

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Jakub Goga

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh zařízení pro měření intermodulačních produktů

Jakub Goga

Bakalářská práce  
2009

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra informačních technologií  
Akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub GOGA**

Studijní program: **B2646 Informační technologie**

Studijní obor: **Informační technologie**

Název tématu: **Návrh zařízení pro měření intermodulačních produktů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je návrh a konstrukce zařízení pro měření intermodulační odolnosti dvoupólů a čtyřpólů (např. duplexerů). Pro tento účel bude vytvořen přípravek, měřicí výstup napěťového detektoru dle předem zadaných kritérií SDA s.r.o. (požadované napěťové úrovně, požadované frekvence odečítání). Obsahem práce bude analýza řešené problematiky a přehled současných řešení a dále rozbor navržených řešení a posouzení jejich vhodnosti pro danou aplikaci a návrh konstrukce vlastního zařízení. Navržené zařízení bude schopno předávat data do vyhodnocovacího PC, kde bude vytvořen vhodný software pro následnou analýzu naměřených dat. Součástí práce bude také návrh a posouzení případných možností rozšířeného snímacího zařízení (navýšení počtu vstupů).

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

**Pinker J.: Microprocesory a mikropočítače, BEN Praha 2004, ISBN: 80-7300-110-1**

**Hrabáček J.: Komunikace mikrokontroléru s okolím, BEN Praha 1999, ISBN: 80-86056-73-2**

**Burkhard M.: C pro mikrokontroléry, BEN Praha 2003, ISBN: 80-7300-077-6**

**Šimíček B.: Antény pro televizní a rozhlasové vysílání na VKV, Nadas Praha 1990, ISBN: 80-7030-095-7**

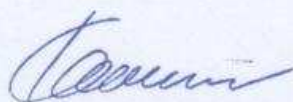
Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.**

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2009**

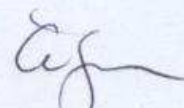
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2009**



doc. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Lukáš Čegan  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2009

## **SOUHRN**

Teoretická část práce se zabývá důvody vzniku intermodulačních produktů, vzniklých na demodulaci na anténním přijímači, jejich důsledky a popisem současných technologií měření. Praktická část práce popisuje tvorbu zařízení k jejich měření. Skládá se z návrhu elektrického zapojení, fyzické realizace měřícího zařízení a vyhotovení obslužného software pro PC. Pro naprogramování procesoru ATmega8 v měřícím zařízení i obslužného PC programu bylo využito programovacího jazyka C.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Intermodulační produkty, usb, měření napětí, ATmega8, FT232BL

## **TITLE**

The design of special device for inter-modulations products measuring

## **ABSTRACT**

Theoretical part of this work is concerned with description of intermodulation products, their effect and present measuring technologies. Practical part of the work describes design of measuring device, physical implementation and developing of measuring program for PC. Programs in controlling CPU ATmega8 in measuring device and in PC are developed using programming language C.

## **KEYWORDS**

Intermodulation products, usb, voltage measuring, ATmega8, FT232BL

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>1. POPIS A DŮVODY REALIZACE VF PŘIJÍMAČE</b> .....	<b>6</b>
1.1. DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ .....	6
1.2. PŘÍKLAD VLASTNÍHO ŘEŠENÍ .....	9
1.3. NÁVRH VLASTNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	10
1.4. VÝPOČET TOLERANCÍ .....	12
<b>2. POPIS PŘEVODNÍKU</b> .....	<b>14</b>
2.1. TEORETICKÝ NÁVRH .....	14
2.2. ÚPRAVA ROZSAHU .....	15
2.3. REALIZACE DESKY .....	16
2.4. SW ŘEŠENÍ MIKROKONTROLÉRU .....	19
2.5. PROGRAM PRO PC .....	22
2.5.1. <i>Důležité funkce</i> .....	23
2.5.2. <i>Převodní tabulka</i> .....	25
2.5.3. <i>Prostředí programu</i> .....	26
2.5.4. <i>Ovládání</i> .....	27
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>28</b>

## Úvod

V souvislosti s měřením intermodulačních produktů na dvou a čtyřpólech (např. antény a duplexery) je potřeba sledovat amplitudu těchto produktů. K tomuto účelu je nutno vytvořit měřicí zařízení. Tato práce se zabývá jeho návrhem a konstrukcí .

V první části práce je popsán současný stav a jsou navrhnutá možná řešení. Tento rozbor se stal východiskem pro návrh vlastního výrobku.

Druhá část popisuje realizaci tohoto přípravku. Měřicí přípravek se po zhotovení stane součástí měřicího pracoviště firmy SDA s r.o. Je schopen naměřená data předávat do nadřazeného počítače a tvoří subsystém kompletního měřicího pracoviště.

Součástí přípravku jsou vlastní měřicí zařízení a ovládací software pro PC.

## 1. Popis a důvody realizace VF přijímače

Zařízení je určeno především jako součást přístroje k měření intermodulačních produktů vznikající v nelineárním prostředí (na impedanci není naprosto lineární závislost mezi napětím  $U$  a proudem  $I$ ).

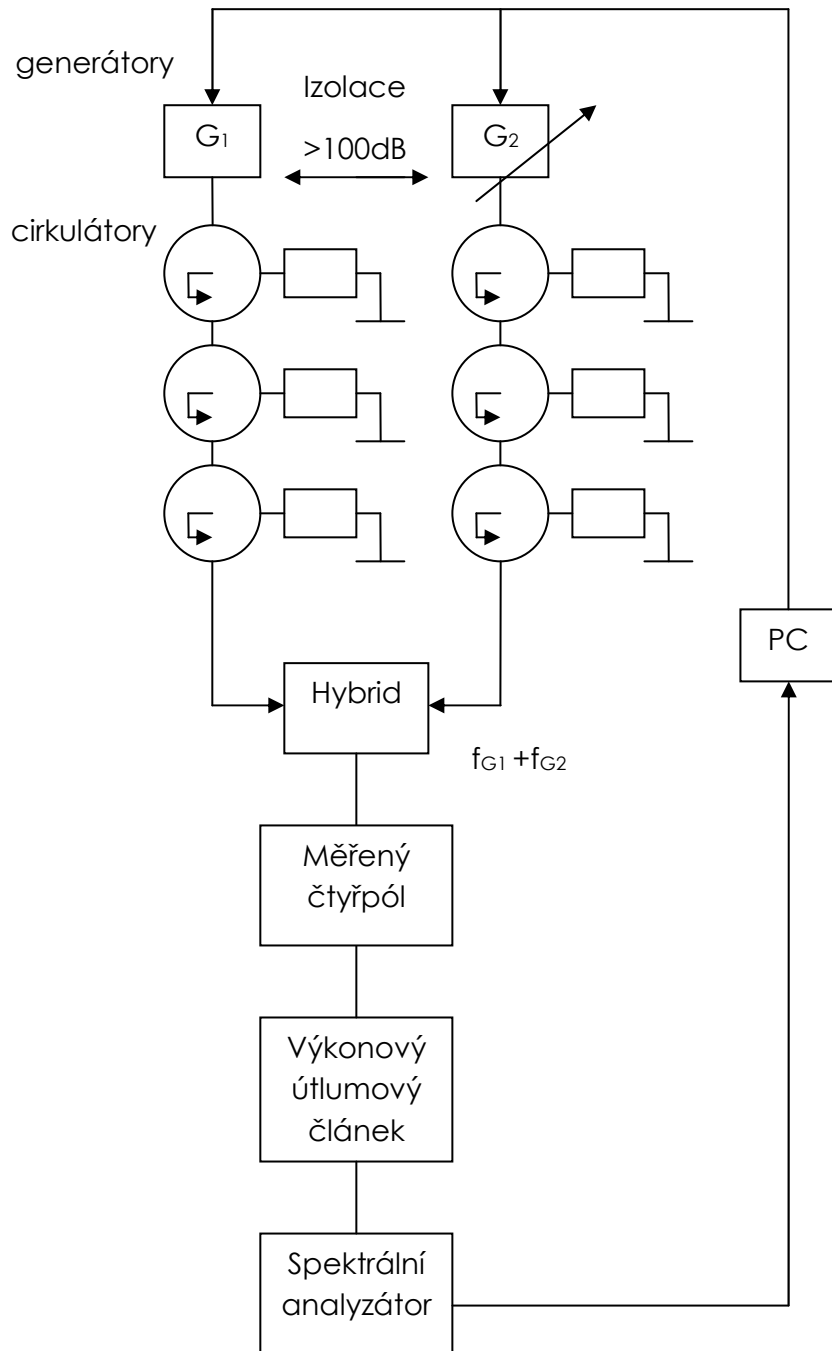
Zařízení má sloužit k měření *intermodulačních produktů* (dále jen *IP*), které vznikají například v anténních systémech, kde bývají příčinou např. zkorodované části ocelové konstrukce. Vzhledem k současné situaci (narůstající počet provozovaných sítí a tím i jednotlivých provozovaných kanálů) vzrůstají problémy s *IP*, které jsou dány jejich kombinacemi. Problém nastane například tak, že při současném vysílání několika cizích vysílačů vzniká produkt na kmitočtu přijímaného kanálu.

