

# DIGITÁLNÍ FILTRACE V REÁLNÍM ČASE PRO ZPRACOVÁNÍ BIOMEDICÍNSKÝCH SIGNÁLŮ POMOCÍ MATLAB - XPC TARGET

*Grobelný David, Martinák Lukáš, Nevřiva Pavel, Plešivčák Přemysl*

Department of measurement and control, FEI,  
VŠB – Technical University Ostrava, 17. listopadu 15, CZ 708 00 Ostrava – Poruba,  
{david.grobelny, premysl.plesivcak, pavel.nevriva, lukas.martinak}@vsb.cz

## Abstract

**The paper describes the project of IIR and FIR filters in MATLAB/Simulink environment. It displays the application of xPC Target Library. The real-time filters developed on HUMUSOFT MF614 and HUMUSOFT AD512 measurement cards are presented. The frequency analysis of the resulting is discussed.**

## 1 Úvod

Programové prostředí MATLAB obsahuje knihovny pro návrh analogových i číslicových filtrů. Při praktické realizaci číslicových filtrů se projevují různé reálné vlivy, jako je například kvantizace obecně reálných koeficientů přenosu číslicového filtru, chyba aperturou, aliasing apod. Proto je vhodné v MATLABu navrhnout číslicový filtr nejprve odzkoušet a změřit jeho kmitočtové charakteristiky v reálném čase. Je zřejmé, že z měřených reálných charakteristik nejlépe zjistíme chování číslicového filtru a můžeme pak lépe posoudit reálné vlivy a přizpůsobit těmto vlivům samotný návrh.

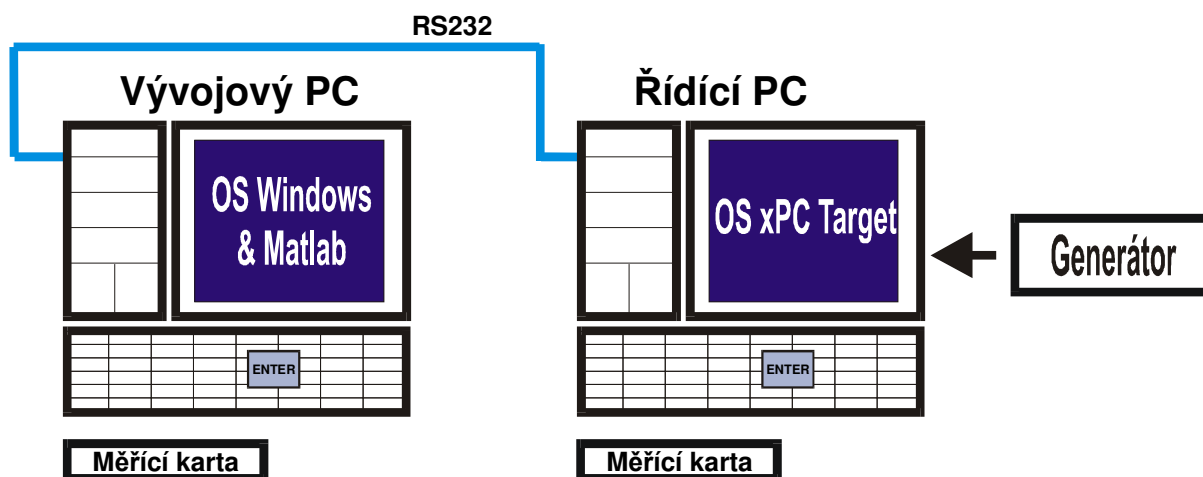
## 2 MATLAB

MATLAB je špičkové integrované prostředí pro vědeckotechnické výpočty, modelování, návrhy algoritmů, simulace, analýzu a prezentaci dat, měření a zpracování signálů, návrhy řídicích a komunikačních systémů. MATLAB je nástroj jak pro pohodlnou interaktivní práci, tak pro vývoj širokého spektra aplikací.

