

Výukový modul pro předmět Programování mikro- počítačů: univerzální vstupně / výstupní modul

Pavel Oškera

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Oškera**
Osobní číslo: **A15063**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů:
univerzální vstupně / výstupní modul**

Téma anglicky: **An Educational Module for the Programming Microcontrollers
Course: Universal Input / Output Module**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte hardwarové vlastnosti výukového vývojového kitu na bázi mikrokontroléru NXP KL25Z.
2. Provedte hardwarový návrh desky univerzálního vstupně / výstupního rozhraní pro propojení kitu s technologickým procesem.
3. Realizujte desku rozhraní a ověřte její funkci.
4. Vytvořte podpůrné programové vybavení pro obsluhu modulu ve formě knihovny podprogramů v C jazyce.
5. Vytvořte ukázkovou aplikaci s využitím realizované knihovny podprogramů, která bude demonstrovat funkci modulu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HRUŠKA, František a Ladislav ŠMEJKAL. **Technické prostředky informatiky a automatizace: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikace)**. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 193 s. ISBN 978-807-3185-350.
2. JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. **EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka** .: 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2.
3. NXP Semiconductors. **Kinetis KL25 Sub-Family 48 MHz Cortex-M0+ Based Microcontroller with USB**, [online]. 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
4. NXP Semiconductors. **KL25 Sub-Family Reference Manual**, [online]. 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
5. PINKER, Jiří. **Mikroprocesory a mikropočítače**. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.
6. VÁŇA, Vladimír. **ARM pro začátečníky**. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 195 s. ISBN 978-80-7300-246-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Dostálek, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

15. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2018

Ve Zlíně dne 15. prosince 2017

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne 16.5.2018


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a následně zrealizovat výukový modul, který po připojení k vývojovému kitu bude schopen pracovat s unifikovanými analogovými a digitálními signály.

V teoretické části je popsána problematika dělení signálů, převodníků analogového signálu na digitální a digitálního na analogový. Dále je zde popsán operační zesilovač a jeho základní zapojení, optočleny a obsluha A/D i D/A převodníku na mikropočítači NXP KL25Z.

V praktické části je popsán návrh výukového modulu a programové knihovny, které jsou k němu vytvořeny. Na závěr je popsán ukázkový program.

Klíčová slova: KL25Z, mikropočítač, signál, A/D převodník, D/A převodník

ABSTRACT

The purpose of this bachelor thesis was to design and then implement the educational module, which after the connection to the development kit is able to work with unified analog and digital signals.

In the theoretical part are described types of signals, analog-to-digital converter and digital-to-analog converter. It also describes the operational amplifier and its basic wiring, optocouplers and how the microcomputer NXP KL25Z will handle the A / D and D / A converters.

The practical part describes the design of the educational module and software libraries which are also provided. At the end there is description of sample program.

Keywords: KL25Z, microcontroller, signal, A/D converter, D/A converter

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Dostálkovi Ph.D. za jeho trpělivost, ochotu a cenné rady při návrhu a realizaci této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem spolužákům, kteří mi nějakým způsobem pomohli při tvorbě práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SIGNÁLY	11
1.1 UNIFIKOVANÉ SIGNÁLY	11
Dělení unifikovaných signálů:.....	11
1.2 DĚLENÍ SIGNÁLŮ	11
1.2.1 Spojité signály	12
1.2.2 Diskrétní signály	12
1.3 A/D PŘEVODNÍK.....	14
1.3.1 Základní vlastnosti A/D převodníku	14
1.3.2 Princip převodu	14
1.3.3 Druhy převodníků	15
1.4 D/A PŘEVODNÍK.....	15
1.4.1 Základní vlastnosti D/A převodníku	16
2 OPERAČNÍ ZESILOVAČE	17
2.1 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ OZ	17
2.1.1 Invertující OZ.....	17
2.1.2 Neinvertující OZ	18
2.1.3 Rozdílový OZ.....	18
2.1.4 Neinvertující součtový zesilovač	19
3 GALVANICKÉ ODDĚLENÍ	20
3.1 OPTOČLENY	20
3.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY OPTOČLENŮ	21
4 VÝVOJOVÝ KIT	22
5 MIKROPOČÍTAČ NXP KL25Z	23
5.1 PARAMETRY	23
5.2 A/D PŘEVODNÍK U MIKROPOČÍTAČE KL25Z	23
5.2.1 Registry A/D převodníku	23
ADC0_SC1A – Stavový a řídicí registr.....	24
ADC0_CFG1 – Konfigurační registr 1.....	24
ADC0_CDG2 – Konfigurační registr 2	26
ADC0_Rn – Výsledkový registr.....	26
5.3 D/A PŘEVODNÍK U MIKROPOČÍTAČE KL25Z	26
5.3.1 Registry D/A převodníku	26
DAC0_C0 – Řídicí registr	26
DAC0_C1 a DAC0_C2 – Řídicí registr 1 a 2.....	27
DAC0_SR – Stavový registr.....	28
DAC0_DAT0L – Datový „LOW“ registr a DAC0_DAT0H – datový „HIGH“ registr	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
6 HARDWEROVÉ MOŽNOSTI KITU	31

6.1	ZAPOJENÍ PINŮ NA KONEKTORU.....	31
7	HARDWAROVÝ NÁVRH DESKY	33
7.1	ANALOGOVÝ VÝSTUP	33
7.2	ANALOGOVÝ VSTUP	34
7.3	DIGITÁLNÍ VÝSTUP	35
7.4	DIGITÁLNÍ VSTUP	36
7.5	OBVOD PRO MĚŘENÍ TEPLoty	37
7.5.1	Napět'ová reference	37
7.5.2	Zdroj konstantního proudu	38
7.5.3	Rozdílový zesilovač	38
7.5.4	Součtový zesilovač.....	39
7.5.5	Celkové zapojení obvodu teplotního snímače.....	41
7.6	CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ	41
8	REALIZACE PLOŠNÉHO SPOJE A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI	42
8.1	TVORBA PLOŠNÉHO SPOJE	42
8.2	VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE A JEHO OSAZENÍ.....	43
8.3	POPIS VSTUPNĚ / VÝSTUPNÍCH SVOREK MODULU	45
8.4	OVĚŘENÍ FUNKCE MODULU	46
8.4.1	Ověření teplotního snímače.....	46
8.4.2	Ověření Analogových vstupů a výstupů	47
9	PROGRAMOVÁ KNIHOVNA.....	48
10	UKÁZKOVÝ PROGRAM.	50
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Využití mikropočítačů se v současné době stává běžnou záležitostí jak pro aplikace řízení technologických procesů a zařízení, tak i pro jejich monitorování a záznam dat. A proto je potřeba vytvořit obvody, které dokáží přizpůsobit napěťové rozsahy signálů používaných v zařízení tak, aby je bylo možné zpracovat pomocí mikropočítače.

Mikropočítač je v dnešní době tvořen jedním integrovaným obvodem, který obsahuje všechny obvody potřebné k jeho správné činnosti, a navíc je doplněn o periferní obvody jako je A/D nebo D/A převodník, digitální vstupně / výstupní porty, obvody pro práci s časem a další nejčastěji používané periferie. Výhodou používání mikropočítače je jeho univerzálnost. Díky periferiím, které má MCU k dispozici a je snadné měnit jeho funkci pouhým přepsáním vykonávaného programového kódu.

Cílem této bakalářské práce je tedy navrhnout vstupně / výstupní modul, který umožní propojení mikropočítače pracujícího s napájecím napětím 3 V s obvody pracujícími s unifikovanými napěťovými signály v rozsahu 0-10 V. Tento obvod bude spolu s výukovým kitem sloužit jako výuková pomůcka pro předmět programování mikropočítačů.

Teoretická část se zabývá rozdělením signálů na analogové a digitální. Je uveden princip převodu analogového signálu na digitální a naopak. Dále je popsána problematika operačních zesilovačů, jejich základní zapojení a vlastnosti. Následuje kapitola zaměřená na galvanické oddělení, konkrétně na optočleny a jejich vlastnosti. Poté jsou zde základní informace o vývojovém kitu, ke kterému bude modul připojen. Na závěr jsou popsány základní vlastnosti použitého mikropočítače – NXP KL25Z a jeho registry pro obsluhu digitálních vstupně / výstupních portů, A/D a D/A převodníku.

Praktická část je věnována popisu jednotlivých částí obvodu. Je zde uveden obvod pro analogové i digitální vstupy a výstupy a obvod pro měření teploty pomocí senzoru Pt100 a jejich propojení s mikropočítačem. Dále je zde nastíněna výroba modulu, popis jeho jednotlivých vstupů a ověření jeho funkce. Z programové části práce jsou zde uvedeny funkce v jazyce C, které slouží k obsluze výukového modulu. V závěru je ukázán a rozebrán ukázkový program.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SIGNÁLY

Signál je jev, kde pomocí určité fyzikální veličiny přenášíme informaci o nějaké události. V závislosti na okolnostech můžeme použít různé veličiny pro jeho přenos, např. zvuk, světlo, elektrickou energii. Při zaznamenání signálu nás většinou zajímá jeho doba trvání a jeho velikost (amplituda). [1], [12]

1.1 Unifikované signály

Unifikované signály se využívají v automatizaci pro přenos informace mezi jednotlivými částmi systému. Tyto signály mají stanovený rozsah hodnot, ve kterých se mohou pohybovat. [2], [12]

Dělení unifikovaných signálů:

- Napěťové signály – Napětí u těchto signálů je rozsahu 0-10 V nebo -10 V až +10 V
- Proudové signály – Využívají se proudy 0-20 mA nebo 4-20 mA. Signály s rozsahem 4-20 mA mají výhodu v tom, že lze detekovat přerušení obvodu.
- Pneumatické signály – Používá se rozsah 20-100 kPa. [2], [12]

1.2 Dělení signálů

Signály lze dělit podle několika kategorií.

Z hlediska trvání signálu

- Kauzální – Signál, který má v počátečním bodu nulovou hodnotu a je definovaný na určitém časovém úseku
- Nekauzální – jedná se o periodické funkce jako jsou sinus a kosinus

Z hlediska definičního oboru

- Signál ve spojitém čase – signál je definován pro každý časový okamžik jeho průběhu.
- Signál v diskrétním čase – je definován pouze pro určité časové úseky

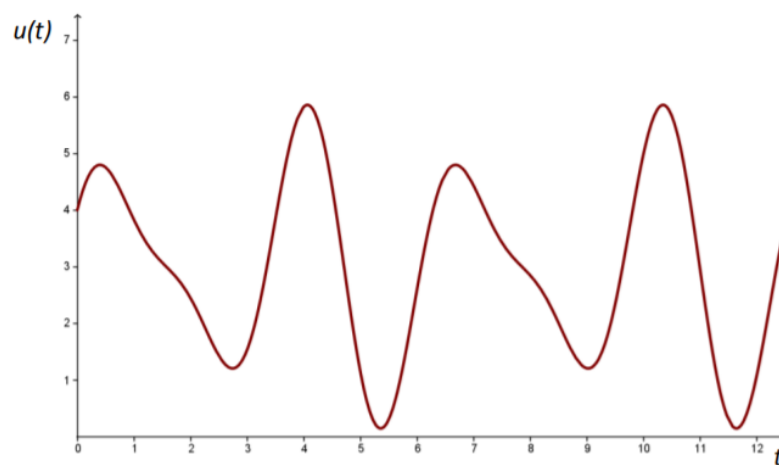
Z hlediska spojitosti amplitudy signálu

- Signál se spojitou amplitudou – hodnoty amplitudy mohou nabývat libovolné hodnoty v určitém rozsahu

- Signál s diskretní amplitudou – jeho hodnoty mohou nabývat pouze konkrétních hodnot. [1], [12]

1.2.1 Spojité signály

Spojité, neboli analogový, signál je reprezentován funkcí spojitou v čase. Její okamžitá hodnota může nabývat jedné z nekonečného množství hodnot v určitém intervalu. Pro přenos není vhodný, protože zde dochází ke značnému zkreslení a útlumu, a pro zpracování v číslicovém počítači nejde použít vůbec. Proto se analogové signály převádějí na digitální, které lze snadněji a bez dalšího zkreslení zpracovat. [1]



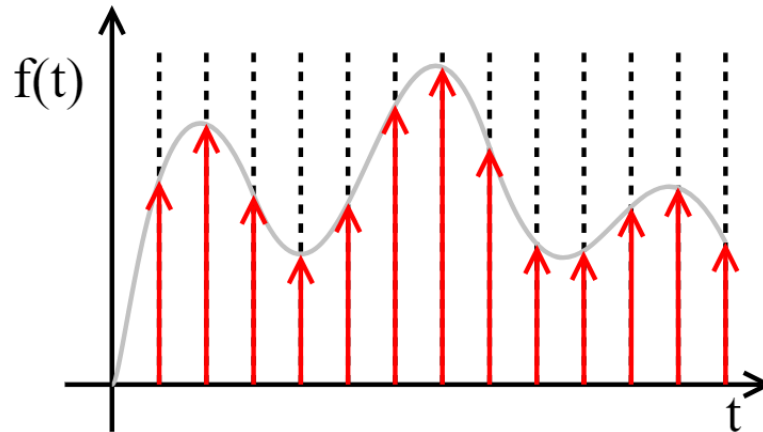
Obr. 1. Spojitý signál

1.2.2 Diskrétní signály

U diskretního signálu se okamžitá hodnota, na rozdíl od analogového, nemění spojitě v čase, ale je zaznamenána pouze v dané časové okamžiky.

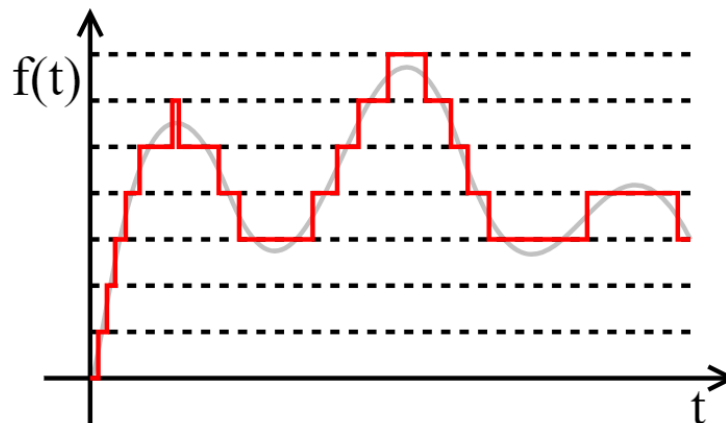
Diskrétní signál lze rozdělit do skupin:

- Vzorkovaný signál (obr. 2.) – Signál je tvořen posloupností vzorků. Ty jsou zaznamenány s určitou vzorkovací frekvencí. V období mezi jednotlivými vzorky má signál nulovou hodnotu [1][3]



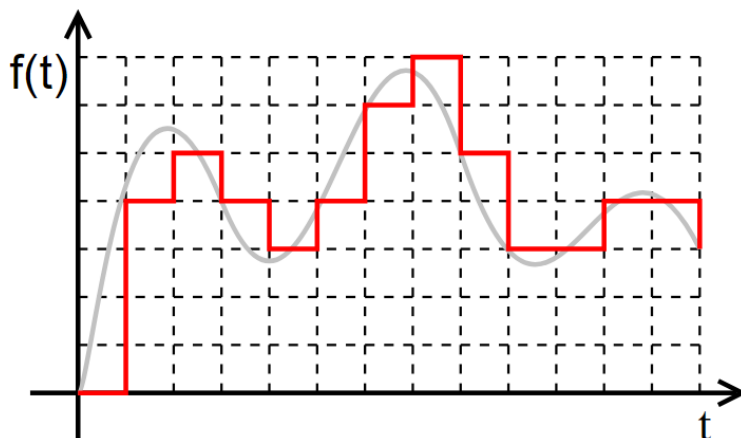
Obr. 2 . Vzorkovaný signál [3]

- Kvantovaný signál (obr 3.) – Hodnota signálu nabývá po určitou dobu konstantní hodnoty a poté se skokově změní. Počet hodnot, kterých může signál nabývat, je omezen a závisí na rozlišení převodníku. Ke změně hodnoty může dojít v libovolném časovém okamžiku. [1][3]



Obr. 3. Kvantovaný signál [3]

- Digitální signál (obr. 4.) – Digitální signál je tvořen kombinací vzorkovaného a kvantovaného signálu. Může opět nabývat pouze omezeného počtu hodnot, a navíc se skokově mění pouze v určité časové okamžiky. [1][3]



Obr. 4. Digitální signál [3]

1.3 A/D převodník

Analogově digitální převodník je obvod umožňující převod analogového signálu na digitální. Hlavním důvodem tohoto převodu je možnost zpracování původně analogového signálu v číslicovém počítači.