Popisované problémy v současné době způsobují značné komplikace provozovatelům *VF* sítí a proto je nutno tyto produkty měřit.

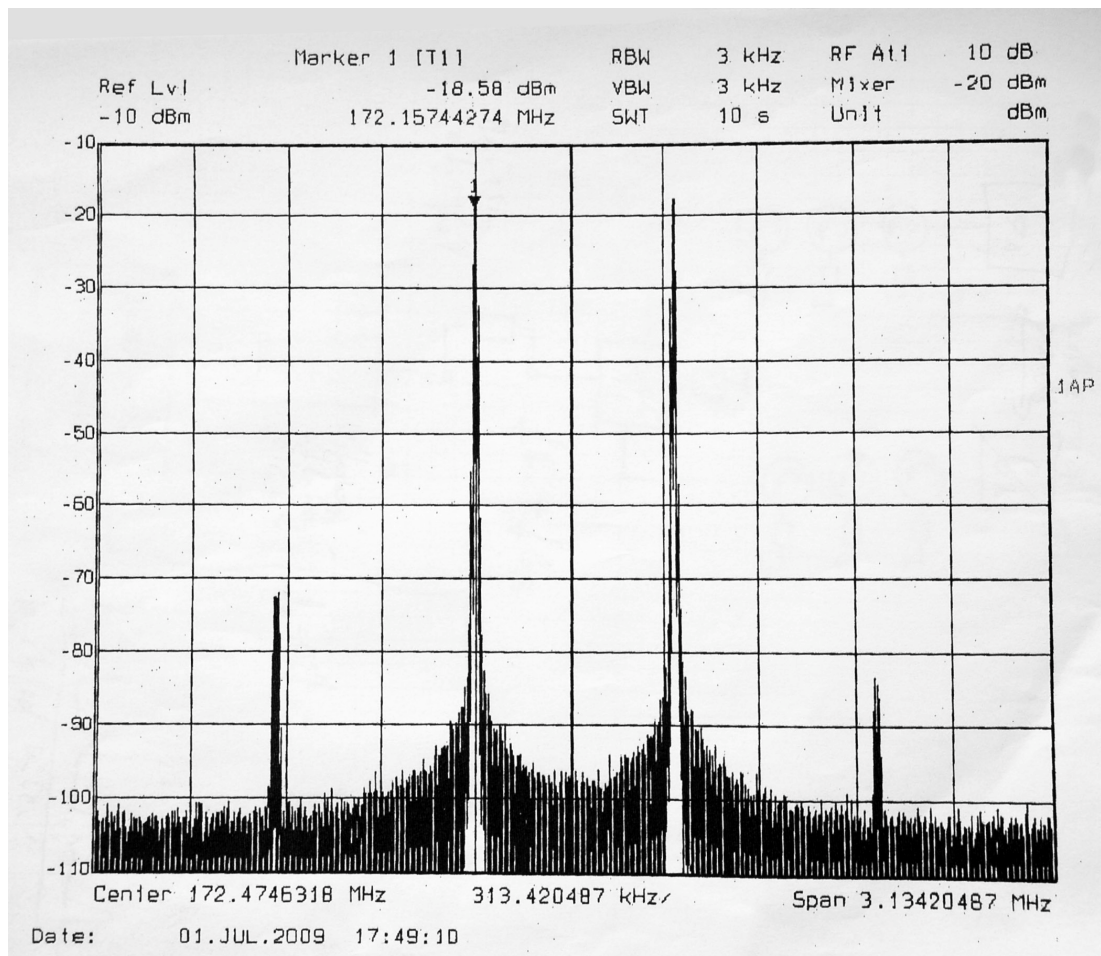
### 1.1. Dostupná řešení

V současné době mají velké světové firmy, zabývající se vývojem *VF* zařízení systémy, které umožňují měřit charakteristiky jimi vyráběných produktů. Princip měření je zřejmý z následujícího schématu (Obrázek 1). Výhodou tohoto zapojení je, že vzhledem k použitým prvkům, cirkulátorům a hybridu je možno měřit v relativně širokém kmitočtovém pásmu (řádově cca až 30%  $F_0$ ).





**Obrázek 1 – Klasické zapojení**



**Obrázek 2 – Graf z měření duplexeru**

Toto zapojení lze využívat s výhodou k metodě, kdy kmitočet  $G_1$  bude konstantní a kmitočet  $G_2$  proměnný. Díky tomuto principu je možno měřit relativně rychle  $IP$  v širokém pásmu (Obrázek 2).

Nevýhody jsou následující:

- Značné nároky na čistotu spektra generátorů  $G_1$  a  $G_2$
- Vzhledem k použitému principu sdružování (hybrid 1:2) se již z principu ztrácí jedna polovina výkonu na uvedeném hybridu (útlum 3dB)
- Dále je nutno připočíst útlum jednotlivých cirkulátorů (reálný útlum u tohoto zapojení je cca 4dB)

## 1.2. Příklad vlastního řešení

Nejběžnější používaná metoda [10], jejíž parametry jsou uvedeny ve specifikacích jednotlivých komponent, je následující: do měřeného objektu je přiveden výkon  $2 \times +43 \text{dBm}^1$  a měří se produkty 3. řádu, tedy je na kmitočtech  $2 \times (F_1 - F_2)$  a  $2 \times (F_2 - F_1)$ . tato zapojení (bez potlačení kmitočtů  $F_1$  a  $F_2$  tedy  $2 \times +43 \text{dBm}$ ) má vzhledem k nelinearitě vstupního zesilovače spektrálního analyzátoru hranice dosažitelné dynamiky. Při aplikaci spektrálního analyzátoru, který bude dále popsán je hranice cca 65dBc. Při použití analyzátorů které jsou v současné době k dispozici a představují maximum současné techniky při současném použití generátoru s velkou čistotou spektra (není možno použít generátory s kmitočtovou syntézou) je hranice cca 120dBc<sup>2</sup>. Při použití tohoto principu který je spojen s vhodnou filtrací nosných  $F_1$  a  $F_2$  ( $2 \times +43 \text{dBm}$ ) je možné pro některé aplikace podstatně zvýšit dynamiku měření (až 170dBc) a současně zachovat možnost měnit frekvenci jednoho z generátorů.

Podstatná nevýhoda tohoto zařízení spočívá v tom, že vzhledem k principu pasivního sdružování a tím velkých ztrát rostou nároky na výkon generátorů při požadavcích na čistotu jejich spektra. Dále je potřeba použít analyzátor s důrazem na maximální linearitu vstupního zesilovače. Nevýhodou tohoto zařízení je tedy jeho hmotnost a v neposlední řadě i cena (řádově milióny korun při daném rozsahu).

Tato koncepce měření se používá především pro vývoj a následné měření jednotlivých komponent používaných ve *VF* sítích.

