, která je principem kovových odporových čidel teploty. Uvedenou závislost lze v rozsahu teplot 0 až 100 °C vyjádřit přibližným vztahem:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

Kde $\alpha[K^{-1}]$ je teplotní součinitel odporu a R_0 odpor při teplotě 0 °C.[8]

Jako citlivý materiál se pro výrobu kovových odporových čidel teploty většinou volí platina pro její chemickou netečnost, časovou stálost, vysokou teplotu tavení a také pro možnost dosáhnout vysoké čistoty materiálu (v rozmezí 99,9 až 99,999 %). Vedle platiny jsou to také nikl, měď, molybden nebo některé slitiny. [8]

Odporové polovodičové snímače teploty

U polovodičových senzorů teploty se podobně jako u kovových využívá teplotní závislosti odporu na teplotě. Na rozdíl od kovů je ale princip vodivosti polovodičů odlišný, a proto jsou jiné i vlastnosti těchto senzorů. Vedení proudu v kovech zajišťují valenční elektrony, které jsou k jádru vázány velice slabě a vytváří tzv. elektronový plyn. S rostoucí teplotou se zvyšuje amplituda kmitů jednotlivých atomů, které tak znesnadňují elektronům průchod a zvyšují elektrický odpor materiálu. U polovodičů je tomu ovšem jinak. Při teplotě absolutní nuly jsou všechny elektrony pevně vázány ke svým jádrům a materiál nemůže vést proud. Elektronům je třeba dodat určitou energii k tomu, aby „přeskočily“ přes tzv. zakázaný pás do pásu vodivostního a mohly se účastnit vedení proudu. Touto energií může

být např. energie elektromagnetického pole nebo energie tepelná. S rostoucí teplotou tedy bude koncentrace nosičů náboje růst a elektrický odpor materiálu se bude snižovat. Zatímco se tento jev snažíme u klasických polovodičových součástek potlačit, u termistorů se ho naopak snažíme vhodnou technologií a složením zvýraznit. [8]

U polovodičových snímačů teploty rozlišujeme 3 základní typy:

- **NTC** termistory vykazují značně nelineární závislost odporu na teplotě a mají záporný teplotní koeficient. Jedná se o prvky s všestranným použitím nacházející uplatnění v řadě aplikací. S výhodou lze kromě R-T charakteristiky využít též V-A charakteristiku termistoru. V takovém případě se využívá vlastního ohřevu termistoru, a to obvykle v aplikacích, kde se mění podmínky vnějšího prostředí nebo elektrické parametry obvodu. Díky značně nelineární charakteristice lze NTC termistory využít též pro generování definovaného časového zpoždění.
- **PTC** termistory mají značně nelineární charakteristiku s převážně kladným teplotním koeficientem. Jejich použití je obecně omezenější než u NTC termistorů, k měření teploty se prakticky nepoužívají. Nacházejí uplatnění zejména jako dvoustavové detektory nebo se využívá jejich V-A charakteristiky spolu s vlastním ohřevem např. pro měření proudění nebo průtoku.
- **Monokrystalické Si sensory** jsou díky dlouhodobé stabilitě a nepříliš velké nelinearitě vhodné k měření běžných teplot jako náhrada dražších platinových senzorů. Vzhledem k vlastnostem křemíku lze tyto senzory obvykle použít pro měření teplot maximálně do 125 až 175 °C (výjimečně vyšších – např. KTY84 lze použít až do 300 °C). [8]

Termoelektrické teploměry

Termoelektrické teploměry využívají k měření teploty termoelektrické články. Termoelektrický článek je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů A a B, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny. Jestliže se teplota t_m jednoho spoje liší od teploty t_s druhého spoje, vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází termoelektrický proud.

V zjednodušené formě lze závislost termoelektrického napětí E na teplotě vyjádřit lineárním vztahem:

$$E = \alpha_{AB}(t_m - t_s)$$

kde α_{AB} je materiálová konstanta. [8]

3.3 Teplotní čidlo SMT 160-30

Vývoj nových typů čidel na bázi křemíku umožnil integrovat měřicí převodníky s obvody pro zpracování signálu do jednoduchého a kompaktního pouzdra se standardním napájením a malou spotřebou energie.

Senzor teploty Smartec 160-30 je důmyslný integrovaný senzor vyrobený na křemíkovém substrátu s dvouhodnotovým logickým výstupním signálem. Základem senzoru je polovodičový přechod PN polarizovaný v propustném směru, doplněn převodníky analogového signálu na signál PWM. Výstupní signál senzoru je TTL kompatibilní ve formě impulsní šířkové modulace, přičemž doba, ve které je signál v logické 1 (střída) v poměru k periodě signálu určuje teplotu dle níže uvedeného vzorce. Díky digitálnímu výstupu lze senzor připojit vodičem přímo na vstup mikropočítače a s pomocí multiplexování lze také připojit těchto čidel více. Senzor není třeba kalibrovat, je od výroby kalibrován přímo na čipu. Třívodičové vedení má vysokou toleranci vůči šumu, lze jej tedy využívat i na dálkové měření (až 20m). [9]

Střída výstupního signálu se určí jako:

$$D.C. = 0,32 + 0,0047 \cdot t$$

Kde:

D.C. je duty cycle (střída impulsního signálu).

t je teplota [°C].

3.3.1 Základní charakteristiky

- Nevyžaduje A/Č převodník
- Absolutní přesnost $\pm 0,7$ °C
- Převodní charakteristika s odchylkou od linearit menší než 0,2 °C
- Výstupní signál snadno převoditelný na číslíkový
- Kalibrace senzoru na čipu
- Výstupní signál kompatibilní s TTL, CMOS logikou
- Teplotní rozsah -45 °C až +130 °C
- Nízká spotřeba (< 1 mW)
- Vyráběné v pouzdrech TO18, TO92, TO220 a SOIC

Údaje	TO18			TO92	TO220	HE	SOIC	jednotky
	min.	typ	max.	max. ¹	max.	max.	max.	
Napájecí napětí ²	4.75	5	7	*	*	*	*	V.
Napájecí proud	160		200	*	*	*	*	μA.
Teplotní rozsah ³	-45	-	130	*	*	*	*	°C
Celková přesnost ⁴	-30 + 100 C		0,7	1,2	1,7	1,5	1	°C
	-45 + 130 C		1,2	2	1,7	1,5	1,5	°C
Nelinearita ⁵			0,2	0,4	0,5	1,0	1,0	°C
Vliv změn napájecího napětí			0,1	*	*	*	*	°C/V
Opakovatelnost			0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	°C
Dlouhodobý drift			0,05	-	-	-	0,05	°C
Výstup:								
- střída impulsu =	0,320 + 0,00470*t			(t = teplota ve °C)				
- kmitočet	1	-	4	*	*	*	*	kHz
- šum			0,005	*	*	*	*	°C
- impedance			200	*	*	*	*	Ohm

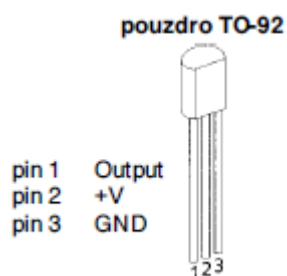
Tab. 3 Charakteristické údaje

Pozn:

1. – Všechny nezmíněné specifikace stejné jako pro TO18
2. – Pouzdro spojené se zemí
3. – Senzor v pouzdře TO18 může být krátkodobě vystaven teplotnímu rozsahu -65 až +160 °C aniž by došlo k jeho poškození.
4. – Celková přesnost respektuje všechny chyby
5. – Použitelné od -30 až +100 °C . [9]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Napájecí napětí	4,75- 7	V
Napájecí proud	Max. 200	μA
Ochrana proti zkratu	Bez časového omezení	-
Rozsah pracovních teplot	-45 až +130	°C
Skladovací teplota	-50 až +150	°C

Tab. 4 Provozní vlastnosti



Obr. 13 Vývody pouzdra TO-92

3.3.2 Typické oblasti použití

Typické aplikace pro SMT 160-30 vzhledem k obecným vlastnostem, teplotnímu rozsahu a přesnosti jej předurčují jako teplotní senzor pro automatické měření a řízení teploty v klimatizacích, systémech měření, potravinářském průmyslu, pračkách a jiných spotřebičích. Velké využití má teplotní senzor také v ochraně před přehřátím jakou součást chladících systémů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 NÁVRH MODULU

Cílem této práce je navržení a realizace funkčního elektronického obvodu, schopného v závislosti na přijímaném signálu z teplotních senzorů řídit otáčky až tří příslušných ventilátorů PWM regulací a zároveň získaná data ze senzorů zobrazovat zpět uživateli. Obvod je rozdělen na dvě desky plošných spojů (DPS), z nichž první, nazvaná *základní deska* (mainboard) je osazena mikropočítačem řídícím příjem a zpracování dat z digitálních teplotních senzorů, výpis aktuální teploty na displej, zpracování přerušení od tlačítek a také ovládání spínacích tranzistorů, k nimž jsou kvůli nedostatečné velikosti výstupního proudu a napětí z mikrokontroleru připojeny ventilátory. Druhá deska, nazvaná *ovládací deska* (controlboard) je složena ze čtyř sedmi-segmentových displejů a CMOS obvodů pro řízení displejů multiplexováním. Součástí desky jsou také 2 tlačítka pro ovládání modulu.

