VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A ŘÍZENÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

BEZDRÁTOVÉ MĚŘENÍ TEPLOTY PŘIPRAVOVANÉHO POKRMU

WIRELESS TEMPERATURE MEASURMENT OF PREPARED FOOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE JIŘÍ POSPÍŠIL
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Daniel Zuth, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Pospíšil

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Bezdrátové měření teploty připravovaného pokrmu

v anglickém jazyce:

Wireless temperature measurement prepared food

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hlavním cílem práce je kontaktní měření teploty, následné vyhodnocení a bezdrátový přenos informací. V práci bude řešena úloha měření teploty připravovaného pokrmu, proto musí být řešení přizpůsobeno tomuto účelu. Bezdrátový přenos dat bude realizován například pomocí technologie Bluetooth, jako řídicí jednotka bude použit mikrokontrolér. Práce je součástí řešení projektu IGA VUT Brno, FSI-S-11-31, Aplikace metod umělé inteligence.

Cíle bakalářské práce:

- Seznámení s vlastnostmi mikrokontroléru
- Seznámení s problematikou bezdrátové komunikace
- Navrhnout a vybrat vhodné prvky
- Otestovat vybrané řešení

Seznam odborné literatury:

- MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- CHUDÝ, Vladimír. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: STU, 1999, 689 s. ISBN
80-227-1275-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 21. 11. 2012

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan

Anotace

Tato bakalářská práce má za cíl kontaktní měření teploty, následné vyhodnocení a bezdrátový přenos informací. Teoretická část pojednává o základních vlastnostech a funkcích mikrokontroléru a bezdrátové komunikace. V praktické části byla vyřešena úloha měření teploty připravovaného pokrmu sestrojením jehly obsahující digitální teplotní čidlo. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí A/D převodníku mikrokontroléru ATmega8 – L, který zajišťuje i funkci řídící jednotky. Bezdrátový přenos dat byl realizován pomocí technologie Bluetooth. Pro možnost okamžitého zobrazení teploty uživateli byl použit sedmisegmentový LED displej. Součástí realizace byl návrh plošného spoje a sestrojení prototypu.

Klíčová slova

Měření teploty, vpichovací teploměr, ATmega8, Bluetooth, sedmisegmentový displej LED displej

Annotation

The goals of this bachelor's thesis are temperature measurment, data elaboration and wireless data transfer. Theoretical part introduces basic properties and functions of microcontroller and wireless communication. In practial part of this bachelor's thesis is solved temperature measurment task by construction of holow needle with digital sensor inside. Data elaboration is done by A/D converter in ATmega8 – L microcontroller. Wireless data tranfer was done by Bluetooth technology. For the purposes of immediate temperature control was included seven segment LED display. Part of realisation was to design printed circuit board and prototype assembly.

Key words

Temperature measurment, penetration thermometer, ATmega8, Bluetooth, seven segment LED display

Prohlášení o originalitě

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma "Bezdrátové měření teploty připravovaného pokrmu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, Ing. Daniela Zutha, Ph.D., a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jiří Pospíšil, Brno 2013

Bibliografická citace

POSPÍŠIL, J. *Bezdrátové měření teploty připravovaného pokrmu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce za cenné rady, připomínky a pomoc během zpracovávání bakalářské práce.

Obsah

Úvod ... **13**

1 Teoretická část ... **14**

1.1 Měření teploty ... 14

1.1.1 Historie měření teploty ... 14

1.1.2 Mezinárodní stupnice teplot ITS 90 ... 15

1.1.3 Princip a rozdělení teploměrů ... 16

1.2 Tepelně odolné izolace vodičů ... 20

1.2.1 Teflonové vodiče ... 20

1.2.2 Silikonové bužírky ... 20

1.3 Mikrokontroléry ... 21

1.3.1 Architektury mikrokontrolérů ... 22

1.3.2 ATmega8, ATmega8 - L ... 23

1.3.3 AD převodník ... 24

1.3.4 Přerušení ... 25

1.3.5 Časovače a čítače ... 25

1.3.6 UART ... 27

1.3.7 SPI Sériové rozhraní pro periferie ... 28

1.3.8 Spánkové režimy ... 29

1.4 Bluetooth ... 31

1.5 Zobrazovací metody v elektronice ... 32

2 Praktická část ... **33**

2.1 Výběr komponent ... 33

2.1.1 Měření teploty ... 33

2.1.2 MCU a zpracování dat ... 34

2.1.3 Bezdrátová technologie Bluetooth ... 35

2.1.4 Zobrazení teploty ... 35

2.2 Vpichovací jehla ... 36

2.3 Měřící jednotka ... 37

2.4 Programový kód ... 40

2.4.1 Princip zobrazování ... 41

2.4.2 Inicializace periferií ... 41

2.4.3 Výpočet a zasílání teploty ... 42

2.5 Měření ... 43

3 Závěr ... **45**

4 Seznam použité literatury ... **47**

Úvod

Teplota je všudypřítomná okolnost ovlivňující všechny a všechno na této planetě. Člověk se naučil využívat a kontrolovat teplotu pro vlastní potřebu už velice dávno a s příchodem moderní doby ji kontroluje a využívá mnohem více a efektivněji. Potravinářství je jeden z hlavních odvětví využívající nejmodernější technologie v oblasti měření teploty. Teplota má zásadní vliv na kvalitu a zdravotní nezávadnost potravin, zejména z mikrobiologického hlediska. Dodržovaní teploty při přípravě pokrmu je dnes, díky moderním technologiím, jednoduchá věc a dostává se i do našich kuchyní. Díky výkonu dnešních telefonů, nízkých cen sofistikované elektroniky a přívětivého uživatelského rozhraní vývojových programů získáme zajímavé a zábavné řešení měření připravovaného pokrmu.

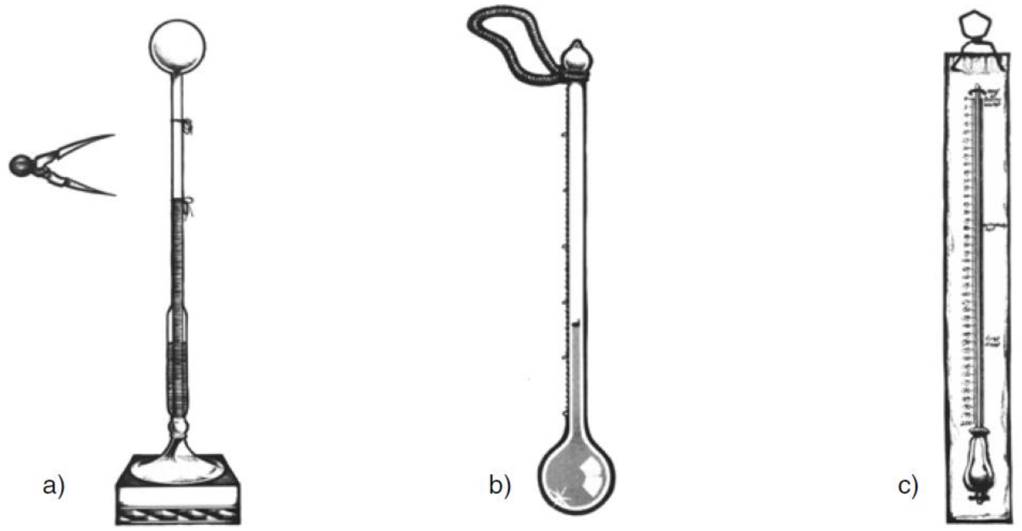
1 Teoretická část

1.1 Měření teploty

1.1.1 Historie měření teploty

Nástroje na měření teploty se obecně nazývají teploměry. Nejstarší známý nástroj pro „měření“ teploty byl založen na principu roztažnosti vzduchu a za jeho vynálezce se považuje Řek *Heron of Alexandria* (120 př.n.l.). Nebyl to ovšem úplně teploměr, protože neměl žádnou stupnici.

Teploměry založené na stejném principu se znovu objevily v 17. století, tentokrát v Itálii, kde právě probíhal největší rozmach foukání skla. Osobnosti často spojované s vývojem teploměru jsou *Satorio Santorre, Giovanfrancesco Sagredo, Galileo Galilei* a *Vicencio Viviani*. [1]



Obr. 1 a) Teploměr na principu roztažnosti vzduchu s měřidlem pro odečítání rozdílu; b) Florentský teploměr; c) Klasický teploměr okolo 1750 n. l. [1]

Skok k teploměru jak ho známe dnes, byl učiněn velkovévodou *Ferdinandem II* z Toskánska. V roce 1654 sestrojil alkoholem plněný teploměr, známý také jako Florentský teploměr. Teploměr je sestrojen z jímky, kapiláry a stupnice s padesáti jednotkami.

Sir Isaac Newton sestrojil v roce 1701 olejem plněný teploměr, který byl kalibrován na teplotu tajícího ledu (0 °N), a teplotu těla (12 °N).

V roce 1714 *Gabriel Fahrenheit,* polský sklenář, zásadně vylepšil současný typ teploměrů. Místo plnění olejem či vzduchem naplnil kapiláru alkoholem a později rtutí, což mělo za následek lepší čitelnost teploměru díky nesmáčivosti látky a možnost využití teploměru pro měření teplot vyšších než bod varu vody. Fahrenheit představil na svém teploměru stupnici skládající se ze tří základních hodnot:

- 0 pro teplotu směsi chloridu amonného,
- 4 pro teplotu tajícího ledu a
- 12 pro teplotu lidského těla.

Z důvodu vysokých hodnot jednotlivých čísel při použití dvanáctkové soustavy byly jednotlivé stupně děleny, dokud každému původnímu stupni neodpovídalo 8 stupňů. Tím dostáváme 32 °F pro teplotu tajícího ledu a 96 °F pro bod varu vody. [1, 2]

V roce 1740 švédský astronom a fyzik *Anders Celsius* představil stupnici založenou na desítkové soustavě, ve které byl bod tání a varu stanoven na 0 a 100 °C. O tři roky později byla Celsiova stupnice zavedena jeho studentem *Carl von Linné*. Ta se používá ve velké většině světa a je definována jako 0 °C pro bod tání ledu a 100 °C pro bod varu vody. [2]

Abychom získali jednotnou stupnici schopnou měřit teplotu všech materiálů, musíme ji zavést bez jakýchkoli omezení, tedy od nejmenších po největší teploty.

K dosažení tohoto cíle byly potřeba základy termodynamiky a první kdo jich využil, byl *William Thomson*, také známý jako *Lord Kelvin of Largs*, v roce 1852. Termodynamika popisuje vztah mezi změnami podmínek v materiálu a jeho teplotou. Toto nám umožňuje zjistit teplotu v závislosti na jakýchkoli měřitelných změnách v materiálu. Z druhého zákonu termodynamiky vyplývá, že změna teploty plynu, při konstantním objemu a tlaku, odpovídá množství přidaného či odebraného tepla.

Plyn, který nemá žádnou energii, dosáhl svého energetického minima. Lord Kelvin toto minimum označil jako nejnižší možnou teplotu, absolutní nulu, a přiřadil mu hodnotu 0. Při definování stupnice tímto stylem, záporné hodnoty nemohou existovat. Jedná se o absolutní stupnici. Termodynamická teplota se tedy udává v jednotkách Kelvin (K). Jednotky kelvinů se dnes používají jako základní jednotky v Mezinárodní soustavě jednotek (SI). [1, 2]

1.1.2 Mezinárodní stupnice teplot ITS 90

První platný zástupce, který se na teplotní stupnici objevil, byl vodík v roce 1889. Změřen byl pomocí plynového teploměru. Množství námahy společného s měřením teploty bylo pro normální účely téměř neodůvodnitelné, proto byly na konci minulého století uskutečněny experimenty pro vytvoření jednoduché a přehledné stupnice, která by byla základem pro většinu měření.

První verze „Mezinárodní stupnice teplot“ byla vytvořena v roce 1927 (ITS-27). Na jejím základě byly nadále vytvořeny ITS 48, IPTS-68 a EPT-76. Díky vědeckému pokroku a dalšího experimentování byla vydána poslední a zatím platná „Mezinárodní stupnice teplot z roku 1990“ (ITS-90).

