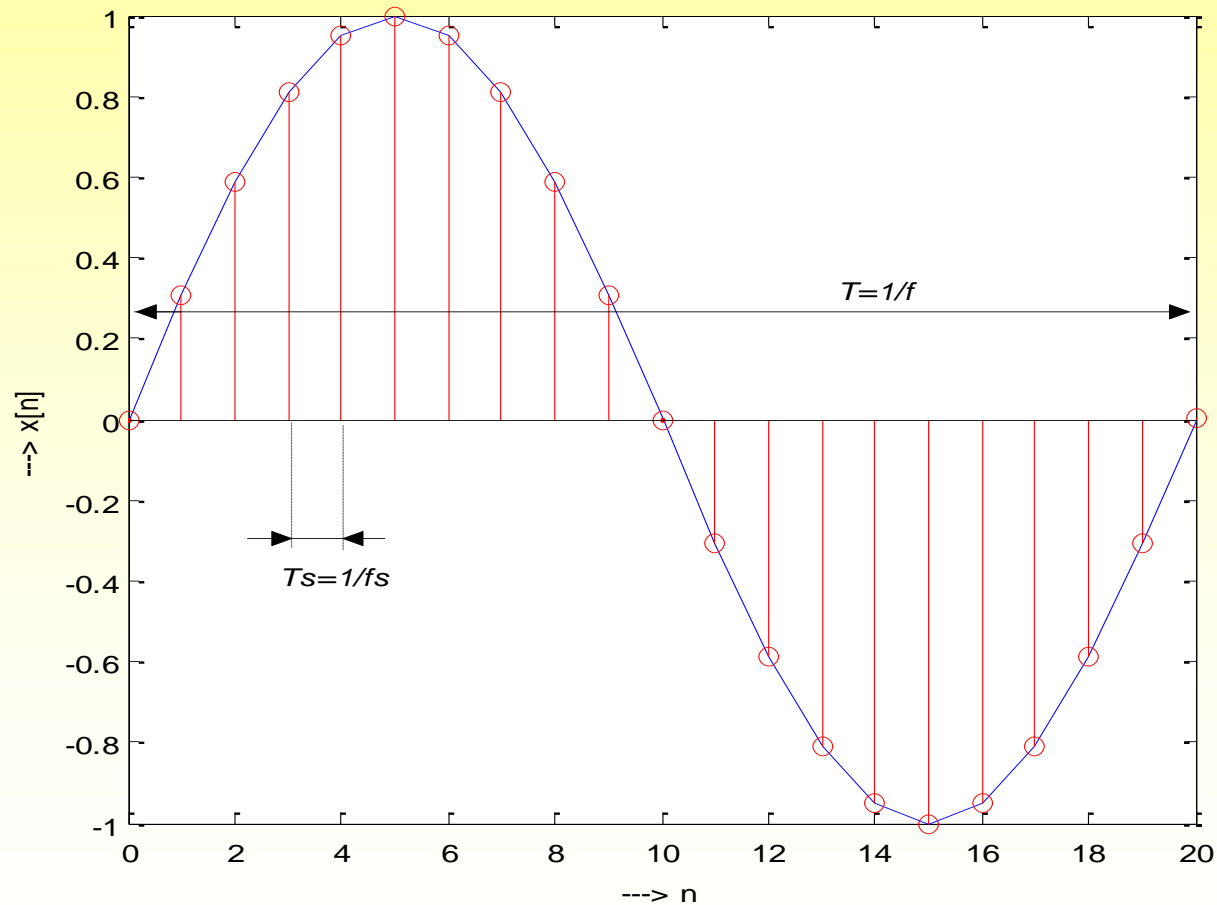


A7B31ZZS – 4. PŘEDNÁŠKA

13. října 2014

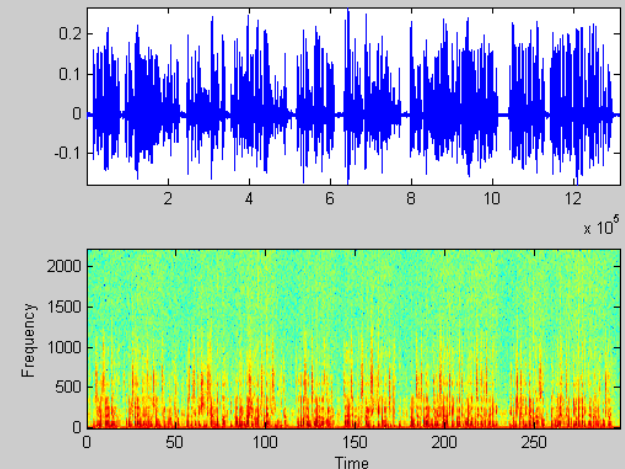
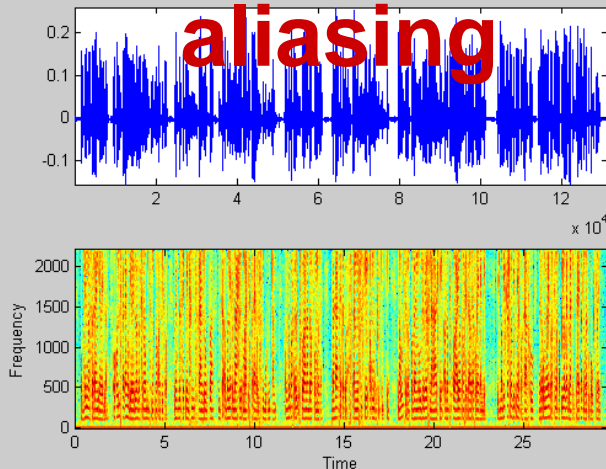
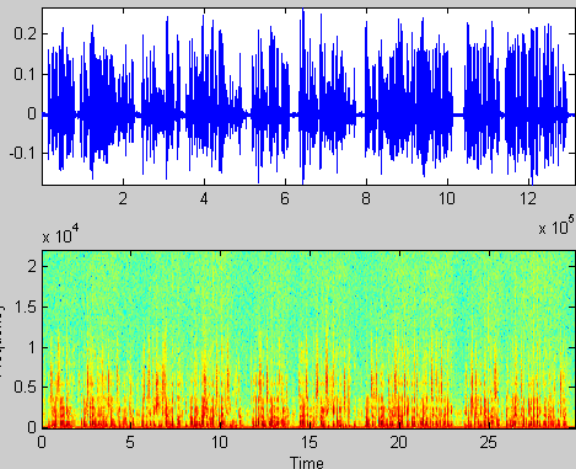
- A-D převod
- Vzorkování
 - aliasing
 - vzorkovací teorém
- Kvantování
- Analýza reálných signálů v časové oblasti
 - řečové signály
 - biologické signály

Analogově-číslicový převod



Analogově-číslicový převod

- Volba vzorkovací frekvence
 - vzorkovací teorém: $f_s > 2 f_{\max}$
 - běžné analýzy řeči: $f_s = 8 \text{ kHz}$
 - náročnější analýzy: $f_s > 20 \text{ kHz}$
 - CD: $f_s = 44,1 \text{ kHz}$



Aliasing

1. periodičnost harmonických průběhů

$$\cos(2\pi f n t_s) = \cos(2\pi n f / f_s) = \cos(2\pi n F)$$

$F = f / f_s$ se nazývá číslicová frekvence

$$\cos(2\pi F(n+N))$$

$$= \cos(2\pi n F) \cos(2\pi N F) - \sin(2\pi n F) \sin(2\pi N F)$$

$$= \cos(2\pi n F) \text{ právě když } N F = k \text{ (celé číslo)}$$

Záver: Číslicové harmonické signály jsou periodické,
je-li $F = f/f_s$ celé číslo

Aliasing

2. Harmonické signály $> f_s$

$$\begin{aligned}\cos(2 \pi n(f_0 + f_s)/f_s) &= \cos(2 \pi n f_0/f_s + 2 \pi n) \\ &= \cos(2 \pi n f_0/f_s) \cos(2 \pi n) - \sin(2 \pi n f_0/f_s) \sin(2 \pi n) \\ &= \cos(2 \pi n f_0/f_s)\end{aligned}$$

Záver: harmonické signály s frekvencí $> f_s$ neexistují, jsou vždy preloženy do pásma 0 až f_s .