4.1 Princip činnosti

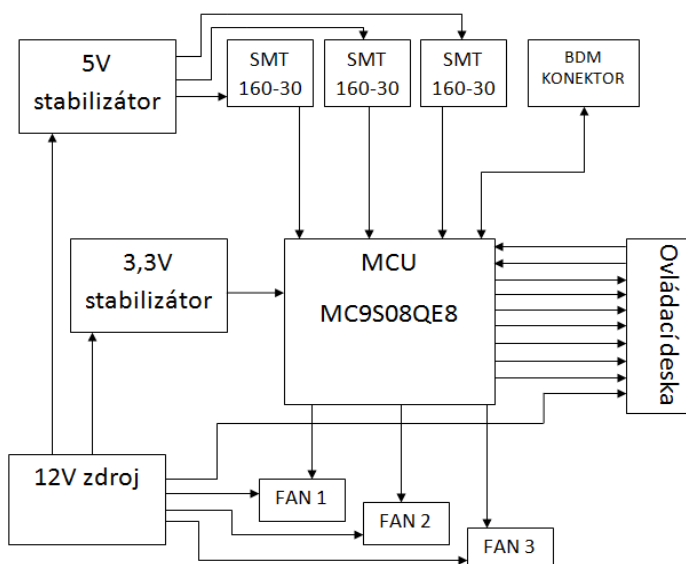
Celé řešení problému lze z hlediska využití mikropočítače rozdělit na 3 dílčí části:

- **Měření teploty** – k měření teploty s přijatelnou přesností byl použit digitální teplotní senzor SMT 160-30, který dosahuje přesnosti se všemi chybami až $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k digitálnímu výstupu senzoru jej bylo možné připojit přímo k mikropočítači, avšak kvůli možnosti náhodného přepólování čidla a také snazší montáži k měřenému objektu byl senzor umístěn na miniaturní destičku jednostranného plošného spoje s možností vyvrtání otvoru pro montáž. Teplotní senzor vysílá hodnotu teploty v podobě PWM signálu s frekvencí 1-4kHz. Jedno z možných a velmi přesných řešení získání dat ze senzoru je využití tří PWM kanálů časovače 1 se společným čítačem, ke kterým byly jednotlivé senzory připojeny a softwarově multiplexovány. PWM kanály bylo třeba nastavit do režimu Input Capture, ve kterém se vyvolá přerušení při příchozí náběžné hraně, sestupné hraně nebo libovolné hraně dle nastavení příslušného registru. Po naměření jednoho vzorku teploty vypneme zachytávání signálu a provedeme ve funkci *main* výpočet teploty. Teplotu uložíme do pole a to po naplnění předem definovaným množstvím hodnot vyfiltrujeme od chybně naměřených hodnot, zprůměrujeme a získáme tak výslednou teplotu. Poté počkáme nějaký definovaný čas, zapneme měření z dalšího senzoru a celý cyklus opakujeme.

- **Výpis teploty na sedmsegmentový displej** – k práci s displejem je zapotřebí hodinový signál jdoucí z mikropočítače do dekadického Johnsonova čítače realizovaného integrovaným obvodem HCF 4017B. Ten přepíná jednotlivé BCD to 7segment dekodéry (IO SN74LS247) – přivedením logické „1“ na RBO pin dekodéru displej rozsvítíme. O generování hodinového signálu se střídou 50% o frekvenci 800 Hz se stará časovač č.2. Přerušování tohoto časovače se využívá nejen pro práci s displejem, ale také ke všem činnostem, kde je zapotřebí nějakým způsobem odměřit čas, např. dobu ustálení tlačítka po zákmitu, inicializační dobu po restartu mikropočítače, pauzu mezi jednotlivými měřeními teploty a je využit také ke spínání ventilátorů PWM signálem s periodou právě 800 Hz.
- **Řízení výkonu ventilátorů** – pro řízení výkonu ventilátorů byl zvolen způsob výše zmíněného spínání tranzistorů BD139 PWM signálem z mikrokontroleru o frekvenci 800 Hz. Osazený tranzistor měl naměřeno proudové zesílení β v rozmezí 105 – 115. Jako bázev rezistor byl tedy zvolen rezistor o hodnotě 1,5k Ω , který omezoval proud tranzistorem do ventilátoru při saturaci na 170mA. Malým proudem z mikrokontroleru bylo tedy spínáno plné napětí 12V snížené o úbytek na ochranné diodě, sloužící k zamezení toku záporného proudu naindukovaného na cívkách ventilátoru při jeho vypnutí. PWM signálem řízené ventilátory dosahují zpravidla vyšší účinnosti než ventilátory regulované pouhým snížením napětí. Pro generování spínacího signálu jsou použity 3 nezávislé kanály časovače č.2, pro každý z kanálů pouze nastavíme příslušnou hodnotu do Output Compare registru dle naměřené teploty a dále se o generování PWM stará samotný mikropočítač. Při řízení ventilátorů (nejčastěji s kuličkovými ložisky) šifkově modulovaným signálem nastává nepříjemný jev – spínání je provázáno emitovaným zvukem o frekvenci cca 1-4 kHz. Tento jev lze omezit několika způsoby, např. posunutím spínací frekvence mimo slyšitelné pásmo. Tento způsob však nelze použít v kombinaci s časovačem č.2, jehož přerušování při přetečení by byla příliš častá a nestihl by se provádět obslužný kód přerušování. Dalším způsobem je připojení paralelního RC članku mezi bází tranzistoru a zemnicí vodič, dojde tím k vyhlazení ostrých hran pulsního signálu. Kondenzátor je třeba volit experimentálně v rozsahu 0,47 μ F až 10 μ F. Rezistor je pak vhodně zvolen pro vybití kondenzátoru při odpojení napájení.

4.2 Základní deska

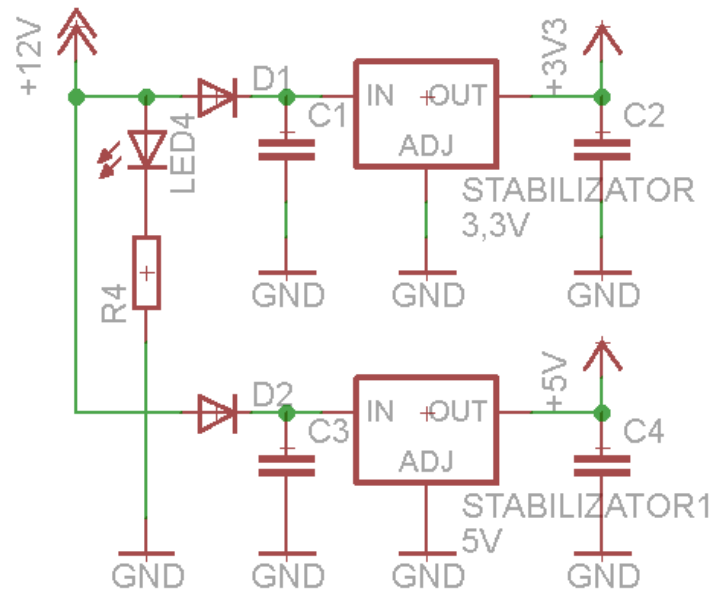
Základní deska je napájena stejnosměrným napětím o hodnotě +12V. Připojené napětí je signalizováno zelenou LED diodou a dále pro potřeby základní desky snižováno stabilizátory napětí. Mikro počítač pracuje na napětí 3,3V, k jeho napájení byl zvolen +3,3V stabilizátor s nízkým úbytkem napětí. Toto napětí je dále vyvedeno vodičem na ovládací desku. Druhý stabilizátor, který se na základní desce nachází, stabilizuje přiváděné napětí +12V na hodnotu +5V, z důvodu napájení teplotních senzorů. Deska obsahuje také tři 3-pinové zámkové molex konektory pro připojení teplotních senzorů a další tři konektory stejného typu, sloužící k připojení ventilátorů k základní desce. Přiváděné napětí na konektory ventilátorů je signalizováno třemi LED diodami, které mění svůj jas v závislosti na střídě pulsně spínaného napětí.