1.3.1 Základní vlastnosti A/D převodníku

- Rozlišovací schopnost – je dána počtem rozlišitelných úrovní analogového signálu. Pro n -bitový převodník je to 2^n úrovní.
- Krok kvantování – je dán rozdílem minimální a maximální analogové hodnoty pro jednu kvantizační úroveň.
- Chyba kvantování – maximální rozdíl mezi analogovou a kvantovanou hodnotou
- Rychlost převodu
- Přesnost
- Stabilita – vyjadřuje stálost vlastností převodníku při působení rušivých vlivů. [4]

1.3.2 Princip převodu

Převod signálu lze rozdělit na dvě základní části. A těmi jsou vzorkování a kvantování.

Vzorkování signálu

Protože číslicový počítač není nekonečně rychlý, je potřeba původní analogový signál rozdělit na stejně dlouhé úseky, a v každém z nich pak jednou odečíst jeho hodnotu (obr. 2.).

Čím kratší úseky budou, tím kvalitnější převod bude. Vždy ovšem dojde k určitému zkreslení signálu.

Pro minimalizování chyby převodu musí být dodržen Shanonnův teorém. Ten říká, že vzorkovací frekvence musí být minimálně dvojnásobkem maximální frekvence původního signálu. Pokud tato podmínka není splněna, dochází k nenávratnému zkreslení signálu. Tomuto jevu se říká aliasing. [4]

Kvantování signálu

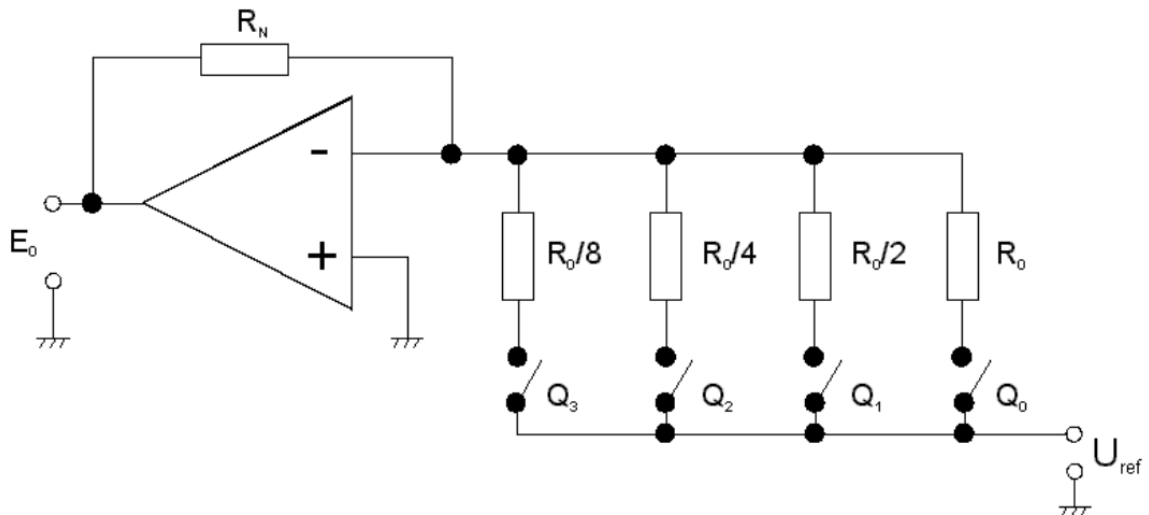
Jelikož počítače dokáží zpracovat pouze omezený rozsah hodnot, je potřeba provést kvantování jednotlivých vzorků. Celý rozsah hodnot se tedy rovnoměrně rozdělí na kvantizační úrovně a jednotlivé vzorky se poté přiřadí na nejbližší z nich. Počet úrovní závisí na rozlišení AD převodníku. Čím je toto rozlišení větší, tím kvalitnější je převodník a dochází k menšímu zkreslení. Rozdíl mezi kvantovanou hodnotou a původní analogovou hodnotou se pak označuje jako kvantizační šum. [4]

1.3.3 Druhy převodníků

- Paralelní A/D převodník
- S postupnou komparací
- Kompenzační čítací a sledovací
- S postupnou aproximací
- Integrovní převodník
- S dvojitou integrací
- Sigma-delta převodníky

1.4 D/A převodník

Digitálně analogové převodníky se využívají, pokud potřebujeme převést digitální signál zpět na analogový. Číslcová informace je zde převedena na hodnotu napětí. Nejčastěji se zde využívá zapojení operačního zesilovače spolu s odporovou sítí (obr. 5.). Jednotlivé číslcové vstupy jsou zde naznačeny spínači $Q_1 - Q_3$. Po jejich sepnutí se dostane na vstup OZ referenční napětí snížené o hodnotu rezistoru. [4]



Obr. 5. Čtyřbitový D/A převodník [5]

1.4.1 Základní vlastnosti D/A převodníku

- **Rozlišovací schopnost** – je dána počtem jednotlivých stupňů výstupního analogového signálu. Označuje se jako kvantizační krok Q a lze ji vypočítat pomocí vztahu

$$Q = \frac{1}{2^n - 1} \quad (1)$$

Kde n je počet bitů vstupního slova.

- **Výstupní rozsah převodníku** – rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou výstupního signálu. Rozsahy převodníků lze dále rozdělit na symetrické (např. -10 V až +10 V) a nesymetrické (0-10 V).
- **Přesnost převodu** – udává s jakou přesností je reálná výstupní hodnota generována ze vstupního slova. Na přesnost převodu mají vliv:
 - Napěťový posun
 - Nelinearita převodníku
 - Přesnost referenčního napětí
 - Chyba rozsahu převodníku
- **Maximální rychlost převodu** – určena jako počet převedených datových slov za jednotku času
- **Doba převodu** – časový interval, za který je převodník schopen převést vstupní slovo na výstup [4]

2 OPERAČNÍ ZESILOVAČE

Operační zesilovač je analogová součástka se dvěma vstupy a jedním výstupem. Vstupy OZ jsou označeny jako plus (+) a minus (-). OZ porovnává rozdíl napětí na jednotlivých vstupech a tento rozdíl následně zesílí. Velikost zesílení a další úpravy signálu jsou pak dány konkrétním zapojením obvodu.

Vlastnosti ideálního OZ:

- Nekonečně velké napěťové zesílení
- Nekonečně velký vstupní odpor
- Nulový výstupní odpor
- Nekonečná šířka pásma
- Nulový šum a offsetové napětí
- Teplotně nezávislé parametry [7]

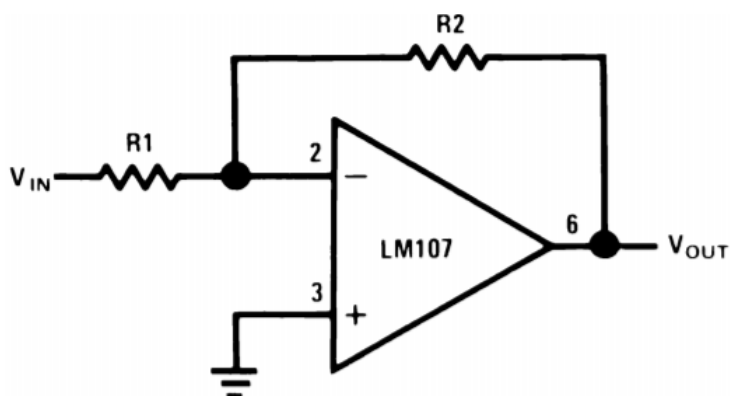
OZ lze rozdělit na dvě kategorie:

- Symetrické OZ – pro svou činnost potřebují symetrické napětí (např. +10V a -10V)
- Asymetrické OZ – pro svou činnost jim stačí pouze jedna polarita napětí, obvod je zde jednodušší, ale nedokáží dodat na výstup záporné napětí. [7]

2.1 Základní zapojení OZ

2.1.1 Invertující OZ

Zapojení mění polaritu vstupního napětí. Velikost zesílení závisí na poměru odporů R_1 a R_2 . Výsledné napětí je dáno rovnicí (1)

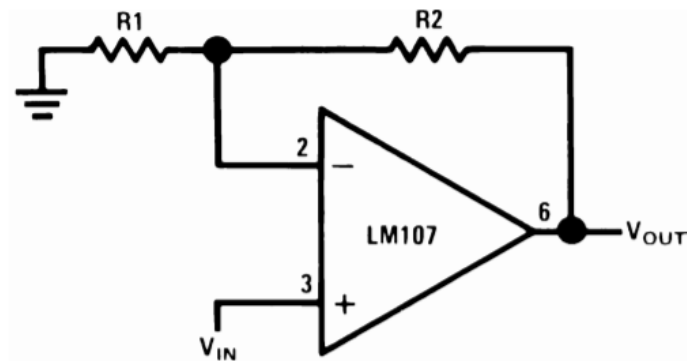


Obr. 6. Zapojení invertujícího OZ [6]

$$U_{out} = -\frac{R_2}{R_1} U_{in} \quad (2)$$

2.1.2 Neinvertující OZ

Zapojení je podobné jako u invertujícího OZ. Zesílení je zde opět dáno poměrem odporů R_1 a R_2 . Napětí na výstupu má stejnou polaritu jako napětí na vstupu. Výsledné napětí je dáno rovnicí (2).

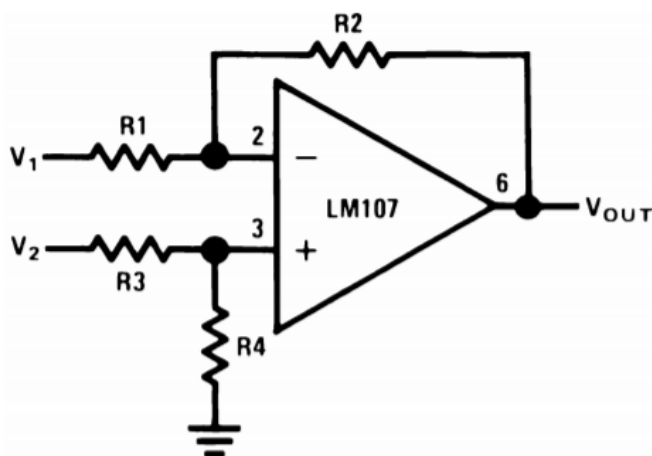


Obr. 7. Zapojení neinvertujícího OZ [6]

$$U_{out} = 1 + \frac{R_2}{R_1} U_{in} \quad (3)$$

2.1.3 Rozdílový OZ

Rozdílový zesilovač porovnává hodnoty, které přivedeme na jeho vstupy, a jejich rozdíl zesílí. Výstupní napětí je dáno rovnicí (3). Ta platí pro hodnoty odporu $R_1 = R_3$ a $R_2 = R_4$.

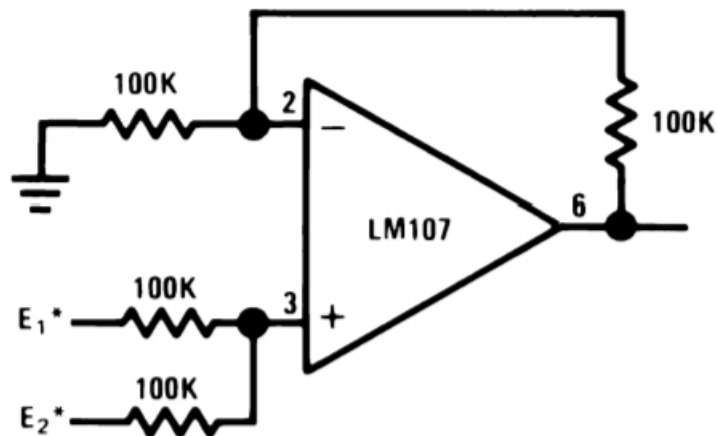


Obr. 8. Zapojení rozdílového OZ [6]

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1) \quad (4)$$

2.1.4 Neinvertující součtový zesilovač

V následujícím zapojení je výsledné napětí dáno součtem napětí na vstupech (E_1 a E_2). Rezistory připojené na + vstup určují přesnost.



Obr. 9. Zapojení neinvertujícího součtového OZ [6]

$$U_{out} = U_1 + U_2 \quad (5)$$

3 GALVANICKÉ ODDĚLENÍ

Galvanické oddělení elektrických obvodů se využívá, pokud potřebujeme oddělit dva elektrické obvody. Důvodem může být zvýšení ochrany, rozdílné pracovní napětí, zamezení přenosu šumu a zamezení tvorby zemnicích smyček.

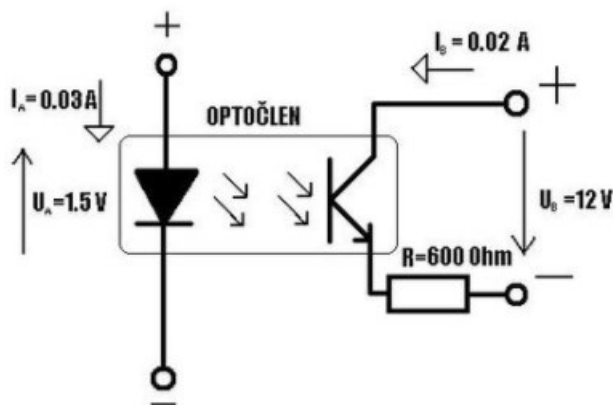
K oddělení se používají různé druhy vazeb:

- Transformátorová vazba
- Optická vazba
- Mechanická vazba

3.1 Optočleny

Optočleny jsou elektronické součástky, které slouží ke galvanickému oddělení dvou elektrických obvodů. Jsou tvořeny zdrojem záření – nejčastěji LED diodou a nějakým fotocitlivým polovodičovým prvkem – např. fototranzistorem. Elektrická energie je zde tedy přeměněna na světelnou a pak opět na elektrickou.

Pokud přes vstupní část obvodu, tedy LED diodu, protéká proud, dioda začne emitovat světlo (fotony). To dopadá na bázi fototranzistoru a tím ho otevírá. Tím, že se tranzistor otevře, stane se výstupní část obvodu vodivá. Čím větší proud protéká přes LED diodu, tím více se tranzistor otevře. [8][9]



Obr. 10. Optočlen [9]

3.2 Základní parametry optočlenů

Obecné parametry:

- **Přenosový poměr (CRT)** – poměr mezi kolektorovým proudem tranzistoru a propustným proudem LED diody.
- **Izolační napětí vstup – výstup** – jedná se o maximální napětí, které se může objevit mezi vstupními a výstupními svorkami optočlenu.
- **Izolační odpor** – odpor mezi vstupními a výstupními svorkami
- **Kapacita optočlenu** – kapacita mezi vstupními a výstupními svorkami
- **Doba sepnutí / rozepnutí** – reakční doba na jednotkový impulz
- **Rozsah provozních teplot** – rozsah teplot, ve kterých jsou parametry zaručeny výrobcem [8]

Vstupní část:

- **Proud v propustném směru** – trvalý proud, který může protékat LED diodou v propustném směru
- **Špičkový proud** – maximální velikost proudového impulzu v propustném směru LED diody, aniž by došlo k její poškození.
- **Napětí v propustném směru**
- **Napětí v závěrném směru** [8]

Výstupní část:

- **Průrazné napětí kolektor-emitor**
- **Průrazné napětí kolektor-emitor s nepřipojenou bází**
- **Saturační napětí kolektor-emitor** – udává se pro danou velikost proudu LED diodou a kolektorového proudu.
- **Kapacita kolektor-emitor** [8]

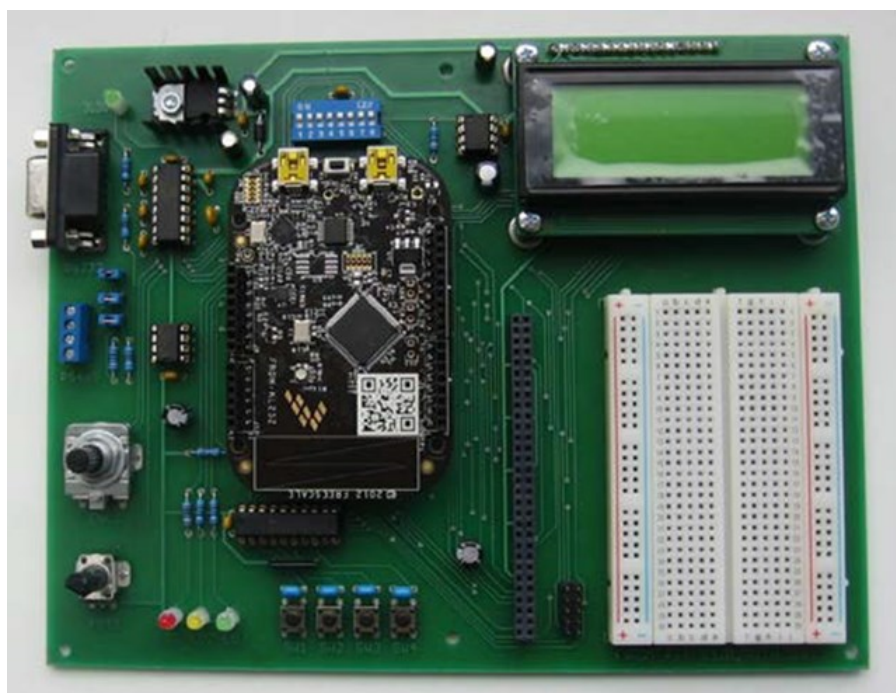
4 VÝVOJOVÝ KIT

Vývojový kit slouží pro tvorbu a testování aplikací řízených mikropočítačem. Aplikace jsou tvořeny ve vývojovém prostředí Kinetis Design Studio od firmy NXP. Prostředí je založeno na open-source softwaru Eclipse a využívá GNU debugger a kompilátor. Pro propojení mikropočítače s vývojovým prostředím je použito USB rozhraní. [10]

Pro testování nahraného programu má pak mikropočítač k dispozici vývojový kit. Ten je napájen buď to přímo pomocí USB kabelu z PC, nebo z externího zdroje napětí. Komunikace mezi mikropočítačem a vývojovým kitem probíhá pomocí vyvedených portů MCU.