Neexistují tudíž ani žádné obecné číslicové signály s frekvencí nad f_s .

Aliasing

3. Harmonické signály $> f_s/2$

$$\begin{aligned}\cos(2\pi n(f_0 + f_s/2)/f_s) &= \cos(2\pi n f_0/f_s + \pi n) \\ &= \cos(2\pi n f_0/f_s) \cos(\pi n) - \sin(2\pi n f_0/f_s) \sin(\pi n) \\ &= -\cos(2\pi n f_0/f_s)\end{aligned}$$

Záver: harmonické signály s frekvencí $> f_s/2$ neexistují, jsou vždy preloženy do pásma 0 až $f_s/2$.

Neexistují tudíž ani žádné obecné číslicové signály s frekvencí nad $f_s/2$.

Aliasing

Shrnutí:

Zatímco u analogových signálů nejsou frekvence ničím omezené, u číslicových signálů lze pracovat pouze se signály ve frekvenčním rozsahu 0 až $fs/2$.

Číslicové signály s frekvencí vyšší než $fs/2$

neexistují. Vždy dochází k přeložení frekvence na novou hodnotu fa , ležící v intervalu $\langle -fs/2, fs/2 \rangle$ podle vztahu

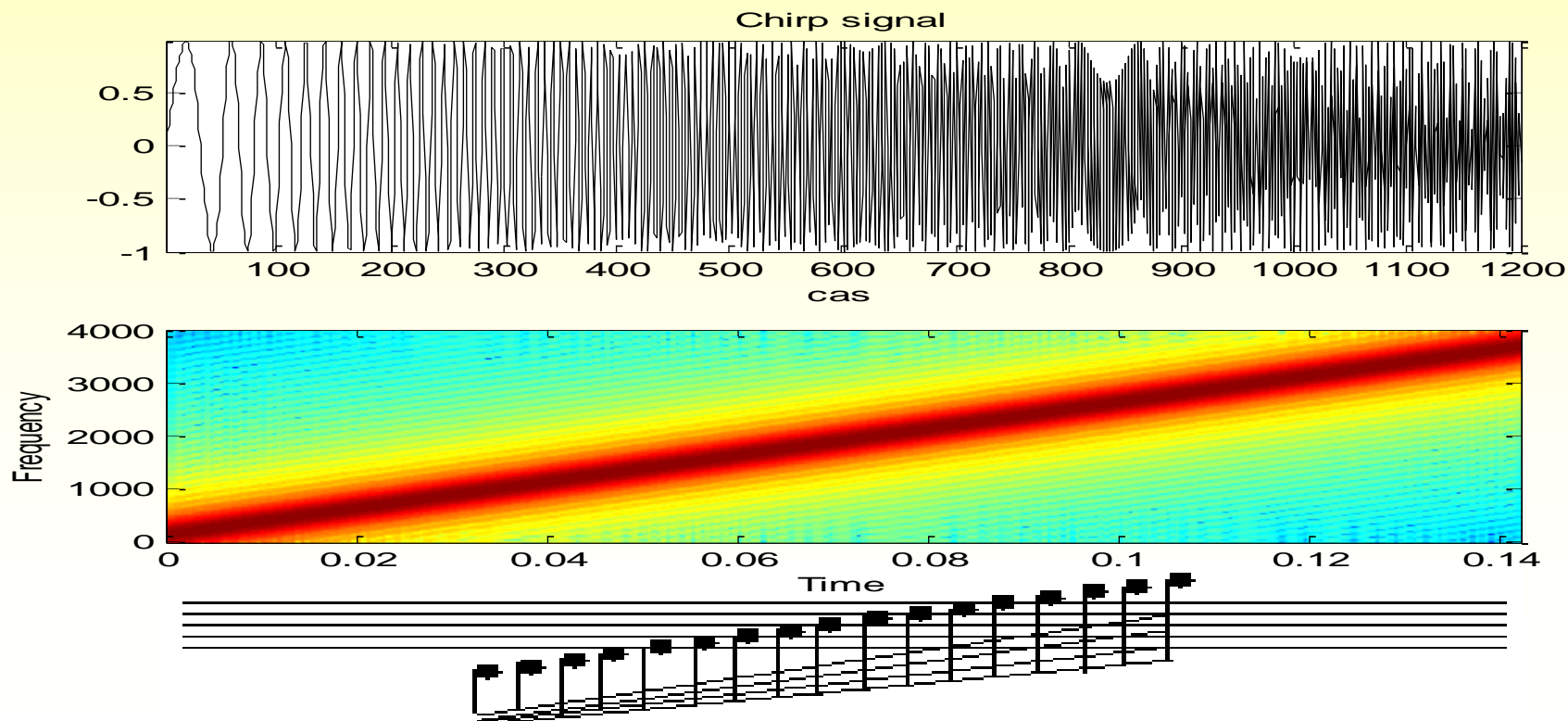
$$fa = f0 - k fs$$

„Chirp“ signál



chirp = cvrlikat, švitořit
(také *sweep = rozmést, vlnit se*)

frekvenčně rozmítaný signál



„Chirp“ signál I

- „Chirp“ signály - frekvence se mění lineárně s časem

$$x(t) = A \sin(\phi(t))$$

- **Okamžitá frekvence**

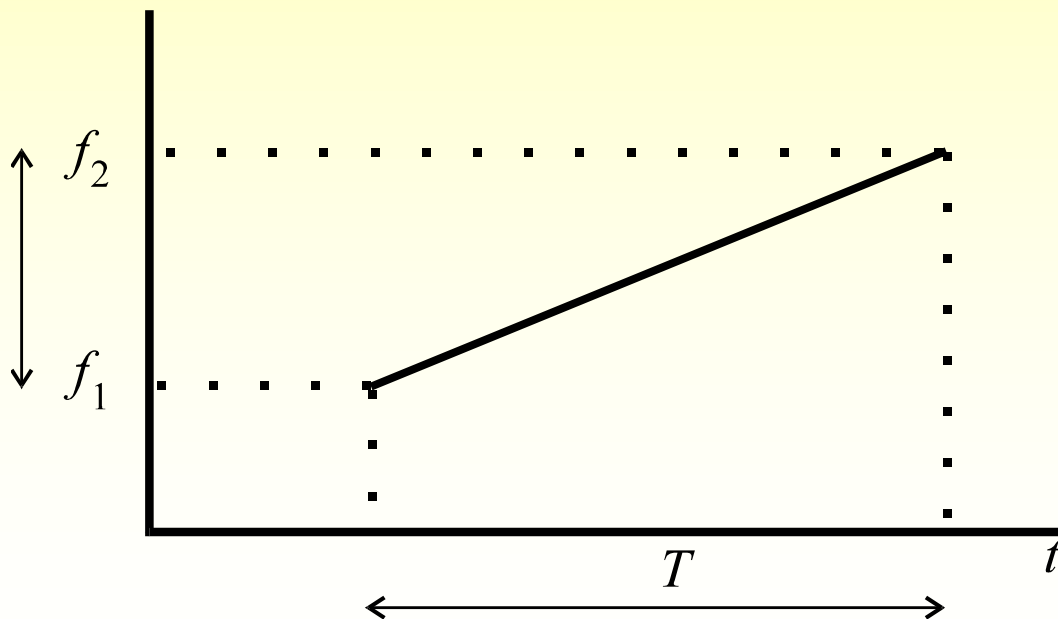
$$\omega_i(t) = \frac{d}{dt} \phi(t)$$

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t)$$

„Chirp“ signál II

- „Chirp“ signály - **okamžitá** frekvence se mění lineárně s časem

$$f(t) = kt + q$$



$$k = \frac{f_2 - f_1}{T}$$

$$q = f_1$$

„Chirp“ signál III

$$\frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t) = kt + q$$

$$\frac{1}{2\pi} \phi(t) = \int (kt + q) dt$$

$$\phi(t) = 2\pi \left(\frac{kt^2}{2} + qt + C \right)$$

pro $C = 0$

$$x(t) = \sin \left(2\pi \left(\frac{(f_2 - f_1)t^2}{2T} + f_1 t \right) \right)$$