Teploty uvedené z ITS-90 jsou ve tvaru T_{90} pro teplotu v Kelvinech a t_{90} pro stupně Celsia. Velmi důležitá teplota na stupnici je tzv. trojný bod vody, kdy pevný, tekutý a plynný stav společně koexistuje. Tento jev nastává při teplotě T_{90} = 273,16 K nebo t_{90} = 0.01 °C. [1, 2]

Látka (prvek)	Prodleva[1)]	Mezinárodní teplotní stupnice z roku					
		1927	1948	1960	1968	1975	1990
vodík	T				–259,34	–259,34	–259,346 7
vodík	V				–252,87	–252,87	
neon	T				–248,595	–248,589	–248,593 9
dusík	T				–210,002	–210,004	
kyslík	T				–218,789	–218,789	–218,791 6
argon	T					–189,352	–189,344 2
kyslík	V	–182,97	–182,97	–182,97	–182,962	–182,962	
CO_2	subl.	–78,5	–78,5	–78,5	–78,476	–78,476	
rtuť	T	–38,87	–38,87	–38,87	–38,862	–38,841	–38,834 4
voda	M,F	0	0	0	0	0	
voda	T			0,01	0,01	0,01	0,01
galium	M						29,764 6
voda	V	100	100	100	100	100	
kys. benzoová	T		122,36	122,37	122,37	122,37	
indium	F			156,61	156,634	156,634	156,598 5

Obr. 2 Vybrané hlavní údaje z mezinárodních teplotních stupnic; 1) Označení prodlev: V – var; T – trojný bod; M, F – tání, tuhnutí; eut. – eutektikum; subl. – sublimace [2]

Látka (prvek)	Prodleva[1)]	Mezinárodní teplotní stupnice z roku					
		1927	1948	1960	1968	1975	1990
naftalen	V	217,96	218	218			
cín	F	231,85	231,9	231,91	231,968 1	231,968 1	231,928
vizmut					271,442	271,442	
benzofenon	V	305,9	305,9	305,9			
kadmium	F	320,9	320,9	321,03	321,108	321,108	
olovo	F	327,3	327,3	327,3	327,502	327,502	
rtuť	V	356,58	356,58	356,66	356,66		
zinek	F	419,45	419,5	419,505	419,58	419,58	419,527
síra	V	444,6	444,6	444,6	444,674	444,674	
Cu–Al	eut.				548,23	548,26	
antimon	F	630,5	630,5	630,5	630,74		
hliník	F		660,1	660,1	660,37		660,323
stříbro	F	960,5	960,8	960,8	961,93		961,78
zlato	F	1 063	1 063	1 063	1 064,43		1 064,18
měď"	F	1 083	1 083	1 083	1 084,50		1 084,62
nikl	F		1 453	1 453	1 455		
kobalt	F		1 492	1 492	1 494		
paladium	F	1 555	1 552	1 552	1 554		
platina	F		1 769	1 769	1 772		
rhodium	F		1 960	1 960	1 963		
iridium	F		2 443	2 443	2 447		
wolfram	M		3 380	3 380	3 387		
čistota platiny: $R_{100} : R_0$		1,39	1,391	1,392	1,392 5		
konstanta c_2 (mm·K)		14,32	14,38	14,38	14,388	14,388	14,388

Pokračování Obr. 2; 1) Označení prodlev: V – var; T – trojný bod; M, F – tání, tuhnutí; eut. – eutektikum; subl. – sublimace [2]

1.1.3 Princip a rozdělení teploměrů

Vývoj měření teploty probíhá paralelně s technologickým vývojem, tedy pouze minimum nových principů měření nahradilo ty původní. Hlavním vývojem je rozšíření možností měření v odvětvích, kde to bývalo nemožné nebo jen velmi obtížně dosažitelné malým množstvím měřidel. [1]

Metoda měření	**Rozsah °C**	
	od	Do
Mechanické teploměry		
Kapalinou plněné teploměry		
Nesmáčivé kapaliny	-38	630
Smáčivé kapaliny	-200	210
Indikační teploměry		
Bimetalový teploměr	-50	400
Parotlaký teploměr	-200	700
Termočlánky		
Cu-CuNi, Typ U, T	-200	600
Fe-CuNi, Typ L, J	-200	900
Odporové termočlánky s kovovým rezistorem		
Pt odporové čidlo	-200	1000
Ni odporové čidlo	-60	250
Radiační teploměry		
Spektrální pyrometr	20	5000

Obr. 3 Tabulka metod měření a jejich rozsahy [1]

Metoda měření	Rozsah °C	
	od	do
Infračervený teploměr	-100	2000
Termografický teploměr	-50	1500
Ultrazvukový teploměr		3300
Plynový teploměr	-268	1130
Optické teploměry		
Luminiscenční teploměr		600

Pokračování Obr. 3

Metody měření můžeme rozdělit do dvou základních skupin a to kontaktní a bezkontaktní metody. Výrazně více zastoupené kontaktní metody můžeme ještě dělit na mechanické a elektrické.

Mechanické kontaktní teploměry

S roztažností plynů, kapalin a pevných látek, při zvyšování teploty, se setkáváme téměř každý den. Abychom toho jevu využili, musíme vzít v potaz tepelnou roztažnost jednotlivých materiálů. Tedy každý materiál změní svoji velikost v přímém vztahu se změnou teploty o jinou velikost. Tepelná roztažnost je považována za lineární při relativně malých teplotách. Pro větší změnu teplot musí být zahrnuta opatření pro kompenzaci nelinearity roztažnosti materiálu.

Na tomto fyzikálním principu pracuje bimetalový teploměr, který je využíván v odvětvích, kde přímý ukazatel je vše co potřebujeme.

Obr. 4 Příklad bimetalového teploměru firmy Omega [3]

Při použití kapaliny využíváme stejného principu s rozdílem zvětšování objemu kapaliny v závislosti na teplotě. Nejčastěji jsou používané typy se skleněnou kapilárou. Použití nacházejí jak ve zdravotnictví, tak pro monitorování teploty kapalin, plynů či páry v potrubí nebo zásobnících.

Varianta těchto teploměrů využívá téže roztažnosti kapaliny ovšem s tím rozdílem, že kapalina tlačí na předepjatou pružinu, která je následně přizpůsobená k zobrazování teploty. Modernější modely nahrazují pružinu tlakovým senzorem pro převod na elektrickou veličinu.

Pokud kapalinu zaměníme za plyn, získáme téměř stejný typ teploměru, kde můžeme, stejně jako u kapalinových, využít jev expanse látky a vyvíjení tlaku na membránu. U plynového teploměru vycházíme z termodynamického zákona o zachování objemu nebo tlaku ideálního plynu. U obou typů teploměrů musíme pamatovat na fakt, že pro správné měření musí měřená látka obklopovat celý prostor okolo čidla. [1]

Obr. 5 Příklad obyčejného skleněného teploměru [4]

Obr. 6 Příklad kapilárního teploměru [3]

Elektrické kontaktní teploměry

Princip termočlánků je založen na svaření dvou kovových drátů podobných vlastností, kde je díky termoelektrickému jevu generováno napětí. Toto napětí je funkce pro určitý termočlánek. Odporové teploměry fungují na principu změny odporu vodiče v závislosti na teplotě.

Polovodičová čidla, známé jako termistory, mají specifickou funkci změny elektrického odporu při změně teploty. Rozlišujeme dva typy termistorů. PTC termistor a NTC termistor (také označovaný jako negistor). Hlavní charakteristika PTC termistoru, někdy označovaného za pozistor, je zvětšování elektrického odporu se zvětšující se teplotou a velice úzký rozsah měřitelných teplot. Ideální rozsah je od – 50 °C do 150 °C. Další specifická vlastnost je takzvaná skoková změna teploty, kdy se při překročení této hranice dramaticky změní odpor. Tuto vlastnost můžeme využít jako teplotní vypínač nebo přepínač u různých systémů.

NTC termistory pracují proti PTC termistorům odlišně. Jejich pracovní teplota je - 110 °C až 300 °C. Hlavní rozdíl je téměř exponenciální závislost mezi odporem a teplotou. Článek také není příliš tolerantní k výkyvům teploty. V průmyslovém oboru pro něj není příliš využití, ale díky jednoduchosti výroby a nízké ceně jsou často používány v automobilovém průmyslu a také nacházejí uplatnění pro masové použití ve spotřební elektronice. [1, 4]

Obr. 7 Průmyslová termistorová jehla [4]

Obr. 8 Termistorové čidlo pro povrchové měření [4]

Bezkontaktní teploměry

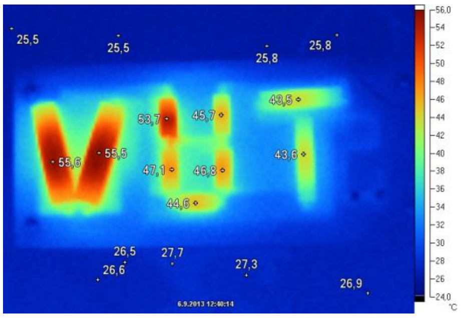
S vyzařováním tepla z různých objektů se lidstvo setkává už od pradávna. Měření tohoto záření (infračerveného záření) za určením teploty objektu je jedna z novějších metod měření v průmyslu.

Pyrometr, moderněji nazývaný jako infračervený teploměr, využívá sestavu čoček k „zaostření“ infračerveného záření. Do ohniska bývá většinou umístěn fotonásobič, termočlánek, fotorezistor či fotodioda. Akční člen následně převede záření do elektrické veličiny, kterou zpracuje výpočetní jednotka.

Pyrometry můžou nahradit kontaktní teploměry pouze v některých případech. Většinou jsou používány jako náhrada, kde je kontaktní měření nemožné nebo nedostatečné. Hlavní nevýhodou pyrometrů je jejich schopnost měřit pouze teplotu povrchu měřeného objektu. Ideální využití pyrometrů je při měření rychle se pohybujících součástí, objektů s malou tepelnou kapacitou, vůči kapacitě teplotního čidla. Dále je možné je použít v případech rychle se měnící teploty součásti nebo při nemožnosti kontaktního měření z důvodu sterility (potravinářský průmysl, zdravotnictví). [1]

Obr. 9 Infračervený teploměr Fluke 62 Mini [5]

Termokamery fungují na stejném principu snímání vyzařovaného infračerveného záření jako pyrometry, s tím rozdílem, že termokamera zaznamenává teplotu všech bodů na generovaném obrázku (termogramu). Využití nachází v případech lokalizování přehřívané součásti nebo naopak únikům tepla. Hlavní parametr při vybírání termokamery je výstupní rozlišení termogramu. [5]



Obr. 10 Termogram z termokamery Fluke Ti9

1.2 Tepelně odolné izolace vodičů

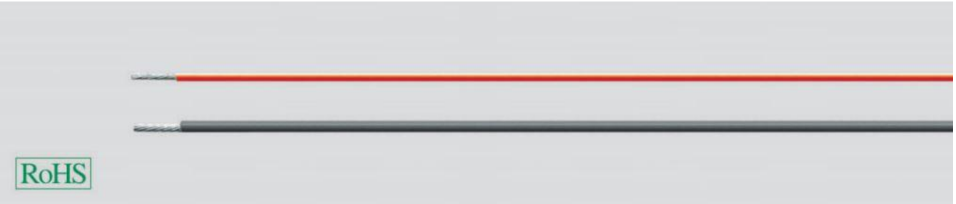
Pro účely mé bakalářské práce bylo stěžejní vyhledat tepelně odolný materiál pro ochranu informačních a napájecích vodičů čidla.

1.2.1 Teflonové vodiče

Tyto kabely jsou hlavně využívány při instalacích kontrolních stanic vystavených vysokým teplotám, např. v cihelnách, kuchyňských linkách a přístrojích, měřicích zařízeních či chemickém průmyslu. Kabely jsou nehořlavé a velice dobře odolávají kyselinám, zásadám, čistidlům, oleji a benzínu. [7]

Hlavní vlastnosti kabelu HELUFLON®-FEP-6Y jsou:

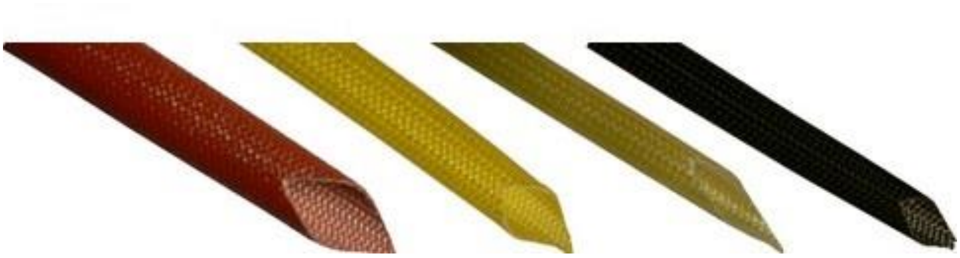
- teplotní odolnost od - 100 °C do 205 °C
- nehořlavost
- minimální savost (<0.01%)
- dielektrická pevnost min. 20kV
- odolnost proti mikroorganismům
- malé poloměry ohýbání
- zdravotně nezávadné
- splňují normu RoHS



Obr. 11 Teflonový vodič vyrobený technologií HELUFLON® [7]

1.2.2 Silikonové bužírky

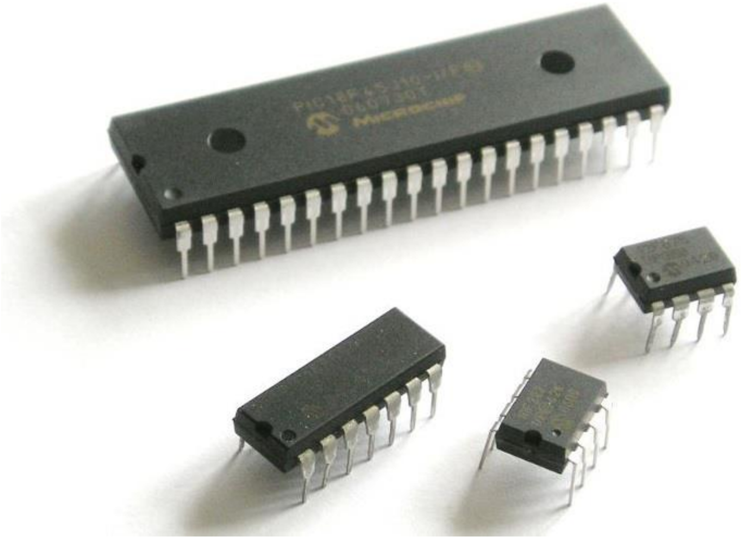
Jsou to dutinky složené ze dvou vrstev. Spodní vrstva je pletená ze skelných vláken dodávající ochranu proti mechanickým vlivům. Tato síť je potažena silikonovou pryskyřicí pro ohebnost, pevnost a tepelnou odolnost. Standardně se dodávají ve třech hodnotách dielektrické pevnosti 1,5 kV, 2,5 kV a 4 kV. Tepelná odolnost se pohybuje od - 60 °C po 250 °C, krátkodobě i 290 °C. Využití nachází v transformátorech, osvětlení a obecně při ochraně vodičů v prostředích s vysokou pracovní teplotou. [8]



Obr. 12 Typy izolačních bužírek firmy Foxel [8]

