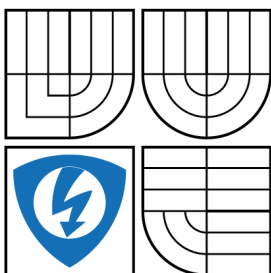




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

TEPLOMĚR S GRAFICKÝM DISPLEJEM

THERMOMETER WITH GRAPHICAL DISPLAY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

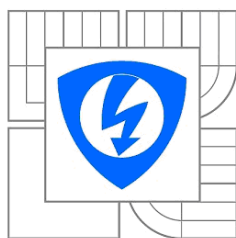
LIBOR KŘEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Automatizační a měřicí technika

Student: Libor Křeček

ID: 83541

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Teploměr s grafickým displejem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou měření teploty v rozsahu -40 až +120 stupňů C s přesností lepší než 0,5 stupně C.
2. Navrhněte koncepci mikroprocesorového systému, který by sloužil jako teploměr s možností výstupu na grafický displej. Vyberte vhodný mikrokontrolér a snímače teploty.
3. Mikroprocesorový systém navrhněte včetně desky plošných spojů, proveďte výpočet hodnot jednotlivých součástí. Vytvořte výrobní dokumentaci.
4. Mikroprocesorový systém realizujte a ožijte.
5. Pro teploměr vytvořte potřebné softwarové vybavení a odladte ho.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FROHN, Manfred - OBERTHÜR, Wolfgang - SIEDLER, Hans-Jobst - WIEMER Manfred - ZASTROW, Peter. Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení. Praha: BEN 2006. 500 s. ISBN 80-7300-123-3.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 30.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou měření teploty v daném rozsahu. Dále navrhnout digitální měřící přístroj, který by teplotu měřil a zobrazoval na grafickém LCD displeji; vytvořit výrobní dokumentaci a navržený systém zrealizovat včetně výroby desky plošných spojů. Vzhledem k použití mikroprocesorové techniky se počítá s odladěním softwarového vybavení pro daný mikroprocesor. Měřená teplota je v rozsahu -40 až +120 °C s přesností lepší než 0,5°C.

Klíčová slova

Teploměr, teplotní snímač, mikroprocesor, displej, měření, převodník.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to provide an insight into the measurement of the temperature in the range. In addition to design a digital measuring device that would measure and display the temperature on a graphic LCD display, also to create the manufacturing documentation and provide proposed system implementation, including the production of PCB. Due to the use of microprocessor technology the controller software debugging is required. The measured temperature range is -40 to +120 ° C with an accuracy of better than 0.5 ° C.

Keywords

Thermometer, temperature sensor, microcontroller, display, measuring, converter.

Bibliografická citace:

KŘEČEK, L. *Teploměr s grafickým displejem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 53s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Teploměr s grafickým displejem“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne:

.....
podpis autora

Obsah

Obsah.....	5
1 ÚVOD.....	7
2 ROZBOR ZADÁNÍ.....	8
3 TEPLOTNÍ SNÍMAČE	10
3.1 Rozdělení teplotních snímačů	10
3.2 Odporové snímače teploty.....	11
3.2.1 Odporový snímač Pt100.....	11
3.2.2 Možné chyby měření odporovými snímači.....	13
3.2.3 Problematika vzdálených odporových čidel	13
3.3 Termistory.....	14
3.4 NTC.....	14
3.5 PTC	15
3.6 Polovodičové monokrystalické snímače	16
3.7 Polovodičové monolitické snímače.....	17
3.8 Bezdotykové snímače.....	17
3.9 Termočlánky	18
4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ	19
4.1 Možnosti měření teploty	19
4.2 Měření teploty s PLC	19
4.2.1 Popis převodníku JUMO	20
4.2.2 PLC a připojení k převodníku:.....	20
5 NÁVRH TEPLoměRU S MIKROPROCESOREM ARM	22
5.1 Popis mikrokontroléru.....	22
5.2 Vnitřní A/D převodník	25
5.3 Grafický displej.....	29
5.4 Popis celkového zapojení.....	32
5.4.1 Vstupní obvod - měřící část	33
5.4.2 Řídící část	34
5.4.3 Programovací rozhraní JTAG.....	34
5.4.4 Napájecí část a napájecí zdroj.....	35
5.5 Realizace a oživení.....	36
5.6 Softwarové vybavení.....	37
5.6.1 Inicializace mikrokontroléru.....	40

5.6.2	Inicializace grafického displeje	41
5.6.3	Funkce measure	42
ZÁVĚR	46

1 ÚVOD

Teploměry jsou elektronické přístroje určené k měření fyzikální veličiny nazývané teplota. Jejich použití je nesmírně rozšířené a používají se ve všech oblastech techniky. V průmyslu, stavebnictví, lékařství, dopravě, energetice, v domácnostech a jinde.

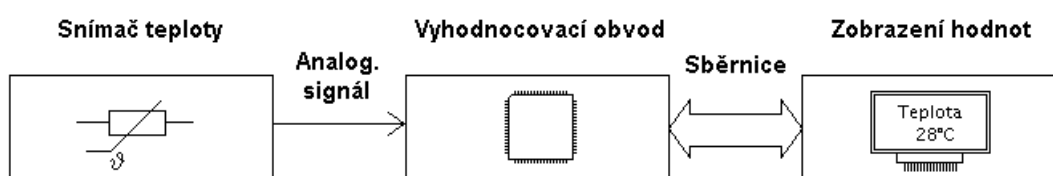
Důvodů, proč jsem se rozhodl pro stavbu vlastního přesného teploměru je několik. Již relativně dlouhou dobu se zabývám pekařskými pecemi, kde je nezbytné měření teploty pro její regulaci v pečné komoře. Stávající řešení v konkrétních pecích jsou však poněkud zastaralá, a tak bylo pro mě motivací tento systém inovovat. Dalším důvodem pro mě byla absence relativně malého přenosného teploměru v domácnosti. Záliba v mikroprocesorové technice byla posledním a zřejmě největším důvodem k realizaci.

Teploměr by měl sloužit jako pomocník v domácnosti i jako přenosný měřič například do automobilu nebo na cesty. Je možné jej napájet z 12V sítě automobilu nebo pro přenosné účely z 9V baterie. Teplotu zobrazuje na LCD displeji, který umožní kompaktnost a nízký odběr proudu.

2 ROZBOR ZADÁNÍ

Dle rozsahu měřené teploty můžeme teploměry dělit na úzkopásmové – selektivní a širokopásmové. Za úzkopásmové teploměry lze brát např. lékařské, kdy je ve vztahu k měřenému objektu brán zřetel na úzký profil měřené teploty. Zato nám více záleží na přesnosti měření. Měření teploty v rozsahu -40 až $+120^{\circ}\text{C}$ lze považovat ve vztahu k měřenému objektu – domácnosti – za širokopásmové. S přesností $0,5^{\circ}\text{C}$ si v domácnosti, ale i v mnoha jiných případech vystačíme.

Teploměr je postaven na mikroprocesorovém systému. Jeho hlavními částmi je teplotní snímač, mikroprocesor a výstupní displej.



Obr. 2.1: Blokové schéma Teploměru

Základem dobrého řešení bylo dobře zvolit tyto tři hlavní části. Aby snímač vyhověl požadavku zadání, musí mít toleranci menší než $0,5^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k rozsahu teplot by měl mít stabilní charakteristiku a zvolený rozsah by měl do jisté míry přesahovat. Mým vlastním kritériem výběru byla široká použitelnost nejen v domácnosti. V průmyslové automatizaci se hojně používá platinové čidlo Pt100 a aby byl splněn i požadavek na přesnost zvolil jsem tento odporový teplotní snímač ve třídě A. Tento typ by také plně vyhovoval pro použití v pekařských pecích.

Na trhu je dnes nepřeberné množství různých typů mikrokontrolérů. Troufám si říct, že pro tuto aplikaci by bylo možné použít téměř jakýkoliv s výjimkou typů s velmi omezenými periferiemi. Výrobci se stále snaží o větší integraci periferií na jeden čip, zvýšení rychlosti provádění instrukcí a vzhledem k jejich použití v mobilní technice také ke snižování odběru proudu. Mikrokontroléry jsou obvykle dostupné dle počtu

vývodů v mnoha zapouzdření jako DIP, TQFP, LQFP, PLCC, SO aj. Pro mobilní aplikace se většinou volí pouzdra pro povrchovou montáž SMT. Požadavkem na mikrokontrolér v teploměru je analogový vstup pro snímač, určitý komfort programování, malé rozměry a nízký odběr proudu. Dále také možnou rozšířitelnost aplikace. Použitelných typů je opravdu mnoho a některé z nich jsou uvedeny v 2.1.

Výrobce	8 - bitové	16 - bitové	32 - bitové
Atmel (AVR)	AtMega16	ATxmega16A	AT32UC3L032
ARM	-	-	ARM710T
Microchip	PIC18F1220	PIC24F04	PIC32MX320Fxxxx
Motorola	MC68HC08AB	MC9S12A256	-

Tab. 2.1: Použitelné typy mikrokontrolérů

Grafický displej by měl mít malé rozměry, nízký odběr proudu a bylo by vhodné, aby mohl být umístěn v prostorách s rozsahem teplot v zadání. Já jsem z finančních důvodů použil PCD8544 z mobilního telefonu Nokia 3310. Umístění tohoto displeje do prostorů s takovými teplotami bohužel není možné, protože jeho teplotní rozsah činí -25°C do 70°C . Činnost displeje mimo tento rozsah není zaručitelná. V takovém případě je nutné displej umístit mimo a k měřenému objektu zavést pouze snímač. To stejné platí i pro použité integrované obvody.

3 TEPLOTNÍ SNÍMAČE

Teplotu lze definovat jako míru kinetické energie pohybu atomů a molekul. Je to veličina, která se nedá měřit přímo, ale prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé. Snímač teploty je funkční součástka umožňující převádět teplotu snímaného okolí na veličinu jinou. V našem případě zejména elektrickou jako je napětí, proud nebo např. střída.

Teplu je forma energie související s pohybem částic dané soustavy těles, ale není stavovou veličinou, neboť nezávisí na přítomném stavu soustavy, ale na celé minulosti vývoje této soustavy. [2]

Měření teploty se využívá v průmyslu, stavebnictví, lékařství, dopravě, energetice, v domácnostech, vytápění apod. Je nezbytným pomocníkem při automatickém řízení i jako informační hodnota pro člověka.

Problematikou měření teploty se zabývá mnoho firem, které vyrábí celou škálu snímačů i s vhodnou prezentací hodnoty - výstupem. To vše záleží na mnoha kritériích, které jsem také popsal v tomto textu.

Mezi hlavní požadavky na snímače teploty patří [1] použitelnost v širokém rozsahu teplot, lineární charakteristika snímače, rychlá odezva na změnu snímané teploty a malá tolerance snímače.

3.1 Rozdělení teplotních snímačů

Teplotní snímače lze rozdělit do několika kategorií [1]. Jednak podle jejich fyzikálního principu na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické a kapacitní. Dále dle styku s měřeným prostředím na snímače galvanicky spojené s měřeným prostředím a snímače citlivé na vyzařování těles např. pyrometry. Dále se dělí podle transformace jejich výstupních signálu na aktivní snímače (působením teploty chovají jako zdroj signálu pro následné zpracování) a pasivní snímače (ty je nutno pro získání potřebných hodnot napájet).

V praxi se používá několik základních typů snímačů. Jsou to odporové snímače, termistory, polovodičové snímače, bezdotykové snímače a termočlánky.

3.2 Odporové snímače teploty

Jedná se o kovové měřicí odpory, které jsou vyráběny převážně tenkovrstvou technologií z různých materiálů. U snímačů vinutých vodičem se používá vodičů o průměru od 0.05 do 0.03 mm, které jsou navinuty na keramická tělíska [1]. Vinutí přitom může být lineární nebo bifilární, přičemž bifilární vinutí je možné bez potíží používat v obvodech střídavého napětí (při připojení na napětí na něm nevzniká žádný induktivní tok). [1]

Jako materiál citlivý na teplotu se zde používá Platina, Nikl a Iridium. Základní vlastností odporových snímačů je lineární závislost odporu na teplotě v širokém rozsahu. Značení odporových snímačů se skládá z chemické značky materiálu snímače a hodnoty jeho odporu při vztažné teplotě $v = 0^{\circ}\text{C}$.