Generování „chirp“ signálů

```
function x = lin_frekv( f1, f2, doba, fs)
% lin_frekv generuje linearni chirp signal
%
% f1    ... pocatecni frekvence
% f2    ... konecna frekvence
% doba  ... celkove trvani v sekundach
% fs    ... vzorkovaci frekv. (default je 8 kHz)

if( nargin < 4)
    fs = 8000;
end

t = 0:1/fs:doba-1/fs;
x = sin(2*pi*((f2 - f1)/(2*doba).*t.*t + f1*t));
```

Vzorkovací teorém

Vzorkovací frekvence musí být alespoň dvojnásobkem nejvyšší frekvence obsažené v signálu

- ***Harry Nyquist***

(americký inženýr - Bell laboratories 1889 - 1976)



- ***Claude Shannon***

(americký inženýr - Bell laboratories 1916 - 2001)



- ***Vladimir Kotelnikov***

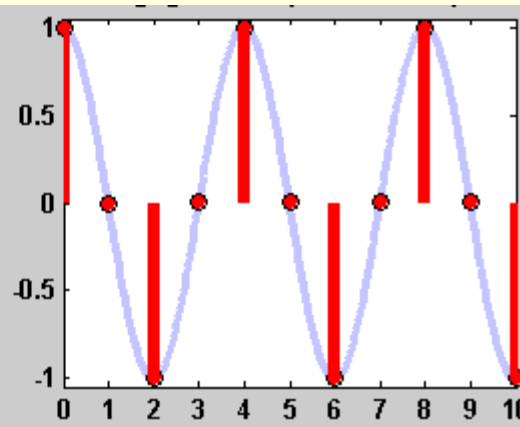
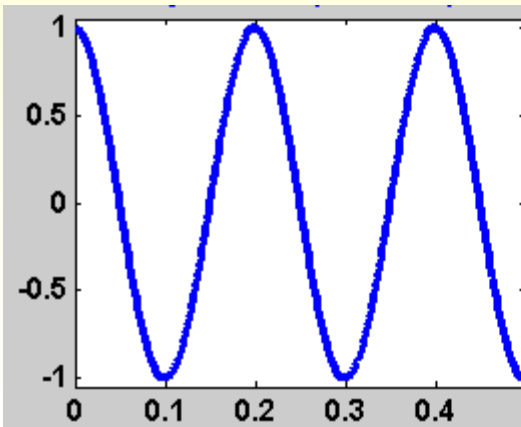
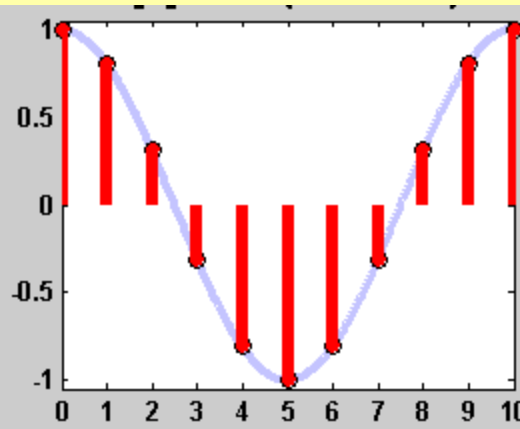
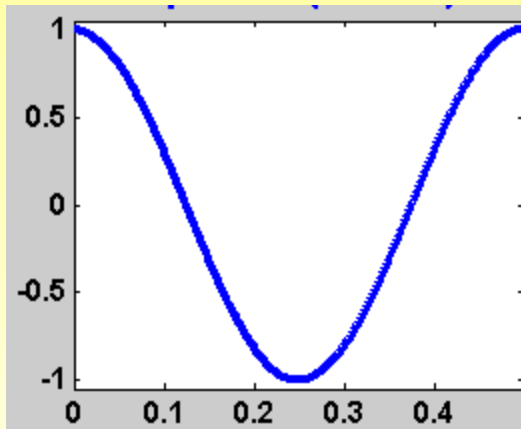
(ruský profesor 1908 - 2005)