1.3 Mikrokontroléry

Mikrokontrolér, někdy označovaný jako uC nebo MCU, je nejčastěji vyráběn v podobě integrovaného obvodu (Obr. 11). Můžeme se také setkat s názvy jako mikropočítač či jednočipový počítač. Z tohoto názvu vyplývá, že veškeré potřebné součásti pro běh klasického počítače se nacházejí v tomto jenom čipu. Typicky obsahuje procesor, paměť, programovatelné I/O porty a periferní zařízení jako A/D převodník (Analog to Digital). MCU jsou primárně určeny pro použití v takzvaných vestavných systémech (embedded). Takto použitý MCU většinou zastává funkci hlavního „mozku“ systému nebo pouze plní určitou funkci a komunikuje se zbylými prvky systému. Pro tyto účely je vybaven mnoha rozšiřujícími periferiemi jako sériová komunikace, čítače, časovače, komparátor, PWM (generátor pulsně šířkového signálu) a další. [9]



Obr. 13 Mikrokontrolér v podobě integrovaného obvodu [9]

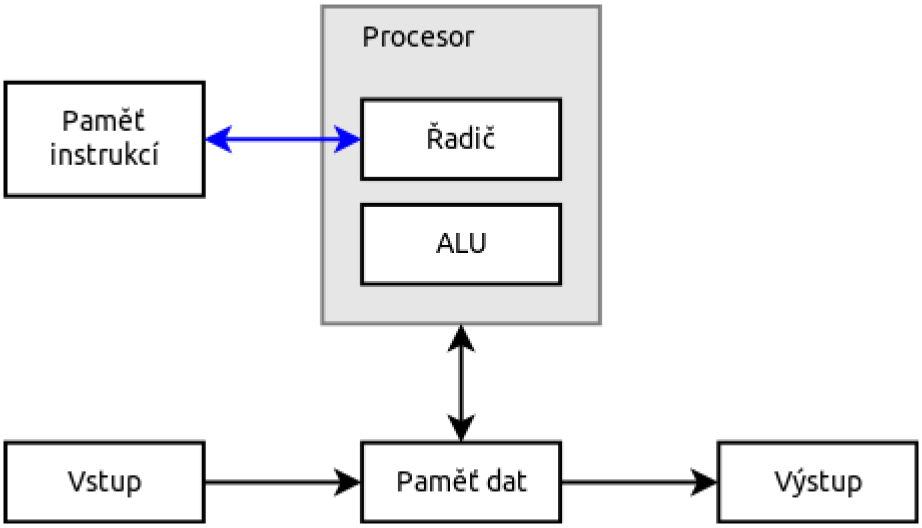
Jako malý jednočipový počítač je mikrokontrolér většinou užíván v bateriově napájených systémech; je tedy klíčové snížit jeho spotřebu co největším způsobem. MCU jsou vybaveny velmi dobře propracovaným systémem spánkových režimů, od pouhého vypnutí nepotřebných periferií až po kompletní uspání celého čipu s výslednou spotřebou menší než samovybíjecí proud jakékoli baterie na trhu.

Pro uzpůsobení k co nejširšímu použití jsou vyráběny výrobci speciální edice se specifickými vlastnostmi jako větší rozsah pracovních teplot pro využití například v automobilovém průmyslu.

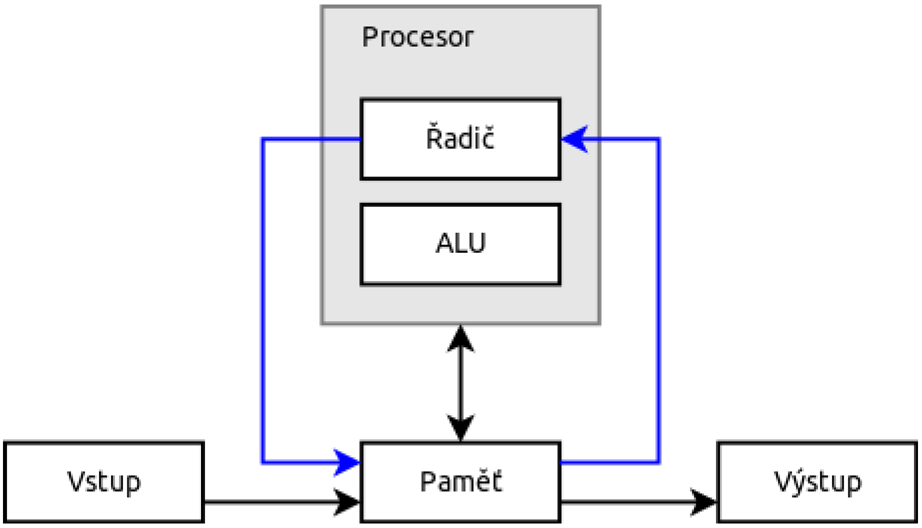
Mikrokontroléry se v dnešní době nacházejí téměř ve všech přístrojích kolem nás. Své uplatnění nacházejí ne jen v profesionálním odvětví jako řízení motorů automobilů nebo přenosných lékařských přístrojích, ale i v každodenní elektronice jako dálkové ovladače, hračky, hudební přehrávače, telefony, monitory atd. Největší výhodou je značné zjednodušení při navrhování výrobku. Díky maximální integraci ušetří velké množství elektronických obvodů a není je nutné řešit zvlášť. Pouhou změnou programu změníme celou funkci výrobku a není nutno zasahovat do jeho konstrukce. [9]

1.3.1 Architektury mikrokontrolérů

Existují dvě hlavní architektury mikropočítačů. Von Neumannova Harwardská architektura. Základní rozdíl je v rozdělení paměti pro program a pro data. Harwardská architektura má tyto paměti odděleně, na rozdíl od Von Neumanové, která využívá jednu společnou.



Obr. 14 Harwardská architektura [10]



Obr. 15 Von Neumannova architektura [10]

1.3.2 ATmega8, ATmega8 - L

Firma Atmel je jedním z hlavních světových výrobců mikrokontrolérů. V České Republice je dále velice oblíbená firma Microchip s řadou mikrokontroléru PIC. Pro účely této práce byla vybrána řada procesorů megaAVR, pro jejich velkou rozšířenost, zdarma dostupné vývojové prostředí a dobrou teoretickou přípravu studentů na naší škole díky předmětu Hardware a mikroprocesorová technika.

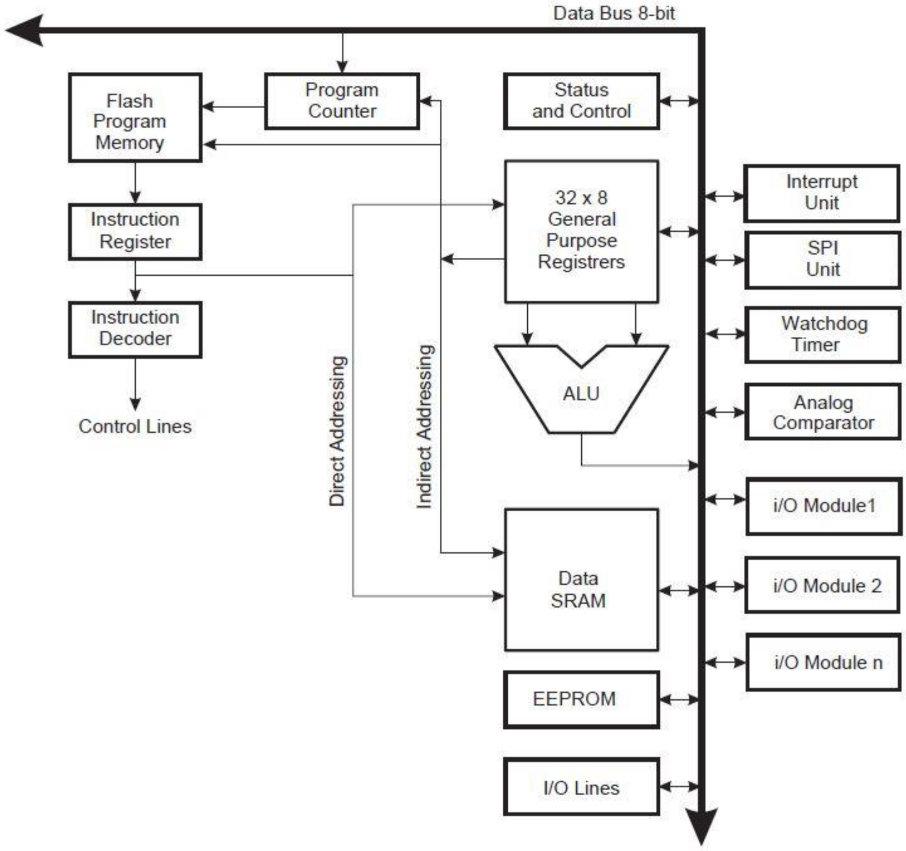
Mikrokontroléry firmy Atmel jsou rozděleny do čtyř základních skupin:

- 32-bit AVR UC3
- AVR XMEGA
- megaAVR
- 8-bit tinyAVR

Rozdíly různých skupin jsou v použitých technologiích, klíčových parametrech či vhodnému způsobu užití. Podrobněji si představíme řadu megaAVR, konkrétněji mikrokontrolér ATmega8.

Blokové schéma

Typické blokové schéma procesorů megaAVR je vidět na obrázku Obr. 14. Všechny periferie jsou připojené na jednu společnou osmi-bitovou sběrnici, kterou obsluhuje centrální výpočetní jednotka.



Obr. 16 Blokové schéma MCU ATmega8

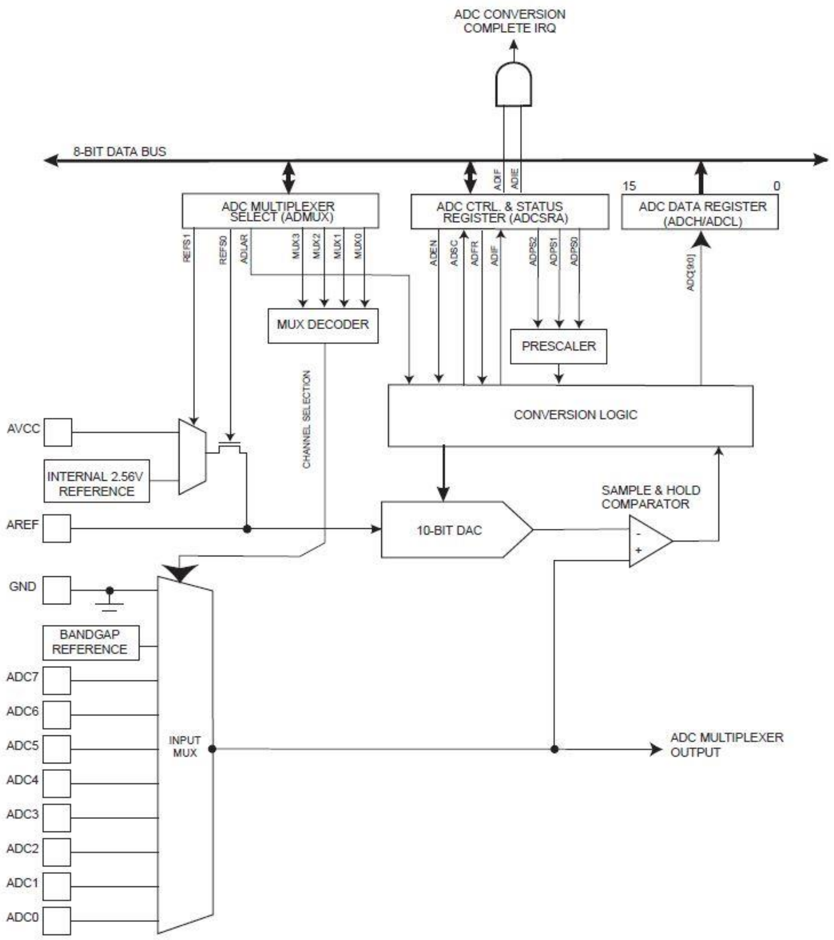
Jádro AVR MCU je vybaveno bohatou instrukční sadou a třiceti dvěma 8 bitovými univerzálními programovatelnými registry. Registry jsou přímo spojeny s aritmetickologickou jednotkou, dovolující přístup ke dvěma registrům v jediné instrukci, uskutečněné v jednom hodinovém cyklu.

Pro maximalizaci výkonu a schopnosti paralelní práce, jádro pracuje na principu Harwardské architektury. Jádro má možnost nachystání další instrukce programu z programové paměti, zatímco se předchozí instrukce právě zpracovává.

Paměť také obsahuje 64 adres vstupních a výstupních registrů sloužících periferním zařízením jako čítače, časovače, AD převodníky, řídící registry a další. V další části kapitoly si podrobněji představíme periferie použité v praktické části této bakalářské práce.

1.3.3 AD převodník

MCU ATmega8 je vybavena 10 bitovým aproximačním AD převodníkem. Převodník zapojený s osmi kanálovým násobičem může měřit osm nezávislých zdrojů napětí. Převodník má oddělený pin pro vstupní napětí (AVCC) pro větší přesnost měření. Dále můžeme využít více možností napěťové reference. K dispozici je vnitřní napěťová reference 2,56 V, napájecí reference AVCC a externí na pinu AREF.



Obr. 17 Blokové schéma AD převodníku

1.3.4 Přerušení

Přerušení je jedna ze základních funkcí mikrokontroléru. Můžeme si ho představit, jako kdyby Vás někdo vytrhnul z práce a požadoval jinou činnost. Tento jev, ovšem můžeme velice dobře použít při vyvíjení programu. Po uskutečnění určité události, jako změna stavu pinu procesoru, přetečení čítače nebo časovače či ukončení převodu AD převodníku, procesor zastaví svoji aktuální činnost a skočí na místo vykonání tzv. rutiny. Každý typ přerušení má svoji adresu v paměti, která následně odkazuje na programový kód rutiny. V tabulce můžeme vidět adresy přerušení.