Materiál	rozsah teplot
Platina	<-250, +1000> °C
Nikl	<-60°C, 250> °C
Iridium	<-200°C, 600> °C

Tab. 3.1: Teplotní rozsahy odporových materiálů [1]

3.2.1 Odporový snímač Pt100

Závislost odporu snímače na teplotě lze vyjádřit dle polynomů 3.1 a 3.2. Polynomy byly získány numerickou metodou interpolace z hodnot platinového odporu Pt100.

Pro teploty nižší než 0°C platí:

$$R(t) = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3] \quad (3.1)$$

Kde R_0 je odpor snímače při teplotě 0°C a má hodnotu 100Ω .

A, B, C jsou koeficienty s následujícími hodnotami:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-13} \text{ }^\circ\text{C}$$

Pro vyjádření teploty vyšší než 0°C se používá polynomu 2.stupně:

$$\mathbf{R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2)} \quad \mathbf{(3.1)}$$

kde koeficienty A, B, C mají hodnoty:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$$

$$R_0 = 100\Omega$$

Odpor snímače Pt100 se dle přesnosti dělí do dvou tolerančních tříd označených A a B.

Odchylka měřené teploty je pro snímače třídy A dána vztahem:

$$\Delta T = \pm (0,15 + 0,002 |t|) \quad [^\circ\text{C}] \quad \mathbf{(3.2)}$$

Pro snímače třídy B je odchylka dána vztahem:

$$\Delta T = \pm (0,30 + 0,005 |t|) \quad [^\circ\text{C}] \quad \mathbf{(3.3)}$$

V případě, že použiji snímač Pt100 třídy A, pro maximální požadovanou velikost teploty 120°C dostávám chybu $\pm 0.39^\circ\text{C}$, což splňuje požadavek zadání. V případě použití snímače třídy B nevyhoví. Ze vztahů je patrné, že závislost Pt100 na teplotě není čistě lineární. Odchylka od lineární závislosti je však relativně malá a v jednodušších zapojeních je možné tuto nelinearitu zanedbat.

Tabulka hodnot odporu Pt100 pro různé hodnoty je uvedena v literatuře [2], nebo v elektronické podobě v literatuře [9]. V případě dostatečného výkonu lze vztahy 3.1 a 3.2 přímo zadat v programu mikrokontroléru.

3.2.2 Možné chyby měření odporovými snímači

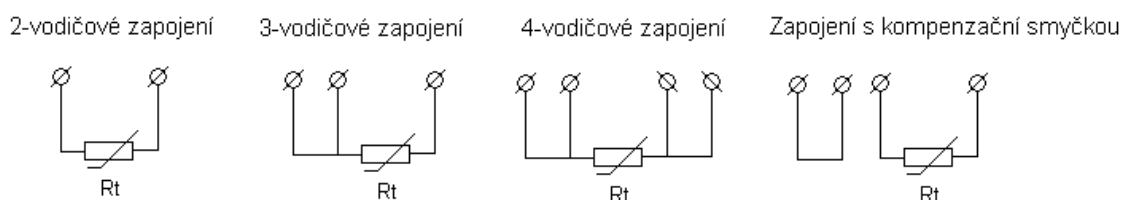
Jelikož jsou odporové snímače pasivní prvky, je potřeba je napájet. Tím vznikají dva zásadní problémy, kterými je přesnost měření ovlivněna a na které je zapotřebí při návrhu dát pozor:

- Proud protékající snímačem, který může snímač zahřívat a zkreslovat tak jeho hodnotu. Tento napájecí proud se ale zpravidla volí velmi nízký (v mém případě $I_{Pt100} < 1\text{mA}$).
- přívodním vedením, a to samotným odporem vedení, které přidává ohmickou hodnotu k odporu čidla. Vedení je potřeba kompenzovat.
- Rušení na přívodním vedení snímačů. Obecně platí, že vedení snímačů by neměla být v blízkosti vedení výkonového a to z důvodu rušivého elektromagnetického pole a jiných vlivů. Toto lze částečně potlačit použitím stíněných kabelů.

3.2.3 Problematika vzdálených odporových čidel

V případě, že je teplotní snímač připojen v těsné blízkosti A/D převodníku, je vše v naprostém pořádku a je možné jej připojit pouhým dvou vodičovým vedením. Pokud je ale vzdálen např. několik metrů, uplatňuje se zde vlastní odpor vedení. Platí, že čím je delší vedení, tím vzniká větší chyba měření. V tomto případě má chyba měření aditivní charakter.

Jako kompenzace se využívají zapojení 3-vodičové, 4-vodičové a s pomocnou – kompenzační smyčkou [2] jak je vidět na Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Typy zapojení s odporovými snímači

V průmyslu se tento problém řeší pomocí tzv. inteligentních snímačů, kdy teplotě odpovídá již linearizovaný výstup. Příkladem mohou být snímače JUMO, které měří teplotu v rozsahu od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$. V případě napěťového výstupu bude -30°C odpovídat napětí 0V a $+60^{\circ}\text{C}$ bude odpovídat napětí 10V. Pakliže používám 10bitový A/D převodník, v programu mikrokontroléru zpracovávám hodnoty 0–1023. Linearizovaný výstup může být napěťový (0-10V) nebo proudový (0-20mA nebo 4-20mA). Pokud je potřeba těchto int.snímačů připojit více, používají se průmyslové sběrnice.

3.3 Termistory

Jsou to odporové, polovodičové, polykrystalické teplotně závislé prvky. Jsou vyráběny ze směsi oxidů kovů (Mn, Co, Ni, Cu, Ti, U, aj.) a pojidla lisováním na požadovaný tvar řádu 1 až 10 mm. Poté se spékají při teplotách přes 1000°C [1,2].

Výhodou termistorů je relativně velký vnitřní odpor a tak se zde tolik neuplatňuje vliv přívodního vedení. Dále jejich malá velikost a tedy možnost implementace do špatně dostupných míst. Naopak nevýhodou je nelineární průběh charakteristiky, menší časová stálost a také nebezpečí poškození při přehřátí.

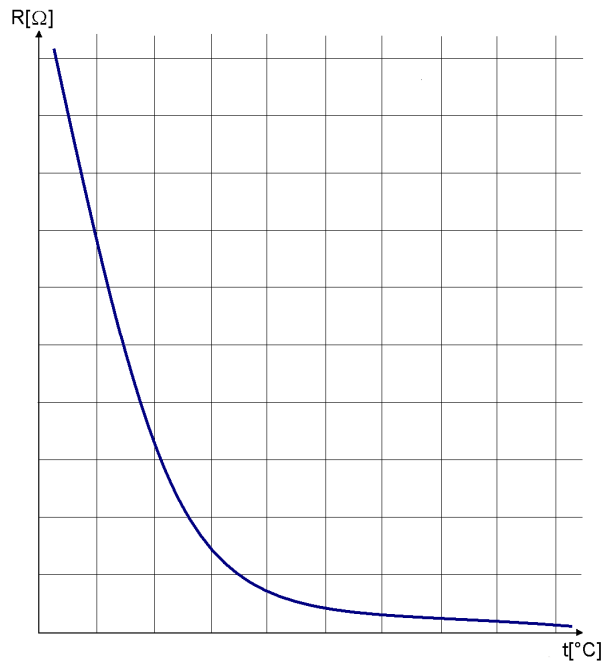
Dělí se podle poklesu či nárůstu svého odporu na teplotě v pracovní oblasti na termistory negativní – NTC a pozitivní – PTC.

3.4 NTC

Negastory - termistory se záporným teplotním koeficientem odporu. Teplotní rozsah mívají zpravidla -50°C až 200°C . Závislost odporu na teplotě má tvar

exponenciály. Při nízkých teplotách má velmi vysoký odpor a ten se vzrůstající teplotou exponenciálně klesá.

Termistory NTC se také využívají pro omezení proudových rázů, ke kterým dochází při spouštění elektronických zařízení, nebo také pro zpomalení průběhu spínání a rozpínání relé.



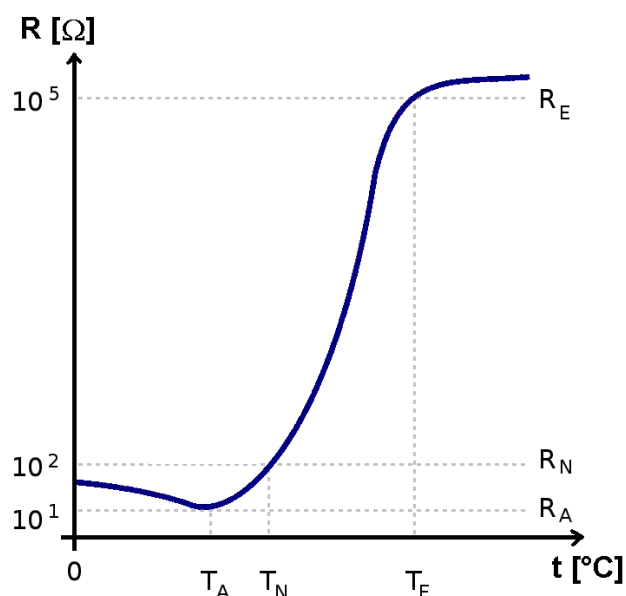
Obr. 3.2: Závislost odporu negastoru na teplotě

3.5 PTC

Pozistory - termistory s kladným teplotním koeficientem odporu. Jak je ze závislosti odporu na teplotě patrné, tak při nízké teplotě má pozistor malý záporný teplotní koeficient a po dosažení určité teploty se tento teplotní koeficient mění na kladný. V tomto zlomovém bodě má pozistor nejmenší hodnotu odporu a ta bývá označována jako počáteční. Od tohoto bodu odpor pozistoru se vzrůstající teplotou prudce stoupá. Tento bod je tzv. Curieova teplota. Za zlomovým bodem následuje pásmo nelinearity a v určitém bodě za ní již začíná pracovní oblast, která je poměrně lineární do bodu Koncové teploty. Po přesahu bodu Koncové teploty se nárůst odporu

snižuje až dosáhne limitace. Za ní je opět oblast se záporným teplotním koeficientem, ale ta se již v praxi nepoužívá.

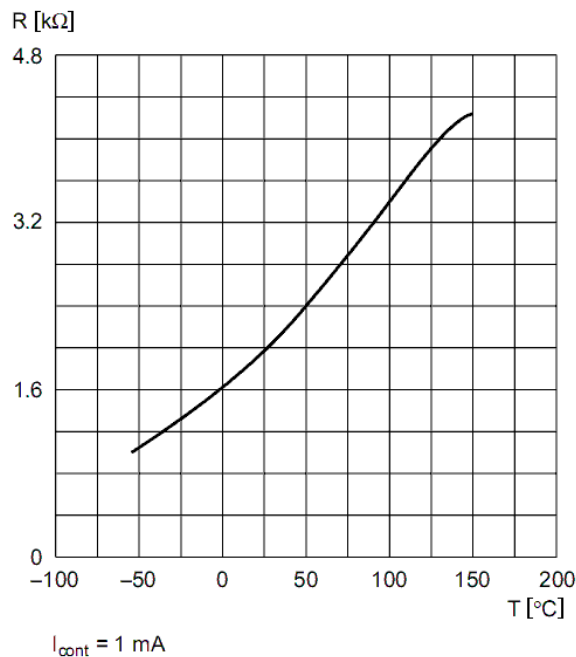
Pozistory se využívají jako snímače teploty, ale také mohou pracovat v režimu vlastního ohřevu např. jako ochranný prvek proti nadměrnému proudu či zkratu v elektrických spotřebičích. To tak, že se zapojí v sérii se spotřebičem a když nastane porucha (zkrat nebo přetížení spotřebiče), zvýší se proud procházející obvodem a pozistor se začne zahřívat. Tím roste jeho odpor a následně se omezí proud obvodem[1].



Obr. 3.3: Závislost odporu pozistoru na teplotě

3.6 Polovodičové monokrystalické snímače

Vyrábějí se z polovodičových materiálů jako je křemík, germanium nebo indium. Křemíkové monokr. snímače se v průmyslu využívají k měření teploty v rozsahu -55 až 150°C (pro větší rozsahy lze použít SiC snímače) [1]. Jsou založeny na nevlastním polovodiči typu N a jejich teplotní závislost je dána závislostí pohybu nosičů. Při stoupající teplotě díky rozptylu nosičů náboje dochází ke zpomalování těchto nosičů a odpor polovodiče stoupá.