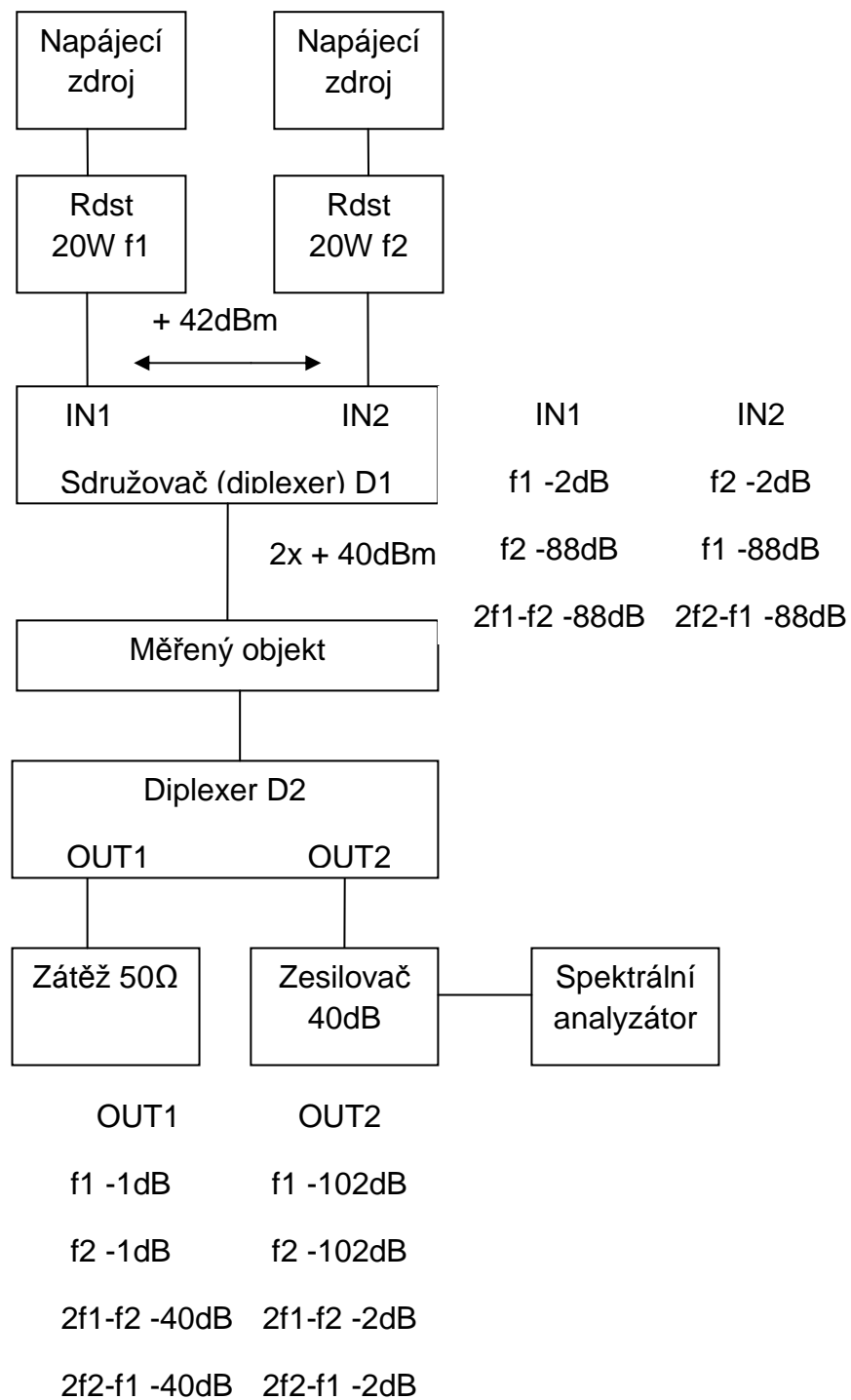
Proto vznesla firma SDA s r.o. požadavek na vytvoření jednoúčelového, levného a přenosného zařízení. Které by svými parametry umožňovalo použitelné měření na konkrétních lokalitách. Např. anténní systémy, měření tunelů (metro), revize montáží atp.

---

<sup>1</sup> dBm značí absolutní změřený výkon signálu vzhledem k 1mW. [7]

<sup>2</sup> dBc (decibels relative to the carrier), značí výkon signálu v poměru k výkonu signálu nosné frekvence. [7]





Obrázek 4 – Upravené blokové schéma



Obrázek 5 – Vysoce selektivní filtr

## 1.4. Výpočet tolerancí

Všechna měření byla provedena pro zařízení pracující na impedanci  $50\Omega$ . 0dB je definováno jako výkon 1mW na měřené impedanci ( $50\Omega$ ). Jak je možné odvodit (Rovnice 1) výkon je roven kvadrátu napětí lomeno odpor. Jelikož je výkon i odpor konstantní, můžeme ho dosadit (Rovnice 2).

(1)

$$P = U \times I, I = \frac{U}{R} \Rightarrow P = U \times \frac{U}{R}$$

$$R = konst.$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = 1mW, R = 50\Omega$$

(2)

$$U_{(0dBm)} = \sqrt{(10^{-3} \times 50)} = 0,2336V$$

Útlum B je roven logaritmu poměru napětí (Rovnice 3).

(3)

$$B_{(dB)} = 20 \log \frac{U^2}{U^1}$$

z toho vyplývá, že při změně napětí 1:10 vzroste útlum o 20dB (Tabulka 1).

dBm	U
0	223,6mV
-20	22,36mV
-40	2,236mV
-60	223,6μV
-80	22,36μV
-100	2,236μV
-120	0,2236μV

**Tabulka 1**

Citlivost použité radiostanice se pohybuje v uvedených měřících pásmech mezi 0,3μV až 0,5μV. Hranice je tedy -100dBm a je dosažitelná při použití vhodných nízkošumových zesilovačů (40dB).

## 2. Popis převodníku

Následující část práce popisuje vytvořený převodník. První částí je analýza nutných parametrů a zvolení odpovídajícího hardware. Druhou je realizace vlastní desky plošných spojů měřiče. Třetí část tvoří rozbor programu pro mikroprocesor v převodníku. Dále následuje popis a zdrojový kód ovládacího a vyhodnocovacího programu pro PC.

### 2.1. Teoretický návrh

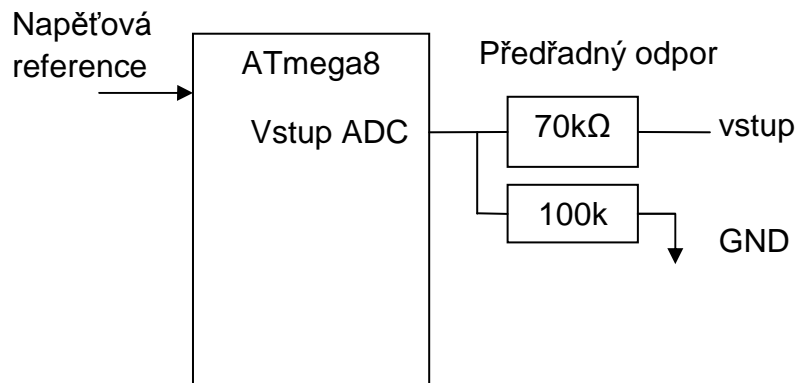
Úkolem bylo vytvořit zařízení pro měření *IP*, jak bylo uvedeno výše. Jako jeho součást jsem zkonstruoval i A/D převodník s dostatečným rozlišením, připojený k PC pro další zpracování a vyhodnocení dat. Důraz byl kladen i na možnost pozdějšího rozšíření o další kanál a možnost úprav ovládacího software (např. signalizace změny). Komerčně dostupné produkty proto nevyhověly z důvodů uzavřenosti kódu ovládacího software a vysoké ceny.

Pro realizaci byl zvolen mikroprocesor od firmy Atmel, konkrétně ATmega8. Zejména proto, že je levný, nevyžaduje mnoho externích součástek, obsahuje A/D převodník s rozlišením 10 bit (což splňuje zadané požadavky na přesnost) a komunikační rozhraní *USART*. Pro připojení k *USB* portu počítače byl zvolen převodník *USB / USART* od firmy FTDI, konkrétně čip FT232BL, který zvládá plnou komunikační rychlost *USB* 2.0 (high speed). Toto řešení (externí převodník) jsem zvolil kvůli již hotovým ovladačům pro PC od firmy FTDI, což značně zjednodušilo propojení s PC. Celé zařízení má velmi malou spotřebu, proto bylo při konstrukci voleno napájení z *USB* portu počítače.



## 2.2. Úprava rozsahu

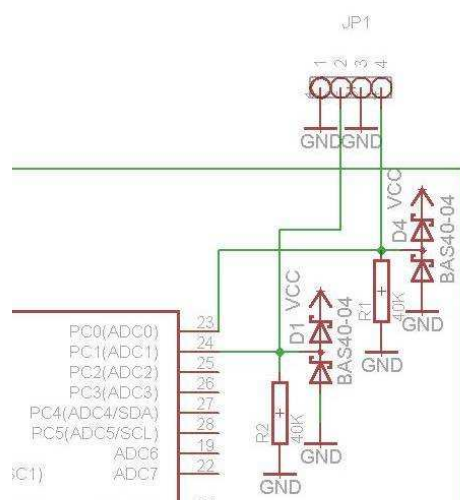
Maximální rozsah vstupního napětí pro převod je 0 až 5V. Rozsah lze upravit odporovým děličem, nebo napět'ovou referencí pro vyšší maximální napětí. Pokud není potřeba rozsah od nuly, lze použít předřadný odpor. Dle naměřených hodnot je třeba pro maximalizaci přesnosti rozsah 2,3 - 5,3V. Toto je řešeno předřadným odporem a použitím externí napět'ové reference (Obrázek 6). Výsledná přesnost je cca. 0,003V. Rychlost převodu tohoto řešení je 13 - 260  $\mu$ s, což zaručuje dostatečnou odezvu pro nasazení v terénu.