Vector No.	Program Address(2)	Source	Interrupt Definition
1	0x000(1)	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, and Watchdog Reset
2	0x001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x003	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
5	0x004	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
6	0x005	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
7	0x006	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
8	0x007	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
9	0x008	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
10	0x009	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
11	0x00A	SPI, STC	Serial Transfer Complete
12	0x00B	USART, RXC	USART, Rx Complete
13	0x00C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
14	0x00D	USART, TXC	USART, Tx Complete
15	0x00E	ADC	ADC Conversion Complete
16	0x00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	0x010	ANA_COMP	Analog Comparator
18	0x011	TWI	Two-wire Serial Interface
19	0x012	SPM_RDY	Store Program Memory Ready

Obr. 18 Tabulka adres přerušení mikrokontroléru ATmega8

1.3.5 Časovače a čítače

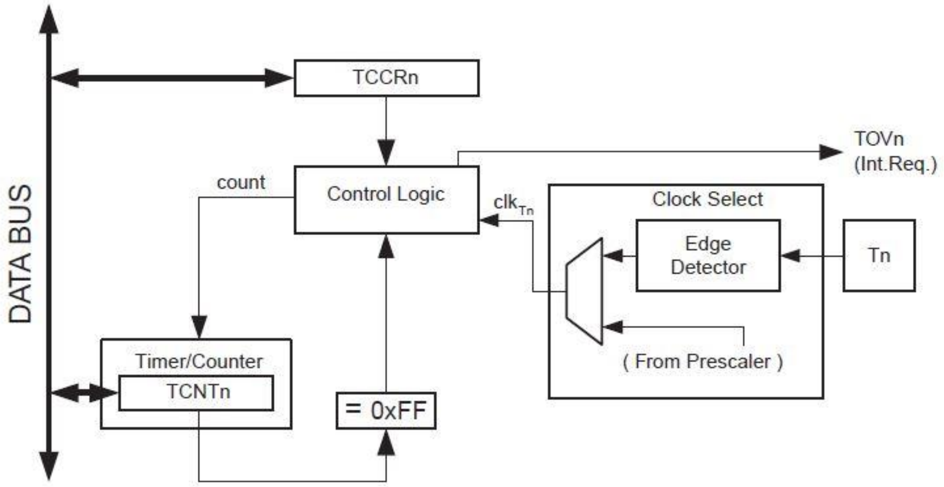
Mikrokontroléry řady megaAVR mají zabudované 8 a 16 bitové čítače. Konkrétně ATmega8 má dva 8 bitové a jeden 16 bitový.

Čítač0/Timer0 slouží k odměřování času ke spuštění či přerušení námi zvolených událostí. Funguje na principu počítání hodinových cyklů (CK) oscilátoru. Pro větší rozsah užití čítačů je předřazena tzv. předdělička umožňující volbu dělícího poměru v krocích 4, 8, 64, 256, 1024. Další možností je čítání impulsů na pin T0 s možností výběru vzestupné či sestupné hrany impulsu.

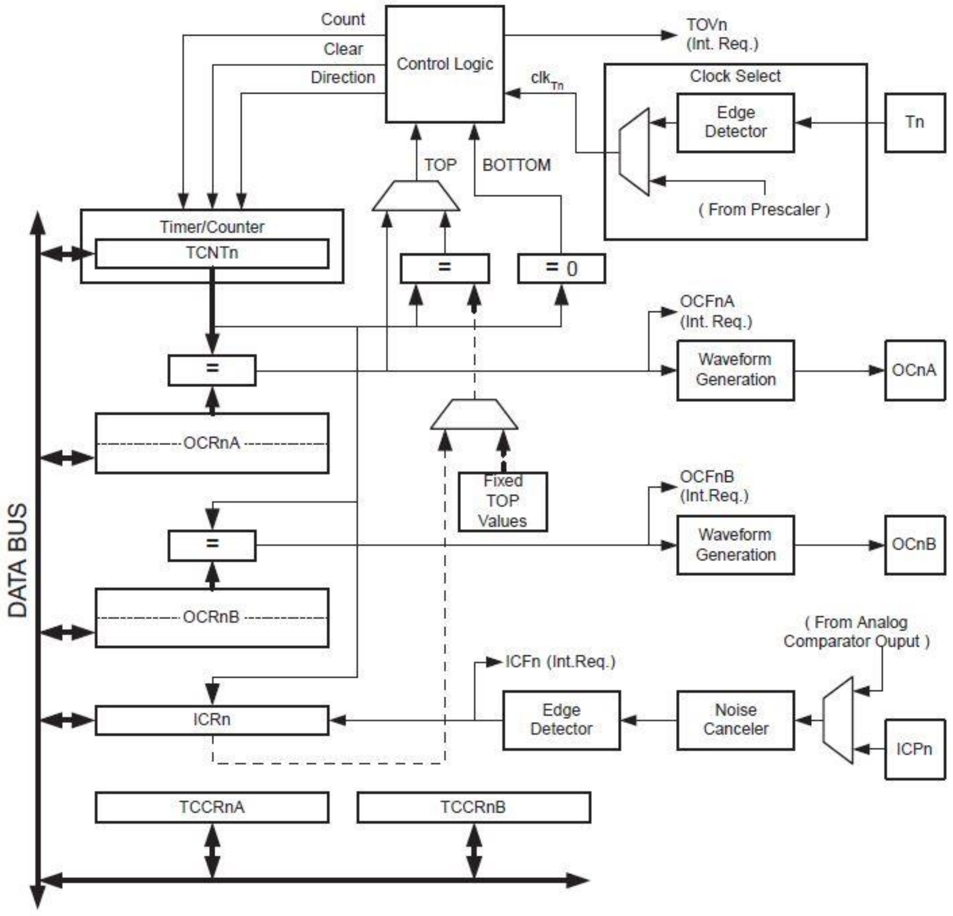
Druhý čítač, Timer2, využívá asynchronního hodinového signálu vůči hodinovému signálu hlavního krystalu. Tento čítač je využitelný pro probuzení procesoru z hlubokého

spánku, kdy je hlavní oscilátor vypnut. Dále stejně jako 16 bitový čítač/Timer1 může být použit pro generování pulsně-šířkově modulovaného signálu (PWM).

Čítač1/Timer1 obsahuje jako jediný komparační registry pro vyvolání přerušení v přesně, programátorem, předdefinovaný čas.



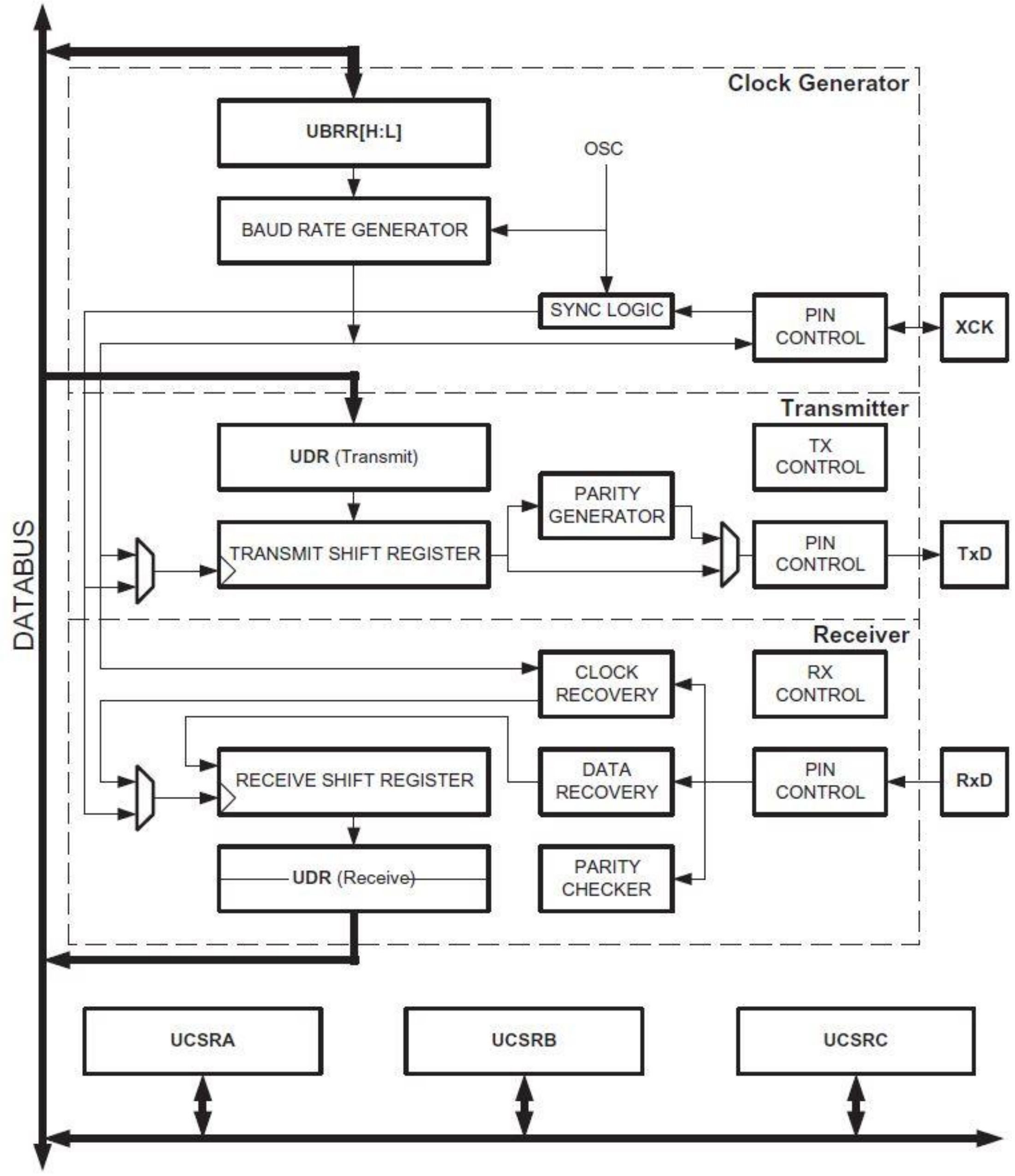
Obr. 19 Blokové schéma 8 bitového čítače/časovače0



Obr. 20 Blokové schéma 16 bitového čítače/časovače1

1.3.6 UART

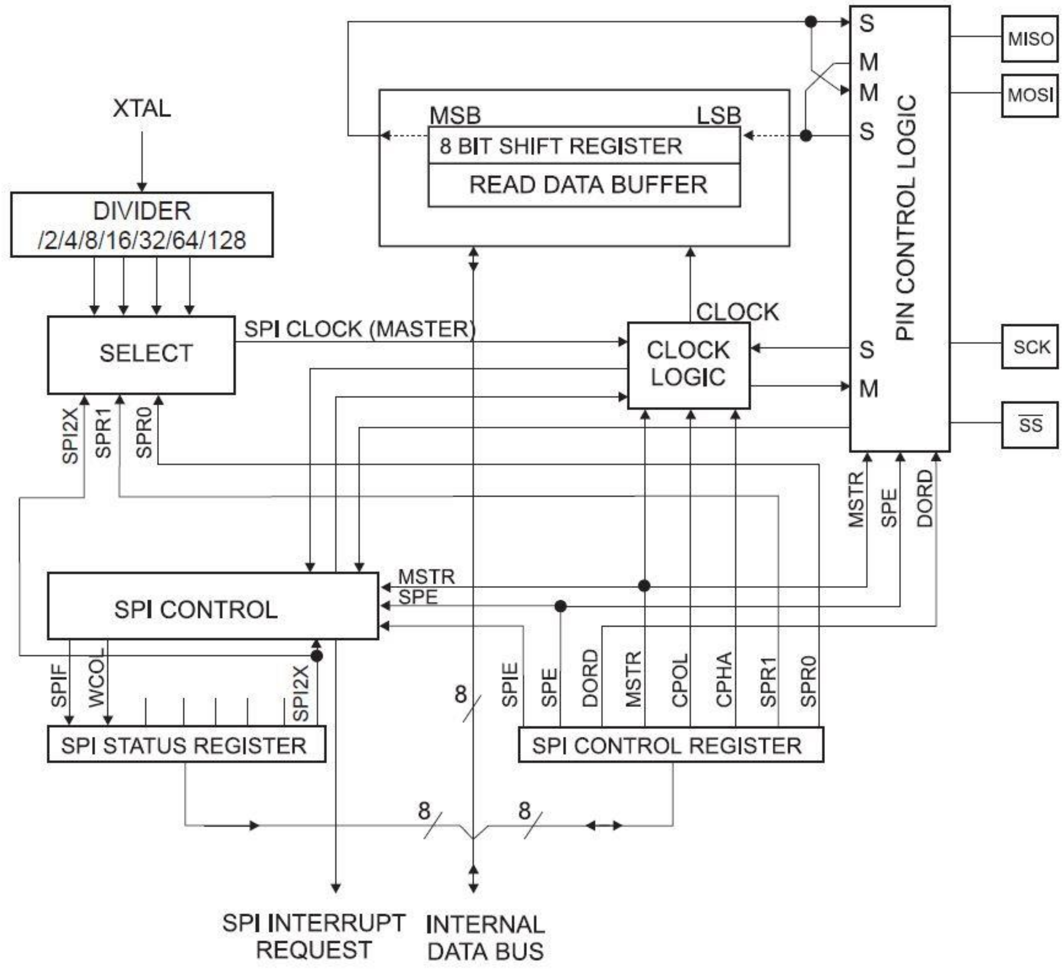
Universal asynchronous reciever/transmitter (universální asynchronní přijímač/vysílač) je vysoce flexibilní komunikační rozhraní schopno plně duplexního režimu při 8 a 9 bitové komunikaci. Hlavními vlastnostmi jsou mimo jiné asynchronní a synchronní režim, generátor signálu přenosové rychlosti s vysokým rozlišením, hardwarová schopnost generování sudé i liché parity, ochrana proti přetečení zásobníku a další. Komunikace UART disponuje třemi samostatnými přerušeními, tj. vysílání dokončeno, vysílací registr prázdný, přijímání dokončeno.