## 3 xPC Target

Pro tvorbu Real-Time aplikací pomocí MATLABu slouží toolbox Real-Time Workshop. Rozšiřující knihovnou Real-Time Workshopu je xPC Target. Je určen na vytváření Real-time aplikací, které se spouštějí na samostatném **řídícím počítači**, tzv. Target PC, s vlastním operačním systémem. Návrh a vývoj aplikace probíhá na **vývojovém počítači**, tzv. Host PC. Oba počítače spolu mohou navzájem komunikovat pomocí sériového, a nebo síťového protokolu, a tak je proces nahrání aplikace na řídicí počítač plně automatizovaný. Je možné sledovat a zaznamenat průběhy sledovaných signálů běžící aplikace a měnit jejich parametry [3]. Na Obr. 1 můžeme vidět schéma počítačů, kde na vývojovém PC se vytváří aplikace běžící v reálném čase pro řídicí PC, na kterém je tato aplikace spuštěna ve speciálním operačním systému, vytvořeném v MATLABu s pomocí knihovny xPC Target.

Výhodami xPC Target jsou jeho malé nároky na hardware PC a jeho vysoká stabilita, díky vlastnímu operačnímu systému.



Obr. 1: Schéma pro vytvoření a realizaci digitálních filtrů

## 4 Použitý Hardware

### Řídící PC

Pentium 100 MHz

RAM 16MB

S3 Trio 64

### Měřicí karta MF 614 (ve Vývojovém PC):

8x12-bitový A/D převodník s frekvencí vzorkování 100kHz s obvodem Sample & hold,

4x12-bitový D/A převodník s frekvencí vzorkování 100kHz

4xIRC 24-bit

5xTimer/Časovač

8xIN/OUT

softwarově přepínatelné vstupní rozsahy , , , ,

výstupní rozsahy , , , ,

odběr cca 100mA, teplotní rozsah 0°C až 70°C

### Měřicí karta AD 512 (v Řídícím PC):

8x12-bitový A/D převodník s frekvencí vzorkování 100kHz a s obvodem sample & hold,

2x12-bitový D/A převodník s frekvencí vzorkování 100kHz

8 digitálních vstupů TTL

8 digitálních výstupů TTL

softwarově přepínatelné vstupní rozsahy , , , ,

Napájení 5V, 12V, -12V

Teplotní rozsah 0°C to +70°C

## 5 Použití xPC Target pro aplikace běžící v reálném čase

Knihovnu xPC-Target je možno používat v aplikacích, ve kterých je nutné dostat okamžité výsledky, závislé na čase, což je aplikace běžící v reálném čase. Příkladem může být jakákoliv aplikace pro řídicí systém, či elektrický filtr. Zabýváme se tedy návrhem a realizací digitálního filtru běžícího v reálném čase pomocí příslušného počítačového vybavení a MATLABu s knihovnou xPC Target. V následujících kapitolách navrhne a následně realizujeme digitální IIR a FIR filtr.

## 6 Návrh IIR a FIR filtru pomocí Matlabu, realizace pomocí knihovny xPC Target

### 6.1 Návrh IIR filtru

IIR filtr, je digitální filtr s nekonečnou impulsní odezvou. Jednou z možností vytvoření IIR filtru je vytvoření číslicového filtru z přenosu analogového filtru. Analogový přenos pro dolní propust má tento tvar

$$H(s) = \frac{k}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)}$$

Dále tento přenos převedeme na pásmovou propust [3]

$$H_{PP}(s) = \frac{a_1(s')^{(n-1)} + \dots a_{(n-1)}(s') + b_n}{b_1(s')^{(m-1)} + \dots b_{(m-1)}(s') + b_m}, \text{ kde } s' = \frac{\omega_0 (s/\omega_0)^2 + 1}{B_\omega s/\omega_0}$$

$\omega_0$	...	středová úhlová frekvence [rad/s]
$B_\omega$	...	šířka pásma [Hz] $B_\omega = f_{M2} - f_{M1}$
$f_{M2}; f_{M1}$	...	horní a dolní mezní frekvence [Hz]