Obr. 14 Blokové schéma základní desky

4.2.1 Napájení

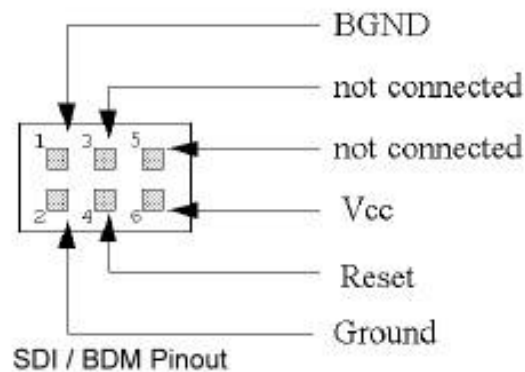
Obvod základní desky je vnitřně napájen +3,3V a +5V ze stabilizátorů LT1086 ve standardním zapojení s filtračními 100nF kondenzátory proti zkratovému proudu a vysoko frekvenčním zákmitům. Stabilizátory jsou zapojeny za univerzální ochranné diody, které slouží jako ochrana proti přepólování.



Obr. 15 Schéma zapojení stabilizátorů

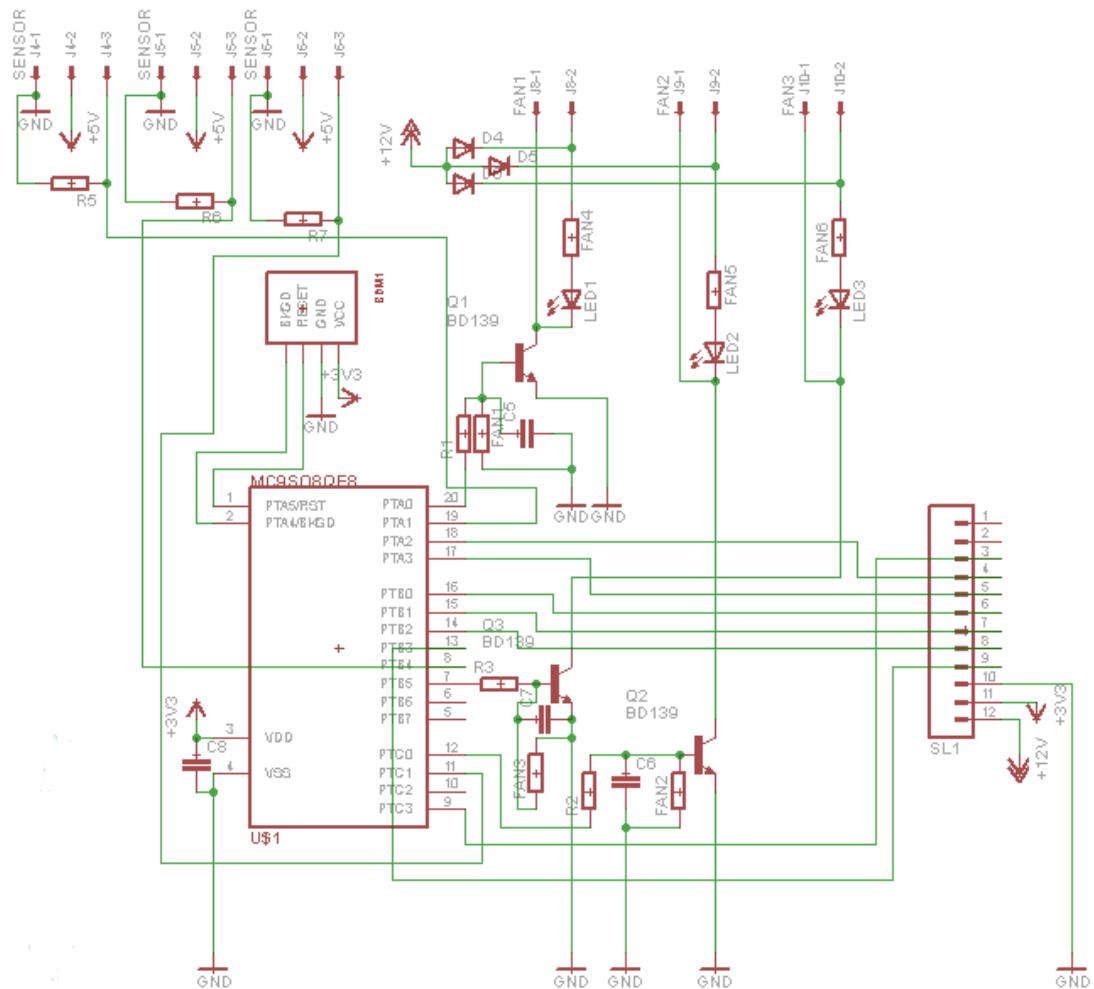
4.2.2 Připojení programátoru

Na základní desce je vyvedena šestice pinů, ke kterým se připojuje BDM konektor programátoru. Zapojení konektoru:



Obr. 16 Schéma zapojení BDM konektoru

4.2.3 Schéma základní desky bez stabilizátorů



Obr. 17 Schéma základní desky bez stabilizátorů

Položka	Množství	Referenční označení	Typ
1	1	STABILIZÁTOR 3,3V	LT1086 3,3
2	1	STABILIZÁTOR 5V	LT1086 5
3	6	BDM1	JUMPER S1G
4	6	J4,J5,J6,J8,J9,J10	PSH04-03WG
5	3	R5,R6,R7	Rezistor 6k6 R0805
6	3	R4,FAN4,FAN5,FAN6	Rezistor 2k2 R0204
7	3	R1,R2,R3	Rezistor 1k5 R0204

8	3	FAN1,FAN2,FAN3	Rezistor 10k R0204
9	5	D1,D2,D4,D5,D6	Dioda 1N4007
10	1	LED4	3mm difúzní zelená LED
11	3	LED1,LED2,LED3	3mm difúzní modrá LED
12	4	C1,C2,C3,C4	Kond. tantalový 100nF/25V
13	3	C5,C6,C7	Kond. elektrolytický 10 μ F/16V
14	1	C8	Kond. tantalový 100nF/25V
15	3	Q1,Q2,Q3	tranzistor BD139
16	1	SL1	Konektor PSH02-12W
17	1	MC9S08QE8	Freescale MCU S08QE8

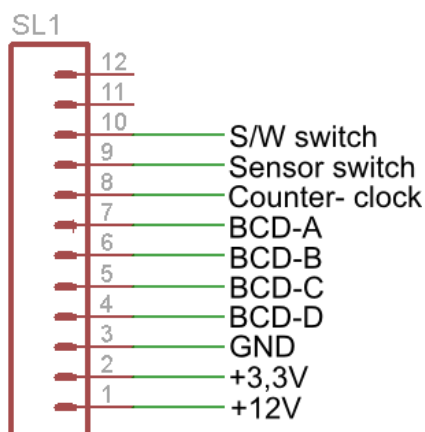
Tab. 5 Soupiska použitých součástek základní desky

4.3 Ovládací deska

Ovládací deska (control-board) je k základní desce připojena 10-ti žilovým kabelem do zámkového konektoru. Rozdělení jednotlivých žil na konektoru propojovacího kabelu je na obr. 18. Hodinový signál z mikropočítače je přiveden na dekadický Johnsonův čítač obsažený v integrovaném CMOS obvodu HCF 4017B, napájeném +3,3V přivedenými ze základní desky. Toto napětí je použito také k napájení čtyř BCD to 7segment dekodérů osazených na ovládací desce v podobě integrovaných CMOS obvodů SN47 LS247. Jednotlivé dekodéry slouží k zobrazení vždy jedné číslice na 7segmentovém displeji a jsou určeny pro ovládání displejů se společnou anodou. I když je toto zapojení plně funkční, z hlediska úspory místa na desce a financí je vhodnější použití pouze jednoho dekodéru a čtyř PNP spínacích tranzistorů.

Na ovládací desce nalezneme 1 červený displej KINGBRIGHT SA56-11EWA se společnou anodou, určený k zobrazení čísla právě zobrazovaného čidla. Další TŘI 7segmentové modře svítící displeje KINGBRIGHT SA56-11PBWA se společnou anodou jsou osazeny za účelem zobrazení teploty v rozsahu 0,0 až 99,9. Desetinná tečka je nastalo rozsvícena připojením přes ochranný rezistor k zemnicímu vodiči přivedeným ze základní desky. K napájení všech čtyř displejů slouží napětí +12V přivedené ze základní desky, připojené ke společné anodě na pinu č.8 sedmi-segmentových displejů. Ovládací deska

obsahuje také mikrospínač umístěný vedle červeného displeje a spínač s aretací BH-170, který přepíná režimy Silent/Work.