Obr. 21 Blokové schéma generátoru hodinového signálu, vysílače a přijímače modulu USART ATmegy8

1.3.7 SPI Sériové rozhraní pro periferie

SPI zajišťuje vysokorychlostní komunikaci mezi MCU a jeho periferiemi nebo mezi dalšími MCU. Dále se využívá k programování vnitřní paměti pomocí programátoru. Rozhraní obsahuje vlastní generátor přenosové rychlosti a je schopno detekovat kolizi na lince. Pokud je zařízení v módu Slave, existuje adresa přerušení a tím možnost probuzení s režimu spánku.



Obr. 22 Blokové schéma sériového rozhraní pro periferie

Pro tuto kapitolu byl použit zdroj 11.

1.3.8 Spánkové režimy

Spánkové režimy mikrokontroléru jsou podobné jako režimy spánku v počítačích. Režim umožňuje aplikaci vypnout nepoužívané periferie v MCU a tím šetřit energii. Procesory AVR mají k dispozici několik spánkových režimů, které lze vhodně kombinovat pro potřeby projektu. Tyto módy jsou:

- Idle
- ADC Noise Reduction
- Power – down
- Power – safe
- Standby

Idle mode

Tento mód může být volně přeložen jako líný nebo nečinný mód. Mód uspává pouze CPU, respektive zastavuje hodinový signál pro CPU. Idle mód patří mezi nejméně úsporné, ovšem udržuje většinu periferií a funkcí zapnuté. CPU je možné probudit jakýmkoli přerušením všech periferií. Hlavní nevýhoda tohoto módu, chyba v architektuře MCU řady megaAVR, je automatické spuštění AD převodu po uspání CPU. V případě projektu, který nevyužívá AD převodník, toto není problém. Pokud je AD převodník povolen, společně s rutinou přerušení, po uspání je spuštěna konverze a rutina CPU opět probudí. Toto chování lze vyřešit zakazováním, a povolováním AD převodníku, před, a po uspání, ale neúměrně to komplikuje zdrojový kód a první konverze po spuštění AD převodníku trvá 25 hodinových cyklů namísto obvyklých 13.

ADC Noise Reduction mode

CPU, může způsobovat rušení ovlivňující měřenou hodnotu AD převodníku. Použitím tohoto módu je docíleno vyšší přesnosti měření. Zastaven je nejen zdroj hodinového signálu pro CPU, ale i zdroj signálu periferií jako čítače, sériová komunikace a SPI. MCU je schopna probudit rutina všech periférií až na výše zmiňované. Konverze AD převodníku je automaticky spuštěna při uspání do tohoto módu.

Power – down mode

Použitím toho módu je MCU téměř kompletně uspán. Všechny generátory hodinového signálu jsou vypnuty a MCU lze probudit pouze externím přerušením nebo shodou adres na I2C sběrnici. Power – down mód je ze všech nejúspornější, ale nejméně tolerantní ke způsobům probuzení.

Power – safe mode

Mód šetření energie je identický s Power – down módem, až na jednu výjimku. Asynchronní hodinový signál čítače2 zůstává stále aktivní. Získaná výhoda automatického probouzení v časových intervalech je dobře využitelná v mnoha různých projektech. Samozřejmě lze MCU probudit také externím přerušením a I2C sběrnicí.

Standby mode

Tento název se často vyskytuje v manuálech většiny spotřební elektroniky. Mód je identický s Power – down a Power – safe s výjimkou stále aktivního hodinového signálu CPU. Výhoda módu spočívá v probuzení MCU za 6 hodinových cyklů. [11]

Spotřeba energie:

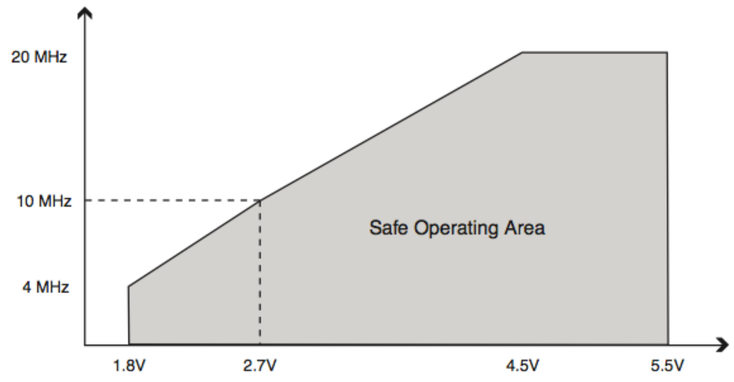
- Vývojový kit Arduino Uno (bez spánkového módu): 46,6 mA
- ATmega32 (bez spánkového módu): 15,5 mA
- Idle mode: 15 mA
- ADC Noise Reduction mode: 6,5 mA
- Power – down mode: 0,36 mA
- Power – safe mode: 1.62 mA
- Standby mode: 0.84 mA

Možnosti úspory energie

Jakýkoli návrh bateriově napájeného projektu spoléhá na efektivitu využití energie. Využitím spánkových režimů mikrokontroléru je první krok v celé řadě možných úsporných řešení.

Nejlepším řešením je použít „čisté“ zapojení MCU, tedy bez jakýchkoli vývojových kitů. Každá tato deska obsahuje velké množství dalších prvků, pro maximální univerzálnost, které nejsou vypínatelné či odpojitelné. Velkým spotřebičem energie bývají dále statusové diody nebo napěťové děličky. Energie, uspořená vyhnutím se vývojovému kitu, je spotřebována i pouhými dvěma diodami. Využitím všech možností a vypnutím AD převodníku v Power - down módu se MCU může dostat pod hranici spotřeby 1 uA. Tato hodnota je mnohem menší než samovybíjecí proud naprosté většiny baterií na trhu.

Další možností pro úsporu energie je změna napájecího napětí celého systému. MCU je schopno bezpečně pracovat na vyšších frekvencích pouze s vyšším napětím (Obr. 20). [19]



Obr. 23 Maximální frekvence v závislosti na napájecím napětí [19]

Měření proudu v závislosti na napájecím napětí při 8 MHz:

- 5,0 V: 11,67 mA
- 4,5 V: 7,74 mA
- 4,0 V: 5,6 mA
- 3,3 V: 3,7 mA
- 2,4 V: 2,5 mA

Snížením taktu CPU na 128KHz a napájecího napětí na 1,8 V je možná spotřeba 0,14 mA bez použití spánkového módu. Při snižování taktovací frekvence je nutné uvážit delší čas potřebný k probuzení MCU a delší doba v probuzeném stavu pro vykonání programového kódu. [19]

1.4 Bluetooth

Technologie Bluetooth je typ komunikační technologie na krátké vzdálenosti, který je jednoduchý, bezpečný a užívaný téměř všude. Můžeme nalézt obrovské množství zařízení od mobilních telefonů přes zdravotnická zařízení, počítače až po těžký průmysl. Hlavním cílem bylo nahradit komunikační vodiče mezi prvky systémů.

Klíč technologie Bluetooth je v její robustnosti, nízké ceně a energetické úspoře. Specifikace standardu Bluetooth nám dovolují spojit širokou škálu zařízení.

Když se dvě zařízení spojují mezi sebou, nazýváme to párování. Globální rozšíření této technologie vedlo k možnosti spojit jakékoli zařízení na světě, vybavené technologií Bluetooth, se stejně vybaveným zařízením v jeho blízkosti.

Základní vlastností technologie Bluetooth je schopnost souběžného přenosu dat s hlasovým přenosem. Tímto získáváme velké možnosti v oboru hands-free setů, tiskáren kombinovaných s faxem či komunikace mezi mobilním telefonem a počítačem.

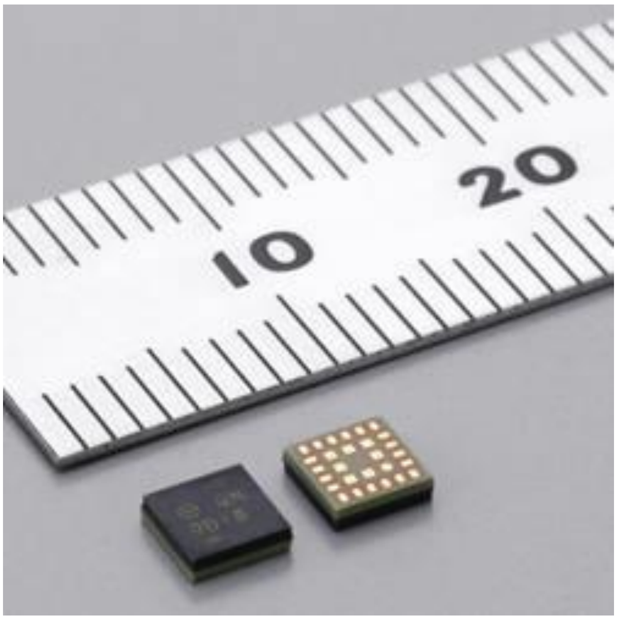
Dosah se liší podle užití v systému. Minimální dosah určený normou je asi 10 m. Není to ovšem nutností a každý výrobce může svůj výrobek přizpůsobit jeho potřebám.

Spektrum, ve kterém technologie Bluetooth operuje, není licencované žádným profesním oborem, a tedy jeho využívání je zdarma. Spektrum je od 2,4 GHz do 2,485 GHz. Nezřídka je možné se setkat s modifikacemi této technologie jako rozšíření spektra na širokopásmové vysílání, kmitočtového skákání či plně duplexní komunikaci. Pásmo 2,4 GHz je přístupné pro veřejnost ve většině zemí na světě.

Dosah technologie je rozdělen do tří kategorií:

- Class 3 - dosah do 1 m
- Class 2 - nejpoužívanější v mobilních zařízeních – dosah do 10 m
- Class 1 - primárně používaný v průmyslu – dosah až 100 m

Výkon úzce souvisí s dosahem. Class 2 má spotřebu okolo 2.5 mW. Technologie Bluetooth je navrhovaná s velkým ohledem na spotřebu. Tato vlastnost je podporou možnosti uspání modulu. Moduly optimalizovaný pro minimální náročnost na objem a rychlost přenesených dat mohou dosahovat ½ až 1/100 spotřeby nejpoužívanější kategorie Class 2. [12]



Obr. 24 Nejmenší Bluetooth modul na světě od firmy Murata [13]

1.5 Zobrazovací metody v elektronice

Zobrazovací metody můžeme rozdělit, ve smyslu zobrazení hodnoty, na indikační, grafické a číslicové.

Indikační metoda

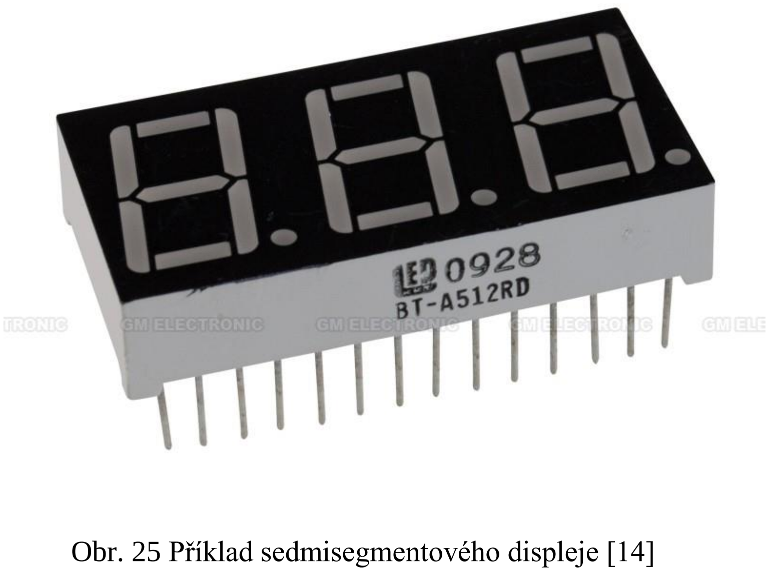
Bývá použita na jednodušších zařízeních, kde není potřeba přesná hodnota, pouze logický stav 1, 0. Hranice mezi těmito hodnotami bývá stanovena výrobcem stroje nebo přímo určená pro lokální potřeby nebo správné funkce. Dále je tato metoda výhodná, při sledování většího množství zařízení, díky mnohem lepší přehlednosti.

Grafická metoda

Tato metoda nachází uplatnění při potřebě zobrazit více informací než v případě indikační metody. Jako příklad můžeme uvést kokpit jakéhokoli letadla. I přes veškerou moderní techniku se dodnes používá grafické zobrazení kompasu či náklonu letadla. Není to veličina vyžadující přesnou hodnotu, ale pouze orientační, leč velice směrodatný, údaj.

Číslicová metoda

Tato metoda byla použita v této bakalářské práci pro okamžité zobrazení změřené teploty uživateli. Existují velmi rozsáhlé možnosti, jakým technickým zařízením jsme schopni tuto metodu aplikovat. Pro jednoduchost použití, odolnost a velkou spolehlivost byl vybrán semisegmentový displej. Princip zobrazení je zapínání jednotlivých „segmentů" každého čísla dokud nedostaneme požadovaný výsledek. Při použití více číslicového displeje je ovšem zapínání segmentů po jednom neefektivní a, při použití MCU jako řadiče, téměř nemožné z nedostatečného počtu I/O výstupů pro obsluhu. Tento problém lze jednoduše vyřešit díky nedokonalostem lidského oka. Celé číslice jsou zapojeny paralelně k obslužnému zařízení, které je schopno přepínat mezi nimi rychleji než je lidské oko schopno rozlišit. Oku se tedy zdá obraz celistvý. Tento postup zobrazování je nazýván multiplex.