Aliasing I

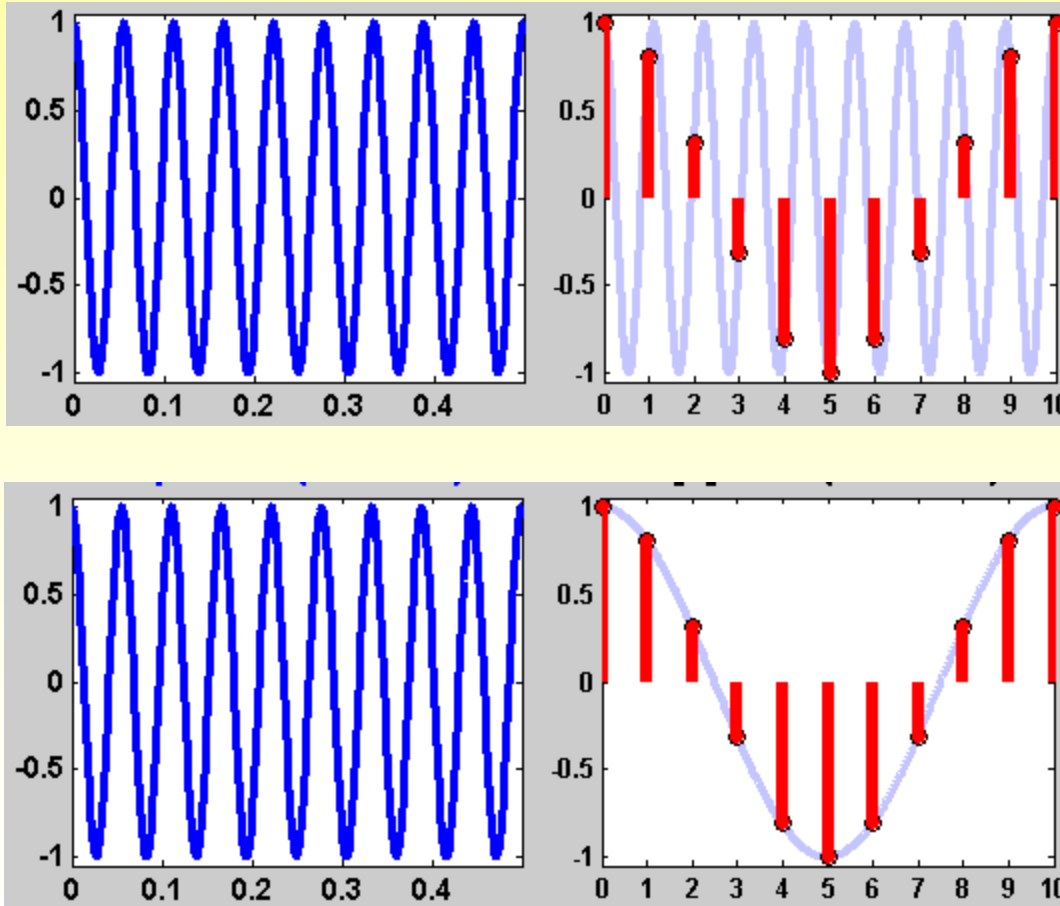
(alias = jinak zvaný), překrývání, překládání