Obr. 18 Zapojení konektoru

Kde:

S/W switch

je tlačítko přepínající tichý (*Silent*) a pracovní (*Work*) režim.

Sensor switch

je mikrospínač s více funkcemi.

Counter-clock

je hodinový signál přepínající výstupy dekadického čítače.

BCD- A-D

jsou čtyři vodiče nesoucí informaci o právě zobrazované číslici do BCD dekodéru ve dvojkovém BCD kódu.

GND

je společný zemnicí vodič.

+3,3V

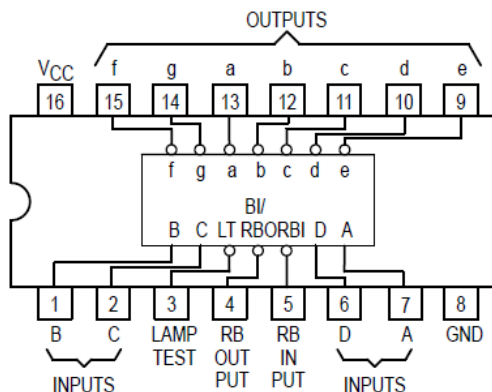
je napěťový vodič pro CMOS obvody.

+12V

je napěťový vodič pro 7segmentové displeje.

4.3.1 Obvod 74LS247

Obvod 74LS247N je 16-ti vývodový BCD dekodér na 7segmentový displej v plastovém pouzdře s otevřeným kolektorem pro přímé řízení displeje.

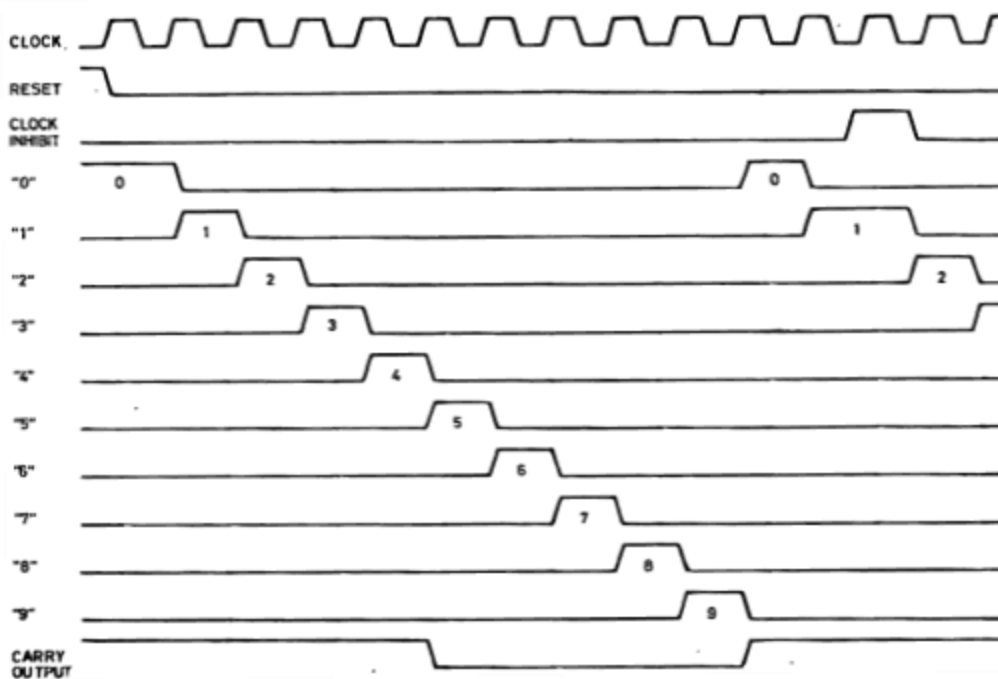


Obr. 19 Zapojení IO 74LS247[10]

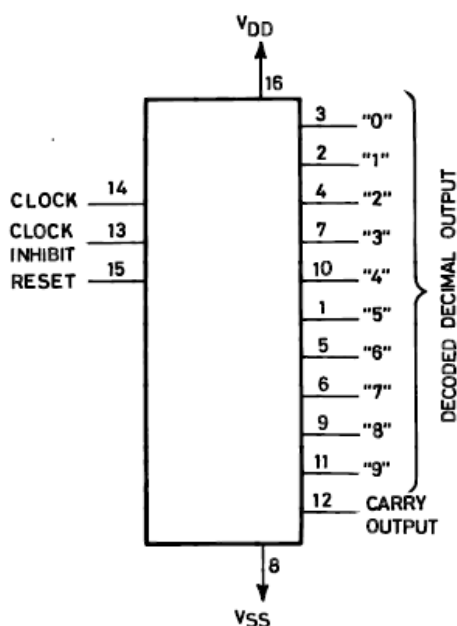
Vstupy A,B,C,D jsou aktivní v logické nule, přičemž celý displej lze zhasnout přivedením logické nuly na pin RB INPUT. Tato vlastnost je využita při rychlém přepínání displejů – multiplexování.

4.3.2 Obvod HCF4017B

HCF4017B je monolitický polovodičový CMOS integrovaný obvod, vyráběný v pouzdrech SOP a DIP s funkcí 5stupňového Johnsonova čítače s dekódováním na 10 výstupů. Vstupy obvodu jsou CLOCK, RESET a CLOCK INHIBIT, přičemž, přivedeme-li logickou nulu na vstup CLOCK INHIBIT a zároveň logickou jedničku na vstup CLOCK, čítač se inkrementuje a přepne výstup na následující. Přivedením logické jedničky na vstup RESET vynulujeme čítač a čítání začne znovu od nultého výstupu. Při dosažení posledního, devátého výstupu se objeví logická jednička také na pinu CARRY OUTPUT, při dalším přepnutí výstupu se čítá znovu od nultého výstupu, viz obr. 20.[11]



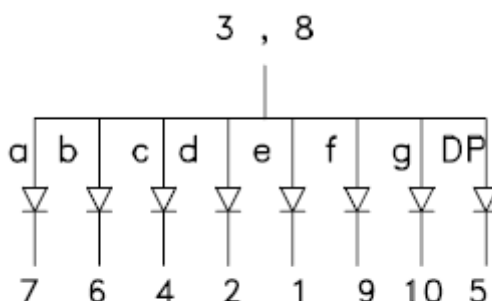
Obr. 20 Časování obvodu 4017B[11]



Obr. 21 Vývody obvodu 4017B[11]

4.3.3 Displej

Jednomístný 7segmentový displej od firmy KINGBRIGHT typ SA56 má 14,2mm vysoké číslice. Ve skutečnosti obsahuje 8 segmentů, 7 pro zobrazení číslice a osmý segment, který signalizuje desetinnou tečku.

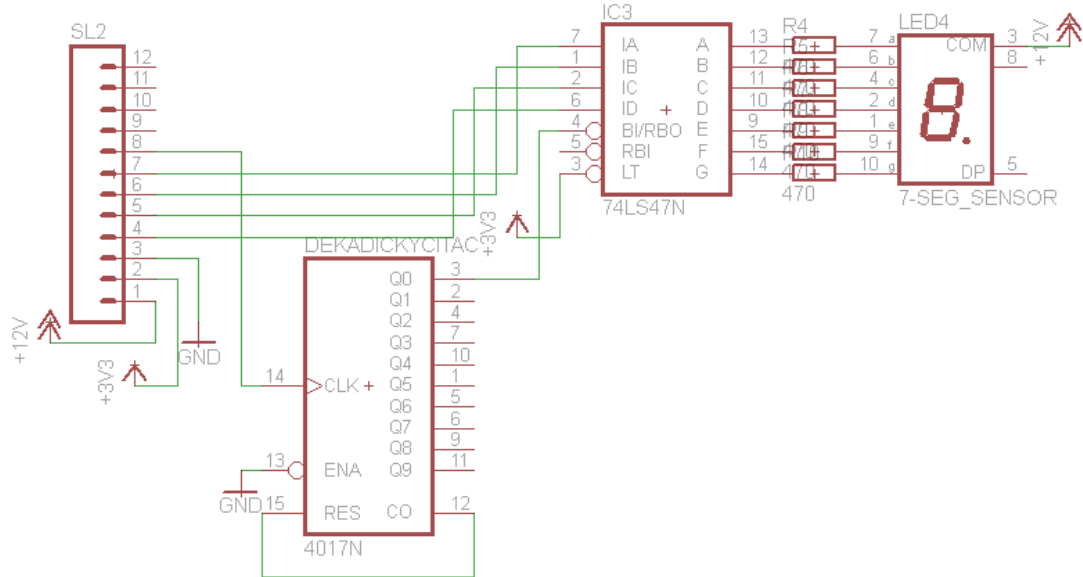


Obr. 22 Vývody displeje [12]

Použitý displej je typu SA (společná anoda), vyvedená na vývody 3 a 8. Pro funkční zapojení nám stačí zapojit alespoň jeden z nich. Pro omezení jasu displejů jsou jednotlivým segmentům předřazeny omezující rezistory. Dle datasheetu má červený displej úbytek napětí na jednom segmentu 2,0 až 2,5V při proudu segmentem 20mA[12]. Modrý displej, sloužící jako třímístný zobrazovač teploty má úbytek napětí 3,3V při proudu 30mA segmentem.