Obr. 3.4: Teplotní závislost rezistivity křemíkového snímače KTY81 [6]

3.7 Polovodičové monolitické snímače

Mohou být s jedním nebo více PN přechody, diodové, tranzistorové a integrované. Funkce snímačů s PN přechodem je založena na využití teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Rozsahy teplot jsou od -55°C do 150°C . U tranzistorových se využívá přechodu báze – emitor v propustném směru [1].

Integrované snímače obsahují včetně PN přechodu také vlastní vyhodnocovací obvody. Ty mohou mít výstup dle typu buď proudový nebo napěťový.

3.8 Bezdotykové snímače

Pro bezdotykové měření teploty se někdy používá výraz pyrometrie. Je založeno na principu měření elektromagnetického záření vysílaného měřeným tělesem. Využívá se vlnových délek rozsahu $400\text{nm} - 2500\text{nm}$. Tento rozsah odpovídá teplotám -40°C až $+10000^{\circ}\text{C}$ [2].

Pyrometry disponují mnoha dobrými vlastnostmi, mezi které patří možnost měření teploty na pohybujících se předmětech – rychlé změny teplot, možnost měření

z bezpečné vzdálenosti a také možnost číslicového zpracování teplot celých povrchů těles – termovize. Další výhodou je, že měřiče neovlivňují žádným způsobem měřený objekt [1]. Jejich pořizovací náklady oproti ostatním snímačům jsou poněkud vyšší.

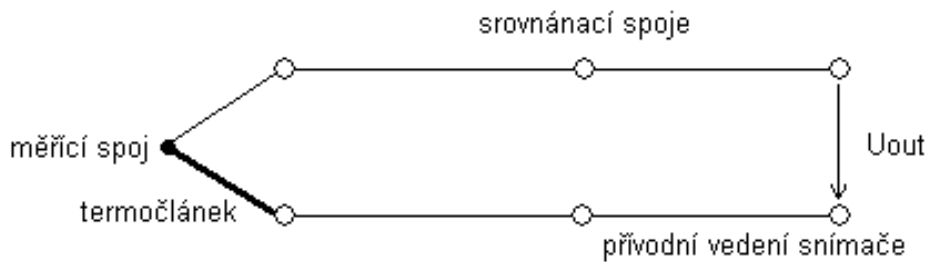
3.9 Termočlánky

Funkce termoelektrických snímačů teploty je založena na vzniku tzv. termoelektrického napětí – Seebeckův jev [2]. To vzniká při styku dvou různých kovů nebo polovodičů, jejichž konce jsou v prostředí s odlišnými teplotami. TE napětí je v řádech jednotek až desítek mV, a proto je nutné, aby byl přívodní kabel odstíněn.

Termočlánky mohou být drátové nebo plášťované. Oba se ukládají do izolačních ochranných trubiček podobně jako kovové odporové snímače Pt. Plášťované mají navíc drátky izolované, a tak se může tzv. izolovaný měřicí spoj přímo dotýkat dna ochranné trubičky. Tím se docílí kratší doby odezvy snímače.

Teplotní rozsahy termočlánků jsou různé a dělí se dle své kalibrace. Typ kalibrace nám říká písmenové označení. Např. označení K má rozsah pro -200°C – 1250°C [2].

Jako materiál na výrobu termočlánku se používají čisté kovy nebo jejich slitiny. A to podle požadovaného teplotního rozsahu. Např. do 1400°C slitiny niklu, pro ještě vyšší teploty slitiny wolframu a rhenia.



Obr. 3.5: Termočlánek

4 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH ÚDAJŮ

4.1 Možnosti měření teploty

Možností je mnoho. Záleží na mnoha kritériích, podle kterých volíme druh snímače, akční člen a prezentaci výstupní hodnoty. Záleží také na tom, v jakém prostředí budeme teplotu měřit (domácí, průmyslové, pod vodou atd.). V neposlední řadě je také cena za celé zařízení. Pokud dáváme přednost rychlé a bezpečné implementaci v průmyslu, sáhneme po programovatelném automatu s analogovým vstupem nebo rozhraním se sběrnici pro připojení více snímačů.

V praxi jsem si mohl vyzkoušet dvě z možností. Jednak metodu s programovatelným automatem a také hlavně měření teploty s mikroprocesorem, což je ta náročnější varianta. Ta bude spočívat v návrhu schéma zapojení, návrhu desky plošných spojů a také programového vybavení. Počínaje A/D převodem přes přepočty hodnot na teplotu po výstup na display. Výsledný teploměr bude zobrazovat teplotu ve stupních Celsia v rozlišení lepším než 5 desetin stupně a v rozsahu od -40 do 120°C. Podrobný rozbor tohoto úkolu je v kapitole 5.

4.2 Měření teploty s PLC

Dnešní PLC umožňují poměrně snadno měřit teplotu s pomocí modulu čidla s převodníkem tzv. „inteligentním snímačem“. Výstupy těchto převodníků mohou být buď napět'ové s rozsahem 0-10V nebo proudové s výstupem buď 0-20mA, nebo 4-20mA. Tyto signály se nazývají **unifikované**.

Výhodné je použít výstup 4-20mA, kde jsme schopni rozeznat poruchu na vedení čidla. A to jednoduše tak, že pokud snímačem protéká nulový proud – jeho výstup je 0. Toto lze v programu snadno ošetřit. Vedení unifikovaných signálů také není příliš závislé na délce přívodních vodičů – proud je ve všech prvcích proudové smyčky stejný.

Možnost vyzkoušet měřit teplotu pomocí převodníku JUMO s čidlem Pt100 a výstupem 4-20mA jsem měl s automatem OPLC firmy Unitronics.

4.2.1 Popis převodníku JUMO

Modul je navržen pro měření teploty v rozsahu od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$. To je dáno plastovým provedením obalu a příliš krátkým vývodem snímače. Pt100 umožňuje rozsah samozřejmě daleko větší. Zvoleného rozsahu -40 až $+120^{\circ}\text{C}$ by šlo dosáhnout např. převodníkem určeným pro montáž do hlavice¹ viz Obr. 4.1. Rozsah by tím byl omezen pouze doporučením výrobce. Výhodou tohoto řešení je, že se do programu PLC nemusí moc zasahovat. Zpravidla stačí jen pozměnit rozsah použitého snímače.



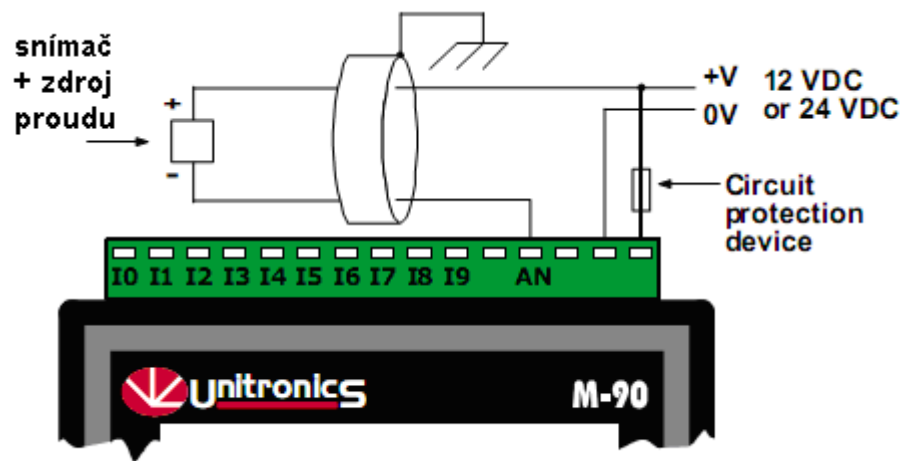
www.marinfo.cz

Obr. 4.1: Převodník určený pro montáž do hlavice

4.2.2 PLC a připojení k převodníku:

Jedná se o programovatelný automat s displejem a klávesnicí. Má jeden analogový 10-bitový vstup, který umožňuje standardní připojení snímačů s napěťovými a proudovými **unifikovanými** výstupy (0-10V, 0-20mA nebo 4-20mA) . Modul ke svému připojení využívá dvou vodičové vedení a zapojení tvoří proudovou smyčku. Na Obr. 4.2 je vidět dvou vodičové zapojení snímače v proudové smyčce. Jeden vodič se připojí na napájecí napětí 12 nebo 24V a druhý na analogový vstup automatu. V případě použití dlouhého vedení je vhodný stíněný kabel.

¹ Výrobce zpravidla udává rozsah nižší než je rozsah čidla (např 0 až 300°C nikoliv -100 až $+800^{\circ}\text{C}$). Tento rozsah je na převodníku pevný a záleží tak pouze na výběru dle aplikace.



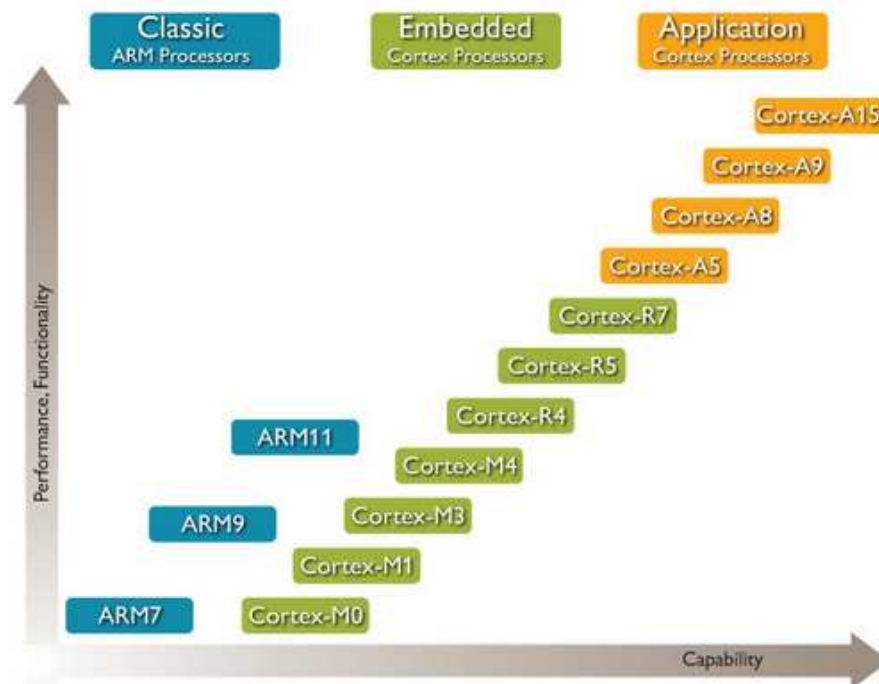
Obr. 4.2: Zapojení proudové smyčky s OPLC Unitronics [10]

5 NÁVRH TEPLoměRU S MIKROPROCESOREM ARM

5.1 Popis mikrokontroléru

Na trhu existuje velké množství mikrokontrolérů. Dnes jsou 32-bitové mikrokontroléry levné a dosáhneme za nízkou cenu vysokého výkonu. Je pro ně také dostatek vývojových nástrojů jako jsou programátory, simulátory, vývojové desky a moduly včetně nezbytného softwaru.

ARM je předním výrobcem 32bitových embedded mikroprocesorů a nabízí celou škálu procesorů založených na společné architektuře, která poskytuje vysoký výkon a velmi dobré energetické účinnosti. Mikrokontroléry ARM jsou nejvíce rozšířené v embedded aplikacích, ale jejich použití je velmi rozsáhlé. Jednotlivé řady podle vývoje a použití jsou uvedeny na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: Přehled mikrokontrolérů ARM [11]

Jako řídicí mikrokontrolér jsem zvolil jednočipový 32bitový s jádrem ARM z řady ARM7, typ AT91SAM7S32 výrobce Atmel. Jako zdroj pro jeho studium mi dobře posloužily katalogové listy výrobce.