Na vývojovém kitu je k dispozici:

- 4x tlačítko
- 3x LED dioda
- Potenciometr
- Sériová rozhraní RS232 a RS485
- Nepájivé pole
- LCD displej
- Snímač teploty LM75AD, snímač vlhkosti HIH6130
- Obvod reálného času PCF8583
- Rotační enkodér



Obr. 11. Výukový vývojový kit

5 MIKROPOČÍTAČ NXP KL25Z

Série Kinetis L jsou levné vysoce výkonné mikropočítače s nízkou spotřebou. Jsou řízené mikroprocesorem ARM Cortex M0+. Vyrábí se v pěti různých provedeních, které mají společné rozložení pinů a liší se pouze v množství jednotlivých modulů. [11], [14]

5.1 Parametry

- 48 MHz ARM Cortex M0+ procesor
- 32 KB RAM
- 256 KB Flash paměti
- 16-bitový A/D převodník
- 12-bitový D/A převodník
- Jednotné napájení v rozsahu 1,71 V – 3,6 V
- 2x SPI (sériové periferní rozhraní)
- 3x UART (sériová asynchronní komunikace)
- 2x I2C sběrnice
- PWM
- 66x vstupně/výstupních linek [11], [14]

5.2 A/D převodník u mikropočítače KL25Z

Základní parametry:

- Rozlišení 16 bitů
- Až 24 vstupů
- Nastavitelná rychlost převodu
- Volitelná napěťová reference převodníku

A/D převodník má 2 typy vstupů:

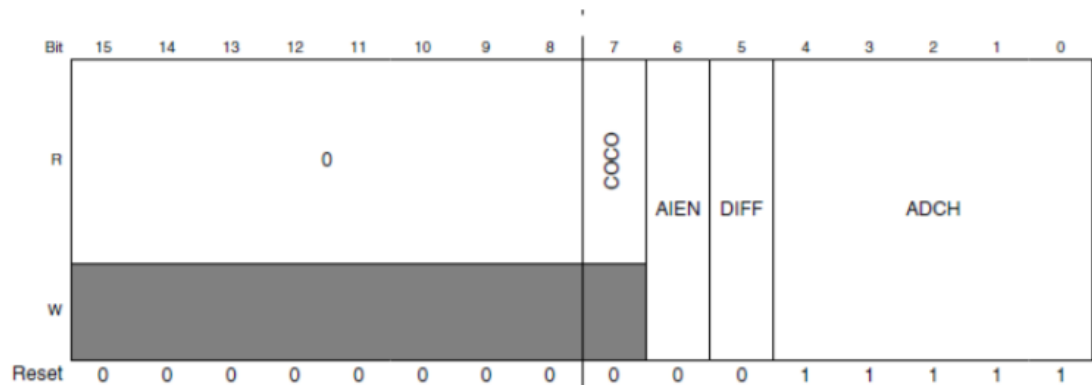
- Diferenciální – převádí se rozdíl napětí mezi dvojicí vstupů
- Jednoduché (single-ended) [11], [14]

5.2.1 Registry A/D převodníku

Registry pro A/D převodník mají označení ADCx_[název registru], kde x označuje číslo modulu převodníku. Mikropočítač KL25Z má pouze jeden modul, takže veškeré registry vztahující se k A/D převodníku mají označení ADC0_[název registru]. [11], [14]

ADC0_SC1A – Stavový a řídicí registr

Tento registr existuje ve více kopiích označených písmeny A, B, C, Díky tomu je možné převodník nastavit ve více režimech.



Obr. 12 . Stavový a řídicí registr [11]

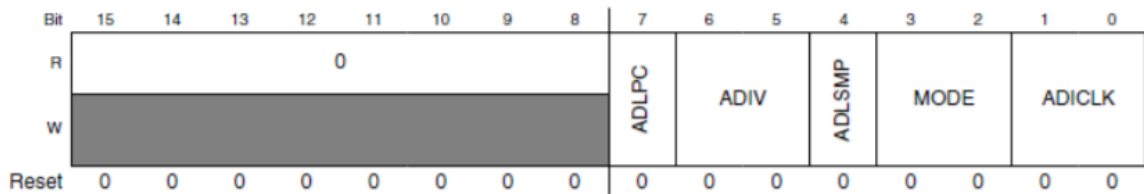
Stavový registr má velikost 32bitů, ale pouze prvních 8bitů je využito.

Význam jednotlivých bitů:

- COCO – příznak dokončení převodu
 - o 1 = převod byl dokončen
 - o 0 = převod není dokončen
- AIEN – povoluje přerušení po dokončení převodu
 - o 1 = přerušení povoleno
- DIFF – výběr mezi diferenciatlním a single-ended režimem
 - o 1 = diferenciatlní režim
- ADCH – slouží pro výběr kanálu pro převod
 - o Hodnoty zápisu se liší v diferenciatlním a single-ended režimu.
 - o V single ended režimu odpovídá zapsané číslo, číslu kanálu. Tedy pokud chceme spustit převod z kanálu 2 zapíšeme do ADCH binárně 2 => 00010
 - o Speciální hodnoty ADCH
 - 11010 – interní teplotní snímač
 - 11111 – A/D převodník je zakázán [11], [14]

ADC0_CFG1 – Konfigurační registr 1

V následujícím registru se vybírá režim činnosti, zdroj hodinového signálu, dělička signálu atd.



Obr. 13. Konfigurační registr [11]

Význam bitů:

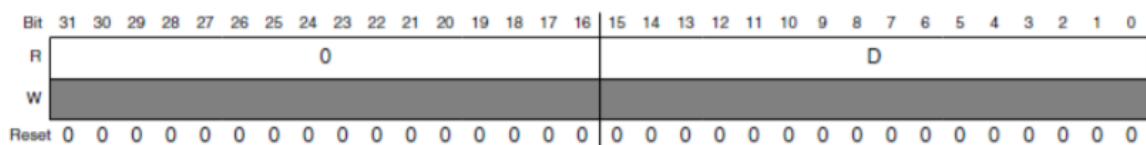
- ADLPC – Nastavení velikosti spotřeby převodníku
 - 0 = normální spotřeba
 - 1 = snížená spotřeba, při snížené spotřebě je omezena maximální rychlost převodníku
- ADIV – dělička hodinového signálu.
 - 00 = dělicí poměr je 1
 - 01 = dělicí poměr je 2
 - 10 = dělicí poměr je 4
 - 11 = dělicí poměr je 8
- ADLSMP – nastavení doby vzorkování
 - 0 = krátký čas
 - 1 = dlouhý čas
 - Použití závisí na impedanci na vstupu převodníku. Vstupy s nízkou impedancí lze vzorkovat s vyšší frekvencí (krátký čas).
- MODE – nastavení rozlišení převodníku
 - 00 – 8bit
 - 01 – 12bit
 - 10 – 10bit
 - 11 – 16bit
- ADICLK – slouží pro výběr zdroje hodinového signálu
 - 00 – frekvence sběrnice
 - 01 – frekvence sběrnice /2
 - 10 – Alternativní hodinový signál
 - 11 – Asynchronní hodinový signál [11], [14]

ADC0_CDG2 – Konfigurační registr 2

Slouží pro nastavení rychlosti konverze pro režimy s vysokou rychlostí při pomalém vzorkování.

ADC0_Rn – Výsledkový registr

V tomto registru je uložen výsledek převodu. Výsledkový registr, stejně jako řídicí registr, existuje ve více kopiích. Registr je 32bitový a výsledek je uložen ve spodních n bitech. Kde n závisí na zvoleném rozlišení převodníku. Maximálně tedy 16bitů. [11], [14]



Obr. 14. Výsledkový registr [11]

5.3 D/A převodník u mikro počítače KL25Z

Základní parametry:

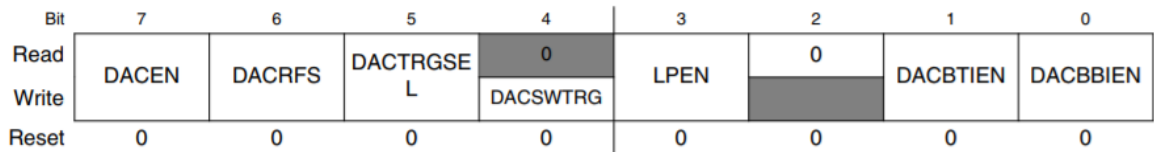
- 12bitový převod
- Volitelné vstupní referenční napětí V_{in}
- Výstupní napětí je v rozsahu $1/4096 V_{in}$ až V_{in} .
- DMA – přímý přístup k paměti [11], [14]

5.3.1 Registry D/A převodníku

Registry pro D/A převodník mají označení $DACx_{[n\acute{a}zev\ registru]}$. Stejně jako u A/D převodníku je u mikro počítače KL25Z pouze jeden D/A převodník a tak všechny registry mají označení $DAC0_{[n\acute{a}zev\ registru]}$. [11], [14]

DAC0_C0 – Řídicí registr

V registru se aktivuje D/A převodník a nastavují se jeho vlastnosti, jako jsou napěťová reference, velikost spotřeby převodníku, aktivace převodu atd.



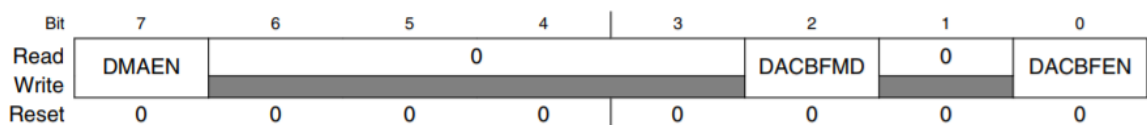
Obr. 15. Řídící registr [11]

Význam bitů:

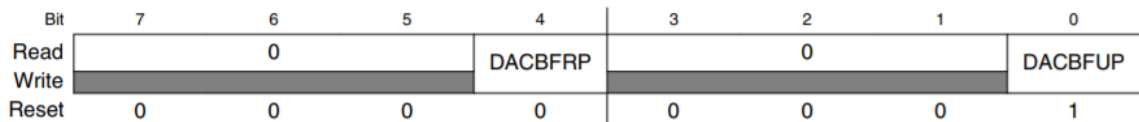
- DACEN – Aktivace D/A převodníku
 - o 1 – D/A převodník je aktivní
- DECRFS – volba napěťové reference
- DACTRGSEL – volba spouštění D/A převodu
 - o 0 – hardwarově
 - o 1 – softwarově
- DACSWTRG – spuštění převodu, pokud je nastaveno softwarové spouštění
- LPEN – nastavení velikosti spotřeby převodníku
 - o 0 – High Power mode
 - o 1 – Low Power mode
- DECBTIEN – výběr zdroje dat pro převod
 - o 0 – data se berou přímo z registru DAC0_DAT0L/H
 - o 1 - registr DAC0_DAT0L/H obsahuje pointer na začátek dat
- DECBBIEN – výběr zdroje dat pro převod
 - o 0 – data se berou přímo z registru DAC0_DAT0L/H
 - o 1 - registr DAC0_DAT0L/H obsahuje pointer na konec dat [11], [14]

DAC0_C1 a DAC0_C2 – Řídící registr 1 a 2

Řídící registry 1 a 2 se používají pro nastavení přímého přístupu k paměti a nastavení zásobníku.



Obr. 16. Řídící registr 1 [11]

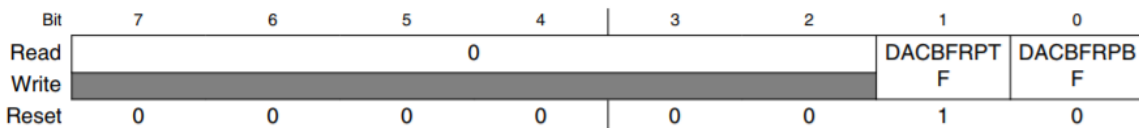


Obr. 17. Řídící registr 2 [11]

Význam bitů:

- DMAEN – aktivace režimu DMA – přímého přístupu k paměti
- DACBFMD – nastavení režimu zásobníku
 - o 0 – normální nastavení
 - o 1 – skenování pouze jednou
- DACVFEN – aktivace zásobníku
- DACBFRP – udržuje aktuální hodnotu ukazatele v zásobníku
- DACBFUP – nastavení maximální velikosti zásobníku [11], [14]

DAC0_SR – Stavový registr



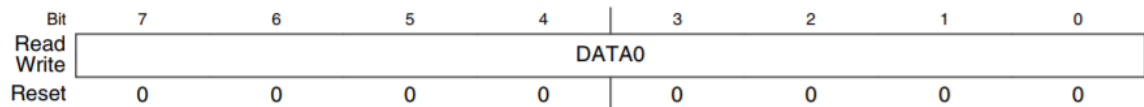
Obr. 18. Stavový registr [11]

Význam bitů:

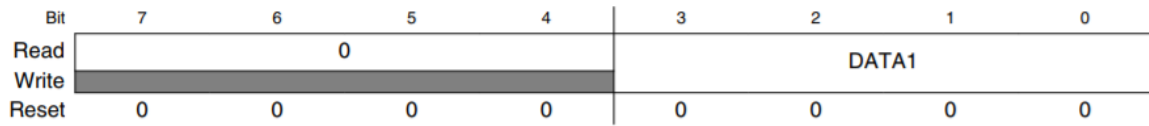
- DACBFRPTF – pozice ukazatele v zásobníku (začátek)
 - o 1 – ukazatel je na začátku zásobníku
 - o 0 – ukazatel není na začátku zásobníku
- DACBFRPBF – pozice ukazatele v zásobníku (konec)
 - o 1 – ukazatel je na konci zásobníku
 - o 0 – ukazatel není na konci zásobníku [11], [14]

DAC0_DAT0L – Datový „LOW“ registr a DAC0_DAT0H – datový „HIGH“ registr

V datovém registru jsou uloženy data pro převod, nebo je zde uložena adresa kde jsou data uložena.