4.3.4 Schéma ovládací desky

Na obr. 23 je zobrazeno připojení jednoho displeje s ochrannými rezistory na dekadický čítač, celé schéma ovládací desky je v příloze P I.



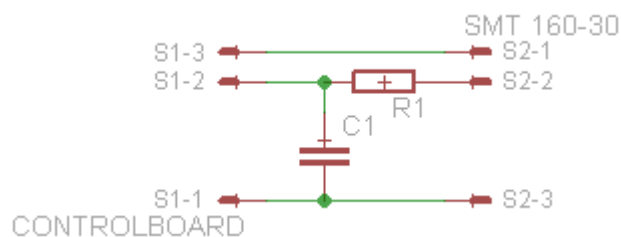
Obr. 23 Schéma zapojení jednoho displeje

Položka	Množství	Referenční označení	Typ
1	1	SL2	Konektor PSH02-12W
2	1	SW1A	B170H přepínač
3	1	Sensor switch	TM130 mikrospínač
4	1	DEKADICKY CITAC	HCF 4017B
5	4	IC3, IC4, IC5, IC6	74LS247N
6	3	LED5, LED6, LED7	SA56-11EWA
7	1	LED4	SA56-11PBWA
8	1	R32	Rezistor 2k2 R0207
9	21	R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31	Rezistor 510R R0207
10	7	R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10	Rezistor 470R R0207

Tab .6 Soupiska použitých součástek ovládací desky

4.3.5 Destička s čidlem

Oddělené schéma destičky s čidlem je navrženo jako ochranný obvod, zamezující zničení čidla při náhodném přepólování omezením proudu tekoucím do čidla. V datasheetu výrobce je uvedena hodnota 220Ω , při realizaci však byla použita hodnota 165Ω získaná paralelním zapojením dvou rezistorů $330R$ v pouzdře 0603. Filtrovací kondenzátor C1 volíme jako $470nF/25V$. Destička obsahuje také místo pro navrtání 3mm otvoru k snadnějšímu uchycení senzoru na požadované místo.



Obr. 24 schéma destičky s čidlem

5 PRAKTICKÁ REALIZACE MODULU

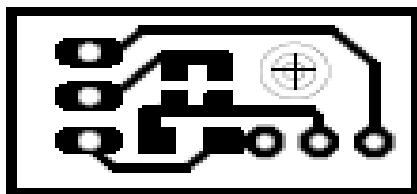
5.1 Výroba plošných spojů fotocestou

V dnešní době představuje domácí výroba desky plošných spojů fotocestou velmi efektivní způsob z hledisek náročnosti na čas, finance a přesnost výsledné desky.

K výrobě DPS fotocestou jsou potřeba zejména:

- Cuprexitová deska s naneseným fotocitlivým lakem nebo cuprexitová deska a sprej s fotocitlivou emulzí (např. Positiv 20)
- Pauzovací papír nebo fólie do tiskárny
- Kvalitní laserová nebo inkoustová tiskárna
- Tenká lihová fixa
- Zdroj UV světla
- Program pro tvorbu schémat (např. EAGLE)
- Vývojku (roztok hydroxidu sodného a vody)
- Chlorid železitý nebo kyselina chlorovodíková s peroxidem vodíku
- Rozpuštěnou kalafunu nebo nevodivý ochranný lak

Nejprve tedy navrhne DPS, např. v programu EAGLE a vytiskneme jej v tiskárně na fólii nebo pauzovací papír. Pokud vyrábíme oboustranný plošný spoj, vytiskneme horní stranu zrcadlově otočenou a spodní stranu normálně. Je nutné klást důraz zejména na dostatečné krytí černou barvou, případné šmouhy nebo nečistoty by mohly způsobit chyby a nefunkčnost desky. Pokud není krytí dostatečné, můžeme spoje nebo plochy lihovou fixou dobarvit nebo motiv vytisknout několikrát a přesně k sobě slepit.



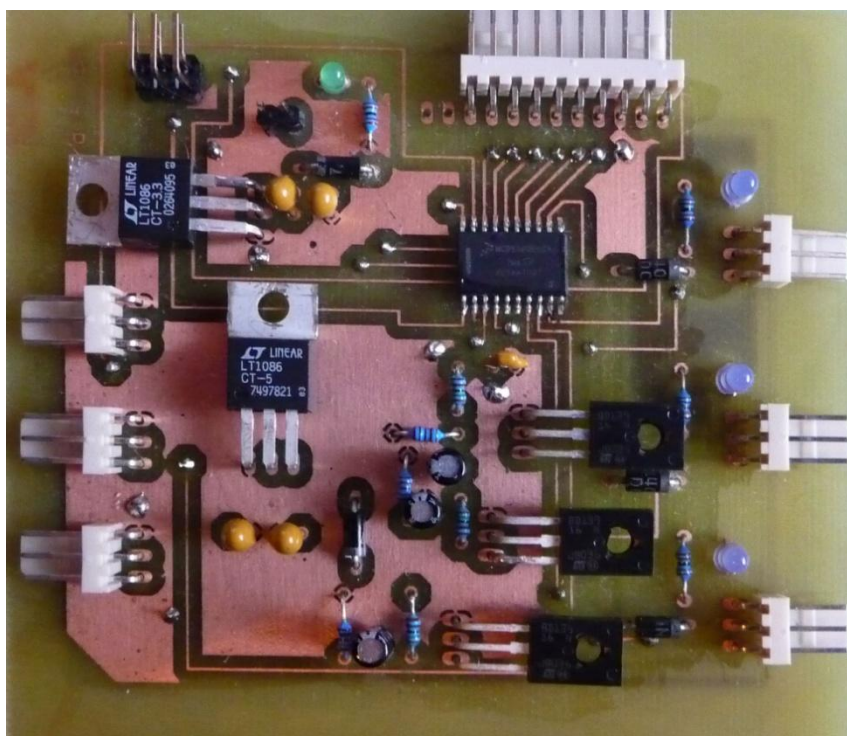
Obr. 25 Příklad návrhu desky čidla

Vytištěný motiv desky následně připevníme na cuprexit. Při výrobě oboustranné desky

musíme dát pozor, abychom měli horní i spodní stranu plošného spoje přesně napozicovanou. Poté můžeme přejít k osvitu. Doba osvitu je závislá na typu osvětlení, výkonu a vzdálenosti desky od zdroje UV světla. Tuto dobu lze zjistit experimentálně, pohybuje se v domácích podmínkách mezi desítkami sekund až desítkami minut.

Po osvětlení dáme desku vyvolat do rozpuštěného hydroxidu sodného v poměru asi 7-15g na litr vody. Doba vyvolání se liší dle koncentrace roztoku, nejčastěji se pohybuje v řádu několika minut. Vyvolaná deska má odstraněnou fotocitlivou vrstvu na místech, kde nebyla zakryta fólií a lze ji tedy vyleptat. V případě zjištěné chyby, ji stále ještě můžeme napravit lihovou fixou, kterou spoj opravíme.