Obrázek 6 – Přizpůsobení rozsahu

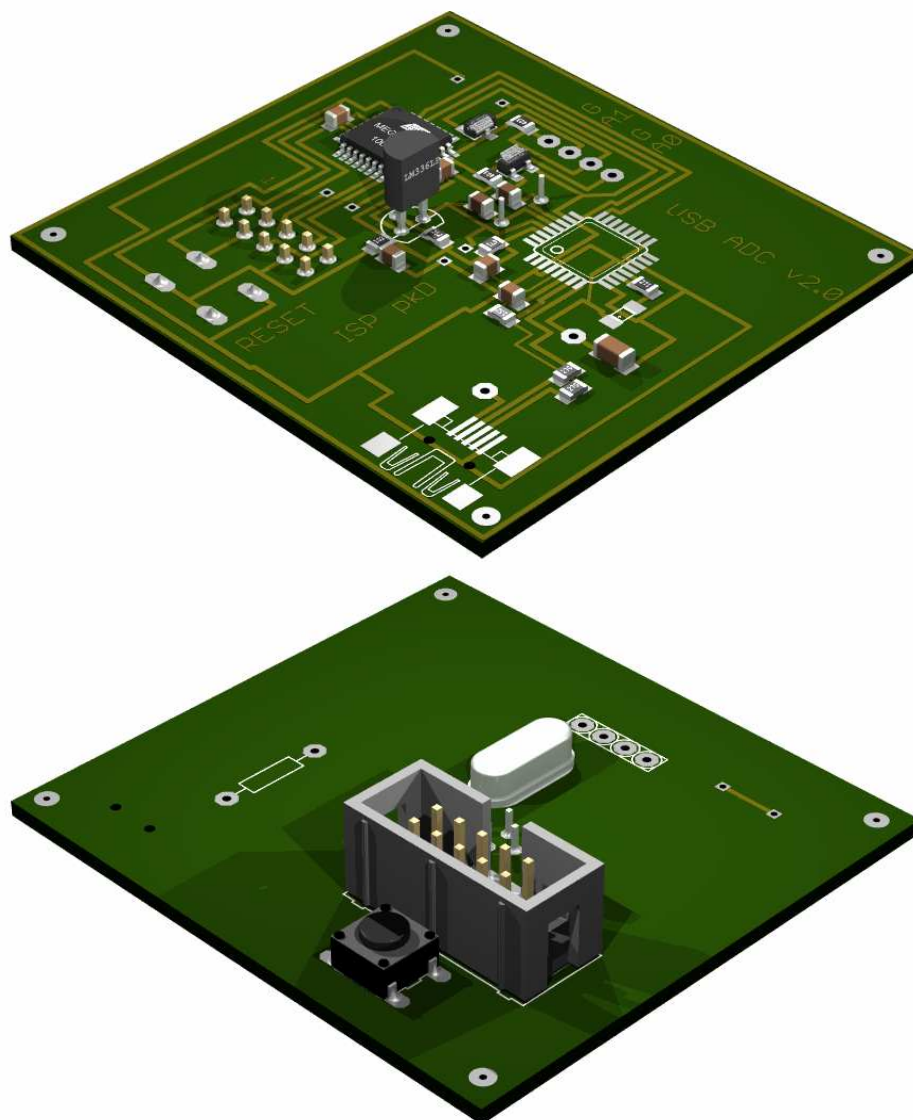
### 2.3. Realizace desky

Oba čipy byly propojeny a doplněny o podpůrné součástky, dle svých typických zapojení, viz schéma (Příloha B). Provedení součástek bylo dle možností voleno pro povrchovou montáž (SMD) pro zachování malých rozměrů a minimalizaci rušení. Krystal pro převodník FT232BL byl zvolen na frekvenci 6MHz. Pro procesor ATmega8 byl zvolen za zdroj hodinového taktu interní oscilátor. Převodník byl dále doplněn o signalizační LE diodu, indikující přijímání, nebo odesílání dat po sběrnici USB. Deska byla navržena pro případnou pozdější možnost osazení druhého vstupu (pin PA1). V případě potřeby tedy stačí osadit vstupní ochranné diody D3 a D4 a odpor R2. Napěťová reference je společná pro oba vstupy (Obrázek 7).



Obrázek 7 – Vstupní část

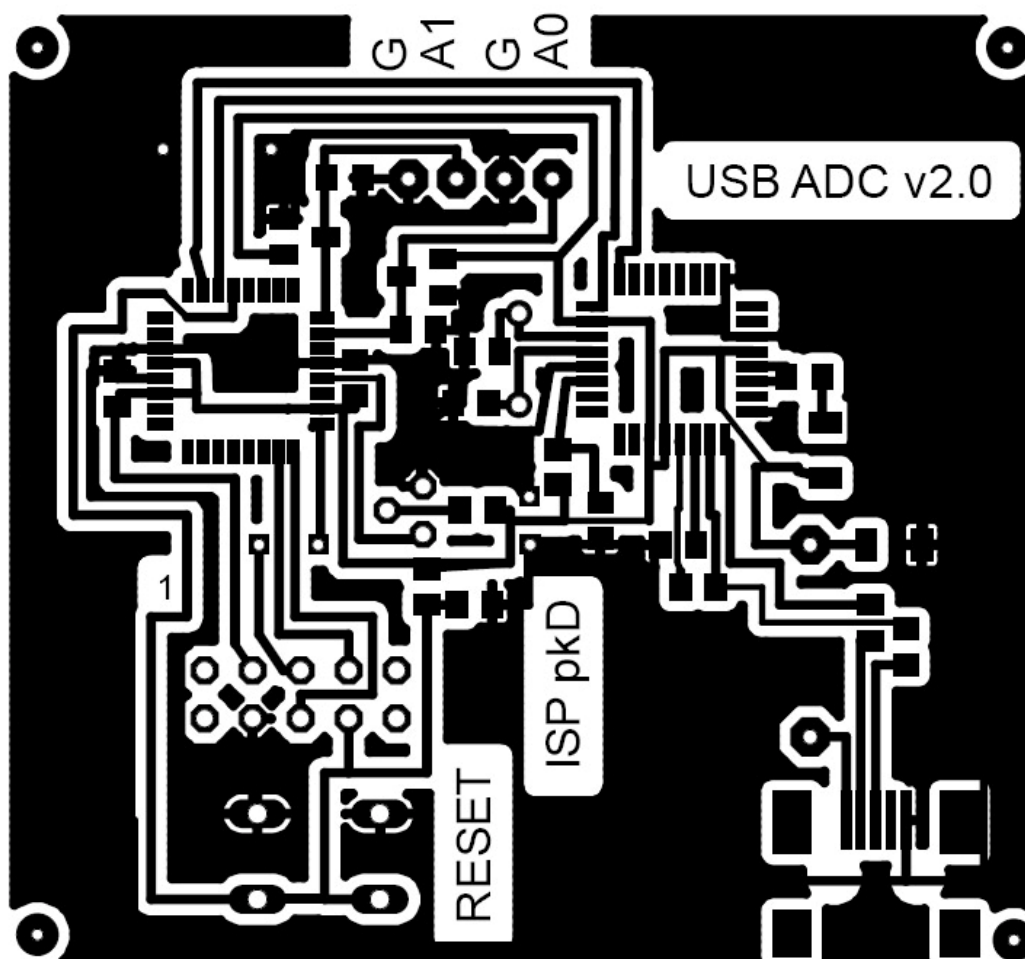
Deska plošných spojů byla osazena *USB* konektorem typ mini, pro přímé spojení s PC. Pro odrušení signálu *USB* je použito feritové jádro v kabelu. Dále byl vyveden výstup pro snadné programování procesoru ATmega8, odpovídající svým zapojením verzi používanou firmou PKdesign, pro zvýšení kompatibility s programátory (Obrázek 8).



**Obrázek 8 – Rozmístění součástek na desce plošných spojů**

Deska byla navržena s ohledem na minimální spotřebu materiálu, snažil jsem se zmenšit nejen rozměry desky, ale dosáhnout i co nejmenší plochy nutné k odleptání. Pro zachování jednoduchosti byla volena jako jednovrstvá, což si vyžádalo tři vzdušné spoje. Deska je opravdu miniaturní pro lepší přehlednost byl její obrázek zvětšen na 200% (Obrázek 9).

Nahoře je umístěn vstupní konektor, s přípravou pro druhý vstup (A1), každý s vlastním zemnicím bodem (G). Vpravo dole konektor pro připojení *USB*. Vlevo uprostřed je patice pro programovací konektor (s označeným pinem 1), níže je tlačítko pro reset zařízení.