Obr. 19. Datový LOW registr [11]



Obr. 20. Datový HIGH registr [11]

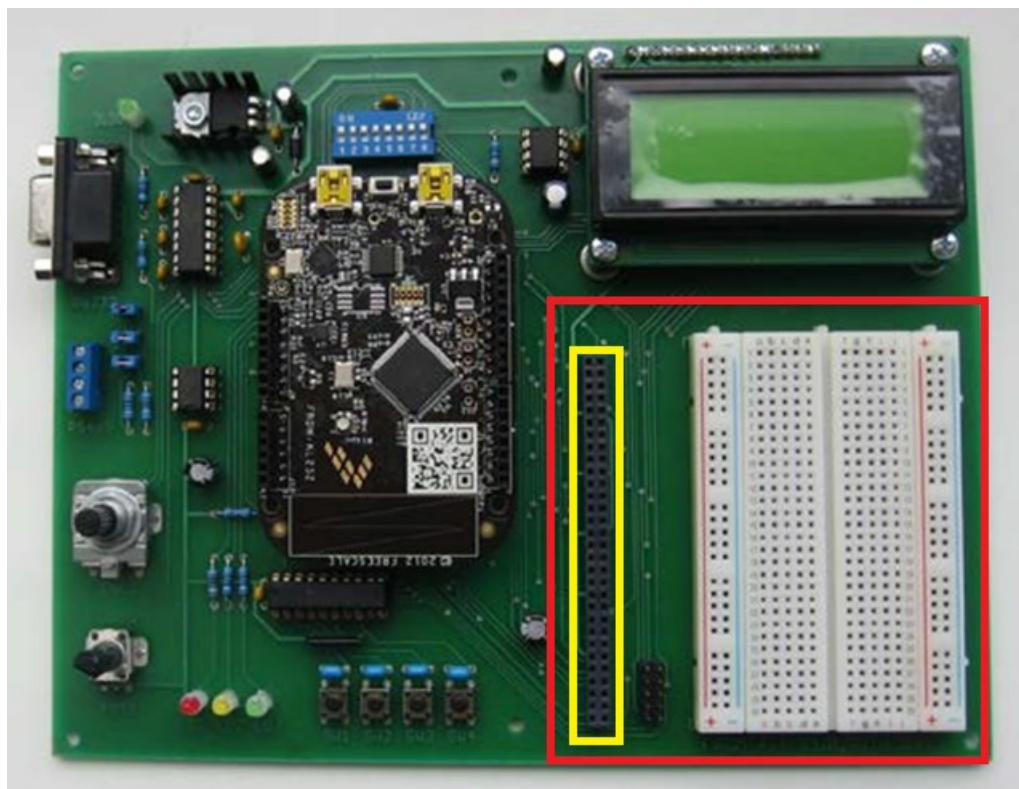
Význam bitů:

- DATA0 – prvních 8 bitů pro D/A převodník
- DATA1 – vrchní 4 bity pro D/A převodník [11], [14]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 HARDWEROVÉ MOŽNOSTI KITU

Modul, který je výsledkem práce se bude připojovat k výukovému kitu. Ten je řízen mikrokontrolerem NXP – KL25Z. Modul bude umístěn v červeně vyznačené oblasti (obr. 21.). K propojení kitu a modulu je využit vyznačený konektor na (obr. 21.).



Obr. 21. Výukový kit

6.1 Zapojení pinů na konektoru

Z pinů, které jsou dostupné na konektoru (Tab. 1.), byly určeny ty, které mohou být použity pro analogové vstupy a výstupy. Pro digitální vstupy a výstupy pak byly vybrány některé z volných vývodů.

Pro analogový výstup bylo potřeba zjistit, jestli je na konektoru dostupný výstup s D/A převodníkem. Z dostupných možností to splňuje pouze pin 5.

Pro analogové vstupy bylo potřeba najít vstupy s dostupným A/D převodníkem. To splňují piny 6, 7, 8 a 12. Zde 3 z nich byly použity pro běžný napěťový analogový vstup a čtvrtý je použit pro obvod na měření teploty pomocí Pt100 odporového senzoru.

Ze zbývajících volných vstupů jsou 4 piny použity pro digitální vstupy a další 4 pro digitální výstupy. Zde bylo více možností, které piny použít. Kvůli následné realizaci obvodu jsou využity ty, které se nacházejí v pravé části konektoru.

Tab. 1. Zapojení konektoru

PTA16	1	2	PTA17
PTA4	3	4	PTA5
PTE30	5	6	PTE20
PTE21	7	8	PTB0
3V	9	10	GND
PTE5	11	12	PTC1
PTE4	13	14	PTE3
PTE0 (I2C1_SDA)	15	16	(I2C1_SCL) PTE1
PTE2	17	18	PTB11
3V	19	20	GND
PTB1	21	22	(FTM0_CH0) PTD0
PTD2 (FTM0_CH2)	23	24	(FTM0_CH3) PTD3
PTD5	25	26	(FTM0_CH4) PTD4
	27	28	PTC16
3V	29	30	GND
	31	32	PTC12
PTC6 (SPI0_MOSI)	33	34	(SPI0_SCK) PTC5
	35	36	(SPI0_MISO) PTC7
	37	38	
3V	39	40	GND
PTC17	41	42	PTE31
PTD6	43	44	PTD7
	45	46	
	47	48	
3V	49	50	GND
PTC10	51	52	PTC11
PTC8	53	54	PTC9
	55	56	PTA12
	57	58	
RESET/PTA20	59	60	
	Signál je sdílen s periferií FRDM kitu		
	Napájecí piny		
	Porty použité pro modul		

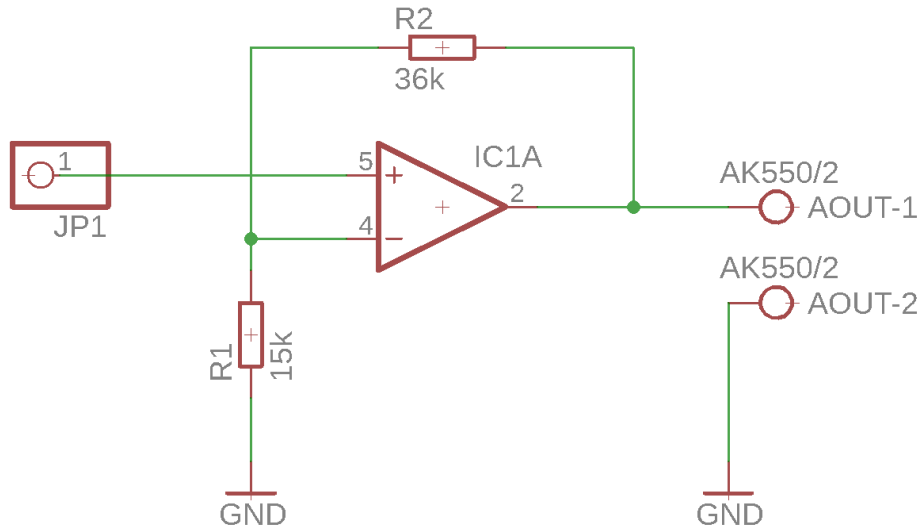
7 HARDWAROVÝ NÁVRH DESKY

Po prostudování možností vývojového kitu, byl zvolen následující počet jednotlivých vstupních a výstupních obvodů.

- 1x analogový výstup
- 3x analogový vstup
- 1x obvod pro měření teploty s využitím teplotního čidla Pt100
- 3x digitální výstup
- 1x digitální výstup s využitím relé
- 4x digitální vstup

7.1 Analogový výstup

Pro analogový výstup je využit integrovaný digitálně – analogový konvertor. Ten dodává na výstup napětí v rozsahu 0 – 3 V. Jelikož je požadováno na výstupu napětí v rozsahu 0 – 10 V, je potřeba signál zesílit. K tomuto účelu je zde použit operační zesilovač v neinvertujícím zapojení.



Obr. 22. Zapojení analogového výstupu

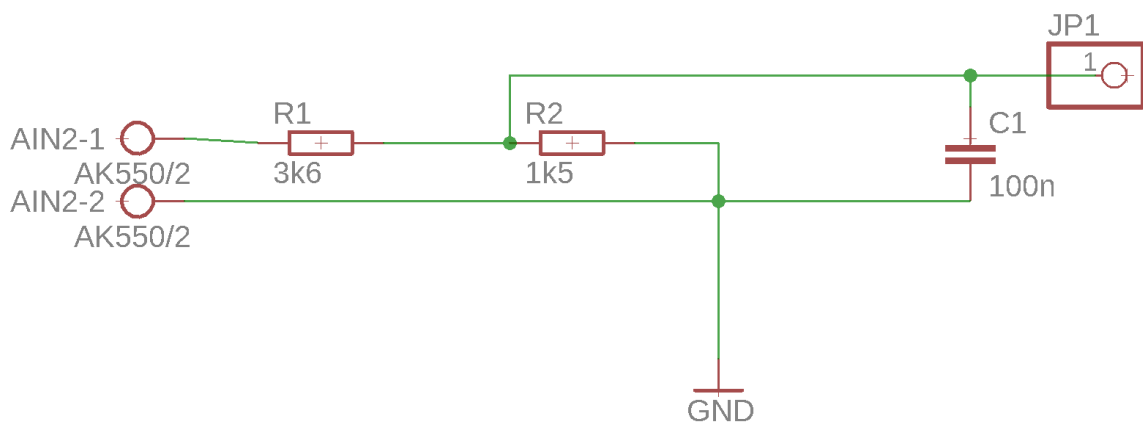
Z pinu mikropočítače zde přichází signál na neinvertující vstup. Kombinací odporů R_1 a R_2 je zde dáno zesílení.

Po dosazení do rovnice (3), kde za U_{in} dosadíme maximální napětí, které dostaneme z mikropočítače a kombinací R_1 a R_2 nastavíme tak, abychom na výstupu dostali napětí 10 V.

$$U_{out} = 1 + \frac{36000}{15000} * 3 = 10,2V$$

7.2 Analogový vstup

Analogový vstup je navržen pro vstupní napětí v rozsahu 0-10 V. Jelikož mikropočítač dokáže zpracovat maximálně 3 V na vstupu, bylo potřeba vstupní napětí snížit na dovolený rozsah. Pro snížení napětí je zde použit dělič napětí. Celkové napětí 10 V se zde rozdělí mezi dva rezistory R_1 a R_2 ve stejném poměru jako jsou jejich hodnoty. Napětí, které je přivedeno na vstup mikropočítače, se odebírá na rezistoru R_2 .



Obr. 23. Zapojení Analogového vstupu

Výsledné napětí, které je na výstupu z děliče lze dopočítat z rovnice:

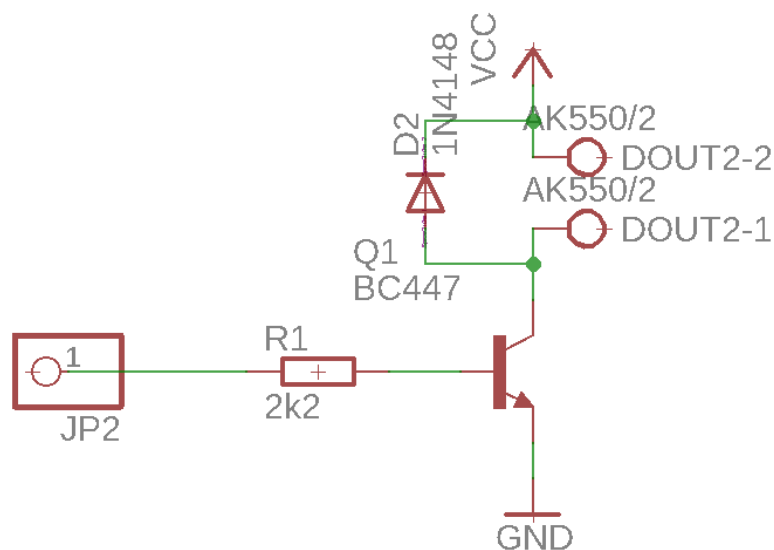
$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{in} \quad (6)$$

Kde U_{in} je vstupní napětí, tedy v našem případě 10 V a rezistory R_1 a R_2 tvoří dělicí poměr mezi vstupem a výstupem. Po dosazení získáme výstupní napětí z děliče.

$$U_{out} = \frac{1500}{3600 + 1500} 10 = 2,94V$$

7.3 Digitální výstup

Obvod pro digitální výstup je realizován pomocí tranzistoru s otevřeným kolektorem. Je použit tranzistor BC337, který má proudové zesílení 400. Rezistor R_1 , který nastavuje proud do báze je nastaven tak, aby proud báze byl 1 mA. Při zesílení 400x je tedy tranzistor schopen v kolektorovém obvodu spínat proud až 400 mA. Jedna z výstupních svorek je připojena k napájecímu napětí a otevřením tranzistoru dojde k propojení druhé svorky se zemí. Jako ochrana proti přepólování je paralelně ke konektoru připojena dioda v závěrném směru.



Obr. 24. Zapojení digitálního výstupu

Výpočet odporu báze byl proveden podle Ohmova zákona

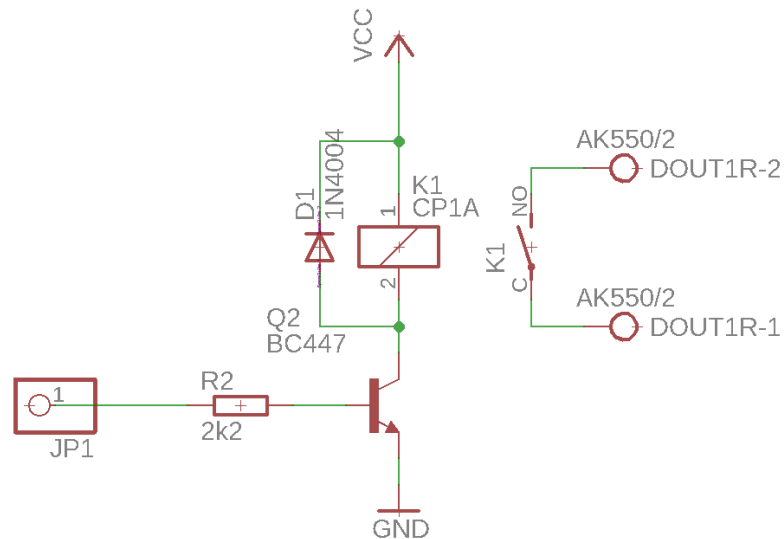
$$R = \frac{U}{I} \quad (7)$$

Kde požadujeme, aby proud byl 1 mA a napětí je výstupní napětí z mikro počítače (3 V), snižené o napětí přechodu báze-emitor tranzistoru (0,7 V).

$$R = \frac{3 - 0,7}{0,001} = 2300\Omega$$

Jeden z digitálních výstupů je doplněn o relé. V obvodu kolektoru je zde místo výstupních svorek připojena ovládací cívka relé. Při sepnutí tranzistoru dojde i k sepnutí relé a jeho výstupní kontakty se propojí. Při rozpojení relé dochází ke generování napěťového impul-

zu s opačnou polaritou. Pro jeho potlačení je použita dioda připojená k cívce v závěrném směru.

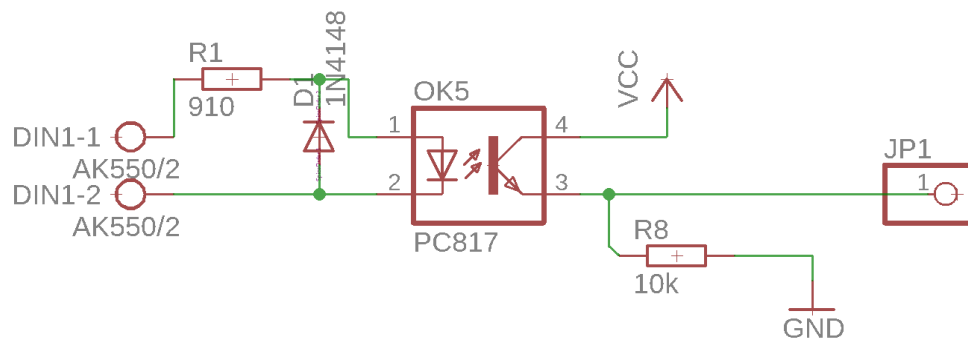


Obr. 25. Zapojení digitálního výstupu s relé

7.4 Digitální vstup

V obvodu pro digitální vstup je využit optočlen. Díky němu může být vstupní napětí indikující logickou 1 v rozsahu od 3 V až do 24 V, aniž by došlo k poškození obvodu. Optočlen, který je použit, má maximální povolený vstupní proud 50 mA. Tato hodnota je východzí pro výpočet vstupního rezistoru. Rezistor je navržen tak, aby při vstupním napětí 24 V byl vstupní proud 24,5 mA. Paralelně se vstupem optočlenu je připojena dioda v závěrném směru, ta chrání optočlen proti přepólování.