Vlastnosti mikroprocesoru [3]:

Architektura typu RISC

Generátor hodin: 3-20MHz, s PLL násobičkou použitelných až 55MHz

32b instrukční sada, ale i 16b tzv. Thumb, kterou lze uspořit místo v paměti programu

32kB Flash interní paměť programu

8kB interní SRAM

1x USART sériový kanál

1x SPI sériová sběrnice

1x TWI (Two-Wire Interface)

Externí zdroj přerušení, individuálně maskovatelná přerušení, 8mi úrovněová priorita

20b programovatelný čítač

1x 3-kanálový 16b čítač/časovač

1x 4-kanálový 16b modul PWM

1x 8-kanálový 10b A/D převodník

Napájení: I/O piny a paměť +3,3V, jádro mikroprocesoru +1,8V, (integruje na čipu stabilizátor pro jádro 1,8V)

Pouzdro – LQFP48

21 vstupně/výstupních linek s 3V logikou, ale vstupní tolerancí 5V

Programování flash paměti pomocí rozhraní JTAG adaptéru [4] a softwaru CrossStudio for ARM v.1.5. od společnosti Rowley

Teplotní rozsah skladování mikrokontroléru je od -60 do +150°C

Provozní teplotu udává výrobce od -40 do +85°C

V programu jsou použity následující registry:

7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	PRES			CSS	

Obr. 5.2: PMC_MCKR – Registr hlavního oscilátoru [3]

CSS		Clock Source Selection
0	0	Pomalý oscilátor
0	1	Hlavní oscilátor
1	0	Rezervováno
1	1	PLL násobička

Obr. 5.3: Bity CSS registru PMC_MCKR [3]

PRES			Dělička kmitočtu oscilátoru
0	0	0	Zvolený oscilátor
0	0	1	kmitočet dělený 2
0	1	0	kmitočet dělený 4
0	1	1	kmitočet dělený 8
1	0	0	kmitočet dělený 16
1	0	1	kmitočet dělený 32
1	1	0	kmitočet dělený 64
1	1	1	Rezervováno

Obr. 5.4: Bity PRES registru PMC_MCKR [3]

31	30	29	28	27	26	25	24
PID31	PID30	PID29	PID28	PID27	PID26	PID25	PID24
23	22	21	20	19	18	17	16
PID23	PID22	PID21	PID20	PID19	PID18	PID17	PID16
15	14	13	12	11	10	9	8
PID15	PID14	PID13	PID12	PID11	PID10	PID9	PID8
7	6	5	4	3	2	1	0
PID7	PID6	PID5	PID4	PID3	PID2	-	-

Obr. 5.5: Registr PMC_PCER [3]

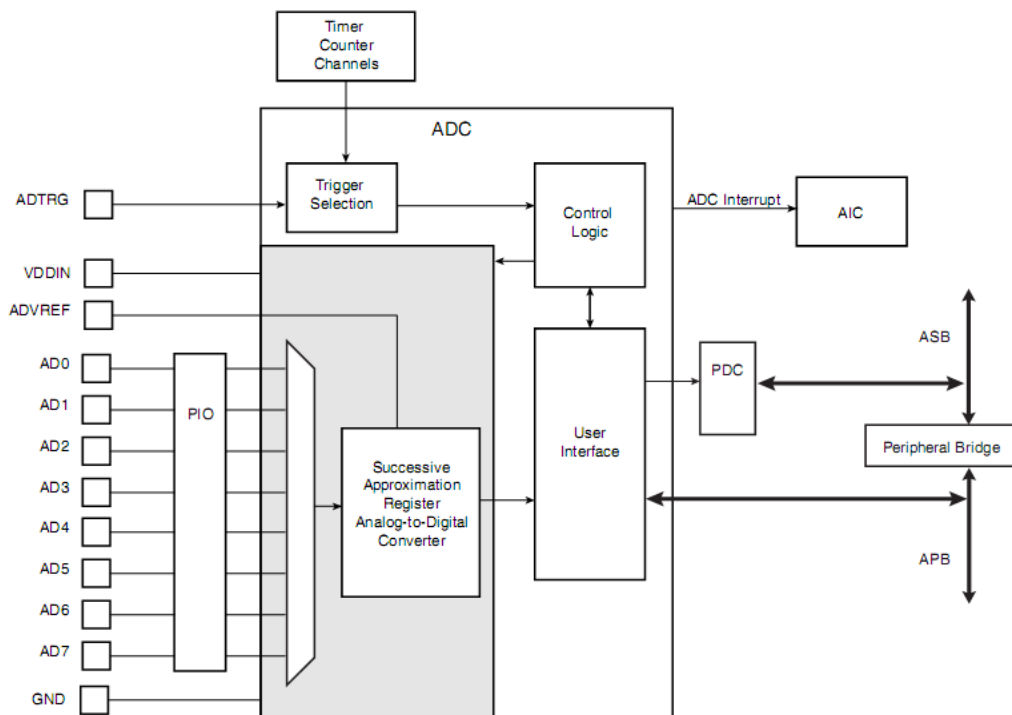
PMC (Power Management Controller) [3] řídí časování každé periferie v mikrokontroléru prostřednictvím PCC (Peripheral Clock Controller). Programátor může dle momentální potřeby povolit nebo zakázat toto časování pro port nastavením bitů PID v registru PMC_PCER (Power Management Controller - Peripheral Clock Enable Register). Pokud nemá příslušný pin nastaven tento bit, nelze na něj zapisovat

úroveň ani z něj číst. Nastavením těchto bitů na 0 lze snížit odběr proudu obvodu. Po resetu jsou bity v log.0.

Podobně tak registr PIOA_PER, ve kterém nastavením příslušného bitu aktivují příslušný pin. V registru PIOA_OER (Output Enable Registr) lze přiřadit příslušnému pinu výstup a stejně tak v registru PIOA_IER lze přiřadit funkci vstupu. PIOA_SODR a PIOA_CODR slouží k nastavení logické úrovně na pinu mikrokontroléru.

5.2 Vnitřní A/D převodník

A/D převodník (dále ADC) pracuje na principu postupné aproximace [3]. Na čipu je implementován jeden ADC a pomocí vnitřního multiplexeru lze k převodníku připojit až 8 vstupních kanálů. Jak je z Obr. 5.6 zřejmé, první čtveřice kanálů AD0-AD3 je připojena na port PIO a mohou být použity jako ostatní piny portu. Druhá čtveřice kanálů AD4-AD7 jsou na multiplexer ADC připojeny přímo. Abych ušetřil piny, které lze využít jako piny portu, používám raději jednocelové analogové vstupy AD4-AD7.



Obr. 5.6: Blokové schéma vnitřního A/D převodníku [3]

ADC má rozlišení 10 bitů a je možné tedy využít rozsahu 0..1023 což odpovídá napětí 0..ADVREF. V měřeném rozsahu 0-3.3V docílím rozlišení $3,3/1024 = 3,2\text{mV}$. Rozdíl tohoto napětí na snímači odpovídá rozdílu skutečné teploty o $0,3^{\circ}\text{C}$. ADC má vysokou rychlost vzorkování až 100ksamplů za sekundu.

Jako referenční zdroj napětí se používá vstup ADVREF na pinu 1. Stejně jako ostatní periferie lze pro úsporu proudu přepnout převodník do režimu Sleep a probudit ho, až je potřeba. Konfigurační a datové registry ADC jsou uvedeny v Tab. 5.1: Registr ADC_MR [3].

Offset	Register	Name	Access	Reset State
0x00	Control Register	ADC_CR	Write-only	–
0x04	Mode Register	ADC_MR	Read/Write	0x00000000
0x08	Reserved	–	–	–
0x0C	Reserved	–	–	–
0x10	Channel Enable Register	ADC_CHER	Write-only	–
0x14	Channel Disable Register	ADC_CHDR	Write-only	–
0x18	Channel Status Register	ADC_CHSR	Read-only	0x00000000
0x1C	Status Register	ADC_SR	Read-only	0x000C0000
0x20	Last Converted Data Register	ADC_LCDR	Read-only	0x00000000
0x24	Interrupt Enable Register	ADC_IER	Write-only	–
0x28	Interrupt Disable Register	ADC_IDR	Write-only	–
0x2C	Interrupt Mask Register	ADC_IMR	Read-only	0x00000000
0x30	Channel Data Register 0	ADC_CDR0	Read-only	0x00000000
0x34	Channel Data Register 1	ADC_CDR1	Read-only	0x00000000
0x38	Channel Data Register 2	ADC_CDR2	Read-only	0x00000000
0x3C	Channel Data Register 3	ADC_CDR3	Read-only	0x00000000
0x40	Channel Data Register 4	ADC_CDR4	Read-only	0x00000000
0x44	Channel Data Register 5	ADC_CDR5	Read-only	0x00000000
0x48	Channel Data Register 6	ADC_CDR6	Read-only	0x00000000
0x4C	Channel Data Register 7	ADC_CDR7	Read-only	0x00000000

Tab. 5.1: Registr ADC_MR [3]

Před použitím ADC je třeba jej nakonfigurovat pomocí config. registru ADC_MR, který je uveden na Obr. 5.7.

31	30	29	28	27	26	25	24	
-	-	-	-	SHTIM				
23	22	21	20	19	18	17	16	
-	-	-	STARTUP					-
15	14	13	12	11	10	9	8	
-	-	PRESCAL						-
7	6	5	4	3	2	1	0	
-	-	SLEEP	LOWRES	TRGSEL		TRGEN		

Obr. 5.7: Registr ADC_MR [3]

Význam jednotlivých bitů tohoto registru je následující:

TRGEN (Trigger Enable)

1 = spouštění převodu hardwarově, tímto lze spustit převod náběžnou hranou na pinu PA8 s funkcí ADTRG.

0 = pouze softwarové spouštění převodu

TRGSEL (Trigger Select) - vstup spouště

0, 0, 0 = přetečení modulu TimerCounter0

0, 0, 1 = přetečení modulu TimerCounter1

1, 1, 0 = externí spoušť

ostatní hodnoty jsou jako rezerva.

LOWRES (Resolution)

bit nastavení rozlišení ADC, 0 = 10bitové, 1 = 8bitové

SLEEP

0 = normální režim, 1 = režim spánku

V režimu spánku se periferie A/D převodníku vypnou. Sníží se tím odběr proudu.

PRESCALL (Prescaler rate selection)

nastavení předděliče taktovacího kmitočtu převodníku. Může nabývat hodnot 0-63.

Hodinový kmitočet A/D převodníku je dán vztahem:

$$\mathbf{ADCClock = MCK / ((PRESCAL+1) * 2)} \quad \mathbf{(5.1)}$$

kde MCK je kmitočet hlavního oscilátoru

STARTUP

Startup Time je doba, kterou trvá návrat z nečinného režimu, např. z režimu Sleep.

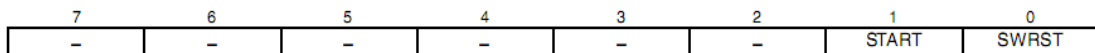
Může nabývat hodnot 0-31. Maximální tato doba je 20us. Tato doba je dána vztahem:

$$\mathbf{Startup\ Time = (STARTUP+1) * 8 / ADCClock} \quad \mathbf{(5.2)}$$

SHTIM

Je to doba, která je nezbytná pro zaručení dobrého výsledku převodu. Zejména při volbě dalšího kanálu ADC. Může nabývat hodnot 0-15. Pro toto zdržení platí:

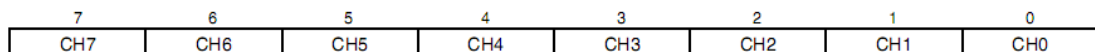
$$\mathbf{Sample\ \&\ Hold\ Time = (SHTIM+1) / ADCClock} \quad \mathbf{(5.3)}$$



Obr. 5.8: Registr ADC_CR [3]

Bitem SWRST lze resetovat ADC

Bitem START spustíme A/D převod



Obr. 5.9: Registr ADC_CHER [3]

Registr AD_CHER umožňuje zvolit aktuálně převáděný kanál. Bit pro převáděný kanál se nastaví do 1. Jedničkou v příslušném bitu EOC je signalizováno dokončení A/D převodu pro příslušný vstup.

31	30	29	28	27	26	25	24
-	-	-	-	-	-	-	-
23	22	21	20	19	18	17	16
-	-	-	-	RXBUFF	ENDRX	GOVRE	DRDY
15	14	13	12	11	10	9	8
OVRE7	OVRE6	OVRE5	OVRE4	OVRE3	OVRE2	OVRE1	OVRE0
7	6	5	4	3	2	1	0
EOC7	EOC6	EOC5	EOC4	EOC3	EOC2	EOC1	EOC0

Obr. 5.10: Stavový registr ADC_SR [3]

EOC (End Of Conversion)

Tyto bity udávají stav dokončení převodu na příslušném A/D kanálu.