Dalším krokem je transformace do digitální oblasti, převedeme analogovou pásmovou propust na digitální pásmovou propust s použitím bilineární transformace:

$$s = \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

pak dostaneme tento přenos

$$H(z) = \frac{\sum_{m=0}^M b_m z^{-m}}{1 + \sum_{n=1}^N a_n z^{-n}}$$

**Př : Chceme realizovat Butterworthovu pásmovou propust 6. řádu jako číslicový filtr.**

Parametry:  $f_0=1000$  Hz  
 $Q = 5$   
 $F_s=12054$  Hz

Přenos číslicového filtru bude převeden na biquady. Jednotlivé sekce druhého řádu budou implementovány do přímé formy II. Z přímé formy II bude provedena transpozice do duální struktury. Vypočtené koeficienty zkvantizujeme a zjistíme stabilitu filtru. Tento číslicový filtr bude implementován do Simulinku, převeden na RT aplikaci, která bude běžet na Target PC. Tato aplikace způsobí, že karta AD512 připojena k PC se bude chovat jako číslicový filtr.

Zjištění pólů v MATLABu: **[z,p,k]=buttap(n)**

Kde  $n$  je řád filtru  
 $k$  je zesílení filtru  
 $p$  jsou póly filtru  
 $z$  jsou nuly filtru

Převedení na NDP pomocí MATLABu: **[b,a]=zp2tf(z,p,k)**

Kde  $b$  je čítec filtru  
 $a$  je jmenovatel filtru

Než převedeme NDP na PP, zjistíme dolní mezní kmitočet a horní mezní kmitočet naší pásmové propusti.

Vypočteme:  $f_D = 905 \text{ Hz}$   
 $f_H = 1105 \text{ Hz}$

**V MATLABu:**

**Fs=12054;** vzorkovací frekvence  
**wd=905\*2\*pi;** dolní mezní úhlová frekvence  
**wh=1105\*2\*pi;** horní mezní úhlová frekvence

Ted' můžeme provést převedení NDP na PP.

**V MATLABu:**

**[a,b]=lp2bp(a,b,sqrt(wd\*wh),wh-wd);**

Nakonec provedeme transformaci do diskretní oblasti  $s = \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$

Převedení provedeme v MATLABu pomocí funkce **BILINEAR(B,A,Fvz,Fo)**.

B – čítec přenosu  
A – jmenovatel přenosu  
Fvz – vzorkovací frekvence [Hz]  
Fo – středová frekvence Hz]

**[numd,dend]=bilinear(a,b,12054,1000)**

Přenos filtru v diskretní oblasti má tvar:

$$H_1(z) = \frac{0.0001279 - 0.0003838z^{-2} + 0.00038384z^{-4} - 0.0001279z^{-6}}{1 - 5.0217z^{-1} + 11.2025z^{-2} - 14.0558z^{-3} + 10.4498z^{-4} - 4.3696z^{-5} + 0.8117z^{-6}}$$

## 6.2 Návrh FIR filtru

Návrh FIR filtru vychází z impulsní charakteristiky ideální dolní propusti. Jedná se o charakteristiku, která je nekonečně dlouhá a nekausální. Tuto ideální charakteristiku přenásobíme konečným oknem tak aby byla symetrická a posuneme směrem doprava.

**Př: Navrháme dolní propust s Hammingovým oknem**

Parametry:  $f = 3013 \text{ Hz}$   
 $F_s = 12054 \text{ Hz}$   
 $N = 41$

**V MATLABu:**

Pomocí příkazu **fir1** zjistíme 41 vzorků ideální dolní propusti pro  $f = 0,5$  vztaženou k vzorkovací frekvenci  $F_s/2$ .