Ve výstupní části obvodu je zařazen rezistor 10 k Ω . Při napájení 3 V tak výstupním obvodem bude procházet proud přibližně 0,3 mA.



Obr. 26. Zapojení digitálního vstupu

7.5 Obvod pro měření teploty

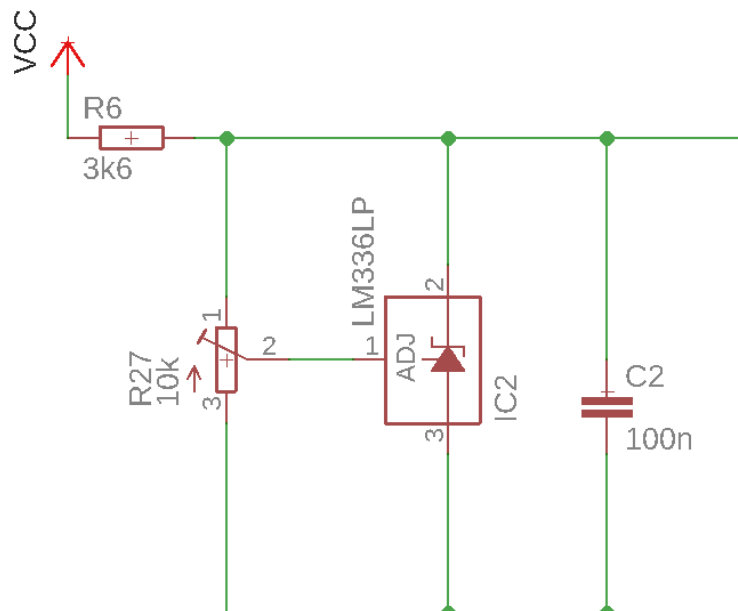
Obvod pro měření teploty využívá teplotní senzor Pt100. Obvod je navrhnut pro měření teplot v rozsahu od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplotní senzor reaguje na změnu teploty změnou odporu.

Celý obvod pro měření teploty se skládá z následujících částí:

- Napěťová reference
- Zdroj konstantního proudu
- Rozdílový zesilovač
- Součtový zesilovač

7.5.1 Napěťová reference

Na vstupu obvodu pro měření teploty je vytvořená napěťová reference. Ta se skládá ze samotné reference – LM336LP, z potenciometru a filtračního kondenzátoru. Reference udržuje stálé napětí 5 V. Potenciometr je zde pro přesné nastavení napětí a filtrační kondenzátor pro odstranění případných vysokofrekvenčních složek signálu. Rezistor R_6 udává vstupní proud do obvodu, v našem případě 3 mA. Napěťová reference je zde použita pro zajištění přesného napětí na vstupu zdroje konstantního proudu.



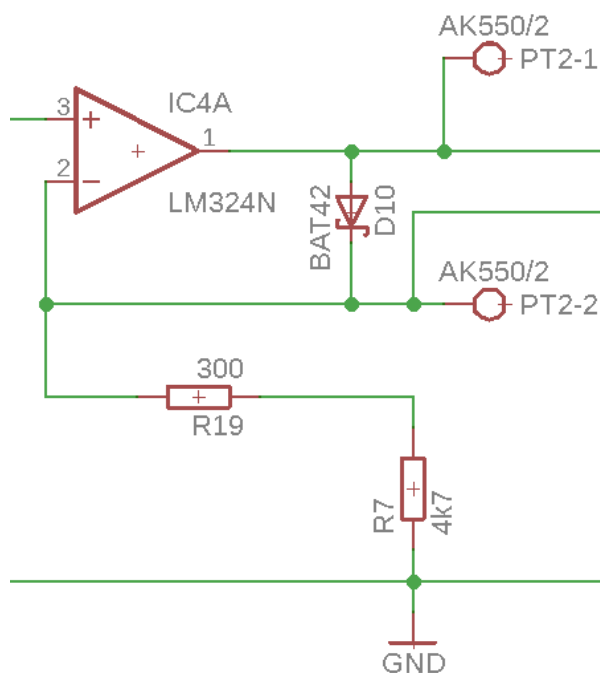
Obr. 27. Zapojení napěťové reference

7.5.2 Zdroj konstantního proudu

Zdroj konstantního proudu je zde realizován pomocí operačního zesilovače, kde v jeho výstupní části je zapojen teplotní snímač a rezistor, který určuje velikost proudu obvodem. Jelikož je použita 5V reference na vstupu a odpor 5 k Ω na výstupu, obvodem bude protékat konstantní proud 1 mA. Protože se rezistor s odporem 5 k Ω nevyrobí, je zde vytvořen pomocí dvou rezistorů – 300 Ω a 4,7 k Ω .

Pokud není Pt100 senzor připojen, obvod se dostane do saturace, a na výstupu naměříme saturační napětí operačního zesilovače (15 V). Z toho důvodu je paralelně k odporovému senzoru připojena dioda, která výstupní napětí sníží.

Jelikož přes teplotní čidlo protéká konstantní proud, dojde při změně odporu Pt100 senzoru, ke změně napětí, které lze na senzoru naměřit. Toho je využito v další části obvodu – rozdílovém zesilovači.



Obr. 28. Zapojení zdroje proudu

7.5.3 Rozdílový zesilovač

Poté co je změna odporu teplotního snímače převedena na změnu napětí, díky zdroji konstantního proudu, je potřeba napětí na snímači upravit na rozsah vhodný pro vstup do mikročítače. K tomu účelu je v obvodu zařazen rozdílový operační zesilovač.

Při teplotě $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ má snímač odpor $80\ \Omega$. Při proudu $1\ \text{mA}$ na něm tedy naměříme napětí $80\ \text{mV}$. Při teplotě $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ na snímači naměříme napětí $176\ \text{mV}$. Tento rozsah napětí je potřeba upravit na rozsah $0\text{--}3\ \text{V}$, který následně přivedeme na analogový vstup mikropočítače.

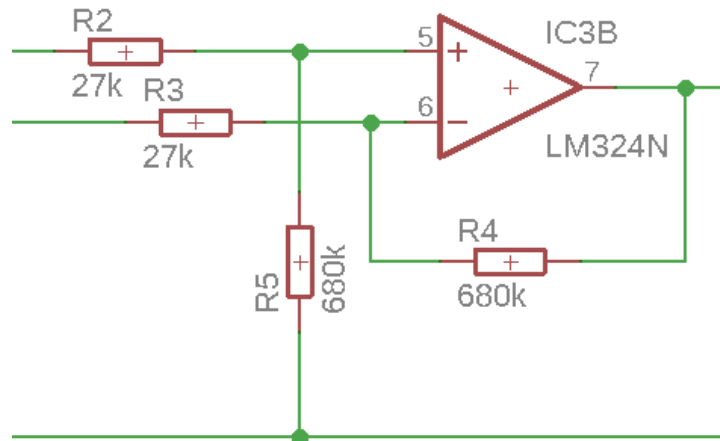
Pro výpočet výstupního napětí je použita rovnice (4).

Za rozdíl napětí ($U_2 - U_1$) je dosazena hodnota napětí na snímači, pro minimální teplotu, tedy $80\ \text{mV}$, a pro maximální teplotu $176\ \text{mV}$.

$$U_{Outmin} = \frac{680 * 10^3}{27 * 10^3} 80 * 10^{-3} = 2,01\text{V}$$

$$U_{Outmax} = \frac{680 * 10^3}{27 * 10^3} 176 * 10^{-3} = 4,43\text{V}$$

Jelikož i při minimální teplotě naměříme napětí, je v poslední části obvodu použit součtový zesilovač, který snižuje offsetové napětí.



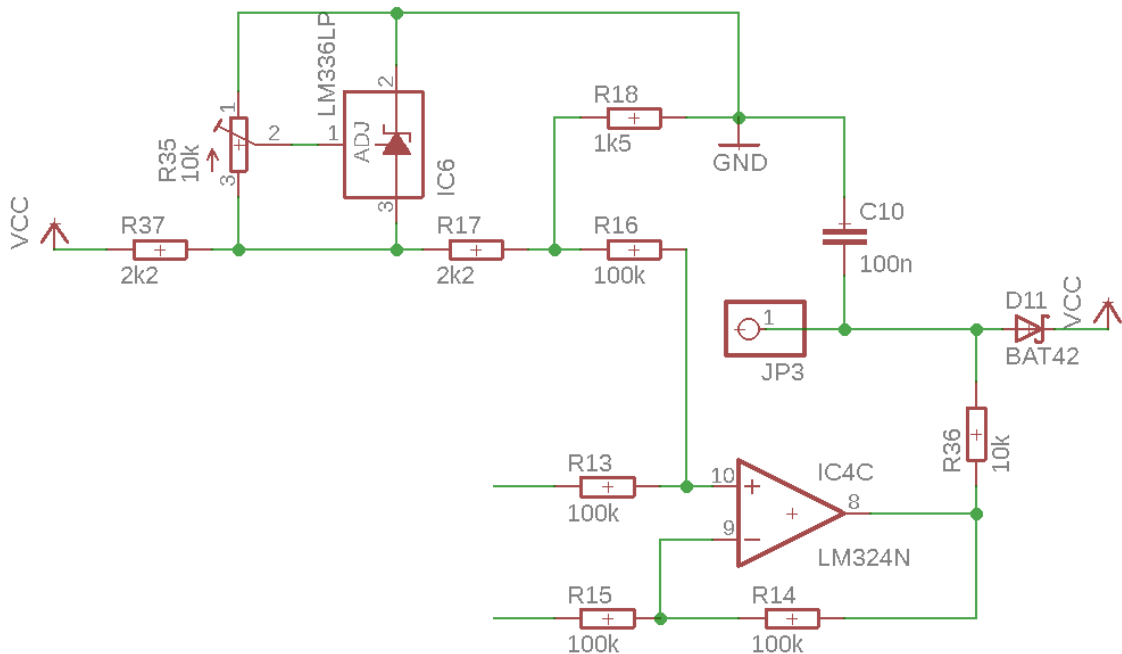
Obr. 29. Zapojení rozdílového zesilovače

7.5.4 Součtový zesilovač

V poslední části obvodu je použit součtový zesilovač. Zde se k už zesílenému napětí z rozdílového zesilovače přičítá záporné napětí $-2\ \text{V}$. Díky tomu dojde ke snížení velikosti offsetu na nepatrný zlomek, kdy bez použití součtového zesilovače zabíralo offsetové napětí téměř polovinu rozsahu převodníku.

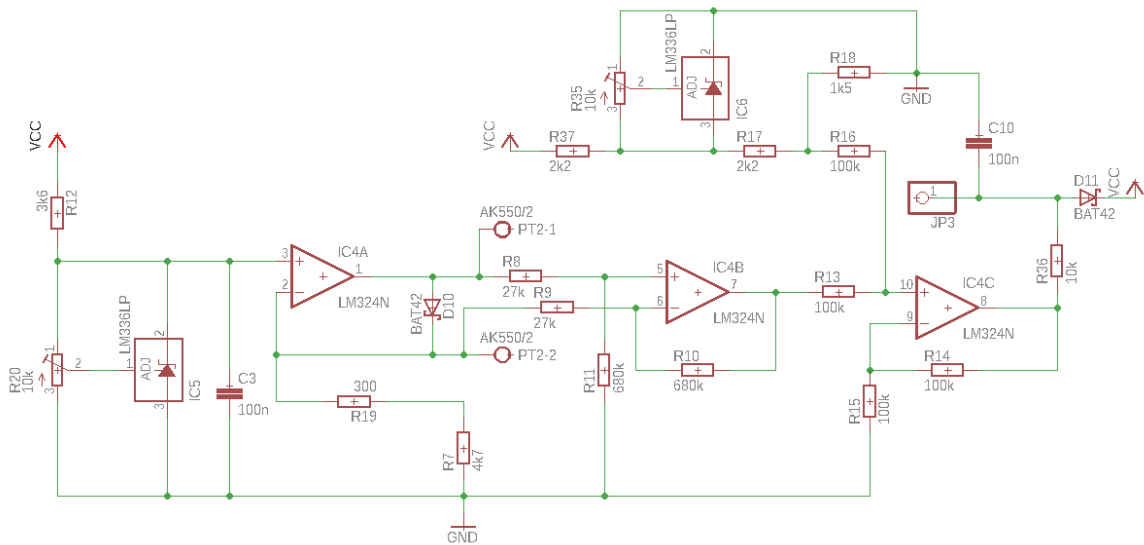
Záporné napětí je zde nejprve přivedeno na napěťovou referenci -5 V. Referenčních -5 V je pak přivedeno na napěťový dělič tvořený rezistory R₁₇ a R₁₈.

Výstup součtového zesilovače je připojen na vstup mikropočítače a na jeho A/D převodník. Pokud není připojen odporový senzor, je výstupní napětí obvodu omezeno pomocí rezistoru R₃₆ a diody D₁₁ na hodnotu napájecího napětí vývojového kitu zvýšeného o úbytek napětí na diodě v propustném směru.



Obr. 30. Součtový zesilovač

7.5.5 Celkové zapojení obvodu teplotního snímače



Obr. 31. Celkové schéma obvodu pro měření teploty

7.6 Celkové schéma zapojení

Kromě obvodů popsaných výše je celkové schéma doplněno o stabilizátor napětí a DC/DC měnič.

DC/DC měnič je zde pro vytvoření symetrického napětí ± 15 V, které je potřeba pro napájení operačního zesilovače. Měnič vyžaduje na vstupu napájecí napětí 5 V, které je z napájecího napětí získáno pomocí lineárního napěťového regulátoru 7805.

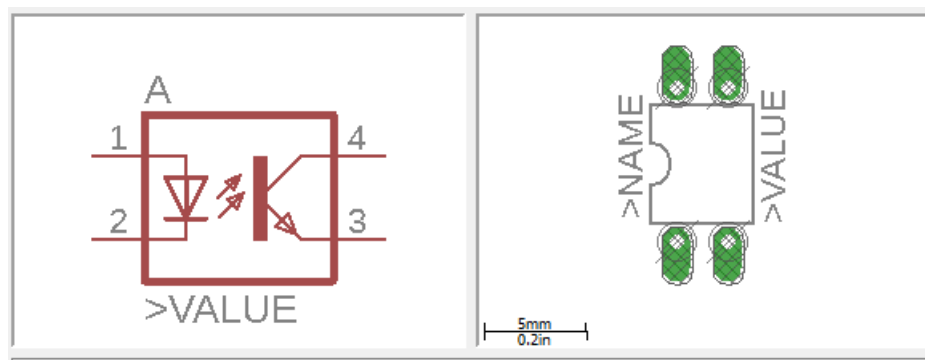
Celkové schéma zapojení je umístěno v příloze PI.

8 REALIZACE PLOŠNÉHO SPOJE A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

8.1 Tvorba plošného spoje

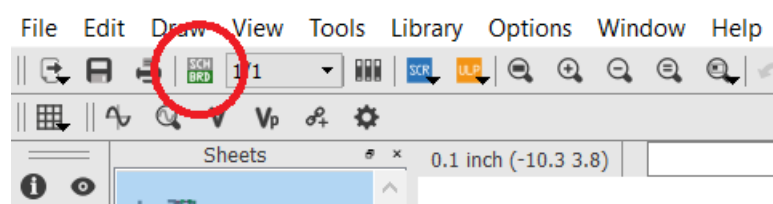
Pro realizaci modulu bylo potřeba vyrobit plošný spoj podle navrženého schématu. K tomuto účelu byl použit program Eagle, kde bylo první potřeba vytvořit schéma celého zapojení. Eagle obsahuje rozsáhlou knihovnu dostupných součástek, ze které je možné vybírat potřebné součástky. Každá součástka v knihovně obsahuje schématickou značku a reálné rozměry a vývody, které jsou použity při tvorbě desky plošného spoje.