OVRE (OVERRun Error)

Příslušný bit OVRE se nastaví když před příchodem nových převedených dat nebyl výsledek v registru ADC_CDR přečten.

DRDY (Data ReaDY)

Tento bit indikuje, zda byla nějaká data převedena od posledního čtení z registru ADC_LCDR.

GOVRE (General OVERRun Error)

Podobně jako u příznaku OVRE. Bit se nastaví když DRDY je v log.1 a příslušný registr ADC_CDR není od posledního převodu přečten.

Oba bity OVRE a GOVRE jsou automaticky smazány při čtení z registru ACD_SR.

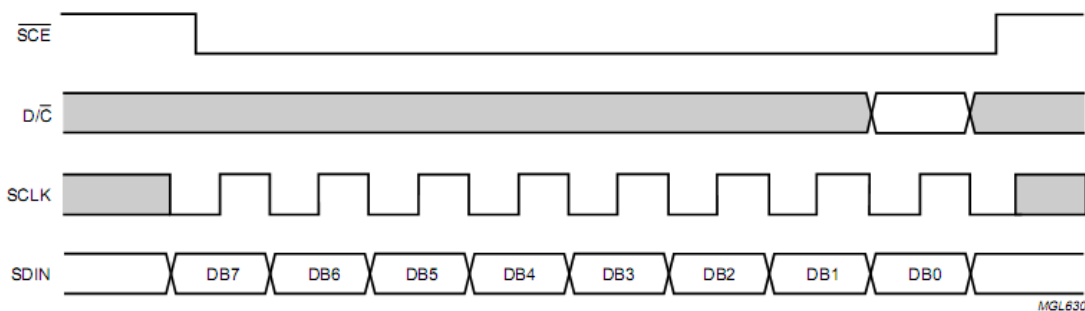
5.3 Grafický displej

Z cenových důvodů jsem použil grafický displej PCD8544 firmy Philips. Tyto displeje jsou používány např. v mobilních telefonech Nokia 3310. Displej má rozlišení 84x48 pixelů. Jeho výhodou je malá hmotnost a velikost. Nevýhodou je, že displej neobsahuje podsvícení. V případě potřeby je podsvícení nutno řešit např. umístěním LED diod na spodní straně displeje.

Komunikace s displejem probíhá po sériové sběrnici obsahující 4 vodiče:

- /SCE - výběr obvodu
- D/C - určuje, zda se do displeje zapisují data nebo příkazy
 - 0 ... Příkazy
 - 1 ... Data
- SCLK - hodinový signál
- SDIN - po tomto vodiči do displeje vstupují sériová data

K napájení displeje slouží vývody VDD a GND. Pro napájení LCD vývod VOUT. Použití sériové sběrnice vede k úspoře vodičů na mikroprocesoru i k zjednodušení desky plošných spojů. Časová závislost jednotlivých signálů je uvedena na Obr. 5.11.

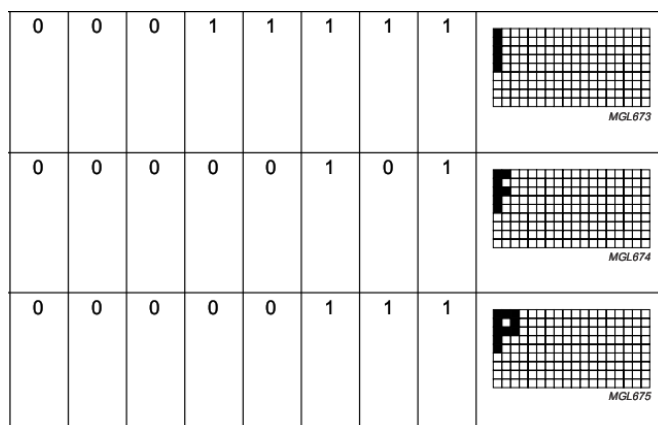


Obr. 5.11: Signály řízení displeje [5]

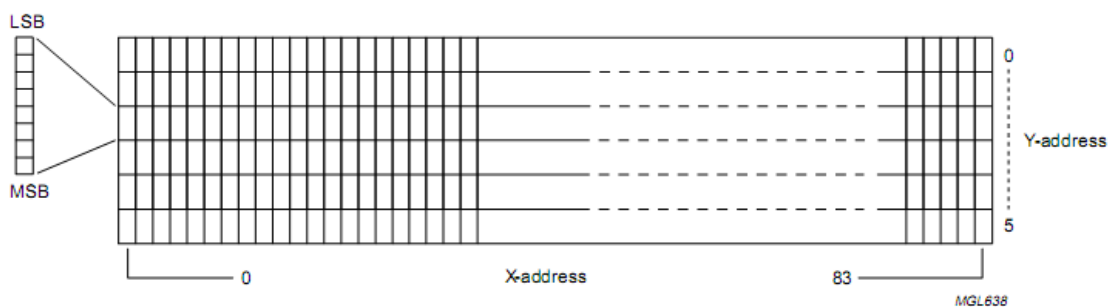
Komunikace s displejem, jak je z obrázku patrné funguje tak, že se na signál /SCE přivede logická 0. Tím se obvod na sběrnici aktivuje. Na datový vodič SDIN se přivede MSB (Most Significant Bit) tedy sedmý bit a potvrdí se kladným impulsem na SCLK. Protože komunikace probíhá po bytech, postupně se zapíše do vstupního registru displeje všech 8 bitů.

Displej lze adresovat jak horizontálně, tak vertikálně. Při horiz. adresování (Obr. 5.14) se přijaté byty vykreslují napravo a po každém přijatém bytu se x-ová pozice automaticky inkrementuje. Při vertikálním adresování (Obr. 5.15) se byty vykreslují pod sebou. Zde se automaticky inkrementuje y-ová pozice. Pokud pozice dosáhne konce

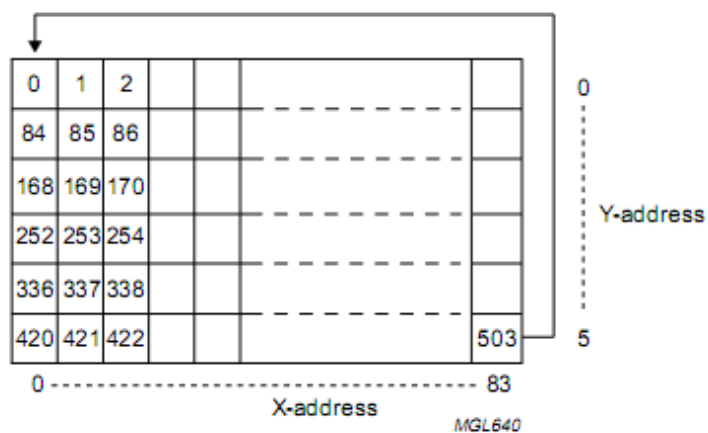
řádku nebo sloupce, automaticky přejde na další. Vzhledem k tomu, že displej nedisponuje vlastní znakovou sadou, je nutné (pokud je potřeba psát na display text) si ji vytvořit softwarově např. do tabulky v mikroprocesoru. Takto mám v mikroprocesoru uloženou celou ASCII sadu. Voláním příslušné funkce se pak v cyklu vykreslí celý znak. Například pro písmeno „P“ to znamená vykreslit 3 byty (Obr. 5.12).



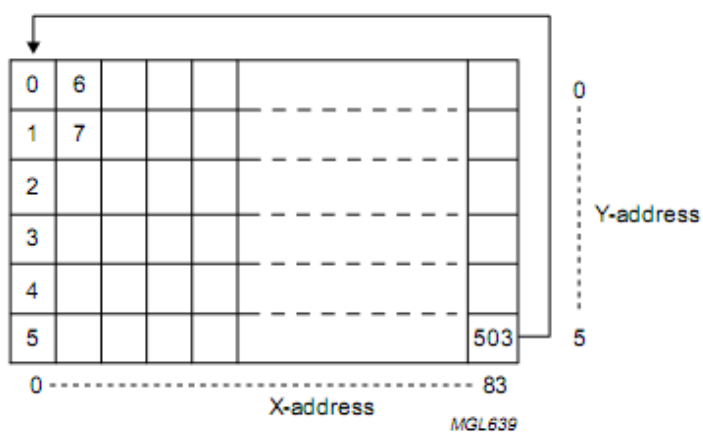
Obr. 5.12: Postupné vykreslování písmene „P“ [5]



Obr. 5.13: Rozmístění bodů displeje a jejich adresování [5]



Obr. 5.14: Horizontální adresování displeje [5]



Obr. 5.15: Vertikální adresování displeje [5]

5.4 Popis celkového zapojení

Navrhovaný elektronický teploměr se skládá z následujících tří částí:

- Vstupní obvod – zajišťuje přizpůsobení přivedeného signálu ze snímače pro další výpočty a zpracování.
- Řídící část – zpracovává naměřené hodnoty a prezentuje na displeji.
- Napájecí část a zdroj

5.4.1 Vstupní obvod - měřicí část

Napájecí část snímače tvoří integrovaný stabilizátor IC5 s výstupním napětím 3,3V a filtrace C21÷C24. Víceotáčkový trimr R8 slouží jako etalon pro nastavení nejnižší měřené teploty -40°C. Hodnota odporu Pt100 při této teplotě činí 84,27Ω. Spolu s rezistorem R11 funguje R8 jako dělič napětí. Pro rezistory R10 a R11 jsem zvolil hodnotu 2k7, aby měřicím čidlem neprotékal proud vyšší než 1mA. Jeho výsledný odpor by pak mohl být vlivem protékajícího proudu zatížen chybou. Přes CON2 je připojen externí teplotní snímač Pt100, který je zapojen čtyřvodičově z důvodu kompenzace odporu přívodních kabelů. Kondenzátor C25 slouží jako dolní propust pro filtraci rušivých signálů okolí vzdáleného snímače.

Signál z R8 je přiveden na neinvertující vstup operačního zesilovače (OZ) IC6B. Tomuto zapojení se říká „Napěťový sledovač“. Stejně tak je upraven i signál z referenčního rezistoru R8 na IC6A. IC8A je v zapojení jako „Rozdílový zesilovač“. Jeho zesílení je dáno rezistory R14, R15 a R12,R13 ve vztahu (5.5). Rezistory R13 a R15 musí mít stejnou hodnotu a R12 a R14 také. To aby se vytvořily pro každý ze vstupních signálů stejné podmínky.

$$A_u = \frac{R13}{R12} = \frac{R15}{R14} \quad (5.4)$$

Kde A_u je zesílení rozdílového zesilovače.

Napětí na teplotním snímači proti zemi se zesílí a porovná s napětím na R8. Rozdíl napětí je přiveden na rozdílový zesilovač. Pro ochranu A/D vstupu mikroprocesoru jsem využil napájecího napětí pro OZ 5V. Docílí se tím, že se na výstupu neobjeví vyšší napětí, než je právě napájecí. Dobrou a nezbytnou vlastností je, že nedojde ke ztrátě ani deformaci signálu. Upravený analogový signál je zpracováván přímo v mikroprocesoru. Zde dochází k vlastnímu A/D převodu. Jako V_{ref} pro převodník je bráno napětí z referenčního zdroje IC5 a ten nám poskytuje +3,3V.

5.4.2 Řídící část

Jádrem celého teploměru je mikrokontrolér, který je podrobně popsán na začátku této kapitoly. Jeho zapojení se týká především přivedení analogového signálu, programovacího rozhraní JTAG, externí zapojení PLL násobičky, zapojení napájecích přívodů a vývodu reset.

Obvod s R1, C14 a C15 je externí zapojení PLL násobičky kmitočtu dle katalogových listů výrobce [3]. Q1, C12 a C13 tvoří hlavní oscilátor. Kmitočet krystalu jsem zvolil 5MHz, protože pro tuto aplikaci postačuje². V případě potřeby vyšší rychlosti pak stačí jen v programu změnit hodnoty v registru PMC_MCKR.

Obvod IC2 s R6 tvoří resetovací blok mikroprocesoru. Reset je aktivní v log. „0“ tedy sestupnou hranou.