**num=fir1(40,0.5)**

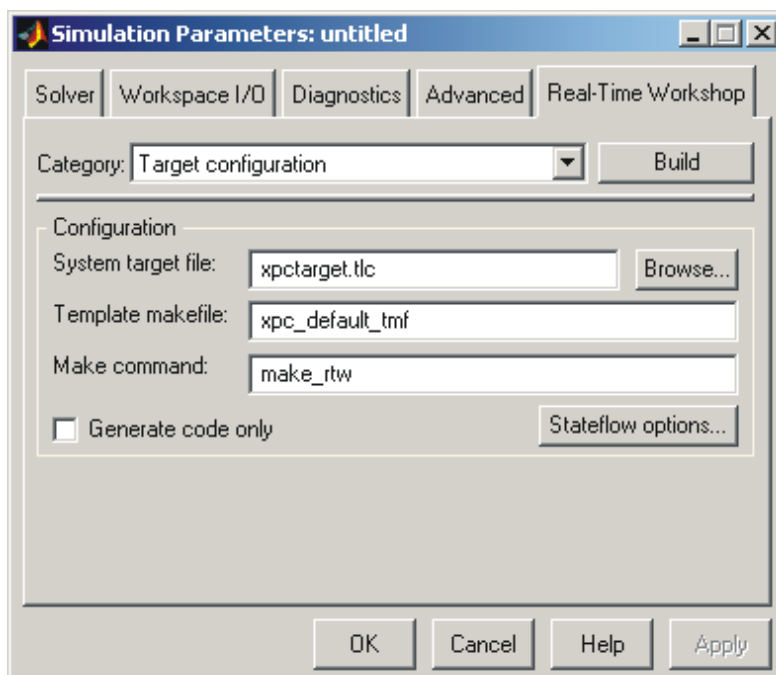
Tyto vzorky přenásobíme hammingovým oknem

**num=num.\*hamming(41)';**

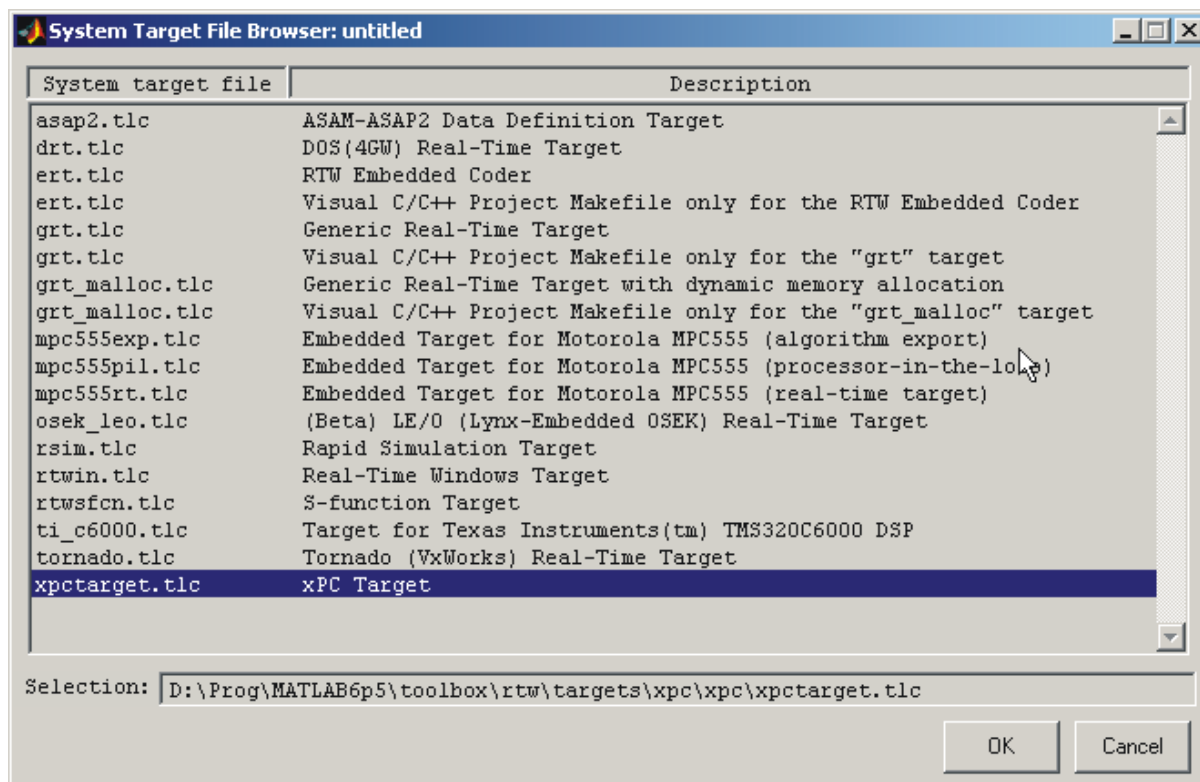
Dostaneme přenos číslicového FIR filtru. Číslicový FIR filtr realizujeme obdobným způsobem, jak bylo uvedeno výše.