Obr. 25 Příklad sedmisegmentového displeje [14]

2 Praktická část

2.1 Výběr komponent

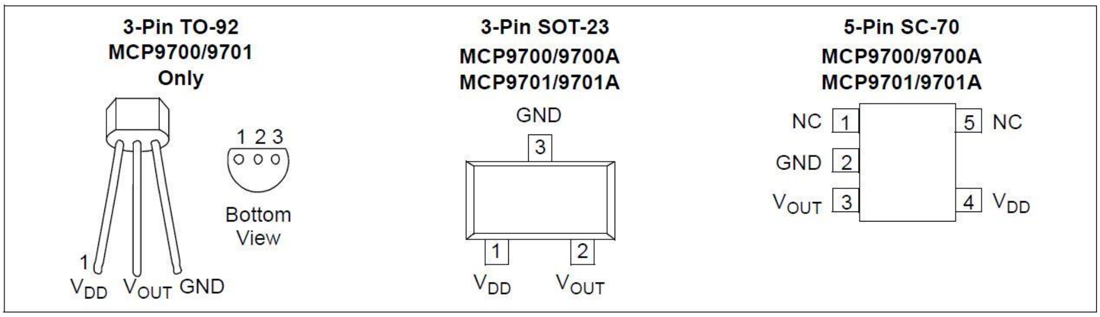
Způsob použití vpichovacího teploměru vyžadoval návrh a stavbu zařízení na nepájivém poli. Hlavní výhodou této „čisté“ metody je poměrně větší schopnost energetické efektivity díky seznámení se všemi součástkami a jejich zapojením. Hlavním cílem návrhu byla skladnost a tepelná odolnost zařízení. Speciální pozornost byla věnována samotné vpichovací jehle s digitálním teplotním čidlem.

2.1.1 Měření teploty

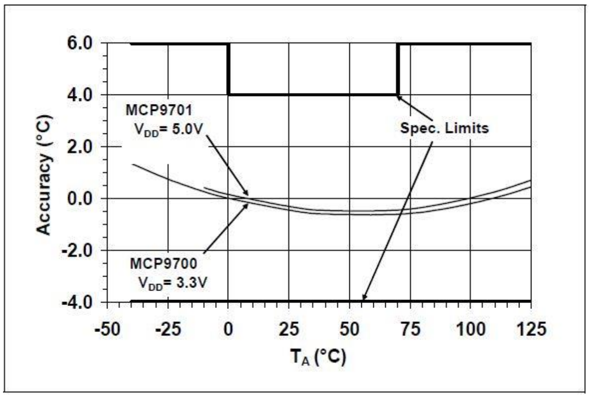
Pro samotné změření teploty bylo použito digitální teplotní čidlo s napěťovým výstupem MCP9700 od firmy Microchip. Toto čidlo bylo vybráno s důrazem na velikost a spolehlivost měření při umístění čidla ve větší vzdálenosti od MCU. Lineární charakteristika výstupu čidla nevyžaduje žádné další obvody pro linearizaci jako např. termistory. Toto čidlo je doporučeno pro měření relativní změny teploty, tedy je ideální k účelu měření teploty pokrmu. Typické aplikace čidla jsou pevné disky, periferie počítačů, domácí spotřebiče, bateriové sady nebo přenosná zařízení.

Vlastnosti čidla MPC9700

- Teplotní rozsah od – 40 °C do +125 °C
- Přesnost ± 2 °C, 0 °C - +70°C
- Optimalizovaný pro AD převodníky MCU
- Operační napětí od 2,3 do 5,5 V
- Velmi malá spotřeba 6 µA (typ)



Obr. 26 Možnosti zpracování pouzder čidla MCP9700 [15]



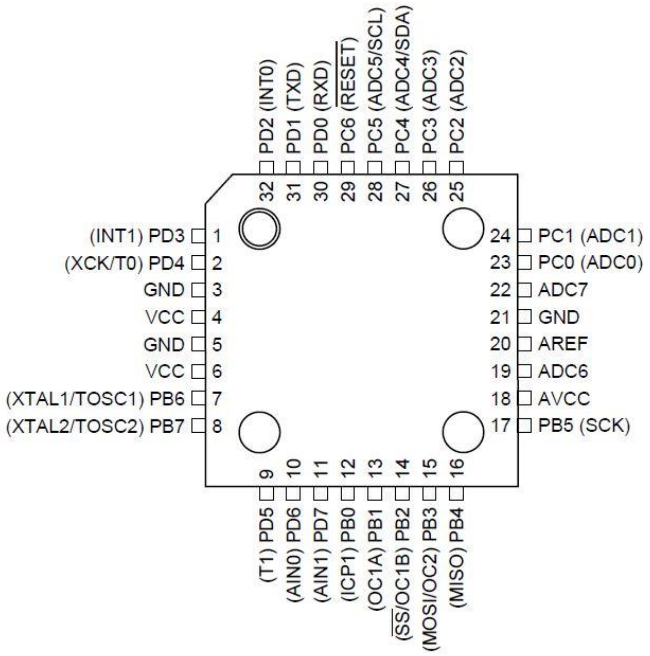
Obr. 27 Graf závislosti okolní teploty na přesnosti měření [15]

2.1.2 MCU a zpracování dat

Pro účely této práce vyhovoval základní model mikrokontroléru z řady megaAVR, ATmega8 - L. Byla zvolena modifikovaná verze MCU, pracující s nižším operačním napětím 3,3 V, eliminující nutnost úpravy napěťových úrovní mezi MCU a Bluetooth modulem.

Vlastnosti mikrokontroléru

- 8 bitový mikrokontrolér
- 130 Instrukcí
- 32x 8 bitový registr
- 8 kB programová paměť s životností 10 000 zapisovacích cyklů
- 512 Bytová EEPROM paměť s životností 100 000 cyklů
- Taktovací frekvence až 8 MHz
- 1 kB vnitřní SRAM
- Dva 8 bitové čítače s vlastní předděličkou
- Jeden 16 bitový čítač s vlastní předděličkou a porovnávacím módem
- Hodiny reálného času se samostatným oscilátorem
- 3 kanálový generátor PWM signálu
- 8 kanálový AD převodník s rozlišením 8 a 10 bitů
- Bytově orientované sériové rozhraní (SPI)
- USART programovatelné rozhraní
- Integrovaný analogový komparátor
- Vnitřní kalibrovaný RC oscilátor
- Vnitřní a vnější možnosti přerušení
- 5 režimů spánku
- 23 programovatelných I/O pinů
- Operační napětí 2,7 – 5,5 V



Obr. 28 Patice mikrokontroléru ATmega8 – L [11]

2.1.3 Bezdrátová technologie Bluetooth

Jeden z hlavních cílů této bakalářské práce bylo seznámení s bezdrátovou komunikací. Technologie Bluetooth byla vybrána z důvodů energetické nenáročnosti, schopností pracovat ve zvýšených teplotách a dobrá cenová dostupnost. Bohužel většina bezdrátových modulů není cenově příznivá pro konečného uživatele, byť svoji cenu ospravedlňují pokročilými funkcemi, velkým dosahem a sofistikovanými režimy spánku. Byl vybrán modul EGBT-046S. Ve své cenové kategorii vyniká dobrou energetickou efektivitou, jednoduchým nastavením, bezproblémovým provozem a možností indikace párování LED diodou.

Obr. 29 Bluetooth modul EGBT-046S [16]

Vlastnosti modulu EGBT-046S

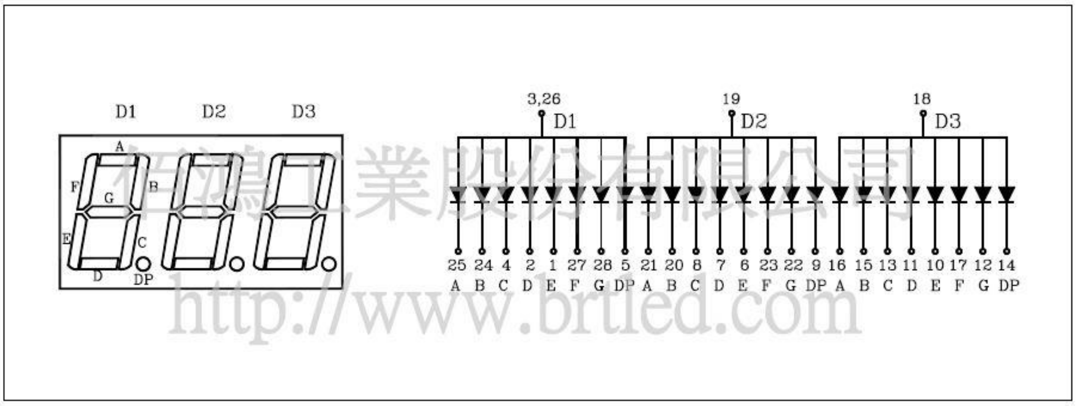
- Chip CSR BC417
- Externí 8 Mbit flash paměť
- Výstupní výkon – 4 až + 6 dBm, Class 2
- Citlivost – 80 dBm
- Přenosová rychlost až 3 Mbps
- Rozhraní UART
- Vestavěná anténa
- Maximální proud 40 mA [16]

2.1.4 Zobrazení teploty

Vedle posílání teplotních dat po sériové lince do externího zařízení, byla implementována možnost okamžité zobrazení naposledy měřené teploty. Této vlastnosti bylo docíleno použitím sedmisegmentového LED displeje. Tato metoda je výhodná kvůli své dobré čitelnosti na slunci, přímočarosti zapojení, malé ceně a zajímavým způsobem ovládání. Vybrán byl 3 číslicový sedmisegmentový displej BT-A512RD (Obr. 22) se společnou anodou pro všechny segmenty.

Vlastnosti displeje BT-A512RD

- Maximální výkon na článek 80 mW
- Maximální proud článkem 30 mA
- Operační teplota – 40 °C až 80 °C
- Svítivost segmentu 3 mcd
- Vlnová délka vyzařovaného světla 567 až 572 nm



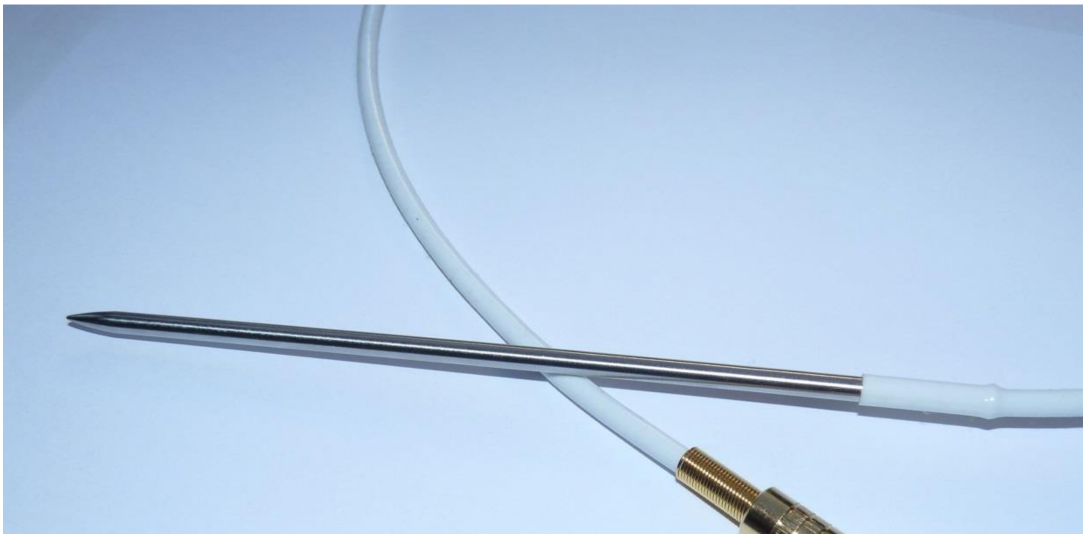
Obr. 30 Schéma vnitřního zapojení jednotlivých segmentů [17]

2.2 Vpichovací jehla

Jeden ze závěrečných a zásadních problémů bylo uzpůsobení teplotního čidla pro potřeby vpichovacího teploměru, tzn. sestrojení vpichovací jehly a zamezení případnému vniknutí kapaliny či výparů do elektronických komponent.

Jehla pochází z levného čínského teploměru bez pokročilých funkcí. Informační a napájecí vodiče čidla využívají teflonovou úpravu pro zajištění tepelné odolnosti a minimální savosti materiálu. Ochranu před mechanickým poškozením a zachování zdravotní nezávadnosti zajišťuje silikonová bužírka vyztužená skelnými vlákny.

Připojení vpichovací jehly k měřící jednotce bylo realizováno pozlaceným 3,5 mm Jack konektorem. Vybrané řešení zachovává minimální navýšení odporu vodičů s výhodou odnímatelnosti pro dobrou skladovatelnost a variabilitu v případě více typů sond.