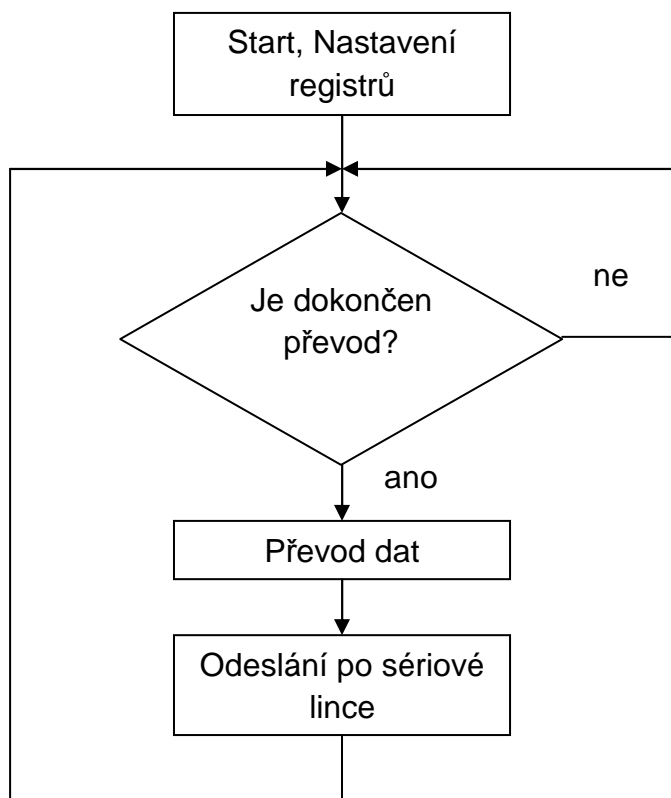
Obrázek 9 – Podklad pro výrobu desky

## 2.4. SW řešení mikrokontroléru

Zvolený *CPU* byl naprogramován tak, aby po dokončení převodu *AD* převodníku tento údaj ihned odeslal po sériové lince (Příloha C: SW řešení mikrokontroléru). Je využito programové smyčky, kontrolující nastavení registru indukující dokončení převodu (*ADIF*). Typická doba převodu procesoru je 13 - 260  $\mu$ s, což zajišťuje rychlou odezvu programu např. při manipulaci s měřeným objektem během testování kvality montáže.

Naprogramování bylo provedeno programem Pony Prog 2000, s použitím programátoru STK200. Program po kompilaci zabírá 5,6kB z dostupných 8kB, je tedy ještě prostor pro případné další úpravy programu.

Schéma programu pro změření vstupního napětí a odeslání hodnoty po sériovém portu (Obrázek 10). Napětí se přivádí na pin *PA<sub>0</sub>*. Po připojení do *USB* portu začne převodník okamžitě odsílat naměřené hodnoty.

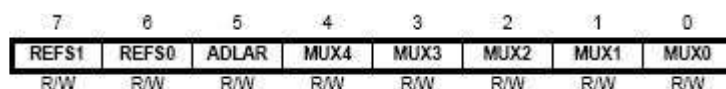


Obrázek 10 - Program mikrokontroléru

## Nastavení procesoru

Pro řízení práce s AD převodníkem obsahuje procesor ATmega8 několik speciálních registrů.

### Registr AMUX



Obrázek 11 – Registr AMUX

Význam jednotlivých bitů (Obrázek 11):

- **REFS0, REFS1** slouží k výběru analogové reference.

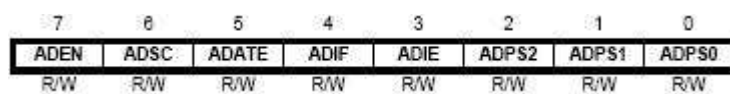
REFS1	REFS0	
0	0	vnější reference
0	1	AVCC (kondenzátor na AREF)
1	0	zatím bez významu
1	1	vnitřní reference 2,56 V

Při zvolení vnitřní reference, nesmí být na vývod AREF připojeno vnější napětí. Je ale nutné na tento vývod připojit kondenzátor.

- **ADLAR** slouží k nastavení zarovnání výsledku převodu. Je-li bit vynulován, je výsledek zarovnán standardně napravo. Je-li bit nastaven, pak je výsledek zarovnán doleva.
- **MUX4 - MUX0** slouží k výběru kanálu. Může být vybrán jeden kanál, použitelný pro převod a nebo dva kanály, kde se převádí rozdíl mezi úrovněmi napětí těchto kanálů. Pokud tedy zvolíme hodnotu 0 - 7, pak je zvolen jeden z kanálů. Pokud je nastavena hodnota 8 - 29 pak se převod koná na výsledku rozdílu mezi vybranými diferenčními kanály. Hodnota 30 slouží pro přivedení napětí 1,22V na vstup převodníku a hodnota 31 přivede na vstup 0V (AGND).

## Registr ADCSRA.

Tento registr řídí převod a informuje nás o stavu převodu (Obrázek 12).

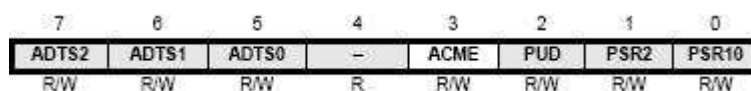


Obrázek 12 – Registr ADCSRA

- **ADEN** - Zapíná a vypíná *AD* převodník. Pokud je prováděn převod, je ihned ukončen.
- **ADSC** - Začne s *AD* převodem na vybraném kanálu (nebo dvojici diferenčních kanálů). Čtením tohoto bitu také zjistíme v jakém stavu je převod. Pokud převod stále probíhá, je bit nastaven. Pokud je bit vynulován, byl převod dokončen.
- **ADATE** - Tento bit zajistí automatické spouštění vzniku nastaveného přerušení.
- **ADIF** - příznak přerušení po dokončení *AD* převodu.
- **ADIE** - povolí přerušení od *AD* převodníku.
- **ADPS2:ADPS0** - nastaví před-děličku hodin pro *AD* převodník. Dělicí faktor je 2,2,4,8,16,32,64,128.

Výsledek převodu se zapisuje do dvojice registrů. **ADCH** a **ADCL**. Hodnoto z těchto registrů musíme číst vždy v pořadí **ADCL**, **ADCH**, abychom měli jistotu, že je čtena celá hodnota z právě dokončeného *AD* převodu

Jedním z dalších registrů, které obsahují bity pro nastavení funkce *AD* převodníku je registr **SFIOR** (Obrázek 13). Konkrétně se jedná o bity **ADTS2:ADTS0**. Tyto bity nastavují zdroj pro spuštění *AD* převodu.



Obrázek 13 – Registr SFIOR

## 2.5. Program pro PC

Vytvořil jsem ovládací a vyhodnocovací program pro PC dle zadání. Důraz byl kladen na jednoduché ovládání a přehlednost. Program je zkompileován pro spuštění na PC s operačním systémem Windows. Zobrazuje výsledky měření ve dvou seznamech (před převodem naměřeného napětí na výkon a po převodu dle převodní tabulky). Také se vykresluje graf a počítá střední hodnota všech naměřených hodnot. Výsledky je možno exportovat stiskem tlačítka. Poté se obsah seznamů spolu s časem a nastavenou frekvencí zapíše do souboru.

Program byl napsán v jazyce C++, v softwarovém nástroji Microsoft Visual Studio 2008 a využívá koncepci objektově orientovaného programování. Program využívá pro komunikaci po sériovém portu obecné třídy CComPort.



### 2.5.1. Důležité funkce

Pro čtení dat z portu slouží API funkce ReadFile. Pokud tato funkce zpracovává soubory, tak se chová naprosto očekávaně. Pokud je však funkce použita na sériový port, který byl navíc otevřen s příznakem OVERLAPPED, tak se chování funkce změní. Jde o to že funkce nečeká na to až se data na port zapíší (nebo přečtou), ale místo toho vrátí jakoby chybu typu ERROR\_IO\_PENDING, což znamená, že všechna data ještě nebyla na port zapsána (načtena), a že se tedy musí čekat, až se zapíší. Ke zjištění, že všechna data už byla zapsána je použita funkce GetOverlappedResult, která určí v jakém stavu je právě probíhající operace.

```
BOOL CComPort::ReadData(char *buffer, int size)
{
    m_cs.Lock();

    if(!m_conect)                                //Zkontroluje připojení
    {
        Chyba("Není připojeno!");
        m_cs.Unlock();
        return FALSE;
    }

    m_cs.Unlock();

    DWORD readen;

    ReadFile(m_ComHandle,buffer,size,&readen,&m_OLRead);

    if(GetLastError()==ERROR_IO_PENDING)
    {
        while(!GetOverlappedResult(m_ComHandle,&m_OLRead,&readen,TRUE))
        {
            if(GetLastError()==ERROR_IO_INCOMPLETE)
                continue;
        }
    }
}
```

Další dvě metody, které třída má jsou pro získání handle portu, který je potřeba u některých funkcí a dále metoda, která zjistí, jestli je port připojen:

*//Získání handle portu*

```
BOOL CComPort::GetComHandle(HANDLE *handle)
```

```
{  
    m_cs.Lock();                //Zamkne kritickou sekci  
    if(!m_conect)              //Je port připojen?  
    {  
        Chyba("Není připojeno!");  
        m_cs.Unlock();  
        return FALSE;  
    }  
    *handle=m_ComHandle;       //Zkopíruje handle  
    m_cs.Unlock();             //Odemkne kritickou sekci  
    return TRUE;  
}
```

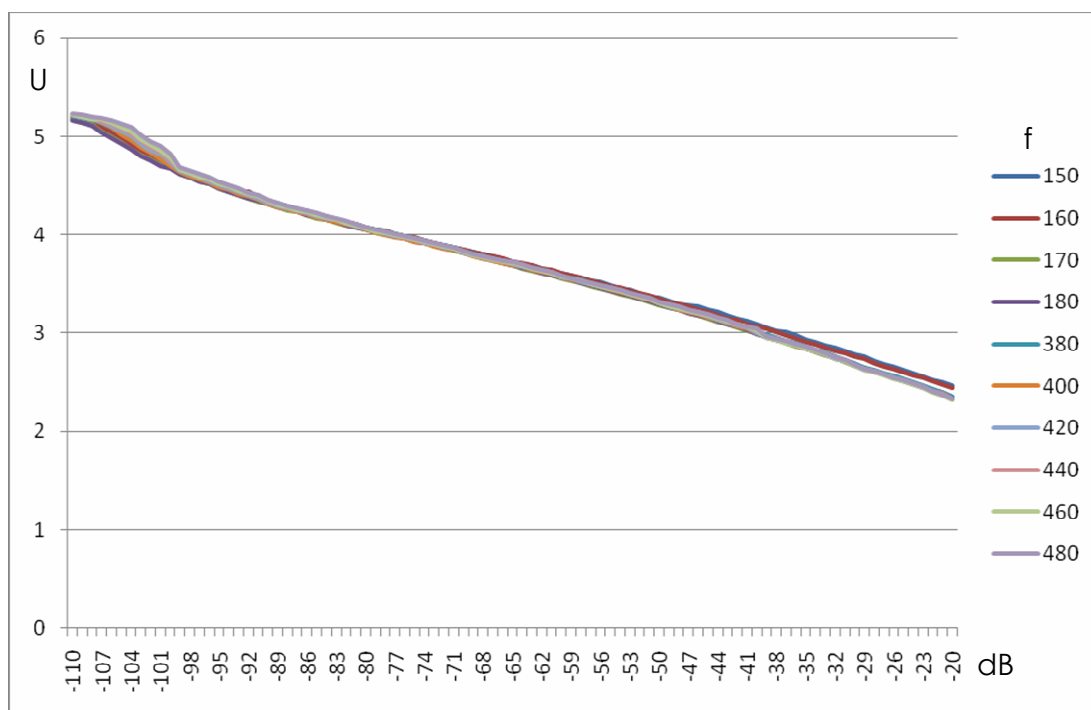
*//Zjistí, zda je port připojen*

```
BOOL CComPort::IsConnected()
```

```
{  
    m_cs.Lock();                //Zamknout  
    BOOL con=m_conect;         //Zkopíruje stav portu  
    m_cs.Unlock();            //Odemknout  
    return con;  
}
```

## 2.5.2. Převodní tabulka

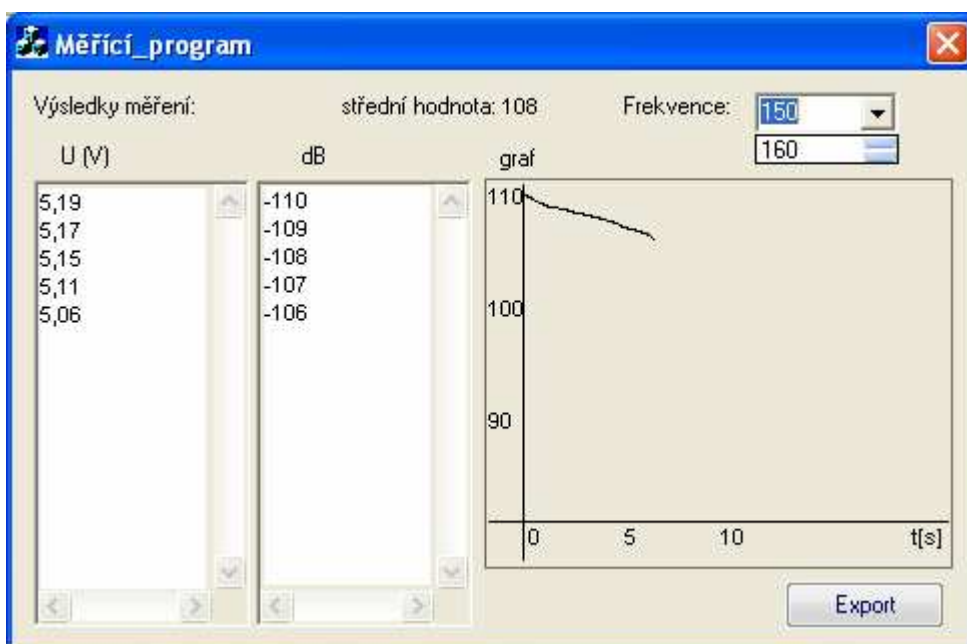
Pro převod údajů o napětí na výstupní výkon byla pro používané frekvence naměřena převodní tabulka, tuto nelinearitu lze vyjádřit formou grafu (Obrázek 13). Ta je zakomponována do programu, a je dále upravitelná v textovém editoru (soubor prevodni-tabulka.txt), pro případné další přidání měřených frekvencí atd. Konkrétní naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze A: Převodní tabulka napětí - výkon.



Obrázek 14 – Graf nelinearity

### 2.5.3. Prostředí programu

Pro jednoduché ovládání jsem také vytvořil program umožňující obsluhu nastavit parametry měření, kontrolu výsledku a export dat. Grafické rozhraní zobrazovacího programu je přehledné a rozložení ovládacích prvků přispívá k rychlé orientaci (Obrázek 15). Pro přesné zobrazení je potřeba zvolit aktuální měřenou frekvenci, vpravo ve výběrovém boxu. Uprostřed se v levé části zobrazuje naměřené napětí, poté převedená hodnota výkonu, úplně vpravo je vykreslován graf a vpravo dole je tlačítko pro export naměřených hodnot do textového souboru.



Obrázek 15 – Prostředí programu

#### 2.5.4. Ovládání

Na začátku měření je třeba připojit spektrálního analyzátoru Icom PCR1500 k *PC*, do sítě a k měřenému objektu. Po zapnutí síťovým vypínačem spusťte jeho obslužný program a v něm nastavte měřenou frekvenci. Poté následuje propojení s vlastním *AD* převodníkem kabelem s konektory *cinch*. Následně je třeba spustit vyhodnocovací program (*merici\_program.lnk*) a nastavit stejnou frekvenci jako v programu pro Icom PCR1500. Program začne ihned zobrazovat naměřené údaje, ty je možné po skončení měření exportovat tlačítkem „export“ do souboru, pro případné další zpracování (např. do zprávy o měření). Po stisku tlačítka se program zeptá kam chcete soubor uložit a na jeho požadované jméno. Vytvořený soubor obsahuje datum a čas měření, zvolenou frekvenci a naměřené hodnoty s časovým razítkem, oddělené od sebe středníkem. Po skončení měření stačí programy zavřít a odpojit oba přístroje od *PC*.

## Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce byl návrh měřicího zařízení *intermodulačních produktů*. V rámci práce byla zhodnocena již existující komerční řešení vhodná k měření. V úvodu práce byly porovnány výhody a nevýhody těchto řešení a bylo konstatováno, že bude výhodnější zkonstruovat vlastní zařízení, na míru požadavků zadávající firmy SDA s r.o.

Navržené cíle se podařilo splnit pomocí zařízení, které bylo navrženo jako specializovaný *AD* převodník. Součástí návrhu bylo vytvoření desky převodníku splňující kritéria zadaná firmou. Dále pak vytvoření programu ovládající mikrokontrolér a naprogramování obslužného a vyhodnocovacího software pro *PC*. Součástí této práce je popis a vysvětlení klíčových prvků vytvořeného měřicího zařízení a obslužné aplikace.

Výsledné zařízení je funkční a splňuje zadaná kritéria přesnosti a rychlosti měření, je vhodné pro použití se spektrálním analyzátozem Icom PCR1500. Vlastnosti zařízení budou ověřeny v zadávající firmě, kde bude zařízení sloužit pro měřicí a revizní činnosti.