### 6.3 Vytvoření aplikace digitálního filtru pomocí xPC Target

Pro vytvoření aplikace digitálního filtru je nutno použít Simulink, jenž je propojený s MATLABem, ve kterém je nainstalovaná knihovna xPC Target. Natavením parametrů v této aplikaci upřesníme, jak má naprogramovaná aplikace pracovat. Parametry můžeme vidět na Obr. 2, výběr knihovny xPC Target vidíme na Obr. 3.



Obr. 2: Parametry aplikace v Simulinku

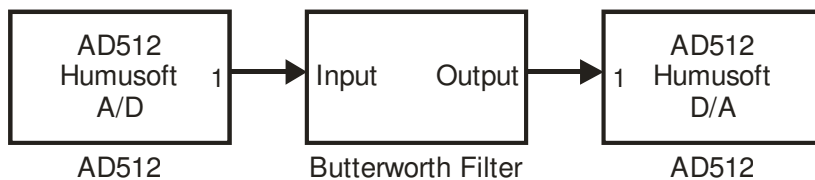


Obr. 3: Nastavení knihovny xPC Target v Simulinku

Dalším krokem je vložení jednotlivých bloků do dokumentu Simulink.

*Aplikace vytvořená pro IIR filtr:*

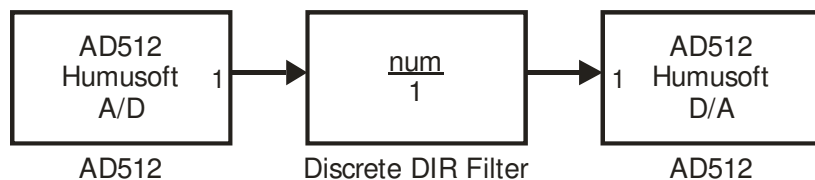
Do aplikace byly vloženy bloky měřicí karty Humusoft AD512, do prostředního bloku zadáváme přenos digitálního IIR filtru.



**Obr. 4: Aplikace vytvořená v Simulinku (IIR filtr)**

*Aplikace vytvořená pro FIR filtr:*

Do aplikace byly vloženy bloky měřicí karty Humusoft AD512, do prostředního bloku zadáváme přenos digitálního FIR filtru.



**Obr. 5: Aplikace pomocí měřicí karty**

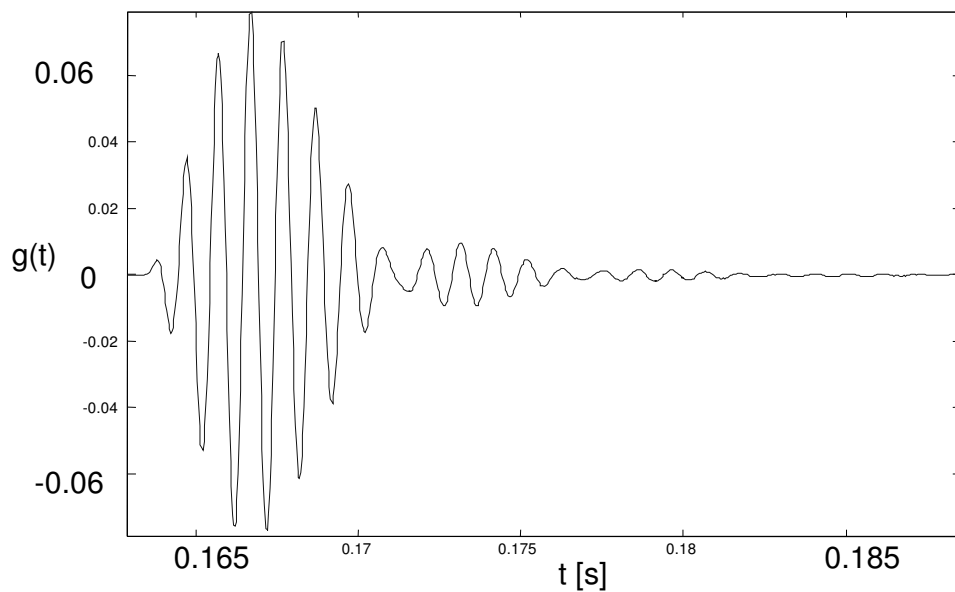
Vždy jedna aplikace je přenesena na **řídící počítač**, tedy počítač se speciálním operačním systémem a na něm je také spuštěna.