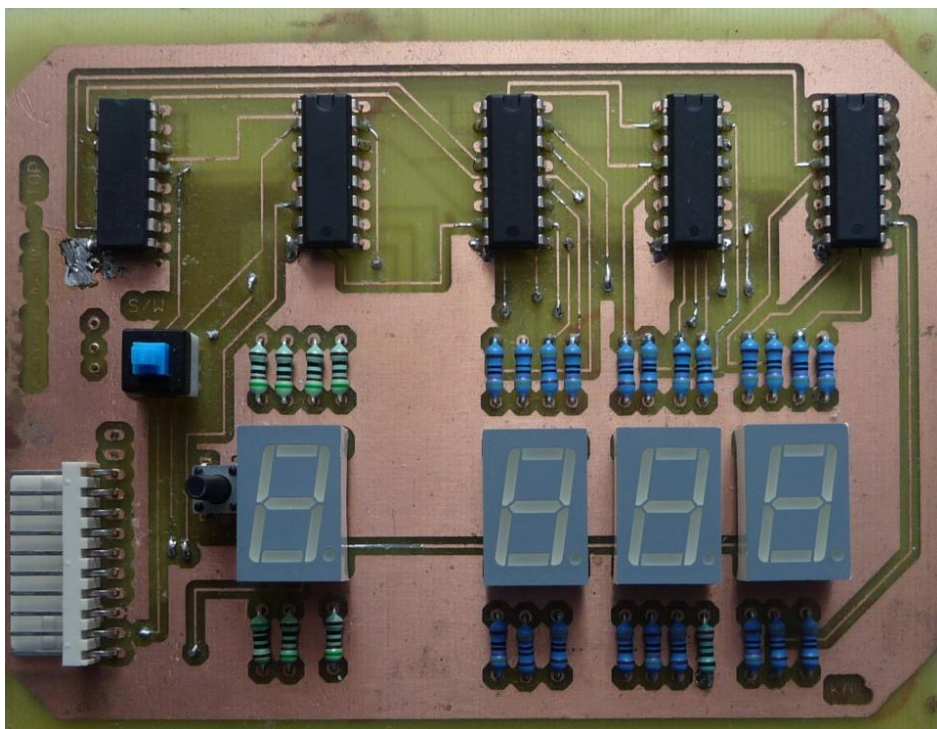
Leptá se například v roztoku FeCl_3 (chloridu železitého) po dobu nezbytně nutnou k odleptání veškeré mědi, která nebyla krytá lakem. V případě, že bychom nechali desku v roztoku déle než je nutné, žíravina by mohla cesty podleptat a narušit. Po vyleptání odstraníme zbytky fotocitlivého laku a desku máme připravenou k osazení součástkami. Po osazení je nezbytné desku přetřít nevodivým ochranným lakem, v mém případě byla použita kalafuna rozpuštěná v lihu. Koncentrace kalafuny pak určuje dobu schnutí natřené desky.



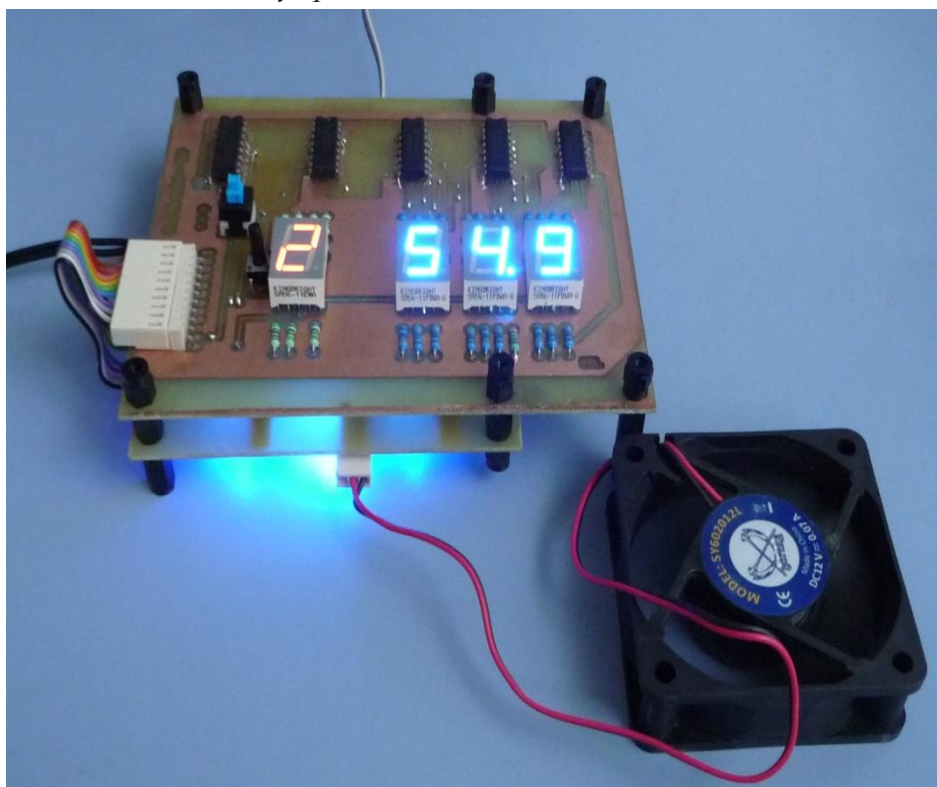
Obr. 26 Vyleptaná a osazená základní deska

5.2 Odzkoušení modulu

Po osazení součástkami a naprogramování bylo potřeba zjistit chování modulu v zátěži. Postupně byly k zařízení připojovány teplotní čidla a regulované ventilátory, zjišťována byla zejména přesnost čidel v porovnání s běžně dostupnými teploměry, hlasitost regulace, rychlost reakce zařízení na zvyšování teploty a zahřívání stabilizátorů napětí.



Obr. 27 Vyleptaná a osazená ovládací deska



Obr. 28 Oživený a naprogramovaný modul

V porovnání se standardním rtuťovým teploměrem a digitální domácí meteostanicí byly oproti teplotním senzorům SMT 160-30 naměřeny odchylky v rozsahu ± 1 °C. Při regulování výkonu ventilátorů bylo také třeba zjistit nejmenší střídu pulsně šířkové modulace, při níž docházelo k bezproblémovému rozběhu motoru ventilátoru. Lopatky ventilátorů s kuličkovými ložisky se bez problému roztočily při cca 30 - 35% výkonu, ventilátory s kluznými ložisky při aktivní střídě 35 – 40%. Pro vyšší kompatibilitu s různými PC ventilátory byla tedy zvolena střída 40%, jako spodní hranice regulace.

Při připojení všech čidel a běžících ventilátorů nejevily oba stabilizátory napětí žádné známky přehřívání. Příkon celého zařízení je limitován zejména zesílením spínacích tranzistorů a při plném provozu nepřesahuje 7,5 W. Je možné jej osadit ventilátory o maximálním příkonu 2,05 W. Pokud bychom chtěli připojit výkonnější ventilátor, je nutné vyměnit bázevý rezistor spínacího tranzistoru, avšak vždy s ohledem na limitovaný odběr proudu z mikrokontroleru a na maximální odběr proudu ze síťového zdroje.

Po úspěšném otestování modul splňoval všechny předpokládané vlastnosti a může být tedy nasazen do reálného provozu.

6 ŘÍDÍCÍ ALGORITMUS

6.1 Popis algoritmu

Princip funkce zařízení je popsán v kapitole 4.1. V této části bude podrobněji popsána hierarchie řízení a jednotlivé funkce obsažené v programu. Základním pilířem programu je generování přerušování časovačem č.2, který vyvolává přerušování s periodou 1,25 ms. V těle obslužné funkce pak probíhají následující činnosti:

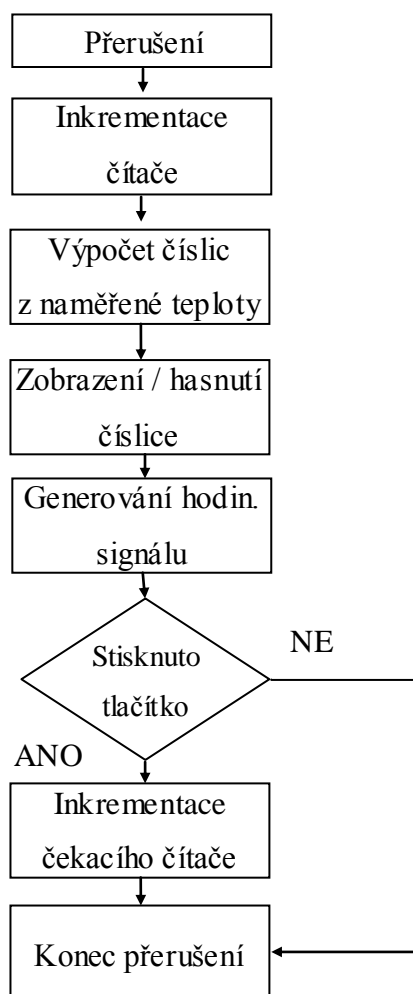
- Inicializační kód, který aktivuje měření a displej až po stanovené době
- Střídavé generování logické jedničky nuly na výstupu pinu PTA3 jako zdroj hodinového signálu pro práci s displejem
- Pro právě zobrazované číslo čidla výpočet jednotlivých číslic z naměřené a zprůměrované teploty
- Alternování měření všech tří čidel v pravidelných intervalech
- Čekací rutina pro odstranění zákmitu při stisku tlačítka

Obslužná přerušovací funkce je vygenerovaná plug-inem Processor Expert, a je umístěna v modulu *Events.c* pod názvem *PWMI_OnEnd*.