Pokud požadovaná součástka v knihovně chybí je možné ji vytvořit, nebo upravit některou ze stávajících součástek. [13]



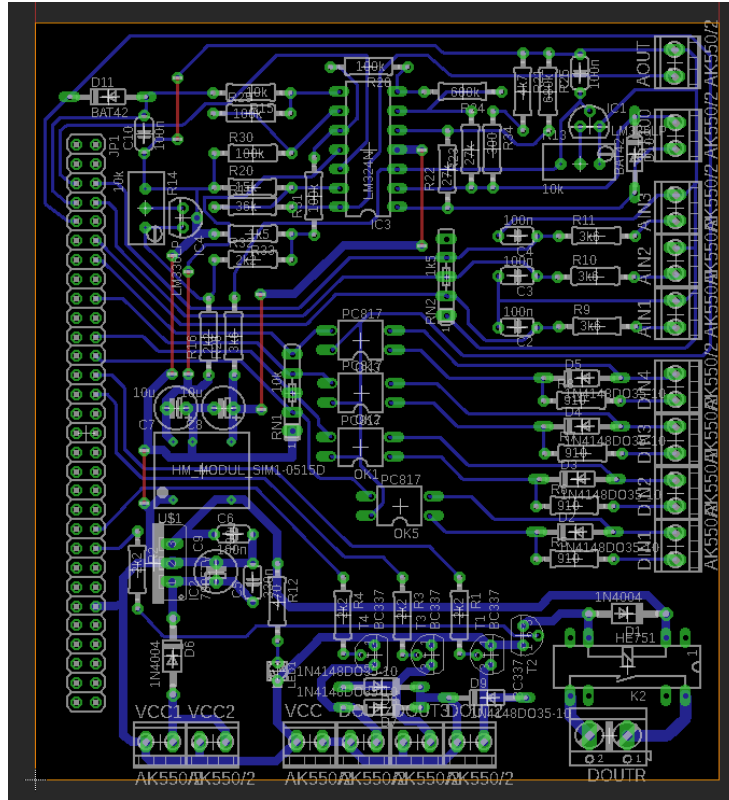
Obr. 32. Ukázka součástky v knihovně programu Eagle

Po vytvoření schématu zapojení je potřeba nechat vygenerovat plošné spoje. K tomu je v Eagle tlačítko „Generate/switch to board“ (obr. 33). To otevře druhé okno, ve kterém jsou vygenerované veškeré použité součástky, a naznačeno, jak mají být propojeny. [13]



Obr. 33. Eagle – generování desky plošného spoje

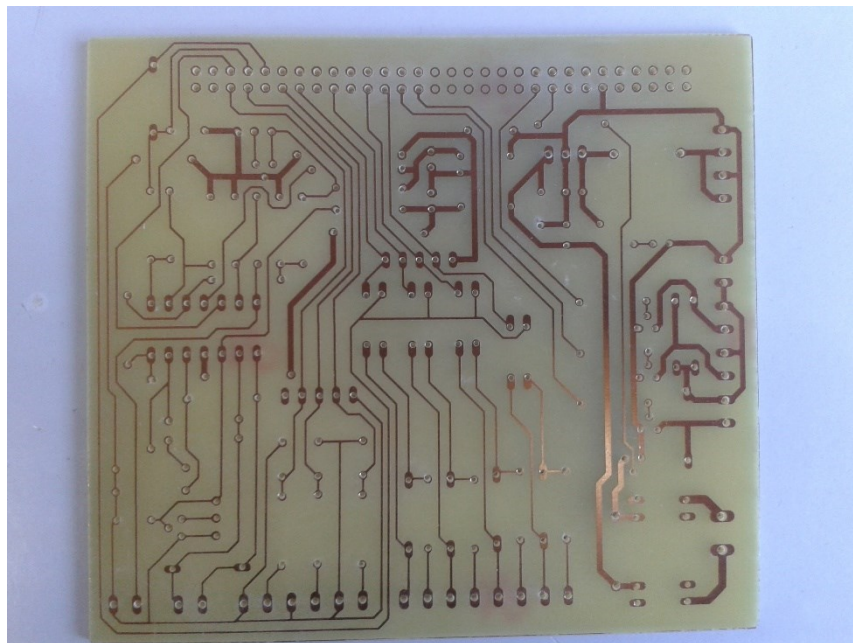
Vygenerované součástky je potřeba přesunout a natočit podle potřeby. Po rozmístění součástek následuje tvoření spojů. Zde Eagle podporuje tvoření cest až v 16 vrstvách. V tomhle případě jsou použity pouze spoje z vrstvy „bottom“ a „top“. Kde ve vrstvě bottom jsou cesty, které jsou vyleptány do desky plošného spoje a ve vrstvě top jsou naznačeny použité propojky. [13]



Obr. 34. Eagle – deska plošného spoje

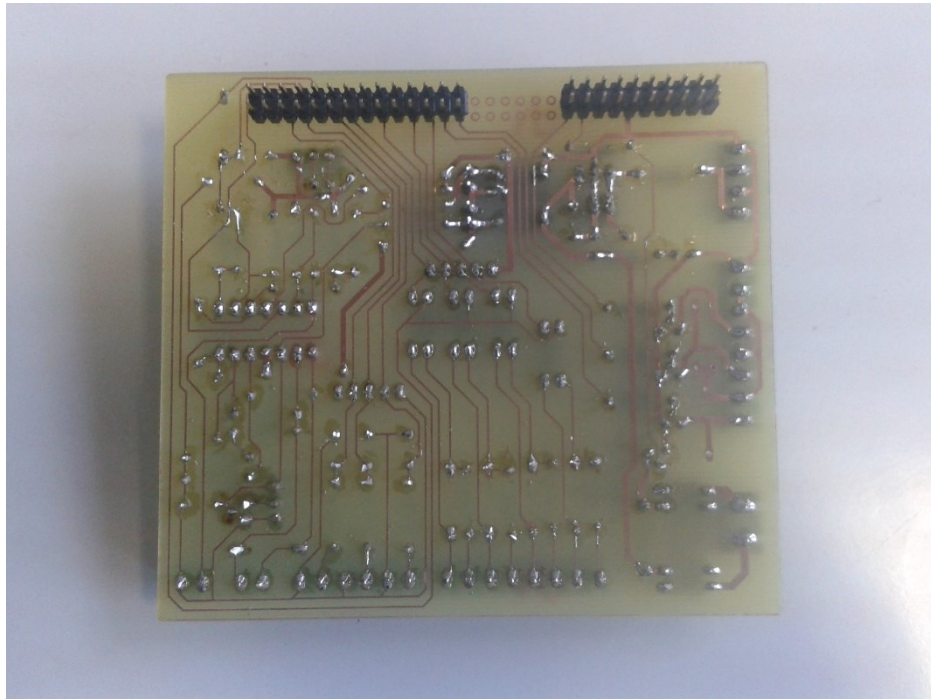
8.2 Výroba desky plošného spoje a jeho osazení.

Po vytvoření, se návrh plošného spoje vytiskne, přenesse na desku a následně vyleptá. Vyleptanou desku je následně potřeba vyvrtat.

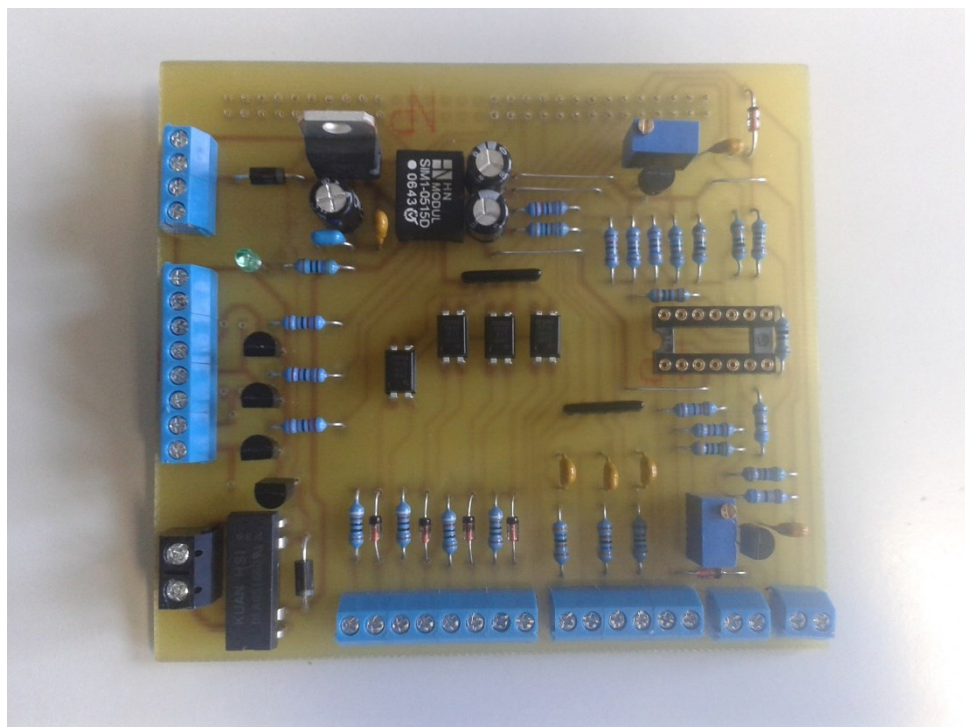


Obr. 35. Deska plošného spoje

Poslední fází výroby tvořilo pájení součástek. Veškeré součástky a propojky, kromě konektoru pro propojení s vývojovým kitem, jsou napájeny z vrchní strany desky. Konektor pro propojení musel být napájen ze spodní strany, aby bylo možné desku nasunout na vývojový kit.

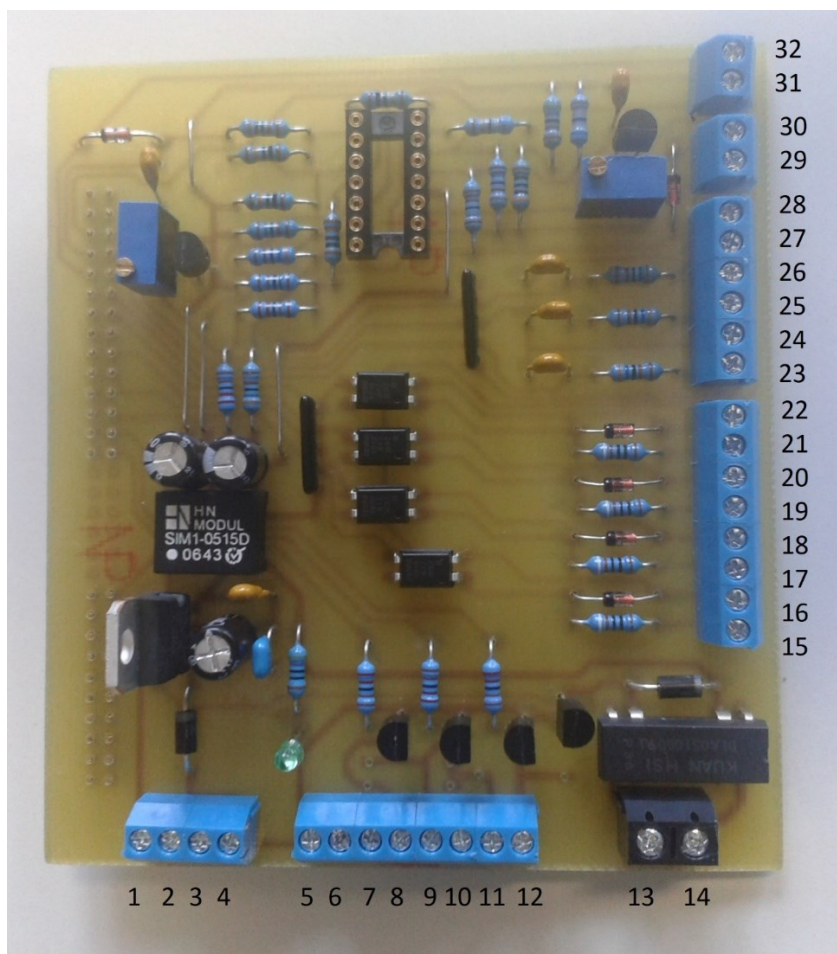


Obr. 36. Deska plošných spojů – strana spojů



Obr. 37. Deska plošných spojů – strana součástek

8.3 Popis vstupně / výstupních svorek modulu



Obr. 38. Popis svorek modulu

Tab. 2. Popis svorek modulu

1	Napájení GND	2	Napájení +9 V
3	Napájení GND - stejná funkce jako (1)	4	Napájení +9 V - stejná funkce jako (2)
5	Napájení GND pro digitální výstupy, možnost použití jiného napětí	6	Napájení +U pro digitální výstupy, možnost použití jiného napětí
7	Digitální výstup 2 +U	8	Digitální výstup 2 GND
9	Digitální výstup 3 +U	10	Digitální výstup 3 GND
11	Digitální výstup 4 +U	12	Digitální výstup 4 GND
13	Digitální výstup 1 - Relé	14	Digitální výstup 1 - Relé
15	Digitální vstup 1 +U	16	Digitální vstup 1 GND
17	Digitální vstup 2 +U	18	Digitální vstup 2 GND
19	Digitální vstup 3 +U	20	Digitální vstup 3 GND
21	Digitální vstup 4 +U	22	Digitální vstup 4 GND
23	Analogový vstup 1 +U	24	Analogový vstup 1 GND
25	Analogový vstup 2 +U	26	Analogový vstup 2 GND
27	Analogový vstup 3 +U	28	Analogový vstup 3 GND
29	Teplotní snímač Pt100	30	Teplotní snímač Pt100
31	Analogový výstup +U	32	Analogový výstup GND

8.4 Ověření funkce modulu

Pro ověření funkčnosti byl vytvořen program, který načítal nebo nastavoval hodnoty na jednotlivých vstupech a výstupech, a ty byly porovnány s naměřenými nebo teoretickými hodnotami.

8.4.1 Ověření teplotního snímače

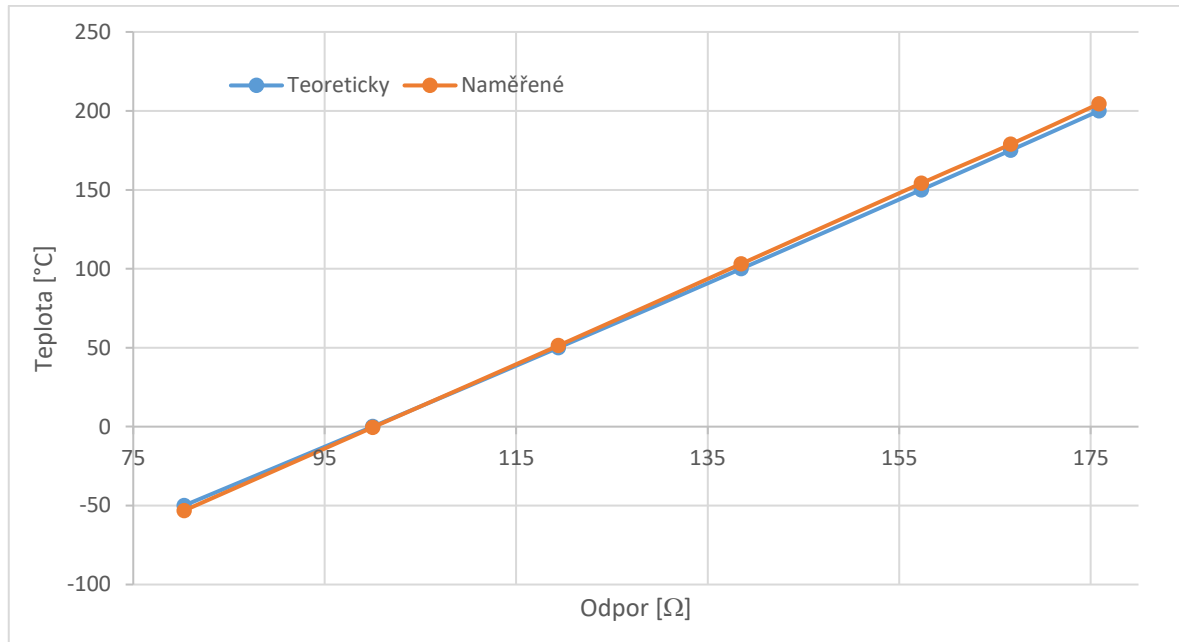
Teplotní senzor Pt100 je tvořen platinovým drátkem, který mění svůj elektrický odpor v závislosti na teplotě. Pro testování byl snímač Pt100 nahrazen potenciometrem. Na něm byl nastaven odpor podle tabulky pro Pt100 (obr. 39) a připojen na příslušný vstup modulu. Naměřená teplota byla vynesena do tabulky a grafu spolu s teoretickou hodnotou.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
-50	80,31	80,70	81,10	81,50	81,89	82,29	82,69	83,08	83,48	83,87	84,27	-50
-40	84,27	84,67	85,06	85,46	85,85	86,25	86,64	87,04	87,43	87,83	88,22	-40
-30	88,22	88,62	89,01	89,40	89,80	90,19	90,59	90,98	91,37	91,77	92,16	-30
-20	92,16	92,55	92,95	93,34	93,73	94,12	94,52	94,91	95,30	95,69	96,09	-20
-10	96,09	96,48	96,87	97,26	97,65	98,04	98,44	98,83	99,22	99,61	100,00	-10
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51	103,90	0
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40	107,79	10
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,29	111,67	20
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15	115,54	30
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01	119,40	40
50	119,40	119,78	120,17	120,55	120,94	121,32	121,71	122,09	122,47	122,86	123,24	50
60	123,24	123,63	124,01	124,39	124,78	125,16	125,54	125,93	126,31	126,69	127,08	60
70	127,08	127,46	127,84	128,22	128,61	128,99	129,37	129,75	130,13	130,52	130,90	70
80	130,90	131,28	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,57	133,95	134,33	134,71	80
90	134,71	135,09	135,47	135,85	136,23	136,61	136,99	137,37	137,75	138,13	138,51	90
100	138,51	138,88	139,26	139,64	140,02	140,40	140,78	141,16	141,54	141,91	142,29	100
110	142,29	142,67	143,05	143,43	143,80	144,18	144,56	144,94	145,31	145,69	146,07	110
120	146,07	146,44	146,82	147,20	147,57	147,95	148,33	148,70	149,08	149,46	149,83	120
130	149,83	150,21	150,58	150,96	151,33	151,71	152,08	152,46	152,83	153,21	153,58	130
140	153,58	153,96	154,33	154,71	155,08	155,46	155,83	156,20	156,58	156,95	157,33	140
150	157,33	157,70	158,07	158,45	158,82	159,19	159,56	159,94	160,31	160,68	161,05	150
160	161,05	161,43	161,80	162,17	162,54	162,91	163,29	163,66	164,03	164,40	164,77	160
170	164,77	165,14	165,51	165,89	166,26	166,63	167,00	167,37	167,74	168,11	168,48	170
180	168,48	168,85	169,22	169,59	169,96	170,33	170,70	171,07	171,43	171,80	172,17	180
190	172,17	172,54	172,91	173,28	173,65	174,02	174,38	174,75	175,12	175,49	175,86	190
200	175,86	176,22	176,59	176,96	177,33	177,69	178,06	178,43	178,79	179,16	179,53	200
210	179,53	179,89	180,26	180,63	180,99	181,36	181,72	182,09	182,46	182,82	183,19	210
220	183,19	183,55	183,92	184,28	184,65	185,01	185,38	185,74	186,11	186,47	186,84	220
230	186,84	187,20	187,56	187,93	188,29	188,66	189,02	189,38	189,75	190,11	190,47	230
240	190,47	190,84	191,20	191,56	191,92	192,29	192,65	193,01	193,37	193,74	194,10	240