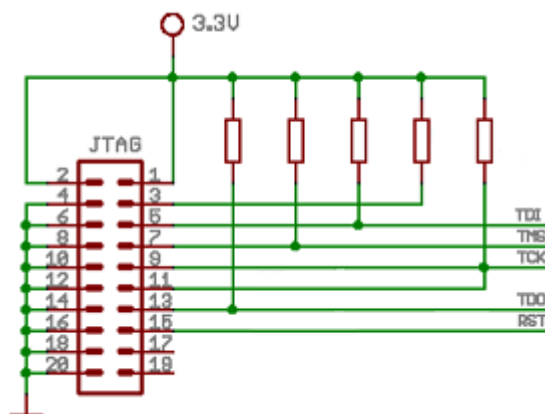
5.4.3 Programovací rozhraní JTAG

Zkratka (Joint Test Action Group) vznikla snahou o vytvoření dohody o stanovení konstrukce integrovaných obvodů. Dříve toto rozhraní bylo používáno pro testování desek plošných spojů nebo sub-bloků uvnitř integrovaného obvodu [7].

Pomocí tohoto rozhraní lze programovat mnoho obvodů. Má spoustu výhod i v tom, že se dá program v jednočipu příjemně ladit, krokovat a nebo se lze přímo přesunout na místo v programu. Pro komunikaci využívá 4 signály. Pátý slouží jako reset. Programovací rozhraní se připojuje na desce přes 8 pinový konektor CON1. Originální konektor je však 20ti pinový (Obr. 5.16).

R2 ÷ R5 ve schématu jsou PULL-UP rezistory, zapojeny dle katalogového listu tohoto rozhraní.

² Na tuto aplikaci není důležitá přesnost krystalu. Je však důležité dodržet rozmezí a to je 3-20MHz. Časová zpoždění pro řízení displeje vzhledem k taktu 5MHz není třeba programově ošetřit.



Obr. 5.16: Zapojení rozhraní JTAG včetně standardního 20ti pinového konektoru

Popis řídicích vodičů [4]

TDI - (Test Data In), datový vstup

TDO - (Test Data Out), datový výstup

TCK - (Test Clock), hodinový signál, není závislý na oscilátoru mikroprocesoru

TMS - (Test Mode Select input),

nTRST - (non Test ReSeT), resetovací signál

Z popisu signálů je patrné, že komunikace je obousměrná a sériová.

5.4.4 Napájecí část a napájecí zdroj

Použité obvody teploměru vyžadují stejnosměrné napájecí napětí 5V a 3,3V. Nejprve stabilizují napětí 5V obvodem IC10. Použil jsem integrovaný stabilizátor typu 78L05. Minimální vstupní napětí tohoto stabilizátoru je 7V. Maximální 25V. Napětí za IC10 slouží k napájení operačních zesilovačů. Za IC10 je připojen stabilizátor IC3 pro stabilizaci napětí 3,3V. Toto napětí je použito pro napájení mikrokontroléru a displeje. C17 a C20 jsou filtrační kondenzátory, které udává výrobce stabilizátoru ve svých katalogových listech [8].

Mikrokontrolér má v sobě integrovaný stabilizátor pro napájení jádra 1,8V, které je vyvedeno z pinu VDDOUT na VDDCORE a VDDPLL. Všechny tyto napájecí piny jsou odfiltrovány blokovacími kondenzátory C2 ÷ C11 dle doporučení výrobce Atmel [3].

Pro nízký odběr proudu lze taktéž použít i bateriové napájení. Celkový odběr teploměru se při napájecím napětí 12V pohybuje okolo 20mA. Odběry proudů pro display, mikrokontrolér a operační zesilovač jsou uvedeny v Tab. 5.2. Uvedené hodnoty jsou z katalogových listů.

Použité obvody	Napájecí napětí [V]	Odběr proudu typicky [mA]
PCD8544	3,3	0,24
AT91SAM7S32	3,3	20 ³
TLC272	5	1,4

Tab. 5.2: Hodnoty napájecích napětí a proudů jednotlivých IO

5.5 Realizace a oživení

Zařízení bylo realizováno na dvoustranné desce plošných spojů. Schéma i deska byla navržena v softwaru Eagle, který obsahuje také potřebné knihovny součástek. Realizace mikroprocesorového systému proběhla v domácích podmínkách a výrobu desky jsem realizoval fotocestou. Deska je z jedné strany osazena součástkami SMD a z druhé součástkami s drátovými vývody. Bylo tak možné použít pouze jednostranně tištěný spoj. Po osazení a důsledné kontrole desky bylo možno přistoupit k oživení zařízení. Často se vyskytnou propoje zejména při letování mikroprocesoru. Ty bylo třeba odstranit. Po připojení napájecího napětí by odběr proudu neměl přesáhnout 35mA. Po kontrole napětí na výstupech stabilizátorů bylo možno přistoupit k naprogramování mikrokontroléru.

Pro oživení teploměru je nejdříve nutné ověřit funkčnost mikrokontroléru. Postupuji tak, že na některém pinu portu nastavím log.0 a na jiném log.1. Protože zapojení neobsahuje žádné indikační prvky, kterými bych ověřil tyto stavy, je nutné tyto logické úrovně změřit voltmetrem (0 odpovídá 0V a 1 odpovídá 3,3V). Pakliže je

³ Odběr proudu mikrokontroléru se velmi liší v závislosti na taktovacím kmitočtu a počtu používaných periférií. Tato hodnota platí pro všechny piny aktivní.

možné na příslušných pinech tyto hodnoty naměřit, lze přistoupit k psaní řídicích rutin displeje. Po zápisu inicializačních instrukcí do displeje, je možné do něj zapisovat data. Po oživení komunikace s displejem, bylo možné přistoupit k měření teploty a jejímu zobrazování.

V zapojení je jeden nastavovací prvek a to trimr R8, který slouží k nastavení dolní hranice teploty. Ten bylo třeba nastavit na hodnotu $84,27\Omega$. Tento odpor odpovídá odporu snímače při teplotě -40°C . Provedl jsem to tak, že jsem místo snímače připojil další víceotáčkový trimr a tím nastavil $84,27\Omega$. Na displeji jsem zobrazoval změřený odpor a jemu odpovídající teplotu. Externím trimrem jsem pootáčel do chvíle, než se na výstupu rozdílového zesilovače objevilo 0mV . Toto napětí odpovídá teplotě -40°C .

5.6 Softwarové vybavení

Pro vývoj softwarového vybavení mikrokontroléru jsem zvolil prostředí CrossStudio for ARM v.1.5. od společnosti Rowley. Lze v něm dosáhnout určitého komfortu programování, protože obsahuje kompilátor jazyka C. Kompilátor lze nastavit jak pro plnohodnotné 32b instrukce ARM, tak pro redukovanou 16b instrukční sadu THUMB. Důležitým prvkem je Debug, který umožní ladění aplikace za běhu. Pro ladění stačí připojit rozhraní JTAG k paralelnímu portu PC a v aplikaci CrossStudio zvolit Menu Target→Connect Macraigor Wiggler. Pokud proběhne připojení, lze spustit ladění programu Menu Debug→Start Debugging. Po kompilaci je výsledkem buď soubor hex nebo bin. To je možné nastavit.

Program začíná deklarací knihoven. Zde používám hlavičkový soubor “AT91SAM7S32.h”, kde jsou deklarovány všechny použité registry. A hlavičkový soubor pro matematické operace “math.h”.

Dále je v programu definice symbolických konstant, funkcí a globálních proměnných. Jsou zde definována pole s daty pro zobrazení grafiky na displeji a téměř celá sada znaků ASCII. Ta se využívá pro pohodlné psaní textu na display.

Následuje hlavní rutina “main” ze které jsou nejprve volány inicializační funkce. Inicializace mikrokontroléru:

```
init_cpu();
```

a inicializace displeje:

```
init_lcd();
```

Poté se na displeji zobrazí Úvodní text a logo fakulty:

```
//zobrazení textu Bakalářská práce, Libor Křeček, VUT
```

```
put_message(0, 0, filp, ((sizeof(fil))-1));
```

```
delay(300000);
```

```
//ukázka zobrazení grafiky, Logo FEKT VUT
```

```
put_map(0);
```

```
delay(300000);
```

Následuje hlavní smyčka programu, v které se volá funkce měření teploty. Dále se zde převádí teplota na číslo a zobrazuje na displeji s průvodním textem. Pro účely zkoušení bylo vhodné zde ponechat zobrazování hodnoty odporu Pt100. Odpor se zobrazuje na prvním řádku a teplota na druhém.

```
while(1)
```

```
{
```

```
measure(); //volání funkce měření teploty
```

```
TMP = (int)Pt100; //přetypování float na int do proměnné TMP
```

```
dec_to_bcd(TMP); //převodu číslo TMP na dekády do proměnných cfr
```

```
clr_lcd(); //smazání staré hodnoty
```

```
put_char('P'); //zobrazení textu „Pt100 = „
```

```
put_char('t');
```

```
put_char('1');
```

```
put_char('0');
```

```
put_char('0');
```

```
put_char(' ');
```

```
put_char('=');
```

```
put_char(' ');
```

```

put_char(cfr3);           //zobrazení čtvrté cifry
put_char(cfr2);           //zobrazení třetí cifry
put_char(cfr1);           //zobrazení druhé cifry
put_char('.');           //zobrazení desetinné tečky
put_char(cfr0);           //zobrazení první cifry
put_char(' ');           //zobrazení textu „ ohm“
ut_char('o');
put_char('h');
put_char('m');

//Na druhém řádku se zobrazí teplota, postup je podobný jako u zobrazování odporu
TMP = (int)T;             //přetypování float na int do proměnné TMP
dec_to_bcd(TMP);         //prevedu cislo na dekady do proměnných cfr
put_char('T');           //zobrazení textu „T = „
put_char(' ');
put_char('=');
put_char(' ');
if(neg==1)               //Pokud je teplota záporná, zobrazí se znaménko minus
    put_char('-');
if(T>=1000)               //Pokud je teplota menší než 100, nezobrazí se čtvrtá cifra
    put_char(cfr3);       //zobrazení čtvrté cifry
if((T<=-100) || (T>=100)) //Pokud je teplota větší nebo menší než 10, nezobrazí se
    put_char(cfr2);       //třetí cifra
put_char(cfr1);           //zobrazení druhé cifry
put_char('.');           //zobrazení desetinné tečky
put_char(cfr0);           //zobrazení první cifry
put_char(' ');           //zobrazení textu „ °C“
put_char('°');
put_char('C');

delay(50000);           //zpoždění mezi novou hodnotou
}

```

5.6.1 Inicializace mikrokontroléru

Zde se přednastavuje vnitřní chování mikrokontroléru. Bez tohoto nastavení by nepracoval správně. Jde zejména o rychlost hodinového oscilátoru, aktivování příslušných pinů portu a inicializační nastavení A/D převodníku. Podrobný popis registrů je na začátku kapitoly 5.

```
//Nastavení rychlosti hlavních hodin
```

```
PMC_MCKR = 0x00000005;
```

```
//Hodiny na příslušné piny portu PIO
```

```
PMC_PCER |= 0x00000251;
```

```
//Aktivace příslušných pinů portu
```

```
PIOA_PER = 0x00000251;
```

```
//Nastavení, které piny budou výstupy (všechny)
```

```
PIOA_OER = 0x00000251;
```

```
//Nastavení AD převodníku
```

```
ADC_MR = 0x070f0f00;
```

```
//výběr kanálu A/D převodníku
```

```
ADC_CHER = 0x00000040;
```

```
//Všechny vývody do log. 0
```

```
PIOA_CODR = 0x00000251;
```


5.6.2 Inicializace grafického displeje

Dříve než začnu něco zobrazovat na displeji, je nutné ho také patřičně nastavit. K tomu slouží vlastní instrukce displeje. Data posílám po bytech a přesun řeším programově. Byte posílám po bitech od MSB po LSB. Vzhledem k tomu, že kontrolér displeje je velmi rychlý, není třeba nastavovat v ARMu nějaká zpoždění. Při taktu 5MHz displej stíhá a zobrazování je tak poměrně rychlé.

Inicializace vyžaduje 4 instrukce:

```
//zapnutí displeje, nastavení horizont. adresování a zapnutí rozšířené instrukční sady
```

```
#define      D_SETUP      0x21
```

```
//nastaveni kontrastu (bity V0P)
```

```
#define      D_CONTR      0x90
```

```
//prepnout na normalni instrukcni sadu
```

```
#define      D_N_IS       0x20
```

```
//zapnout normalni rezim displeje
```

```
#define      D_NMODE      0x0C
```

```
PIOA_SODR = 1 << RES; //vývod reset na 1
```

```
//zavoláním funkce write_com s příslušnými vstupními hodnotami se provede zapis instrukce do řadiče displeje.
```

```
write_com(D_SETUP);
```

```
write_com(D_CONTR);
```

```
write_com(D_N_IS);
```

```
write_com(D_NMODE);
```

Instrukce jsou také uvedeny v Tab. 5.3.