Jelikož jsem do návrhu desky přidal další vstup, bude možné současné měření další stejnosměrné veličiny. Tato úprava by ovšem vyžadovala změnu ovládacího software. Práce na přípravku budou dále pokračovat a podle požadavků zadávající firmy budou případně přidávány další funkce:

- Rozšíření o další vstup
- Propojení s dalšími přístroji
- Přímý tisk grafu z programu
- Zvuková signalizace změny

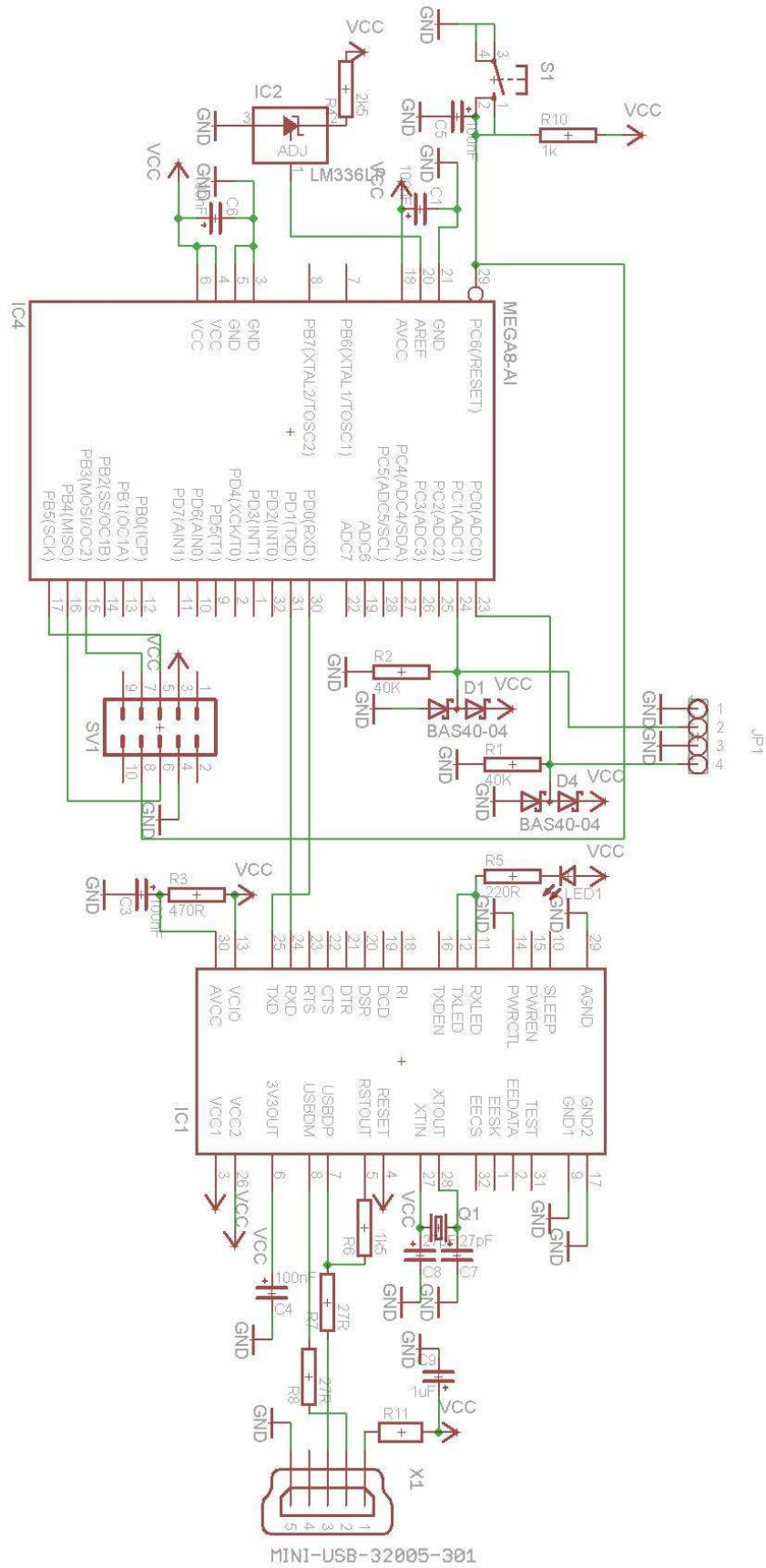
## Příloha A: převodní tabulka napětí - výkon

Vstupní výkon [dB]	výstup U pro f (MHz)									
	150	160	170	180	380	400	420	440	460	480
-110	5,19	5,18	5,17	5,16	5,21	5,22	5,22	5,22	5,22	5,23
-109	5,17	5,16	5,14	5,14	5,19	5,2	5,2	5,2	5,2	5,22
-108	5,15	5,13	5,11	5,1	5,17	5,18	5,18	5,18	5,18	5,2
-107	5,11	5,09	5,05	5,04	5,15	5,14	5,15	5,16	5,17	5,18
-106	5,06	5,04	4,99	4,98	5,11	5,09	5,11	5,13	5,14	5,16
-105	5	4,97	4,93	4,92	5,06	5,02	5,05	5,08	5,09	5,13
-104	4,94	4,91	4,87	4,86	5,01	4,96	5	5,03	5,05	5,09
-103	4,88	4,85	4,81	4,8	4,94	4,89	4,92	4,96	4,97	5,02
-102	4,82	4,8	4,76	4,75	4,87	4,83	4,86	4,89	4,91	4,95
-101	4,77	4,75	4,71	4,7	4,82	4,77	4,82	4,85	4,86	4,9
-100	4,72	4,7	4,67	4,67	4,74	4,7	4,73	4,76	4,78	4,82
-99	4,67	4,65	4,62	4,62	4,68	4,64	4,65	4,67	4,66	4,69
-98	4,64	4,63	4,58	4,58	4,64	4,6	4,62	4,63	4,63	4,65
-97	4,59	4,59	4,54	4,54	4,6	4,56	4,58	4,59	4,59	4,62
-96	4,55	4,55	4,51	4,51	4,57	4,53	4,54	4,56	4,56	4,58
-95	4,52	4,51	4,47	4,47	4,53	4,49	4,51	4,52	4,52	4,54
-94	4,48	4,47	4,44	4,44	4,49	4,46	4,47	4,49	4,49	4,51
-93	4,44	4,44	4,4	4,4	4,46	4,42	4,44	4,45	4,45	4,47
-92	4,44	4,44	4,37	4,37	4,42	4,39	4,4	4,42	4,42	4,43
-91	4,38	4,38	4,34	4,34	4,39	4,36	4,37	4,39	4,39	4,4
-90	4,35	4,35	4,31	4,31	4,35	4,32	4,33	4,34	4,35	4,36
-89	4,32	4,32	4,28	4,28	4,32	4,28	4,29	4,3	4,3	4,32
-88	4,29	4,29	4,25	4,26	4,29	4,26	4,27	4,28	4,28	4,29
-87	4,26	4,26	4,23	4,23	4,26	4,23	4,25	4,25	4,25	4,27
-86	4,23	4,23	4,2	4,2	4,24	4,21	4,22	4,23	4,23	4,24
-85	4,21	4,21	4,17	4,18	4,21	4,18	4,19	4,2	4,2	4,22
-84	4,18	4,18	4,15	4,15	4,19	4,16	4,17	4,18	4,18	4,19
-83	4,16	4,16	4,12	4,13	4,16	4,13	4,15	4,15	4,15	4,16
-82	4,13	4,13	4,1	4,1	4,13	4,11	4,12	4,13	4,12	4,14
-81	4,11	4,11	4,07	4,07	4,11	4,09	4,09	4,11	4,1	4,11
-80	4,08	4,08	4,05	4,05	4,07	4,05	4,06	4,07	4,07	4,08
-79	4,06	4,06	4,02	4,03	4,05	4,02	4,03	4,04	4,03	4,05
-78	4,04	4,04	4	4	4,03	4	4,01	4,02	4,02	4,03
-77	4,01	4,01	3,99	3,98	4,01	3,98	3,99	4	4	4,01
-76	3,99	3,99	3,97	3,96	3,98	3,959	3,97	3,97	3,97	3,98
-75	3,97	3,97	3,94	3,93	3,96	3,935	3,95	3,95	3,95	3,96
-74	3,94	3,94	3,92	3,91	3,94	3,916	3,92	3,93	3,93	3,94
-73	3,92	3,92	3,89	3,89	3,91	3,89	3,9	3,91	3,91	3,92
-72	3,9	3,9	3,87	3,86	3,89	3,865	3,87	3,88	3,88	3,89
-71	3,87	3,87	3,84	3,84	3,87	3,846	3,86	3,86	3,86	3,87
-70	3,85	3,85	3,82	3,81	3,83	3,813	3,82	3,83	3,83	3,84