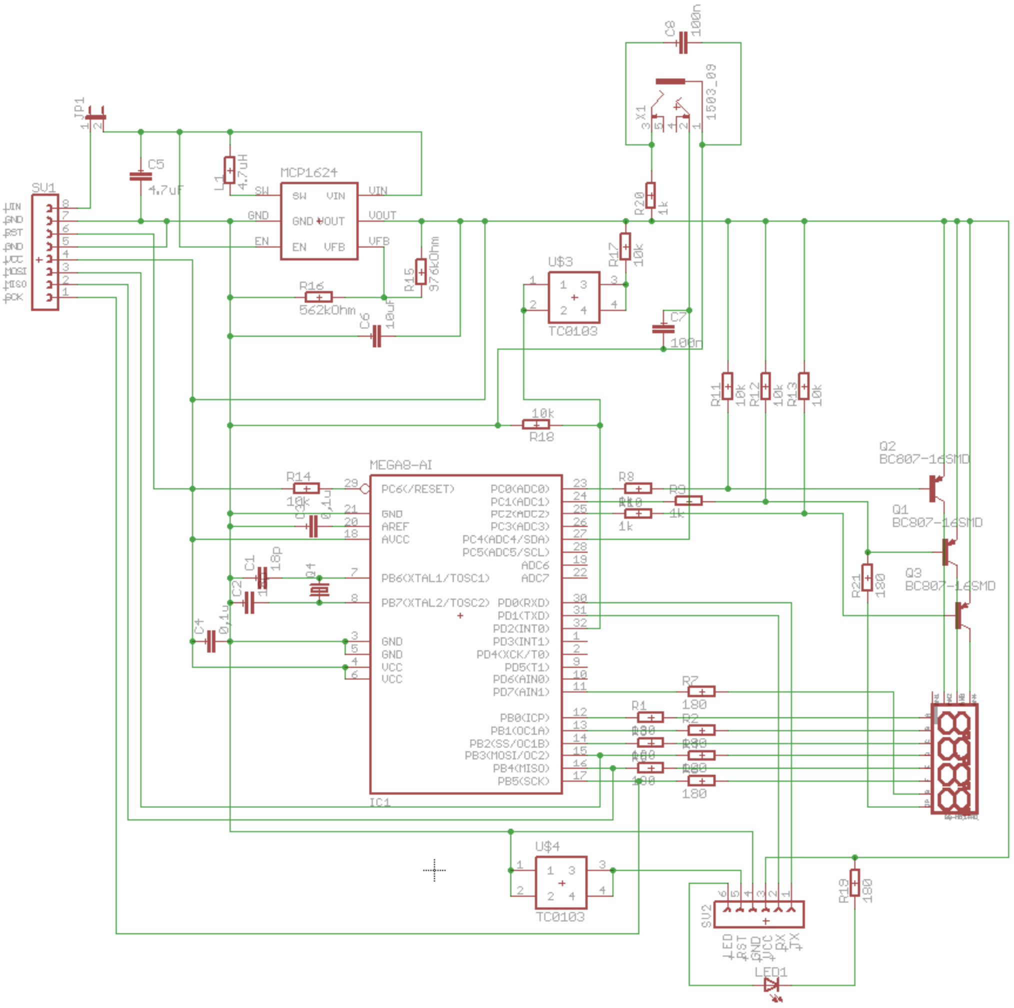
Obr. 31 Jehla vpichovacího teploměru

2.3 Měřící jednotka

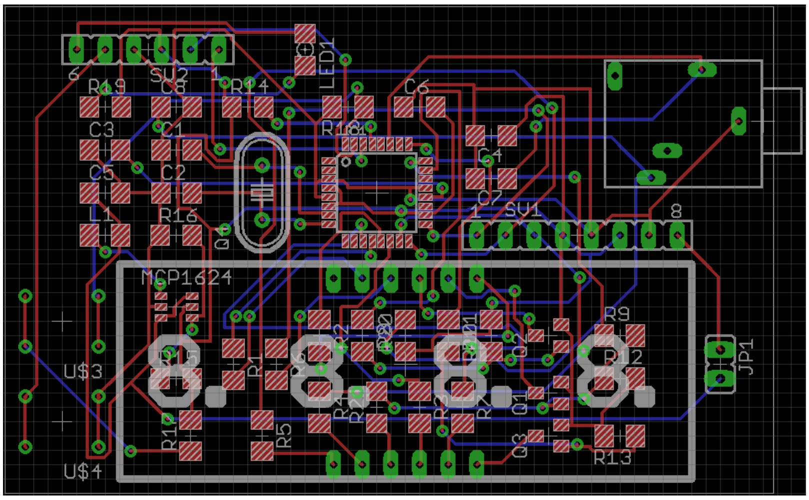
Teploměr byl navrhnut a vyroben jako samostatná jednotka. Jednotka obsahuje sedmisegmentový displej, jehož „řídící“ piny zapínající jednotlivé segmenty, byly připojeny na piny 0 až 2 portu C mikrokontroléru. Tři PNP tranzistory slouží jako ochrana portu před relativně vyšším proudem potřebným k rozsvícení segmentů displeje.

Dále bylo nutné vyřešit nedostatek volných portů mikrokontroléru. Pro přehlednost zapojení by bylo vhodné připojit všech sedm segmentů displeje na jeden kompletní port, ovšem úsporné řešení ATmegy8 nám takové zapojení nedovoluje z důvodu využívání většiny periferií mikrokontroléru, které si vyhradí jednotlivé piny pro vlastní užití. Zapojení bylo vyřešeno připojením segmentů displeje A až F na port B a segmentu G na nevyužitou část portu D, na který je dále připojena sériová komunikace a externí přerušení tlačítka pro aktivaci displeje. Port B nadále částečně využívá připojený externí krystal nutný pro přesné stanovení přenosové rychlosti sériové komunikace. Samotné teplotní čidlo využívá pin AD převodníku na portu C.

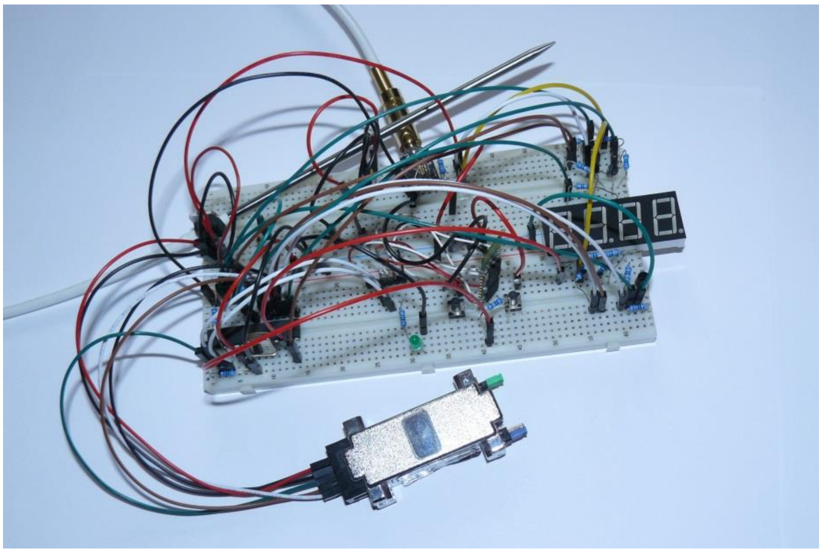
Vývoj prototypu probíhal na nepájivém poli.. Kreslení schématu bylo provedeno v kreslícím softwaru Eagle 6.4.0 Light, který je pro studijní a nekomerční účely k dispozici zdarma. Omezení verze light jsou velikost navrhované desky, možnost využití pouze dvou signálových vrstev a možnost kreslení jednoho schéma na jeden list. Sestrojení prototypu proběhlo také na vývojovém kitu EvB 4.3 firmy AND-TECH.PL.



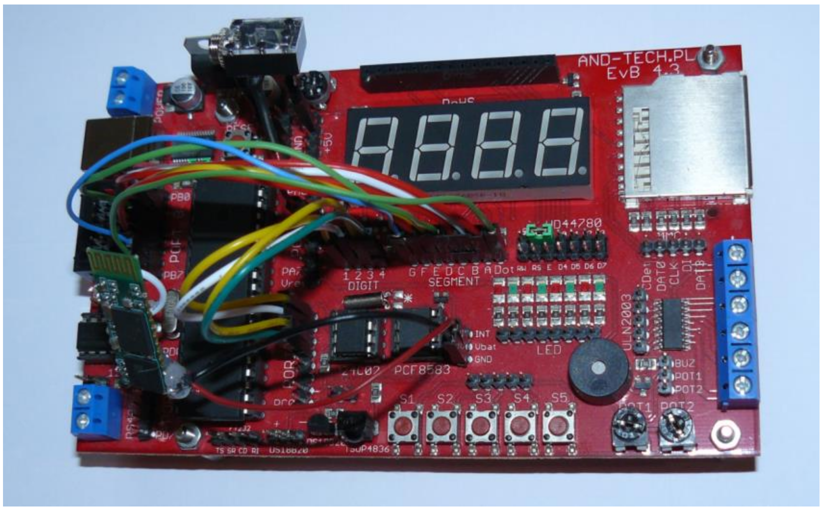
Obr. 32 Schéma zapojení měřící jednotky



Obr. 33 Návrh plošného spoje



Obr. 34 Vývojový prototyp na nepájivém poli



Obr. 35 Prototyp měřící jednotky založené na vývojovém kitu EvB

Alternativní možnost napájení

Použití vpichovacího teploměru k měření připravovaného pokrmu napovídá výskytu vysokých teplot v okolí jehly a vyšších teplot působících na měřící jednotku. Tento jev je možno využít ve prospěch napájení. Seebeckův jev je fenomén, kdy při působení různých teplot na různé polovodiče dochází k napěťovému rozdílu mezi těmito polovodiči. Při vystavení jednoho polovodiče vyšší teplotě, „zahřáté“ elektrony proudí k chladnějšímu polovodiči. Pokud tyto polovodiče spojíme do obvodu, bude jím procházet proud závislý na teplotním rozdílu.

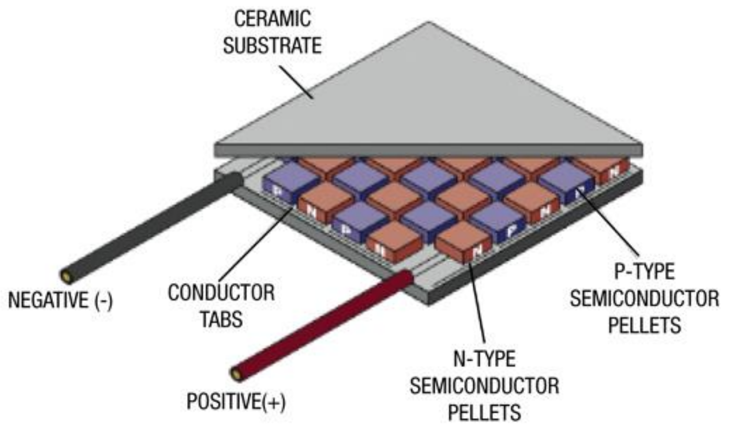
Spojení velkého počtu těchto článků tvoří Peltierův článek, také označovaný jako termoelektrický chladič (TEC). TEC články mají omezený teplotní rozsah (max. 70 °C), který jsou schopny zvládnout a jsou primárně určeny k ochlazení jedné strany článku dodávanou energií z napájecího zdroje. TEG články, také jako thermoelectric generators, jsou upravené TEC články určené ke generování elektrické energie rozdílem teplot na jeho stranách. TEG článek pracuje s rozdílem teplot až 300 °C a tedy velikost dodávaného výkonu je mnohem větší.

Implementace TEG článku do měřící jednotky by vyžadovalo měření pro určení správné velikosti článku, obslužné obvody pro stabilizaci a zvýšení napětí pro mikrokontrolér a bližší specifikaci použití celého teploměru. Energii z článku je možno přímo spotřebovávat zařízením nebo ji využívat na nabíjení menší, udržovací, baterie. Použitím Li-Fe baterie, která disponuje minimálním samovybíjecím proudem, sestrojením nabíjecího obvodu a obvodu kontroly napětí baterie, chránící proti podvybití, vznikne plně bezúdržbová měřící jednotka. [20]

Performance Data

Type	Geometrical dimensions, mm			Cold end = 50 0C Hot end = 150 0C					
				Internal resistance	Heat resistance	Voltage	Current	Power	Efficiency
	A	B	H	Ohm	K/W	V	A	W	%
TGM-127-1.0-0.8	30	30	3.1	2.41	1.40	1.83	0.76	1.38	2.3
TGM-127-1.0-1.3	30	30	3.6	3.92	2.27	2.18	0.56	1.21	2.7
TGM-127-1.0-2.5	30	30	4.3	7.53	4.36	2.55	0.34	0.86	3.2
TGM-127-1.4-1.5	40	40	3.9	2.46	1.43	2.25	0.91	2.05	2.8
TGM-127-1.4-2.5	40	40	4.8	3.84	2.23	2.50	0.65	1.63	3.2

Obr. 36 Parametry TEG článků firmy AMS Technologies [21]

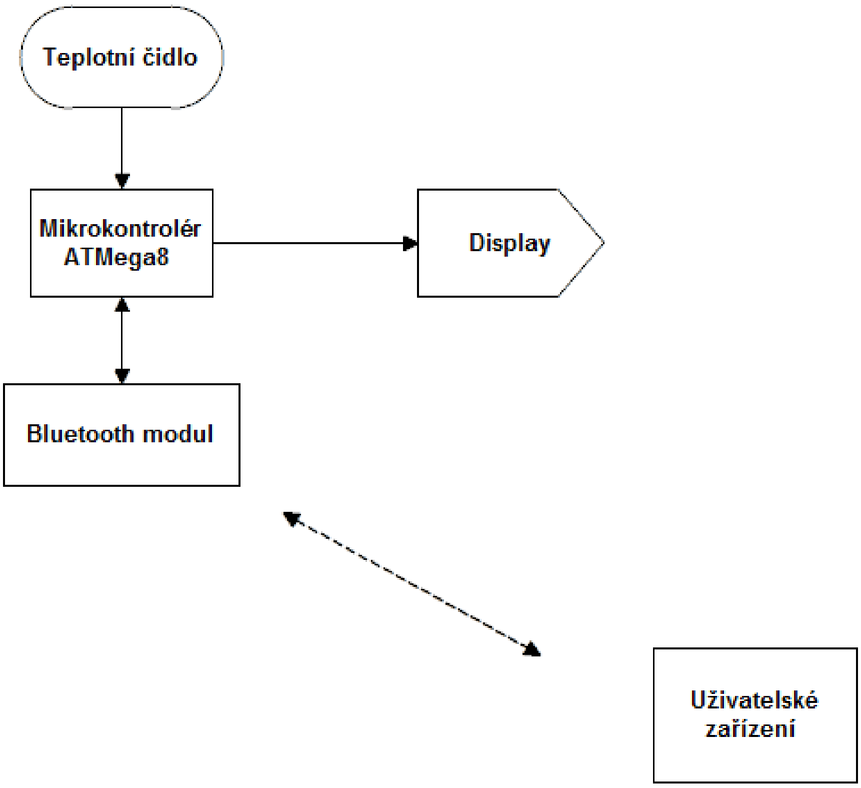


Obr. 37 Průřez termoelektrickým článkem [21]

2.4 Programový kód

Základním úkolem řídící jednotky bylo měření a vyhodnocení teploty. Po zapnutí jednotky je jako první inicializován kompletní displej pro kontrolu funkčnosti všech jeho segmentů. Po zmáčknutí tlačítka se displej deaktivuje a jednotka čeká na dokončení deseti měření AD převodníku. Po ukončení konverze je vyhodnocená teplota a uchována pro zobrazení. Hodnotu je možné lokálně zobrazit po dobu čtyř sekund na displeji nebo zasláním žádacího signálu přes sériovou komunikaci řešenou bezdrátovou technologií Bluetooth.