INSTRUCTION	D/ \bar{C}	COMMAND BYTE								DESCRIPTION
		DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	
(H = 0 or 1)										
NOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	no operation
Function set	0	0	0	1	0	0	PD	V	H	power down control; entry mode; extended instruction set control (H)
Write data	1	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	writes data to display RAM
(H = 0)										
Reserved	0	0	0	0	0	0	1	X	X	do not use
Display control	0	0	0	0	0	1	D	0	E	sets display configuration
Reserved	0	0	0	0	1	X	X	X	X	do not use
Set Y address of RAM	0	0	1	0	0	0	Y ₂	Y ₁	Y ₀	sets Y-address of RAM; 0 ≤ Y ≤ 5
Set X address of RAM	0	1	X ₆	X ₅	X ₄	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	sets X-address part of RAM; 0 ≤ X ≤ 83
(H = 1)										
Reserved	0	0	0	0	0	0	0	0	1	do not use
	0	0	0	0	0	0	0	1	X	do not use
Temperature control	0	0	0	0	0	0	1	TC ₁	TC ₀	set Temperature Coefficient (TC _x)
Reserved	0	0	0	0	0	1	X	X	X	do not use
Bias system	0	0	0	0	1	0	BS ₂	BS ₁	BS ₀	set Bias System (BS _x)
Reserved	0	0	1	X	X	X	X	X	X	do not use
Set V _{OP}	0	1	V _{OP6}	V _{OP5}	V _{OP4}	V _{OP3}	V _{OP2}	V _{OP1}	V _{OP0}	write V _{OP} to register

Table 2 Explanations of symbols in Table 1

BIT	0	1
PD	chip is active	chip is in Power-down mode
V	horizontal addressing	vertical addressing
H	use basic instruction set	use extended instruction set
D and E	display blank normal mode all display segments on inverse video mode	
TC ₁ and TC ₀	V _{LCD} temperature coefficient 0 V _{LCD} temperature coefficient 1 V _{LCD} temperature coefficient 2 V _{LCD} temperature coefficient 3	

Tab. 5.3: Instrukční sada displeje PCD8544 [5]

5.6.3 Funkce measure

Slouží k naměření hodnoty na analogovém vstupu AD6 a zajišťuje výpočet teploty z této hodnoty. Nejprve je nutné definovat lokální proměnné a spustit A/D převod nastavením 1.bitu START v registru ADC_CR. Potom se testuje příznak dokončení převodu - 6.bit registru ADC_SR.

```
//definice lokálních proměnných
```

```
float IR8=6.6e-4, UPt100, div=3.252, Au=42.4, dUmV, UR8mV=53.7;
```

```
ADC_CR = 0x00000002;
```

```
//zapni AD převod
```

```
while(!(ADC_SR & 0x00000040));
```

```
//čeká na konec převodu
```

Po A/D převodu je převedené napětí ze vstupu AD6 dostupné v registru ADC_CDR6. Registr však neobsahuje napětí ve voltech, nýbrž hodnoty 0-1023. Následujícím výpočtem se tato hodnota přepočítá na rozdíl napětí mezi snímačem a referenčním odporem v mV (proměnná dUmV). Dále se ze známých hodnot vypočítá napětí na snímači (proměnná UPt100) a jeho odpor (proměnná Pt100). Teplota se vypočítá ze vztahu (5.8). Tento vztah byl získán z polynomu (5.8) výpočtem z matlabu v příloze A.

$$T = (\sqrt{A*A*R_0*R_0 - 4*B*R_0*R_0 + 4*B*Pt100*R_0} - A*R_0)/(2*B*R_0)$$

(5.5)

Kde A, B a R_0 jsou konstanty uvedené v kapitole 3.2.1. Pt100 je odpor snímače.

Při výpočtu teploty zanedbávám polynom pro výpočet záporných teplot, protože pro přesnost plně postačuje polynom pro kladné teploty.

Poté se ve funkci zjišťuje, jestli je teplota kladná či záporná. Podle toho se nastaví příznak. Používá se to v rutině main na zobrazování znaménka mínus. Na závěr teplotu vynásobím konstantou 10. Takto se získá celé číslo a neztratí se desetina.

```
void measure(void)
```

```
{
```

```
float IR8=6.6e-4, UPt100, div=3.252, Au=42.4, dUmV, UR8mV=53.7;
```

```
ADC_CR |= 0x00000002;
```

```
while(!(ADC_SR & 0x00000040));
```

```

dUmV = div*ADC_CDR6;
UPt100 = ((dUmV/Au)+UR8mV)/1000;
Pt100 = UPt100/IR8;
T = ((sqrt(0.1758481 - Pt100*2.31e-4)) - 0.39083)/(-1.155e-4);

if(T>=0) neg=0;
if(T<0)
{
    T = T*(-1);
    neg=1;
}

T = T*10;
Pt100 = Pt100*10;
return;
}

```

Algoritmus funkce main je společně s funkcí měření teploty blokově zobrazen v příloze. Program obsahuje ještě další funkce o kterých nebyla zmínka. Jsou to:

```

//převeďte číslo typu integer na 4 dekády, výsledkem jsou 4 proměnné
void dec_to_bcd(int dec);

```

```

//smaže obsah paměti displeje, používá se při překreslování
void clr_lcd (void);

```

```

//zapíše do displeje instrukci, její vstupní proměnnou je kód instrukce
void write_com(int n);

```

```

//zapíše do displeje data, jejím vstupem je byte zapisovaný do displeje
void write_data(int n);

```

```
//zpoždovací smyčka
```

```
void delay(unsigned long t);
```

```
//tato funkce vypíše na displej 1 znak
```

```
void put_char(int asc);
```

```
//tato funkce vypíše na displej textovou zprávu. Vstupem je pozice na displeji, index
```

```
//zprávy a počet znaků ve zprávě
```

```
void put_message(int pos_x, int pos_y, unsigned char *mess, int sizem);
```

```
//vykreslí na displej celou bitmapu uloženou v poli, překreslí grafikou celý display
```

```
void put_map(int map);
```

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce jsem navrhl, realizoval a odzkoušel mikroprocesorem řízený teploměr, který umožňuje měřit teploty v rozsahu -40 až $+120^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Jako snímač je použit Pt100-A.

Již nějakou dobu se zabývám mikroprocesory ARM, a tak jsem pro tuto aplikaci použil ten z nejnižší řady. Procesor nemusí běžet na plný výkon, tím se sníží i odběr proudu. Deska plošných spojů je navržena pro součástky SMD a tím se celý teploměr stal poměrně kompaktním.

Display ukazuje teplotu v daném rozsahu s přesností danou A/D převodníkem. Pro 10-bitový převodník odpovídá 1024 hodnot teploty. Rozlišení pro zadaný rozsah tedy odpovídá 0.3°C .

Provozní teplota displeje je v rozsahu -25°C až 70°C . Provozní teplotu mikrokontroléru udává výrobce od -40 do $+85^{\circ}\text{C}$. Pakliže by teploměr měl měřit nad rámec zadaného rozsahu, měl by být umístěn mimo měřený objekt. S objektem může být ve styku pouze snímač.

Vzhledem k použitému mikrokontroléru se nabízí další možnosti rozšíření teploměru. Např. o archivaci teplot, zaznamenání maximální a minimální teploty nebo zobrazování průběhu teploty v grafu. V případě rozšíření desky plošných spojů o port by byla možná výměna dat s PC. Teploměr slouží jako hardwarový základ pro další náročnější aplikace. V aplikaci pekařských pecí by se v mikrokontroléru dal implementovat např. PSD regulátor.

Literatura

- [1] FROHN Manfred, OBERTHÜR Wolfgang, SIEDLER Hans-Jobst, WIEMER Manfred, ZASTROW Peter.: Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení. Praha: BEN 2006. 500 s. ISBN 80-7300-123-3.
- [2] KREIDL, Marcel – Měření teploty, senzory a měřící obvody. Praha: BEN 2005. 240s. ISBN 80-7300-145-4.
- [3] AT91SAM7S – Atmel Datasheet (779 pages, revision K, updated 9/10),
Dostupné na URL:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6175.pdf>
- [4] H-JTAG V0.6.0 (BUILD 20071130), <<http://www.hjtag.com>>
- [5] Philips datasheet PCD8544 (48 × 84 pixels matrix LCD controller/driver)
<http://www.nxp.com/acrobat_download2/datasheets/PCD8544_1.pdf>
- [6] GM electronic, Philips datasheet k produktu KTY81-1. Aktualizováno 2000-8-25
Dostupné na URL:
<http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/530/530-013/dsh.530-013.1.pdf>
- [7] Wikipedia, Joint Test Action Group. Aktualizace 4. 2. 2011.
Dostupné na URL:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Joint_Test_Action_Group>
- [8] STMicroelectronic datasheet LE33, aktualizováno v červenci 2008.
Dostupné na URL:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/243301/STMICROELECTRONICS/LE33C.html>>
- [9] Tabulka teplotní závislosti odporového snímače teploty Pt100
<<http://adobrovolny.net/pt100.html>>
- [10] Technická specifikace k programovatelnému automatu Unitronics M91-2-R1
<http://unitronics.com/Data/Uploads/M90/M91-2-R1.pdf>

- [11] Webové stránky výrobce mikrokontrolérů ARM,
<http://www.arm.com/products/processors/index.php>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 0.1: Skript pro získání vztahu pro výpočet teploty.....	49
Příloha 0.2: Algoritmus Funkce main a measure.....	50
Příloha 0.3: Blokové schéma mikrokontroléru [3]	51
Příloha 0.4: Schéma celkového zapojení	52
Příloha 0.5: Deska plošných spojů - TOP.....	53
Příloha 0.6: Deska plošných spojů - BOTTOM	53
Příloha 0.7: Deska plošných spojů – osazení.....	53

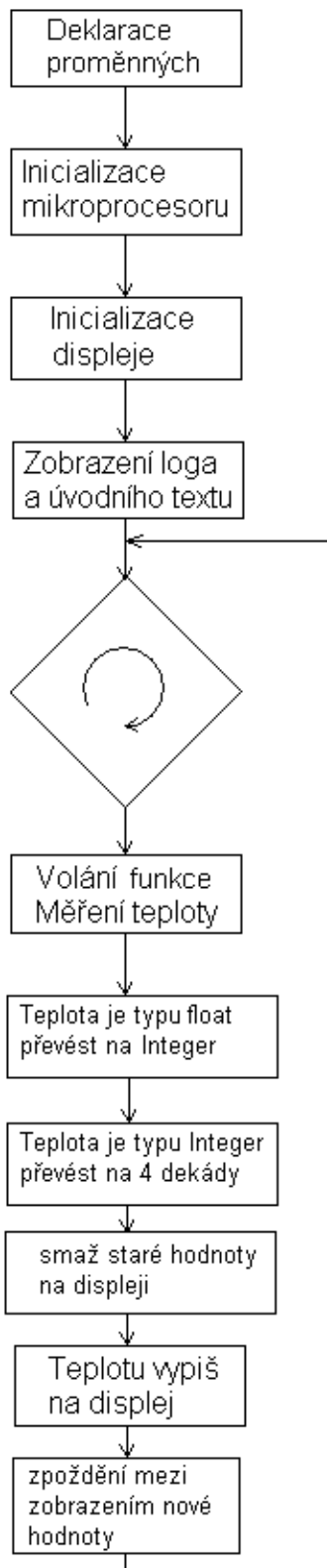
Skript z prostředí MATLAB pro získání proměnné „t“ z polynomu (3.1)

```
format long;
R0 = 100;
A = 3.9083e-003;
B = -5.775e-007;

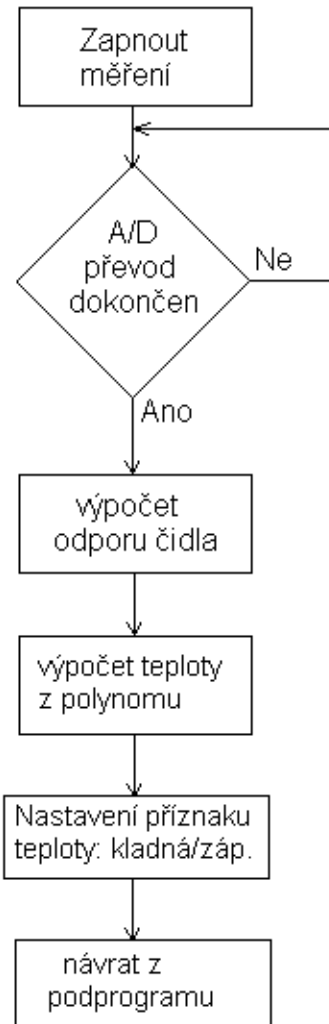
%Získám symbolickou proměnnou „t“ z polynomu
syms t;
Temp = solve('Pt100=R0*(1+A*t+B*t^2)',t)

Pt100=84.27;
%po výpočtu solve bude vztah pro výpočet teploty následující
%Temp=((A^2*R0^2 - 4*B*R0^2 + 4*B* Pt100*R0)^(1/2) - A*R0)/(2*B*R0)
%Vztah po dosazení
Temp = ((0.1758481 - Pt100*2.31e-4)^(1/2) - 0.39083)/(-1.155e-4)
%po výpočtu bude Temp = -40°C
```