## 7 Měření kmitočtových charakteristik

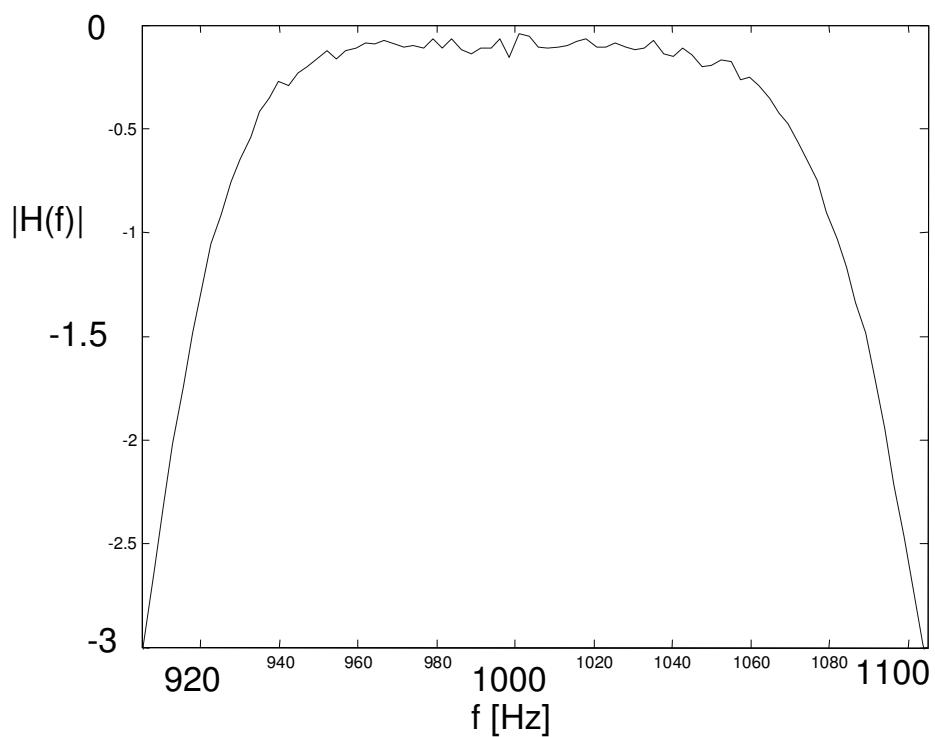
Měření vytvořeného digitálního filtru se provádí na **vývojovém počítači** a karty MF614. Na tomto PC změříme přechodovou charakteristiku číslicového filtru, kterou převedeme na kmitočtovou charakteristiku filtru.