K napsání kódu byl využit program AVR Studio 4 verze 4.18 Build 716. Software je dostupný zdarma od firmy Atmel Corporation. Pro zjednodušení kódu byly použity pouze základní knihovny dostupné v AVR Studiu.



Obr. 38 Blokové schéma programu

2.4.1 Princip zobrazování

Sedmisegmentový displej, pro menší náročnost na počet ovládacích vývodů, používá princip tzv. multiplexování. Princip spočívá v přivedení logické nuly (při použití PNP tranzistorů) na společnou anodu segmentů první číslice na displeji. Tímto bylo přivedeno napětí na první číslici a v závislosti na požadované hodnotě jsou přivedeny logické nuly na piny segmentů odpovídající zobrazované hodnotě. První číslice je zobrazovaná do dalšího přetečení registru 8 bitového timeru, který vyvolá vypnutí první číslice a zapnutí číslice následující. Analogickým způsobem může MCU obsluhovat všechny číslice displeje.

```
//******************************************************************
//************************** Display temp ***************************
//******************************************************************

void display_temp(void)                          //funkce pro zobrazení teploty na displeji
    {
        cnt++;

            if (cnt==1)                          //Vybrání první číslice
                                {
                                Mask_dig(1);
            if  (tep<100)       Mask_seg(10);    //Pokud je hodnota teploty menší než 10 je první číslice vypnuta
                else            Mask_seg(sto);
                                }
            if (cnt==2)                          //Druhá číslice
                                {
                                Mask_dig(2);
                if (tep<10)     Mask_seg(10);
                else            Mask_seg(des);
                                }
            if (cnt==3)                          //Poslední číslice a vymazání počítadla vybírání číslic
                                {
                                Mask_dig(3);
                                Mask_seg(jed);
                                cnt=0;
                                }
    }
```

Obr. 39 Funkce zobrazení teploty na displej

2.4.2 Inicializace periferií

Každá periferie použitého mikrokontroléru má široké možnosti nastavení, které je nutno správně nastavit. Jako první byly nastaveny fuse bity mikrokontroléru povolující použití externího krystalu.

Nastavení AD převodníku spočívá ve zvolení pinu, který bude využívat, dále zvolení předděličky frekvence převodníku, která určuje délku a přesnost jednoho převodu a vypnutí analogového komparátoru pro úsporu energie.

Inicializace externího přerušení proběhne pouze vybráním jednoho ze dvou pinů k této funkci určeným a způsobem chování přerušení. Stiskem tlačítka je vyvolána změna napětí z 0 V na 3,3 V. Pro účely této práce bylo tedy vybráno přerušení na vzestupné hraně.

Externí krystal byl vybrán na frekvenci 3,2768 MHz pro zpomalení procesoru z obvyklých 16 MHz a tím značné ušetření energie. Jeho hodnota ideální pro výpočet počtu hodinových cyklů potřebných k přetečení registru 8 bitového timeru. Předdělička timeru byla nastavena na 64 kdy, získáme přetečení každých 0,005 s. Obnovovací frekvence displeje je tedy 200 Hz, což je pro lidské oko dostačující.

Jako poslední byla nastavena sériová komunikace na přenosovou rychlost 9600 bit/s, 8 datových bitů a jeden stop bit.

```
//********************************************************************
//*************************** AD *************************************
//********************************************************************

void read_adc(void)                     //začátek konverze AD převodníku
  {
  ADCSRA|=(1<<ADSC);
  }

void adc_init(void)
    {
    ADCSRA = (1 << ADPS2) | (1<<ADPS0);     //nastavení předděličky AD převodníku na 32 pro frekvenci 102,4 kHz
    ACSR=(1<<ACD);                          //vypnutí analogového komparátoru pro ušetření energie
    ADCSRA &= (1<<ADFR);
    SFIOR=0x00;
    ADCSRA |= (1<<ADEN);                    //Povolení AD převodníku
    ADMUX|=(1<<MUX2);                       //Nastavení převodníku na pin ADC4
    ADMUX|=(1<<REFS0)|(1<<REFS1);           //Zapnutí vnitřní reference 2,56 V
    ADCSRA |= (1<<ADIE);                    //Povolení přerušení po dokončení převodu AD převodníku
    }


//********************************************************************
//*************************** EXTERNAL INTERRUPT *********************
//********************************************************************

void ex_int_init(void)                  //Inicializace externího přerušení pro tlačítko zapnutí displeje
{
GICR=(1<<INT0);                         //povolení externího přerušení
MCUCR=(1<<ISC01) | (1<<ISC00);          //externí přerušení 0 na pinu INT0 při náběžné hraně
}
```

Obr. 40 Inicializační funkce AD převodníku a externího přerušení

2.4.3 Výpočet a zasílání teploty

Pomocí 16 bitového timeru probíhá každých 5 s aktivace konverze AD převodníku a zapsání naměřené hodnoty. Po proběhnutí deseti měření jsou hodnoty zprůměrovány a je vypočítána aktuální teplota na základně poměru mezi napětím teplotního čidla a referenčního napětí. Tímto je hodnota připravena k zobrazení.

Pro zaslání hodnoty přes sériovou komunikaci je nutné přijetí dotazovacího znaku „t“. Po dokončení přijetí znaku je aktivována rutina přerušení a obratem je zaslána poslední změřená teplota ve tvaru „Teplota je: XY.Z °C“.

Doba kompletního měření je 50 s, která je pro účely měření, např. pečení masa, dostačující.

```
ISR (ADC_vect)                          //rutina přerušení dokončení AD převodníku
{

    if (cnt2<10)                        //cyklus 10 měření AD převodníku
        {
        i=ADCW;
        tep=tep+(((i/(1024/2.56))-0.5)*1000);
        cnt2++;

        if (cnt2==10)                   //výpočet teploty po dokončení všech měření
            {
            cnt2=0;
            tep=tep/10;
            sto=tep/100;
            des=((tep/10)-(sto*10));
            jed=tep-((des*10)+(sto*100));
            tep=0;
            }

        }

}
```

Obr. 41 Výpočet teploty v rutině přerušení AD převodníku

```
ISR(USART_RXC_vect)                     //rutina přerušení přijatého znaku sériové komunikace
{

rx=UDR;
if (rx==0x74)                           //podmínka přijetí znaku "t" pro odeslání aktuální teploty
    {
    send_temp();
    }
}
```

Obr. 42 Rutina přerušení přijetí znaku

2.5 Měření

Po sestrojení zařízení, měření vykazovalo určitou konstantní chybu. Přesnou hodnotu této chyby určilo experimentální měření, ve kterém bylo provedeno 16 měření při teoretické teplotě 0 °C dosaženém ve směsi vody a téměř rozpuštěného ledu a při varu destilované vody.

Kontinuálním měřením bylo zjištěno ustálení teploty v obou případech a následně provedeno měření. Měření probíhalo jednotkou s již hotovým programem tedy 10 průměrovaných měření za 50 s.

Teplota bodu varu byla teoreticky spočítána v závislosti na okolním tlaku vzduchu (Obr. 35).

$$t\,[°C] = 71{,}6 + 28\,.\,(p\,/\,10^5\,[Pa])$$

Obr. 43 Vzorec pro výpočet teploty varu „t [°C]“ při atmosférickém tlaku „p [Pa]“ [18]

Podmínky měření:

- Atmosférický tlak: 1,0125 MPa
- Teplota okolí: 23,4 °C
- Vlhkost: 68 %
- Předpokládaná teplota varu: 99,6 °C

bod tání [°C]	bod varu [°C]
2,1	100,5
2,8	101,9
2	100,9
2,1	100,8
2,1	101,9
2,4	100,9
1,9	100,8
2,1	101,1
2,2	100,7
1,7	100,7
2,2	100,4
2,2	101,1
1,9	101,3
1,8	101,1
1,8	100,9
2	101,3
Ø 2,08	Ø 101,2

Obr. 44 Tabulka hodnot kalibračního měření

Vyhodnocení:

Vzhledem k rozdílné chybě čidla v jiných teplotách a cílovému teplotnímu rozsahu byla provedena korekce vůči průměru naměřených hodnot bodu varu. Odečtením hodnot získáváme korekci 1,42 °C, která odpovídá chybě měření bodu tání s přihlédnutím k nepravděpodobnosti úplného dosažení trojného bodu vody v jiných než laboratorních podmínkách.

3 Závěr

V práci byl úspěšně navrhnut a sestrojen prototyp vpichovacího teploměru. Jehla teploměru byla uzpůsobena pro provoz ve vyšších pracovních teplotách, ale uplatnění najde i v jiných prostředích. Vlastní měřící jednotka byla sestrojena v ohledu na úsporu energie, nízkou cenu a možnost použití více typů teplotních sond.

Tento projekt využívá téměř všech dostupných periferií zvoleného mikrokontroléru ATmega8 – L i použitelných vstupních a výstupních pinů. Společně se stručným seznámením v oblasti měření techniky a vlastností MCU může sloužit jako příklad využití periferií v reálné praxi.

Z měření je patrná dostačující přesnost pro měření teploty připravovaného pokrmu. Energetickou efektivitou by bylo také možno zvýšit využitím spánkových režimů MCU. Měřící jednotka nevyužívá žádného spánkového režimu, protože komplikace kódu použitím Idle módu se zapnutým AD převodníkem je neúměrná s ušetřeným množstvím energie. Nemožnost využití jiného režimu je způsobena nutností probuzení MCU pomocí sériové komunikace.

Možnosti dalšího vývoje jsou například ukládání naměřených dat do EEPROM, použití wifi modulu s vytvořením lokálního serveru pro zvýšení dosahu a odstranění nutnosti párování zařízení s Bluetooth modulem. Výrazně větší efektivita je možná použitím Bluetooth modulů firmy connectBlue, které podporují spánkové režimy a možnost probuzení MCU externím přerušením. Dále možnost výroby různých teplotních sond uzpůsobených k měření např. zmrzlých potravin. Jako zajímavost by bylo možné využít termoelektrického generátoru pro úplnou autonomii zařízení.

4 Seznam použité literatury

[1] ABB Automation Products GmbH. Practices for Industrial Temperature Measurements [online]. 2008 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://search.abb.com/library/download.aspx?documentid=03/temp-en&languagecode=en&documentpartid=&action=launch&content=external

[2] BĚŤÁK, J. Teplotní stupnice. Automa [online]. 2003, roč. 4, č. 01. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28679

[3] OMEGA. Datasheet Série VA a GA Kapilárové teploměry pro měření teploty výparů a plynů [online]. [cit. 2013-05-18] Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/toc_asp/frameset.html?book=Temperature&file=VA_GA_GAS_THERMOM

[4] Internetový obchod Omegaeng.cz [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=OL-709&Nav=temd14

[5] FLUKE. Fluke 62 Mini Infrared Thermometer [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.fluke.com/fluke/usen/thermometers/infrared-thermometers/fluke-62.htm?PID=56096

[6] CYG. Datasheet CB-SRT Silicone rubber Insulation tube [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/de74853c3e98df328b1a32d2dc1e3e46/CB-SRT.pdf

[7] HELUKABEL. Datasheet HELUFLON®-FEP-6Y [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/c4f2c0957ba4ef9c413888f1e1495482/K_027_HELUFLON__-FEP-6Y.pdf

[8] FS SRC | Internetový obchod Foxel.cz [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.foxel.cz/3038/

[9] Mikrokontroléry PIC, Co je to mikrokontrolér? [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://mikrokontrolery-pic.cz/zaciname/co-je-to-mikrokontroler/

[10] HORDĚJČUK, V. Informatika: Počítač [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://voho.cz/wiki/informatika/pocitac/

[11] ATMEL CORPORATION. Datasheet ATmega8 [online]. 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf

[12] BLUETOOTH SIG. Bluetooth Basics [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx

[13] World's smallest Bluetooth chip. gadgets-review.com [online]. 8. 4. 2010 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.gadgets-reviews.com/world-s-smallest-bluetooth-chip.html

[14] HD-A512RD. GME.cz [online]. [cit. 2013-05-18] Dostupné z: http://www.gme.cz/dokumentace/512/512-161/pctdetail.512-161.1.jpg

[15] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. Datasheet mcp9700 [online]. 2009 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf

[16] E-GIZMO MECHATRONIX CENTRAL. Datasheet EGBT-046S [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.rasmicro.com/Bluetooth/EGBT-045MS-046S%20Bluetooth%20Module%20Manual%20rev%201r0.pdf

[17] BRIGHT LED ELECTRONICS CORP. Datasheet BT-A512RI [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.gme.cz/dokumentace/512/512-161/dsh.512-161.1.pdf

[18] MIKULČÁK a kolektiv. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. Praha: SPN Praha, 1988

[19] GAMMON, N. Power saving techniques for microprocessors. Gammon Software Solutions [online]. 13. 1. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://gammon.com.au/power

[20] ROUSE, M. Seebeck effect. TechTarget [online]. 2008 [2013-05-21]. Dostupné z: http://searchnetworking.techtarget.com/definition/Seebeck-effect

[21] AMS Technologies. Datasheet KryoTherm [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.amstechnologies.com/fileadmin/amsmedia/downloads/4122_thermoelectricgeneratormodules.pdf