Doba pro inicializaci je shodná s dobou určenou pro měření teplot z jednoho teplotního senzoru a je definována v konstantě *doba_mezi_merenimi*, nastavená výchozí hodnotu 250 ms. Interval mezi měřeními lze snížit až na cca 100 ms při současném odebírání a zpracování 20 vzorků teploty ze senzoru. Nižší hodnotu není doporučeno nastavit, rychlé přepínání desetinné číslice by mohlo zhoršovat čitelnost displeje a prováděný kód by nemusel být včas dokončen. Právě tato druhá vlastnost je využita k detekci nepřipojeného čidla. V takovém případě je do naměřené hodnoty z daného čidla uložena nula. Po uplynutí nadefinované doby mezi měřeními se inkrementuje proměnná *merene_cislo_cidla* a celý měřicí cyklus se opakuje pro další senzor.

Generovaný periodický hodinový signál na výstupu pinu PTA3 tedy generuje logickou jedničku s frekvencí $800 \text{ Hz} / 2 = 400 \text{ Hz}$. Tato frekvence je využita pro přepínání jednotlivých číslic displeje. V době, kdy je hodinový signál v logické nule, je displej zhasnutý. Každá číslice tedy bliká s frekvencí $800 \text{ Hz} / 8 = 100 \text{ Hz}$, což je hodnota dostatečně vysoká, aby docházelo v lidském oku k iluzi, že displej svítí nepřerušovaně. Každé rozsvícení displeje je doplněno výstupním BCD kódem na pinech mikro počítače PTB0-3. Tyto piny přenášejí signál do BCD dekodéru, který dekoduje přijatou informaci a

rozsvítí příslušné segmenty displeje. Odstranění rušení vznikající při zákmitu stisknutého tlačítka má na starosti čítač *debounce_pocitadlo*, který se inkrementuje také v těle obsluhy přerušeni časovače č.2 a je defaultně nastaven na 150 ms (120 přerušeni).



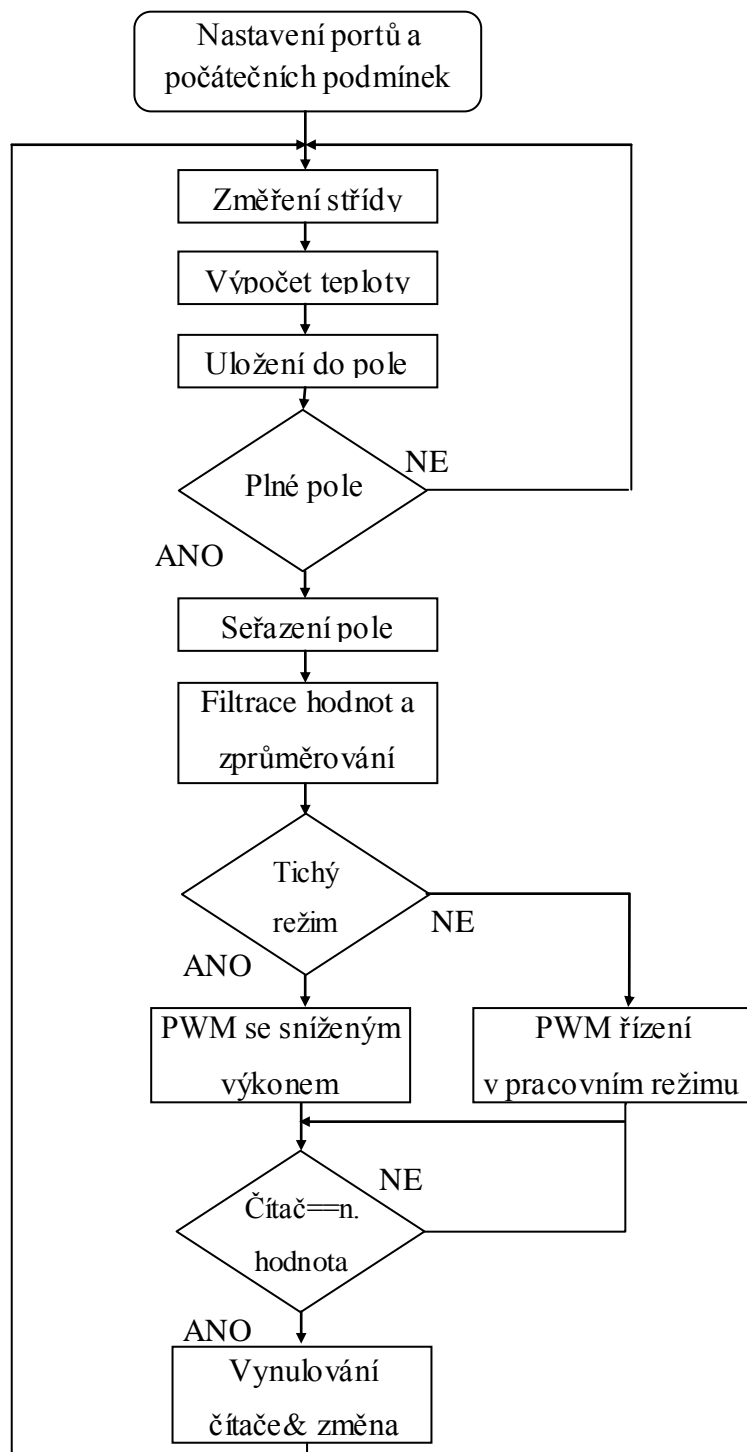
Obr. 29 Obsluha přerušeni

Inicializace portů a pinů je umístěna do těla funkce *main()*, která je obsažena v modulu *pwm.c*. Hlavní programová smyčka pak běží uvnitř této funkce v nekonečném cyklu *while* a stará se o výpočet teploty z naměřených hodnot a jejich ukládání do globálního pole *pole_teplo*. Když je pole naplněno, zavolá funkci *vypocti_teplo*(), která algoritmem *selection sort* seřadí pole, vyfiltruje několik nejvyšších a nejnižších hodnot a ze zbylých hodnot vypočítá aritmetický průměr. Zprůměrovaná teplota je uložena v proměnných *teplota1*, *teplota2*, *teplota3*. Jména proměnných korespondují s číslem senzoru. Po dokončení výpočtu se z funkce *vypocti_teplo*() zavolá funkce *nastavPWM(int teplota)*, která vezme jako argument vypočtenou teplotu a v závislosti na ní a na nastaveném režimu *Silent* nebo *Work* nastaví přes funkci *PWM_SetRatio8(byte hodnota)* output compare registr daného PWM kanálu časovače č.2. Regulovaný výkon má tedy rozlišení 8 bitů. Pro provedení této funkce je řízení ukončeno a nový měřicí cyklus započne po uplynutí časové

konstanty *doba_mezi_merenimi*. Pro větší grafickou názornost byl nakreslen vývojový diagram (Obr. 29).

Displej je možno vypnout delším stiskem ($t > 1$ s) mikrospínače, přepínajícího zobrazení teploty čidla. Opětovným delším stiskem je displej znovu zapnut.

Kompletní zdrojový kód s komentáři je přiložen v příloze P I.



Obr. 30 Vývojový diagram řízení běhu programu

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout koncepci, hardwarové zapojení a realizovat funkční prototyp zařízení pro řízení otáček počítačového ventilátoru v závislosti na teplotě.

Po studiu možných řešení byla navržena kombinace 8bitového mikropočítače MC9S08QE8 s šesti PWM kanály a teplotních senzorů SMT 160-30 s digitálním TTL výstupem, které lze přímo připojit k jednotlivým pinům mikropočítače. Sensory jsou kalibrovány při výrobě, s lineární závislostí střídavý výstupního impulsního signálu na teplotě.

Vytvořený modul je složen ze dvou desek plošných spojů. Na základní desce je umístěn konektor pro připojení napájecího napětí, mikropočítač, BDM konektor, napěťové stabilizátory, spínací tranzistory a konektory pro připojení ventilátorů, teplotních senzorů a ovládací desky.

Ovládací deska obsahuje dvě tlačítka pro ovládání modulu, dekadický čítač, BCD dekodéry a dva displeje. Jednomístný červený displej slouží pro zobrazení čísla právě měřeného čidla, trojmístný modrý displej pak zobrazuje příslušnou naměřenou teplotu v rozmezí 0,0 - 99,9 °C. Mezi naměřenými údaji zjednotlivých senzorů lze přepínat mikrospínačem.

Řízení otáček ventilátorů je realizováno spínacím PWM signálem o frekvenci 800 Hz. Mikropočítač tedy v závislosti na naměřené teplotě reguluje příkon ventilátorů v rozmezí 40% až 100%.

Modul je určen převážně pro využití ve vnitřních prostorech. Vzhledem ke kompatibilitě se standardními PC ventilátory lze tento modul umístit například uvnitř počítačové skříně pro přídavné chlazení pevných disků a chipsetu.