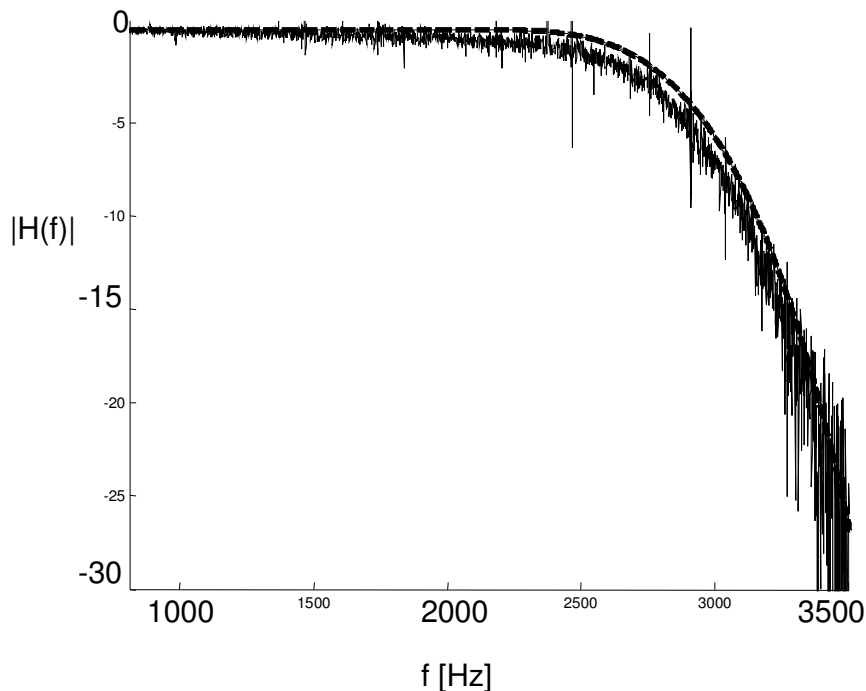
**Obr. 6: Měřící řetězec**



**Obr. 7: Přechodová charakteristika číslicové Butterworthovy pásmové propusti 6. řádu**



**Obr. 8: Modulová charakteristika číslicového Butterworthova filtru**



Obr. 9: Modulová charakteristika FIR filtru změřená a vypočtená

## 8 Závěr

Byla navrhnutá číslicová Butterworthova pásmová propust 6. řádu a Dolní propust s Hammingovým oknem a ukázána jejich realizace pomocí xPC Target s měřicí kartou AD 512. Maximální vzorkovací frekvenci kterou jsme použitím xPC Target dosáhli byla 12054Hz. Tzn. že jsme při praktickém použití omezení právě touto frekvencí. Kdybychom tyto filtry chtěli použít pro praktickou úlohu museli bychom je vybavit ještě Anti-aliasing filtrem a Anti-imagining filtrem. V našem případě je uvedená aplikace vhodnější spíše pro odhalení reálných vlivů a jejich omezení jak bylo uvedeno v úvodu. Při podrobnějším rozboru naměřených charakteristik zjistíme že navržený IIR filtr a jeho modulová charakteristika je reálnými vlivy ovlivněna minimálně. U navrženého FIR filtru si můžeme všimnout, že při srovnání ideální modulové charakteristiky a naměřené modulové charakteristiky dojde chybě díky reálným vlivům. Konkrétně se jedná o chybu okamžitým vzorkováním, kdy vidíme že u reálného FIR filtru dochází k většímu útlumu.

Navrhnutý digitální filtr je možné pro filtraci jakýchkoliv elektrických signálů. Jsme jen omezeni vzorkovací frekvencí. Takovouto filtraci využijeme i u **biomedicínských signálů** (např. signál z EKG atd.). Na naší katedře se budeme digitálními filtrací pro biomedicínské signály dále zabývat.

*Tento článek vznikl za podpory grantu FRVŠ 1307/2005.*

### Literatura

- [1] Grobelný D.: Problémy realizace lineárních filtrů na PC v prostředí MATLAB. Diplomová práce, VŠB-TUO, Ostrava 2004
- [2] Nevřiva P.: Analýza signálů a soustav, BEN, Praha 2000
- [3] Vratislav Davídek, Miloš Laipert, Miroslav Vlček: Analogové a číslicové filtry ČVUT, Praha 2000
- [4] MATLAB, www.matlab.com
- [5] Plešivčák P.: On-line modelování lineárních filtrů, realizovaných na PC v prostředí MATLAB, Diplomová práce, VŠB-TUO, Ostrava 2004