-69	3,83	3,83	3,79	3,79	3,81	3,785	3,79	3,79	3,79	3,8
-68	3,81	3,8	3,77	3,76	3,78	3,764	3,77	3,78	3,77	3,78
-67	3,78	3,78	3,74	3,74	3,76	3,742	3,75	3,75	3,75	3,76
-66	3,76	3,76	3,71	3,71	3,74	3,72	3,73	3,73	3,73	3,74
-65	3,73	3,73	3,69	3,69	3,71	3,696	3,7	3,71	3,71	3,72
-64	3,71	3,71	3,66	3,66	3,69	3,676	3,68	3,69	3,69	3,7
-63	3,69	3,69	3,64	3,64	3,67	3,649	3,66	3,66	3,66	3,77
-62	3,66	3,66	3,61	3,61	3,64	3,623	3,63	3,63	3,63	3,64
-61	3,64	3,64	3,59	3,59	3,62	3,603	3,61	3,62	3,61	3,62
-60	3,62	3,61	3,56	3,56	3,58	3,567	3,57	3,58	3,58	3,59
-59	3,59	3,59	3,53	3,54	3,56	3,541	3,55	3,55	3,55	3,55
-58	3,56	3,56	3,51	3,51	3,54	3,519	3,52	3,53	3,53	3,53
-57	3,54	3,53	3,48	3,48	3,51	3,495	3,5	3,5	3,5	3,41
-56	3,52	3,51	3,46	3,46	3,49	3,472	3,48	3,48	3,48	3,49
-55	3,49	3,48	3,43	3,43	3,46	3,446	3,45	3,46	3,45	3,46
-54	3,46	3,46	3,4	3,4	3,44	3,423	3,43	3,43	3,43	3,44
-53	3,44	3,43	3,38	3,38	3,41	3,394	3,4	3,4	3,4	3,41
-52	3,41	3,41	3,35	3,35	3,38	3,365	3,37	3,37	3,37	3,38
-51	3,38	3,38	3,32	3,32	3,36	3,343	3,35	3,35	3,35	3,36
-50	3,36	3,35	3,29	3,29	3,32	3,303	3,31	3,31	3,31	3,32
-49	3,33	3,32	3,26	3,26	3,28	3,268	3,27	3,28	3,27	3,29
-48	3,3	3,29	3,24	3,23	3,27	3,245	3,25	3,26	3,25	3,27
-47	3,29	3,27	3,21	3,2	3,23	3,218	3,22	3,23	3,23	3,24
-46	3,27	3,24	3,18	3,18	3,21	3,192	3,2	3,21	3,2	3,21
-45	3,24	3,21	3,15	3,15	3,18	3,164	3,17	3,18	3,18	3,19
-44	3,22	3,18	3,12	3,12	3,15	3,137	3,14	3,15	3,15	3,16
-43	3,18	3,15	3,09	3,09	3,12	3,104	3,11	3,12	3,12	3,13
-42	3,15	3,13	3,06	3,06	3,08	3,072	3,08	3,09	3,09	3,09
-41	3,13	3,09	3,03	3,03	3,05	3,047	3,06	3,07	3,07	3,07
-40	3,09	3,06	3	2,99	3,01	2,997	3	3,02	3,02	3,04
-39	3,06	3,04	2,96	2,96	2,98	2,963	2,96	2,96	2,96	2,97
-38	3,03	3,01	2,94	2,93	2,95	2,936	2,93	2,94	2,93	2,94
-37	3,01	2,97	2,9	2,9	2,92	2,907	2,91	2,91	2,9	2,92
-36	2,98	2,94	2,87	2,87	2,89	2,878	2,88	2,88	2,87	2,89
-35	2,94	2,91	2,84	2,84	2,86	2,845	2,84	2,85	2,84	2,86
-34	2,91	2,88	2,81	2,81	2,83	2,818	2,82	2,82	2,82	2,83
-33	2,88	2,85	2,78	2,78	2,8	2,783	2,78	2,79	2,78	2,79
-32	2,85	2,82	2,75	2,74	2,76	2,748	2,75	2,75	2,74	2,75
-31	2,82	2,79	2,71	2,71	2,73	2,722	2,72	2,73	2,72	2,73
-30	2,79	2,76	2,68	2,68	2,69	2,673	2,67	2,67	2,67	2,68
-29	2,76	2,73	2,65	2,64	2,65	2,64	2,63	2,64	2,63	2,64
-28	2,72	2,69	2,62	2,61	2,62	2,61	2,61	2,61	2,6	2,61
-27	2,69	2,66	2,59	2,58	2,59	2,58	2,58	2,58	2,57	2,58
-26	2,66	2,63	2,55	2,55	2,56	2,549	2,54	2,55	2,54	2,55
-25	2,63	2,6	2,52	2,52	2,53	2,515	2,51	2,52	2,51	2,52
-24	2,6	2,57	2,49	2,49	2,5	2,486	2,48	2,49	2,48	2,49
-23	2,56	2,54	2,46	2,45	2,46	2,448	2,44	2,45	2,44	2,45
-22	2,53	2,51	2,43	2,42	2,43	2,413	2,41	2,41	2,4	2,41
-21	2,5	2,47	2,39	2,39	2,4	2,385	2,38	2,39	2,37	2,38
-20	2,47	2,44	2,36	2,35	2,35	2,334	2,33	2,33	2,32	2,33



## Příloha B: schéma zapojení



## Příloha C: SW řešení mikrokontroléru

```
#include <mega8.h>

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <delay.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x40 // nastavení napěťové reference

unsigned int read_adc(void) // funkce pro provedení převodu
{
    ADMUX=0; // určí převáděný kanál
    ADCSRA|=0x40; // odstartuje převod
    while ((ADCSRA & 0x10)==0); // podmínka dokud není dokončen převod
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

void main(void)
{
    unsigned int vysledek;
    char retezec[5];

    UCSRA=0x00; // nastavení jednotlivých registrů
    UCSRB=0x08;
    UCSRC=0x86;
    UBRRH=0x00;
```

```

UBRRL=0x5F;

ACSR=0x80;

SFIO=0x00;

ADMUX=ADC_VREF_TYPE;

ADCSRA=0x87;

while (1)
{
    float realne;

    vysledek = read_adc();           // načtení hodnoty A/D převodníku
    realne = (float) 5.03 / 1023;    // platí pro max rozsah 5,03V / 10bit
    realne = (float) realne * vysledek; // výsledná hodnota napětí
    ftoa(realne,2,retezec);
    puts(retezec);                  // odeslání výsledku po sériové lince
    delay_ms(500);
};
}

```

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Klasické zapojení.....	5
Obrázek 2 – Graf z měření duplexeru .....	8
Obrázek 3 – Úprava spektrálního analyzátoru .....	10
Obrázek 4 – Upravené blokové schéma.....	5
Obrázek 5 – Vysoce selektivní filtr.....	12
Obrázek 6 – Přizpůsobení rozsahu .....	5
Obrázek 7 – Vstupní část .....	5
Obrázek 8 – Rozmístění součástek na desce plošných spojů.....	17
Obrázek 9 – Podklad pro výrobu desky .....	18
Obrázek 10 - Program mikrokontroléru .....	5
Obrázek 11 – Registr AMUX .....	20
Obrázek 12 – Registr ADCSRA .....	21
Obrázek 13 – Registr SFIOR .....	21
Obrázek 14 – Graf nelinearity .....	25
Obrázek 15 – Prostředí programu .....	26

## Použitá literatura

- [1] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače, [s.l.] : [s.n.], 2004. 155 s. ISBN 80-7300-110-1.
- [2] HRABÁČEK, Jiří. Komunikace mikrokontroléru s okolím. [s.l.] : [s.n.], 1999. 160 s. ISBN 80-86056-73-2.
- [3] BURKHARD, Mann. C pro mikrokontroléry. [s.l.] : [s.n.], 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [4] ŠIMÍČEK, Bohumil. Antény pro televizní a rozhlasové vysílání na VKV. [s.l.] : [s.n.], 1990. 301 s. ISBN 80-7030-095-7.
- [5] KARAS, Ondřej. Květákov.NET – Využití AD převodníku. [online]. 2009 [cit. 2009-08-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.kvetakov.net/clanky/avr/55-vyuziti-ad-prevodniku.html>>.
- [6] ZAPLETAL, Radek. Mfc a C++. [online]. 2009 [cit. 2009-08-13]. Dostupný z WWW: <<http://mfc.chytrak.cz>>.
- [7] Wikimedia Foundation Inc. Wikipedie : Otevřená encyklopedie [online]. 2001M 2008 [cit. 2009-08-13]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org>>.
- [8] Future Technology Devices International Ltd.: FT232BL [online]. 2009 [cit. 2009-08-13]. Dostupný z WWW: <[http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS\\_FT232BL.pdf](http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232BL.pdf)>.
- [9] Atmel corporation: ATmega8 [online]. 2009 [cit. 2009-08-13]. Dostupný z WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2486.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf)>.
- [10] DOBEŠ, Josef; ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika. [s.l.] : [s.n.], 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2.