Modul je možné dále vylepšit zmenšením desek plošných spojů použitím SMD součástek, výměnou 7segmentového displeje za dobře čitelný LCD panel, možností manuální regulace otáček a přidáním sériové komunikace s PC, který by prováděl vyhodnocení naměřených dat a ukládal jejich historii. Všechny tyto úpravy by však vyžadovaly kompletní přepracování návrhu a výměnu mikropočítače za jiný model.

Při tvorbě této práce jsem získal cenné zkušenosti s návrhy elektrotechnických zapojení a jejich praktickou realizací. Při vývoji ovládacího programu jsem využil zejména znalosti získané v předmětu Mikropočítače.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this bachelor thesis was to design a hardware concept and develop a functional prototype of device for PC fan speed control, depending on temperature.

After studying the possible solutions, the optimal solution was a combination of 8-bit microcontroller MC9S08QE8, which has 6 PWM channels combined with temperature sensor SMT 160-30 with a digital TTL output, which can be directly connected to individual pins of the microcontroller. Sensors are calibrated at manufacture and the pulse duty cycle of the sensor depends linearly on measured temperature.

The created module is composed of two circuit boards. On the motherboard is located a connector for power supply, microcontroller, BDM connector, voltage stabilizers, switching transistors, and connectors for fans, temperature sensors and control panel.

The control panel contains two switch buttons to control module, decimal counter, BCD decoders and two displays. One-digit red LED display is used to show the number of the currently measured sensor, three-digits blue LED display shows the appropriate temperature in the range from 0.0 to 99.9 °C. You can switch between the measured data from different sensors via micro-switch.

Fan speed control is realized by the PWM switching signal at a frequency of 800 Hz. The microcomputer analyses the data and controls the power to fans within the range from 40% to 100%.

The module is designed primarily for indoor usage. Due to the compatibility with standard PC fans, you can place the module inside the computer case, for example for additional cooling of hard drives and chipsets.

The module can be further improved by reducing the size of circuit boards using SMD components, by changing the 7-segment display for a well readable LCD panel, by adding manual speed control and a serial communication with PC, which would evaluate the measured data and store its history. All these modifications would require a complete redesign and also a different model of microcontroller.

While creating this work, I gained valuable experience in designing circuit boards and their manufacturing. I used the knowledge that I learned in the subject Microcontrollers for the development of the control software.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Lipovski ,G. Jack.: Introduction to Microcontrollers, Second Edition: Architecture, Programming, and Interfacing for the Freescale 68HC12 (Academic Press Series in Engineering). Academic Press; 2 edition (září 24, 2004). ISBN: 978-0124518384.
- [2] Jiří Marchalín.: Historie procesorů od počátku až po současnost [online].[cit. 2011-03-07]. Dostupné z WWW: <http://artax.karlin.mff.cuni.cz/~marcj1am/download-files/hist.pdf>
- [3] Freescale.com.: HCS08 Family Reference Manual [online].[cit. 2011-03-07]. Dostupné z WWW: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/HCS08RMV1.pdf
- [4] PINKER, Jiří. MIKROPROCESORY A MIKROPOČÍTAČE . 1. vydání. Praha : Nakladatelství BEN, 2004. 160 s. ISBN 80-7300-110-1.
- [5] BRUMBAR, Chris. Getting started with CodeWarrior IDE from Freescale. Your Electronics Open Source. 15.5.2009, 1, s. 1-8. Dostupný také z WWW: <<http://www.docstoc.com/docs/5932247/Getting-Started-with-CodeWarrior-IDE-from-Freescale>>.
- [6] MECHLOVÁ, Erika. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz fyziky*. 1. vyd. Praha: Prométheus, 2001. 588s. ISBN 80-7196-151-5
- [7] SMUTNÝ, Lubomír. Snímače teploty – současný stav a směry vývoje. AUTOMA : časopis pro automatizační techniku [online]. 2007, 05, [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34041>.
- [8] ŠPRINGL, Vít. Měření teploty : polovodičové odporové senzory teploty. HW.CZ [online]. 19.8.2004, 2, [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1141-Mereni-teploty---polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>>.

- [9] Senzor teploty : Katalogový list SMT 160-30. In Senzor teploty [online]. [s.l.] : [s.n.], 26.3.2002 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.pavolmaria.org/elektronika/files/smt160-30cz.pdf>>.
- [10] Productinfo [online]. 4.2.2009 [cit. 2011-05-06]. 74LS247. Dostupné z WWW: <<http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/169749-da-01-en-74LS247.pdf>>.
- [11] Datasheetcatalog [online]. 2001 [cit. 2011-05-06]. HCF4017B. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/c/0hzfead5oloiw8r1d13l9xijkd7y.pdf>>.
- [12] Octopart [online]. 2007 [cit. 2011-05-06]. Datasheet. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/c/http://datasheet.octopart.com/S-A56-11EWA-Kingbright-datasheet-532284.pdf>>.
- [13] MARKO net [online]. 9.9.2007 [cit. 2011-05-18]. Počítače von Neumannovské architektury. Dostupné z WWW: <<http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/04historie/neumann.gif>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ALU	Aritmetical and Logical Unit
ACMP	Analog Comparator
BDC	Background Debug Controller
CPU	Central processor unit
DPS	Deska Plošných Spojů
DRC	Design Rule Check
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
ERC	Electrical Rule Check
IDE	Integrated Development Environment
ISR	Interrupt Service Routine
LIFO	Last In First Out
LVD	Low Voltage Detect
I/O	Input/Output
IRQ	External Interrupt Request
KBI	Keyboard Interrupt
MCU	Microcontroller Unit
NTC	Negative Temperature Coefficient
OS	Operating System
OSBDM	Open-source Background Debug Mode
PCB	Printed Circuit Board
PTC	Positive Temperature Coefficient
PE	Processor Expert
POR	Power On Reset
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random-access Memory
SA	Společná Anoda
SCI	Seriál Communication Interface
SMD	Surface Mount Device
SP	Stack Pointer
SPI	Serial Peripheral Interface
SWI	Software Interrupt

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Architektura Von Neumannova počítače.....	11
<i>Obr. 2</i> Blokový diagram HCS08.....	13
<i>Obr. 3</i> blokové schéma MC9S08QE8.....	15
<i>Obr. 4</i> Příklad rozdělení pinů SOIC20 pouzdra.....	16
<i>Obr. 5</i> Pracovní registry MC9S08QE8.....	17
<i>Obr. 6</i> Paměťová mapa S08QE8.....	19
<i>Obr. 7</i> OSBDM programátor.....	23
<i>Obr. 8</i> Rozmístění pinů BDM konektoru.....	23
<i>Obr. 9</i> Snímek prostředí tvorby schémat software EAGLE.....	26
<i>Obr. 10</i> Snímek prostředí tvorby DPS programu EAGLE.....	27
<i>Obr. 11</i> Snímek vývojového prostředí CodeWarrior v6.3.....	29
<i>Obr. 12</i> Snímek integrovaného uživatelského rozhraní plug-inu PE.....	30
<i>Obr. 13</i> Vývody pouzdra TO-92.....	35
<i>Obr. 14</i> Blokové schéma základní desky.....	40
<i>Obr. 15</i> Schéma zapojení stabilizátorů.....	41
<i>Obr. 16</i> Schéma zapojení BDM konektoru.....	41
<i>Obr. 17</i> Schéma základní desky bez stabilizátorů.....	42
<i>Obr. 18</i> Zapojení konektoru.....	44
<i>Obr. 19</i> Zapojení IO 74LS247.....	44
<i>Obr. 20</i> Časování obvodu 4017B.....	45
<i>Obr. 21</i> Vývody obvodu 4017B.....	46
<i>Obr. 22</i> Vývody displeje.....	46
<i>Obr. 23</i> Schéma zapojení jednoho displeje.....	47
<i>Obr. 24</i> schéma destičky s čidlem.....	48
<i>Obr. 25</i> Příklad návrhu desky čidla.....	49
<i>Obr. 26</i> Vyleptaná a osazená základní deska.....	50
<i>Obr. 27</i> Vyleptaná a osazená ovládací deska.....	51
<i>Obr. 28</i> Oživený a naprogramovaný modul.....	51
<i>Obr. 29</i> Obsluha přerušení.....	54
<i>Obr. 30</i> Vývojový diagram řízení běhu programu.....	55

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Vlastnosti MC9S08QE8.....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 2 Tabulka vektorů přerušení.....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3 Charakteristické údaje.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4 Provozní vlastnosti.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5 Soupiska použitých součástek základní desky.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 6 Soupiska použitých součástek ovládací desky.....</i>	<i>47</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: SCHÉMA OVLÁDACÍ DESKY

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA OVLÁDACÍ DESKY