Příloha 0.1: Skript pro získání vztahu pro výpočet teploty

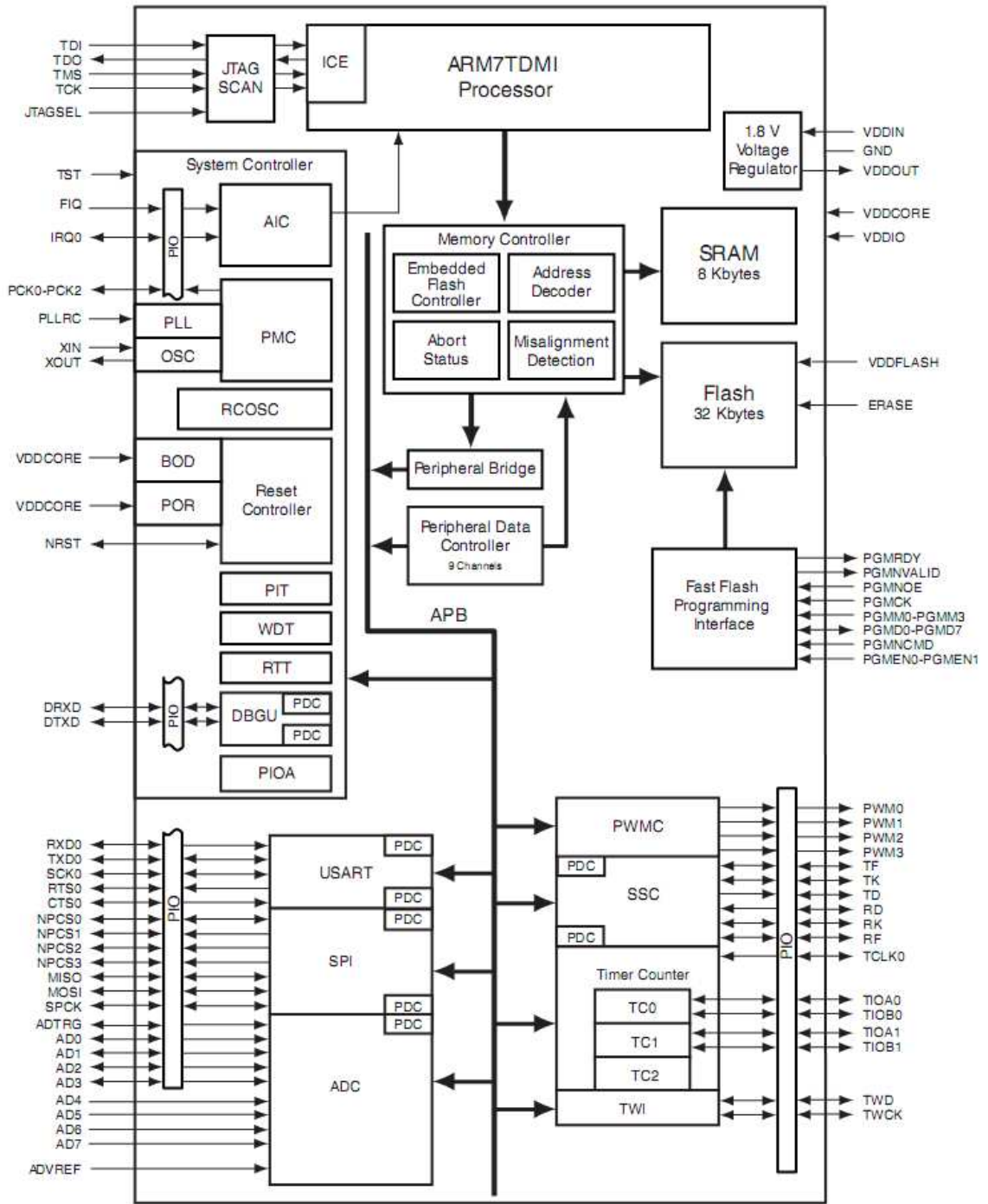


Hlavní rutina main

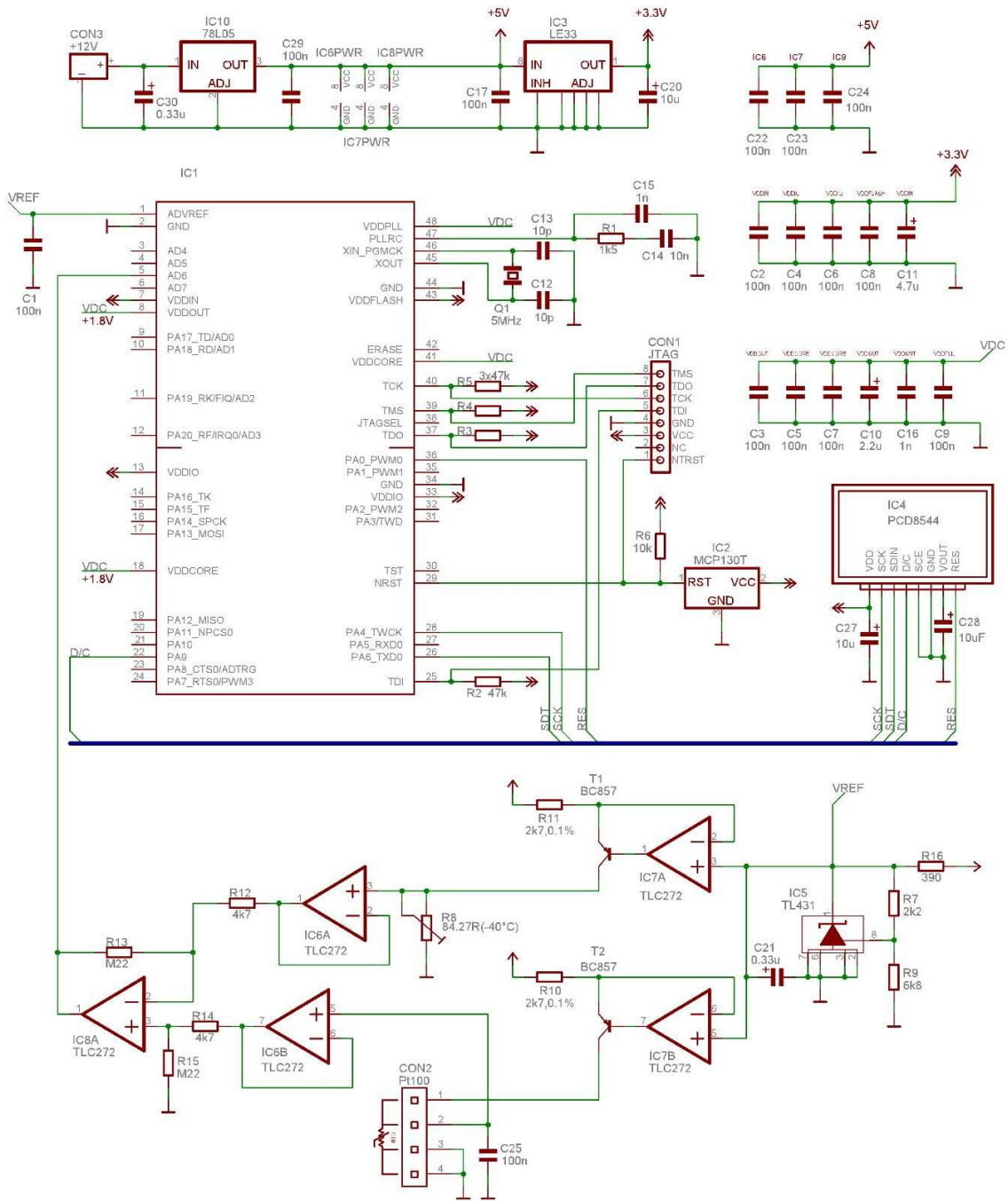


Funkce měření teploty measure();

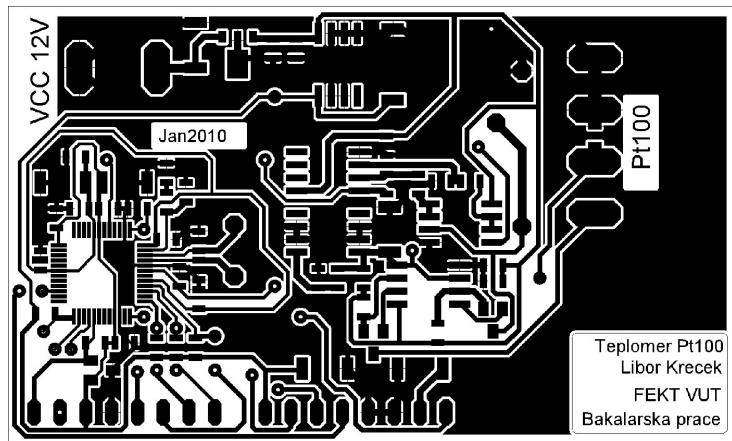
Příloha 0.2: Algoritmus funkcí „main“ a „measure“



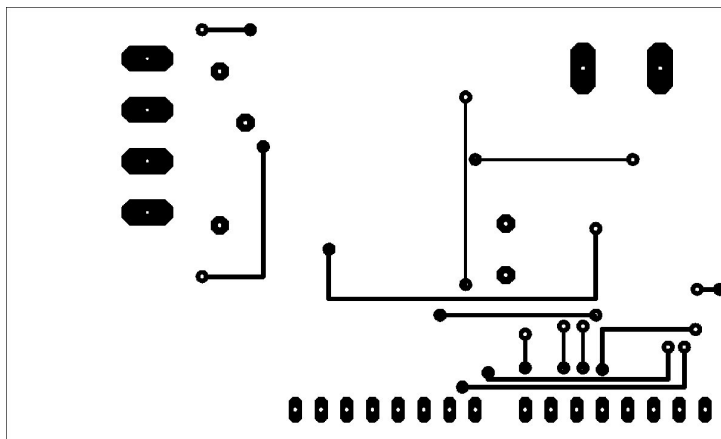
Příloha 0.3: Blokové schéma mikrokontroléru [3]



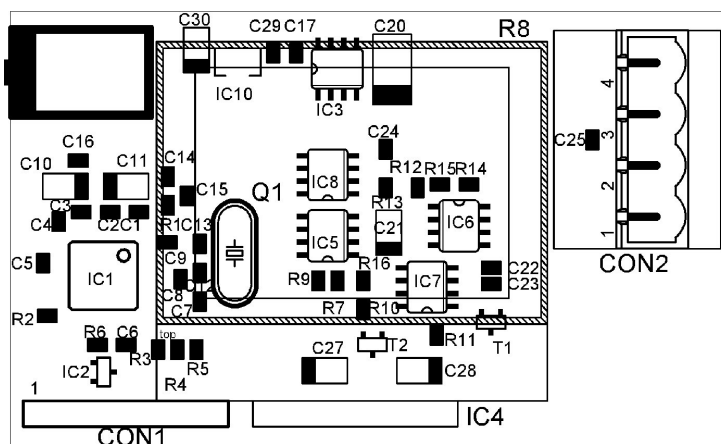
Příloha 0.4: Schéma celkového zapojení



Příloha 0.5: Deska plošných spojů - TOP



Příloha 0.6: Deska plošných spojů - BOTTOM



Příloha 0.7: Deska plošných spojů – osazení