Obr. 39. Tabulka hodnot odporu snímače PT100

Tab. 3. Ověření teplotního snímače

	Teoreticky	Naměřené
Odpor [Ω]	Teplota [°C]	Teplota [°C]
80,31	-50	-53,2
100,00	0	-0,5
119,40	50	51,3
138,51	100	103,1
157,33	150	154,1
166,63	175	178,8
175,86	200	204,5



Obr. 40. Porovnání teoretické a naměřené teploty

8.4.2 Ověření Analogových vstupů a výstupů

Ověření analogových vstupů a výstupů bylo provedeno propojením analogového výstupu se vstupem, a zároveň měřeno digitálním voltmetrem. Na výstup byla postupně nastavena hodnota 0 – 9 V a odečítala se hodnota na digitálním voltmetru a hodnota, kterou vrátil analogový vstup. Výsledek je ukázán v následující tabulce.

Tab. 4. Analogové vstupy a výstupy

Analogový výstup	Digitální voltmetr	Analogový vstup
U [V]	U [V]	U [V]
0	0,004	0,002
1	1	1,003
2	1,99	2,009
3	3	3,015
4	3,99	4,023
5	4,99	5,017
6	6	6,023
7	6,99	7,031
8	7,99	8,031
9	8,99	9,035

9 PROGRAMOVÁ KNIHOVNA

Pro snadnou obsluhu a programování je pro modul vytvořena knihovna v jazyce C. Knihovna má funkci pro inicializaci veškerých používaných pinů mikropočítače a funkce pro obsluhu jednotlivých vstupů a výstupů modulu. Veškeré funkce modulu mají předponu `IO_` aby je bylo snadné identifikovat v programovém kódu.

Níže je uveden seznam funkcí knihovny a popis k čemu slouží a jaké mají vstupní a výstupní hodnoty.

IO_Initialize();

Tato funkce slouží pro povolení hodinového signálu pro používané porty mikropočítače, nastavení funkce pinů a určení, jestli je pin vstupní nebo výstupní. Dále se stará o nastavení a kalibraci A/D i D/A převodníku.

Funkce nemá žádné parametry ani návratovou hodnotu. Měla by být použita na začátku programu ještě před nekonečnou smyčkou.

IO_Digital_out_set(int Number);

Funkce slouží pro nastavení hodnoty digitálního výstupu na logickou 1.

Vstupní parametr „Number“ označuje který výstup nastavujeme. Může tedy nabývat hodnot 1-4 , kde 1 je použita pro relé a 2-4 jsou použity pro tranzistorové digitální výstupy. Funkce je bez návratové hodnoty.

IO_Digital_out_clr(int Number);

Funkce slouží pro nastavení hodnoty digitálního výstupu na logickou 0.

Vstupní parametr zde má stejný význam jako u předchozí funkce pro nastavení logické 1.

Int IO_Digital_in(int Number);

Tato funkce slouží pro zjištění stavu digitálního vstupu.

Vstupní parametr „Number“ stejně jako v předchozích funkcích určuje který ze vstupů bude kontrolován. Podle stavu ve, kterém se vstup nachází funkce vrací hodnotu 1 nebo 0. Hodnotu 1 vrací při přiloženém napětí.

IO_Analog_out(float value);

Tato funkce je použita pro nastavení hodnoty výstupního napětí.

Parametr „value“ zde udává velikost napětí, které má být nastaveno na analogovém výstupu. Hodnota „value“ může nabývat 0-10 V. Při zadání vyššího čísla, které by bylo mimo rozsah převodníku funkce automaticky hodnotu sníží na maximální nastavitelnou hodnotu. Funkce nemá návratovou hodnotu.

Float IO_Analog_in(int Number);

Funkce slouží pro zjištění hodnoty na analogovém vstupu.

Vstupní parametr „Number“ slouží k vybrání jednoho ze vstupů, stejně jako u funkcí pro digitální vstupy a výstupy. Může nabývat hodnot 1-3. Výstupem funkce je velikost naměřeného napětí v rozsahu 0-10 V.

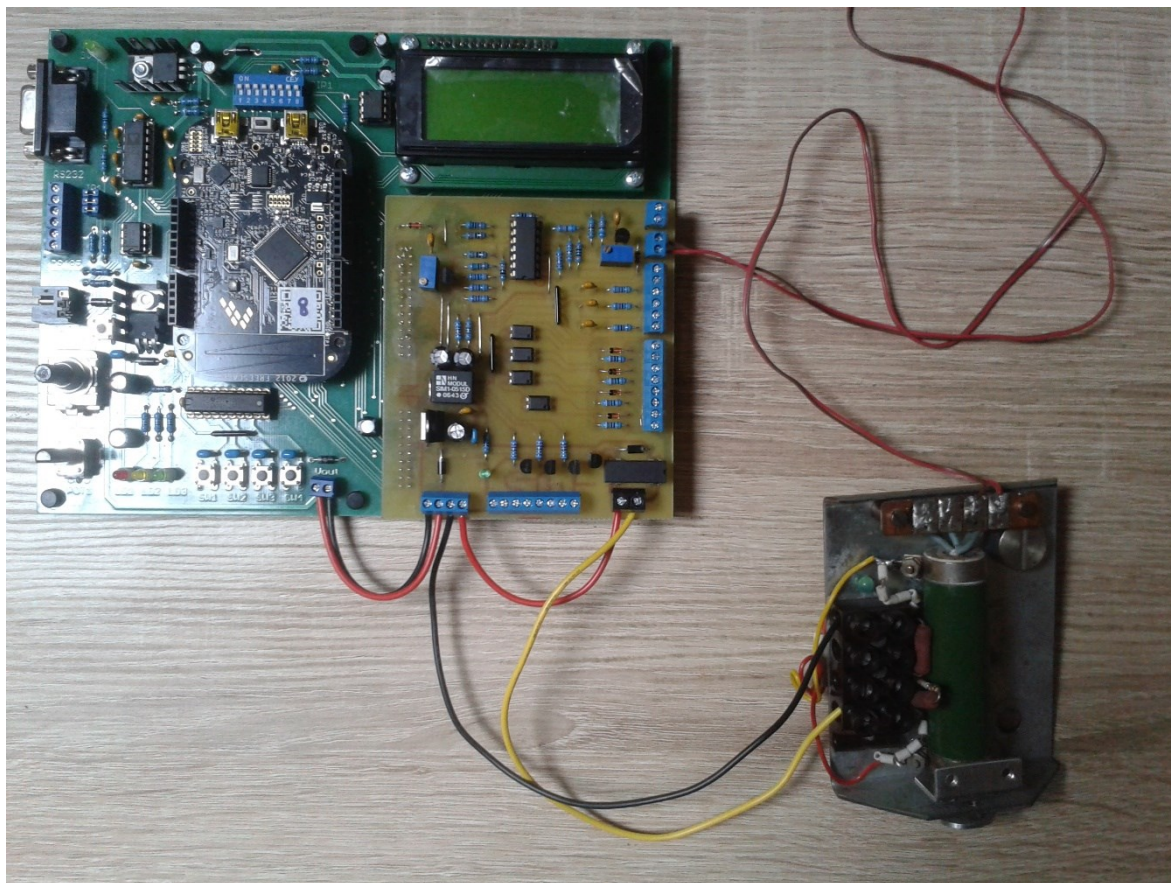
Float IO_Temperature();

Tato funkce vrací velikost naměřené teploty.

Funkce nemá žádné vstupní parametry a jejím výstupem je velikost naměřeného napětí ve °C. Výstup může nabývat hodnot od -62 °C až po 253 °C.

10 UKÁZKOVÝ PROGRAM.

Pro ukázkou funkčnosti modulu byl vytvořen program pro regulaci teploty odporu modelu tepelné soustavy pomocí dvupolohového regulátoru s hysterezí.



Obr. 41. Zapojení ukázkové úlohy

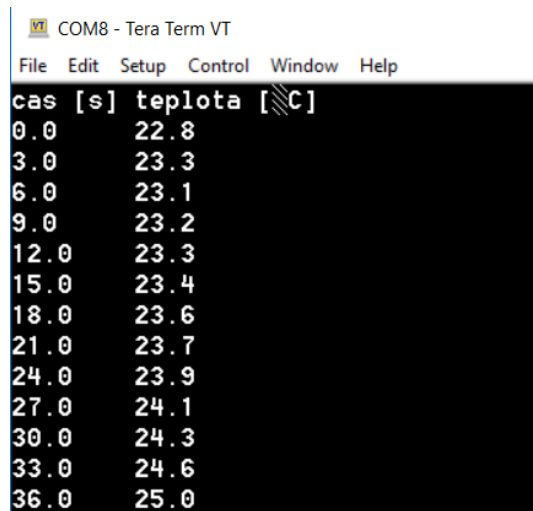
V programu jsou využity kromě knihovny pro IO modul další knihovny používané ve výuce předmětu Programování mikropočítačů. A to konkrétně knihovna pro přesné nastavení časování, knihovna pro ovládání LCD displeje, který se nachází na vývojovém kitu, a knihovna pro sériovou komunikaci s PC.

Uživatel musí do programu zadat pouze 3 vstupní parametry:

- Požadovanou teplotu
- Velikost hystereze
- Vzorkovací periodu

Pro hladší průběh naměřené teploty je v programu implementován jednoduchý průměrovací filtr. Perioda vzorkování, kterou zadá uživatel, je vydělena pěti, hodnota je snímána 5x častěji a na výstupu je poté zobrazen průměr z těchto hodnot. Naměřená teplota je následně

vypsána na LCD displej a zároveň i s časovým údajem poslána přes sériovou linku do PC. Ovládání topení je realizováno pomocí relé, při sepnutém relé je přivedeno napájecí napětí na tepelnou soustavu a soustava se zahřívá. Po dosažení požadované teploty + hystereze dojde k rozpojení kontaktů relé a soustava se začne ochlazovat. Při poklesu pod nastavenou teplotu – hystereze dojde k opětovnému sepnutí relé.



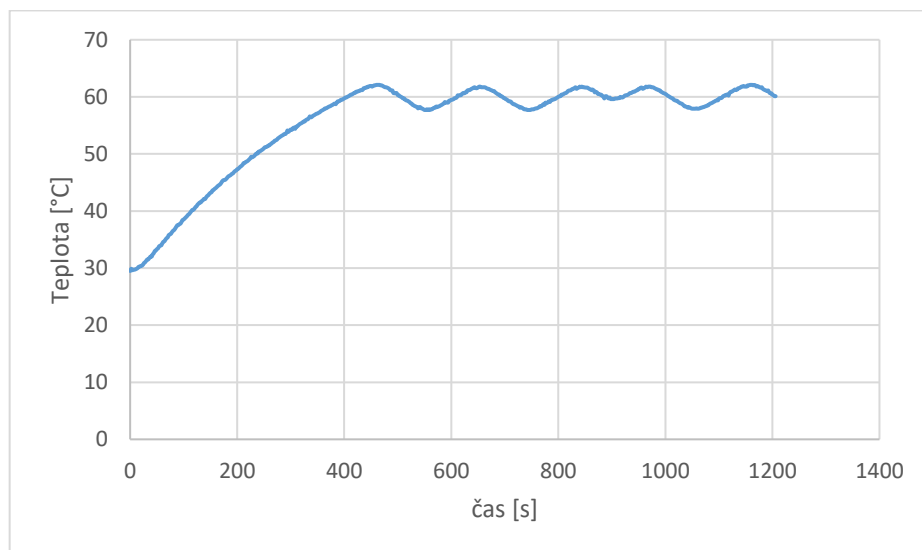
```
COM8 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
cas [s] teplota [°C]
0.0 22.8
3.0 23.3
6.0 23.1
9.0 23.2
12.0 23.3
15.0 23.4
18.0 23.6
21.0 23.7
24.0 23.9
27.0 24.1
30.0 24.3
33.0 24.6
36.0 25.0
```

Obr. 42. Ukázka výstupu na PC

V ukázce byly zadány následující vstupní hodnoty:

- Požadovaná teplota = 60 °C
- Hystereze = 2 °C
- Interval snímání = 3 s

Výstup z konzole byl následně překopírován do Excelu a vytvořen průběh teploty.



Obr. 43. Zpracovaná data z ukázkového programu.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření učební pomůcky, výukového modulu pro předmět programování mikropočítačů. Při návrhu obvodů, které tvoří modul, byli použity znalosti z elektrotechnických předmětů a dokumentace k vývojovému kitu. Při tvorbě softwarové části práce našly uplatnění znalosti jazyka C a dokumentace k používanému mikropočítači, díky které mohli být správně konfigurovány převodníky.

Při zkoumání možností vývojového kitu bylo zjištěno, kolik vyvedených pinů má dostupný A/D a D/A převodník a které piny lze použít pro digitální obvody. Podle toho byl určen počet jednotlivých vstupů a výstupů.

U návrhu jednotlivých obvodů byly využity dostupné online simulace, díky kterým bylo možné obvody vyzkoušet, aniž by hrozilo zničení součástek nebo mikropočítače.

Po úspěšném návrhu bylo potřeba vytvořit kompletní schéma zapojení a podle něj i desku plošných spojů. Dalším krokem poté byla samotná realizace modulu a ověření jeho funkčnosti. Ověření jeho funkčnosti je uvedeno v kapitole 8. Z naměřených dat je vidět, že obvod pro snímání teploty má při vyšších teplotách menší odchylku od teoretických hodnot, ovšem jelikož obvod má sloužit pro výukové účely, a ne pro laboratorní měření, je jeho přesnost dostačující. U analogových obvodů jsou odchylky až v řádech tisíců voltů, což lze považovat za poměrně přesné.

Ze softwarové části zde byla vytvořena knihovna v jazyce C, která slouží pro inicializaci a ovládání jednotlivých vstupů a výstupů. Softwarová část práce byla tvořena ve vývojovém prostředí Kinetis Design Studio, které je určeno přímo pro tvorbu programů pro mikropočítače.

Pro ukázkou funkčnosti zapojení byl vytvořen program, který řídí pomocí dvoupolohové regulace s hysterezí tepelnou soustavu. Naměřená teplota je zde vypisována na LCD displej na vývojovém kitu a zároveň posílána spolu s časovým údajem pomocí sériového rozhraní do počítače k dalšímu zpracování.

Díky tomu že je modul připojen k mikropočítači, je zde snadné realizovat další podobné programy, jako je simulace regulátorů nebo využití PWM modulu a časovačů obsažených jako periferie mikropočítače.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VEJRAŽKA, František. *Signály a soustavy*. Dotisk. Praha: České vysoké učení technické, 1992.
- [2] *Vlastnosti analogových unifikovaných signálů* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: automatizace-issnp.wz.cz/Soubory2/Vlastnosti%20sig.doc
- [3] Diskrétní signál. In: *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Diskr%C3%A9tn%C3%AD_sign%C3%A1l
- [4] *D/A a A/D převodníky* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/personal/janes/zdt/prednasky/3_prevedniky.pdf
- [5] *Převodníky analogových a číslicových signálů* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap8/pevodnky.html>
- [6] *Texas Instruments: Op Amp Circuit Collection* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/snla140b/snla140b.pdf>
- [7] *Operační zesilovače, vlastnosti, napájení, zákl. zapojení* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-23-operacni-zesilovace-vlastnosti-napajeni-zakl-zapojeni/>
- [8] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0184-5.
- [9] Optočlen. In: *Wikipedia: otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Opto%C4%8Dlen>
- [10] *Kinetis Design Studio* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: https://www.nxp.com/products/wireless-connectivity/proprietary-ieee-802.15.4-based/kinetis-design-studio-integrated-development-environment-ide:KDS_IDE
- [11] *KL25 Sub-Family Reference Manual* [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/ref_manual/KL25P80M48SF0RM.pdf

- [12] HRUŠKA, František a Ladislav ŠMEJKAL. *Technické prostředky informatiky a automatizace: (úvod, popis funkce, konstrukce a aplikace)*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 193 s. ISBN 978-807-3185-350.
- [13] JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. *EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka* .: 2. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2.
- [14] *NXP Semiconductors. Kinetis KL25 Sub-Family 48 MHz Cortex-M0+ Based Microcontroller with USB*, [online]. 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
- [15] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 159 s. ISBN 80-7300-110-1.
- [16] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 195 s. ISBN 978-80-7300-246-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

D/A	Digitálně-analogový převodník.
A/D	Analogově-digitální převodník.
OZ	Operační zesilovač
MCU	Mikropočítač
GND	Vodič s nulovým potenciálem
+U	Kladné napětí
PC	Počítač
RAM	Paměť s náhodným přístupem
ROM	Pevná paměť, pouze ke čtení
Flash	Druh ROM paměti, lze přepisovat po blocích
SPI	Sériové periferní rozhraní
UART	Univerzální asynchronní sériové rozhraní
I2C	Sériová sběrnice
PWM	Pulzně šířková modulace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Spojitý signál	12
Obr. 2 . Vzorkovaný signál [3]	13
Obr. 3. Kvantovaný signál [3]	13
Obr. 4. Digitální signál [3].....	14
Obr. 5. Čtyřbitový D/A převodník [5]	16
Obr. 6. Zapojení invertujícího OZ [6].....	17
Obr. 7. Zapojení neinvertujícího OZ [6].....	18
Obr. 8. Zapojení rozdílového OZ [6].....	18
Obr. 9. Zapojení neinvertujícího součtového OZ [6].....	19
Obr. 10. Optočlen [9].....	20
Obr. 11. Výukový vývojový kit	22
Obr. 12 . Stavový a řídicí registr [11]	24
Obr. 13. Konfigurační registr [11]	25
Obr. 14. Výsledkový registr [11]	26
Obr. 15. Řídicí registr [11].....	27
Obr. 16. Řídicí registr 1 [11].....	27
Obr. 17. Řídicí registr 2 [11].....	28
Obr. 18. Stavový registr [11]	28
Obr. 19. Datový LOW registr [11]	29
Obr. 20. Datový HIGH registr [11].....	29
Obr. 21. Výukový kit	31
Obr. 22. Zapojení analogového výstupu	33
Obr. 23. Zapojení Analogového vstupu.....	34
Obr. 24. Zapojení digitálního výstupu	35
Obr. 25. Zapojení digitálního výstupu s relé	36
Obr. 26. Zapojení digitálního vstupu	36
Obr. 27. Zapojení napěťové reference	37
Obr. 28. Zapojení zdroje proudu.....	38
Obr. 29. Zapojení rozdílového zesilovače	39
Obr. 30. Součtový zesilovač	40
Obr. 31. Celkové schéma obvodu pro měření teploty	41
Obr. 32. Ukázka součástky v knihovně programu Eagle.....	42

Obr. 33. Eagle – generování desky plošného spoje	42
Obr. 34. Eagle – deska plošného spoje	43
Obr. 35. Deska plošného spoje	43
Obr. 36. Deska plošných spojů – strana spojů	44
Obr. 37. Deska plošných spojů – strana součástek	44
Obr. 38. Popis svorek modulu	45
Obr. 39. Tabulka hodnot odporu snímače PT100	46
Obr. 40. Porovnání teoretické a naměřené teploty	47
Obr. 41. Zapojení ukázkové úlohy	50
Obr. 42. Ukázka výstupu na PC	51
Obr. 43. Zpracovaná data z ukázkového programu.	51

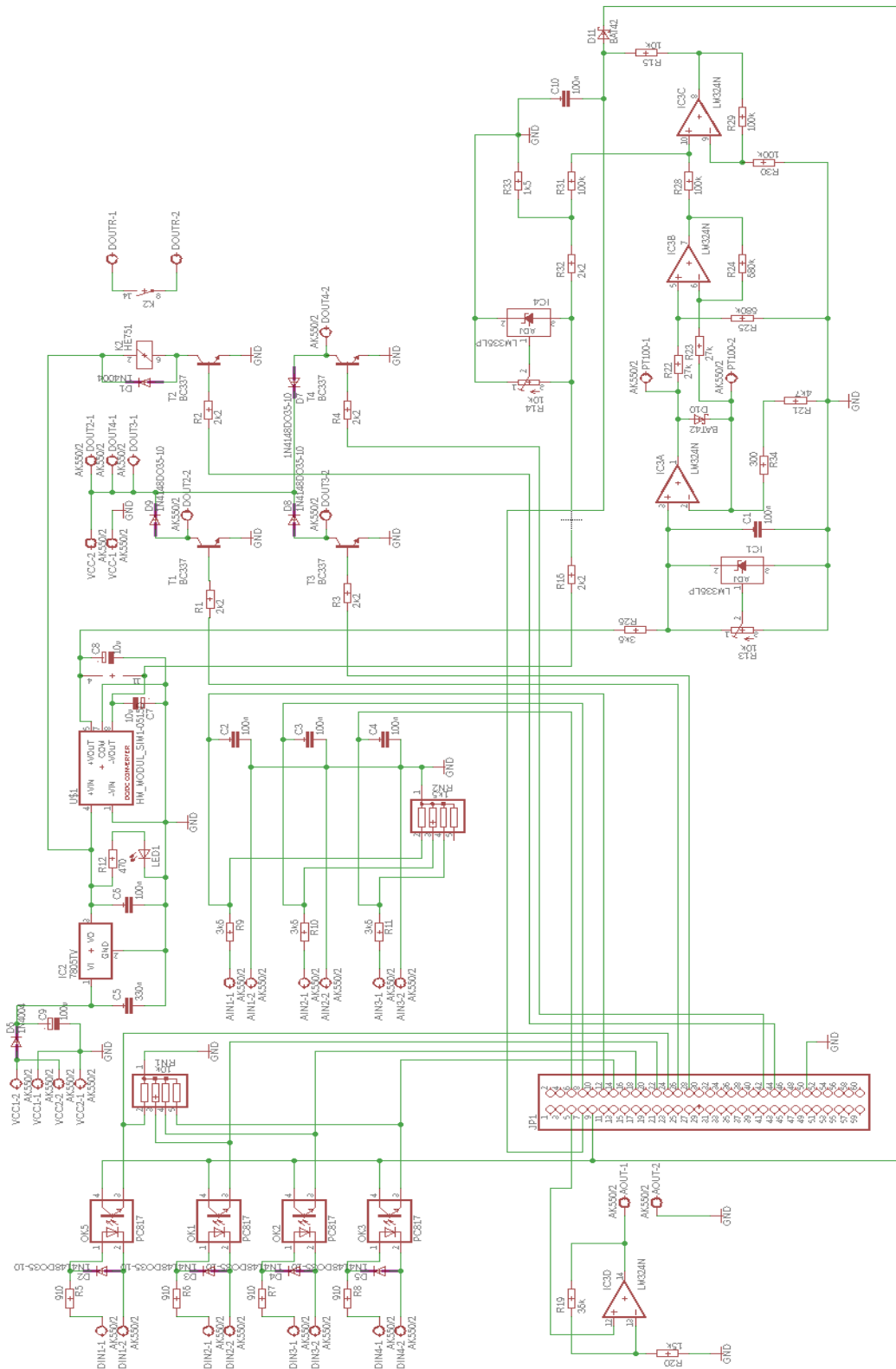
SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Zapojení konektoru.....	32
Tab. 2. Popis svorek modulu	45
Tab. 3. Ověření teplotního snímače	46
Tab. 4. Analogové vstupy a výstupy.....	47

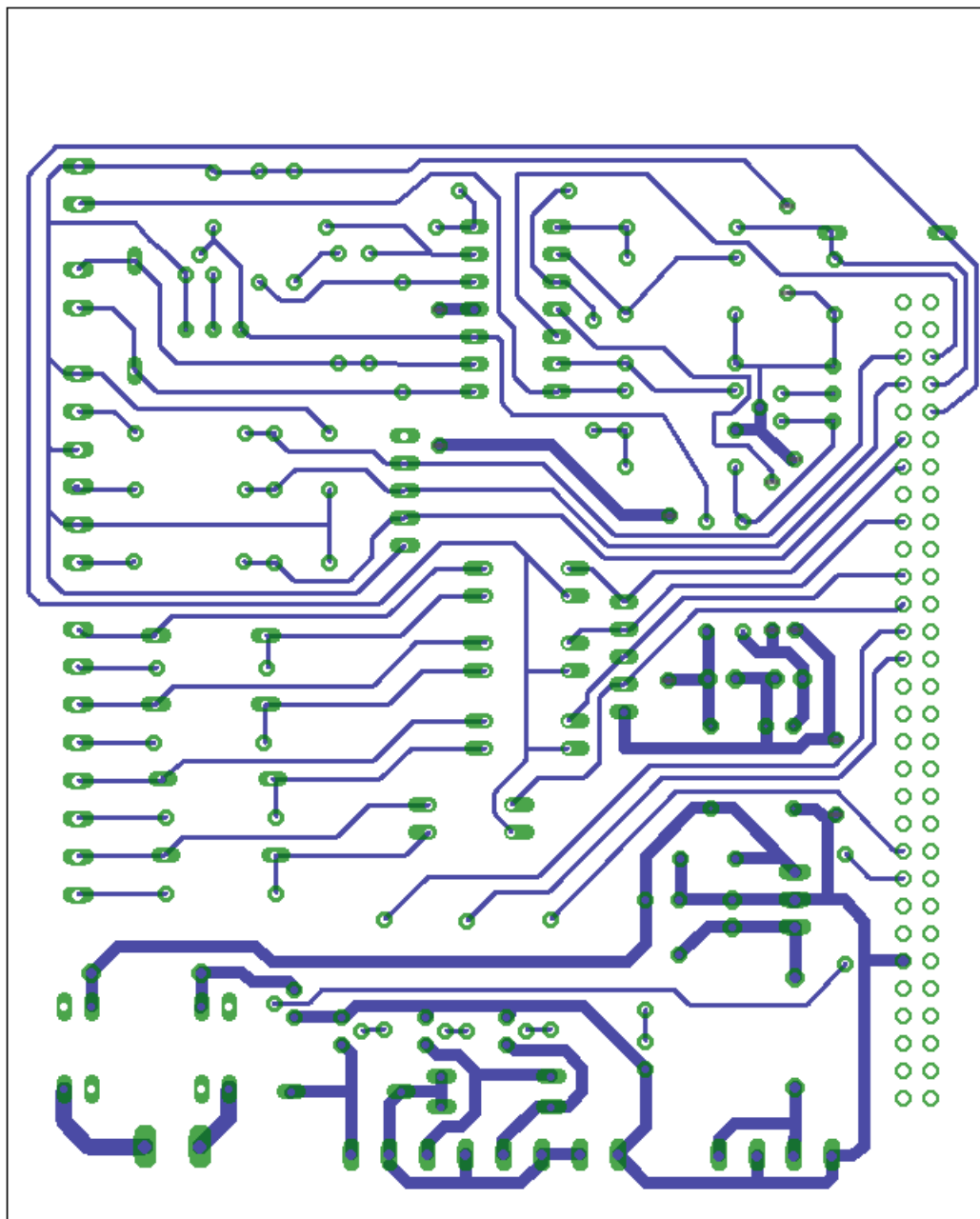
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I	SCHÉMA ZAPOJENÍ
PŘÍLOHA P II	MOTIV PLOŠNÉHO SPOJE
PŘÍLOHA P III	OSAZOVACÍ PLÁN
PŘÍLOHA P IV	SEZNAM SOUČÁSTEK
PŘÍLOHA P V	CD

PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAPOJENÍ



PŘÍLOHA P II: MOTIV PLOŠNÉHO SPOJE



PŘÍLOHA P IV: SEZNAM SOUČÁSTEK

	počet ks	Specifikace
1	1	Metalizovaný rezistor RM 300R 0207 0,6W 1%
2	1	Metalizovaný rezistor RM 470R 0207 0,6W 1%
3	4	Metalizovaný rezistor RM 910R 0207 0,6W 1%
4	1	Metalizovaný rezistor RM 1k5 0207 0,6W 1%
5	6	Metalizovaný rezistor RM 2k2 0207 0,6W 1%
6	4	Metalizovaný rezistor RM 3k6 0207 0,6W 1%
7	1	Metalizovaný rezistor RM 4k7 0207 0,6W 1%
8	1	Metalizovaný rezistor RM 10k 0207 0,6W 1%
9	1	Metalizovaný rezistor RM 15k 0207 0,6W 1%
10	2	Metalizovaný rezistor RM 27k 0207 0,6W 1%
11	1	Metalizovaný rezistor RM 36k 0207 0,6W 1%
12	4	Metalizovaný rezistor RM 100k 0207 0,6W 1%
13	2	Metalizovaný rezistor RM 680k 0207 0,6W 1%
14	1	Rezistorová síť RRA 4X10k 2%
15	1	Rezistorová síť RRA 4X1k5 2%
16	2	Cermetový trimr 64 W 10K
17	6	Keramický kondenzátor CK 100n/63V Y5V RM5,08 +80/-20%
18	1	Keramický kondenzátor CK 330n/50V Z5U RM5,08 20% HITANO
19	1	Elektrolytický kondenzátor CE 100u/35V HIT-ECR 6,3x11 RM2,5
20	2	Elektrolytický kondenzátor CE 10u/100V JAM-SK 6,3x11 RM2,5
21	4	Bipolární tranzistor BC337-40 TO92 BULK
22	2	Dioda 1N4007
23	7	Dioda 1N4148
24	2	Schottkyho dioda BAT42
25	1	Stabilizátor pevného napětí STMicroelectronics 7805CV-DG-STM
26	2	Napěťová reference LM336Z-5.0 TO92 FAIRCHILD
27	4	PC817B (K10101B) - optočlen s tranzistorem
28	1	Jazyčkové relé COSMO RELED1A 051 000
29	1	Svorkovnice šroubovací do DPS ARK306 2P
30	15	ARK350/2 Blue - šroubovací svorkovnice do DPS, rozteč 3,5 mm
31	1	DC/DC měnič - SIM1-0515D
32	1	Operační zesilovač LM324N
33	1	LED dioda - zelená