$$f < \frac{f_s}{2}$$



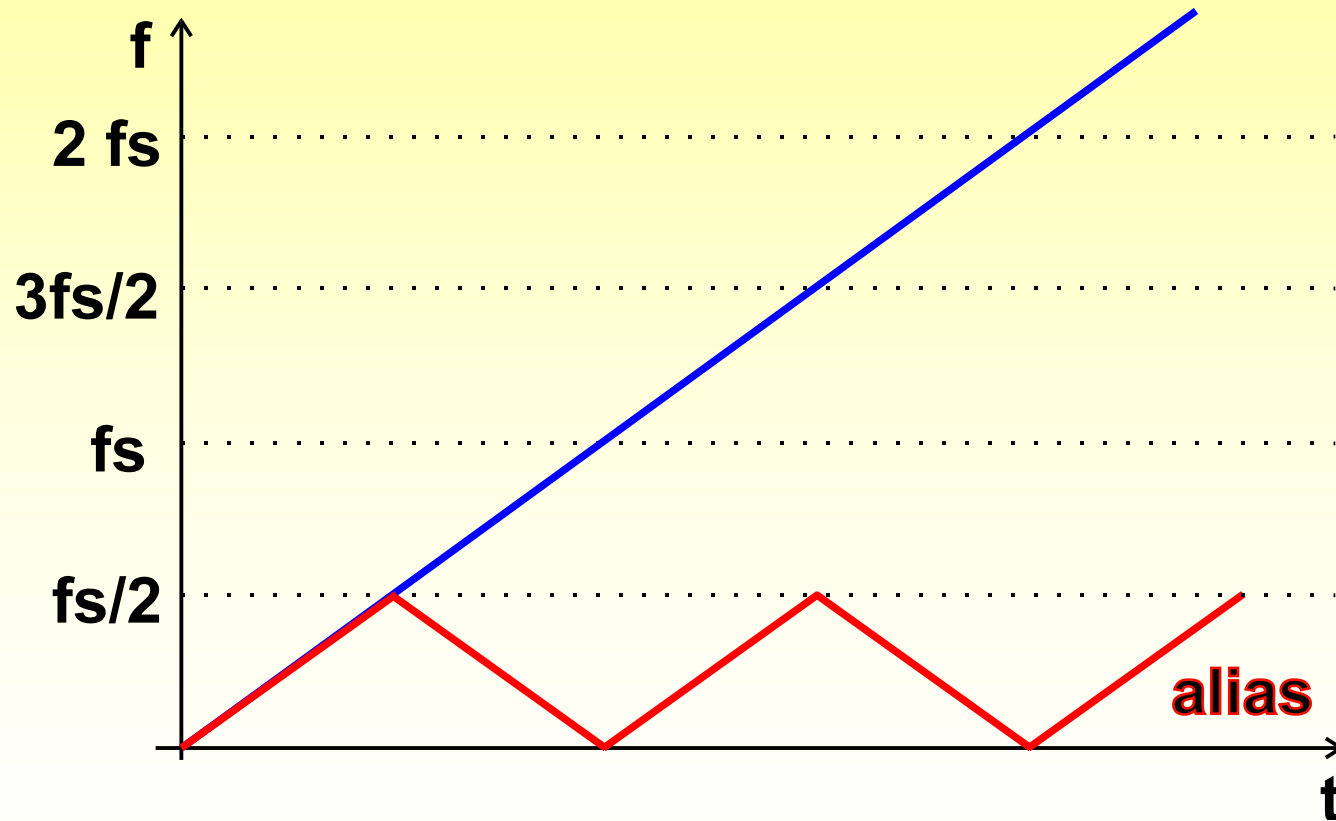
Aliasing II

$$f > \frac{f_s}{2}$$



vlivem „pomaleho“ vzorkování bude mít číslicový signál „jinou“ (alias) frekvenci

Aliasing III



Aliasing IV

Signály o frekvencích f jsou vzorkovány frekvencí $f_s = 1280$ Hz.
Určete „alias“ frekvence:

f [Hz]	<i>alias</i> f [Hz]
300	300
1300	20
700	580
1280	0

Aliasing V

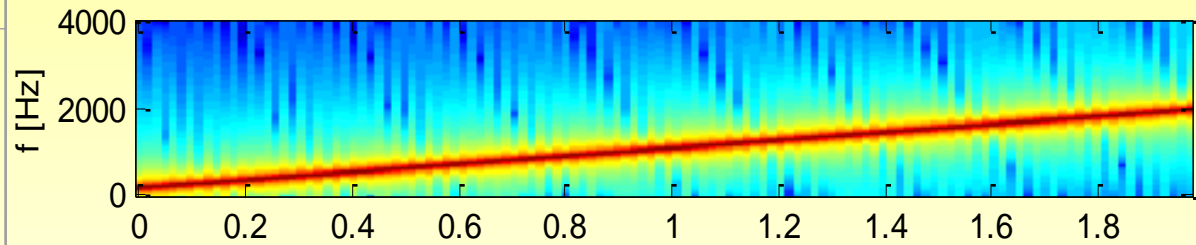
f1 [Hz]

f2 [Hz]

$f_s = 8000$ Hz

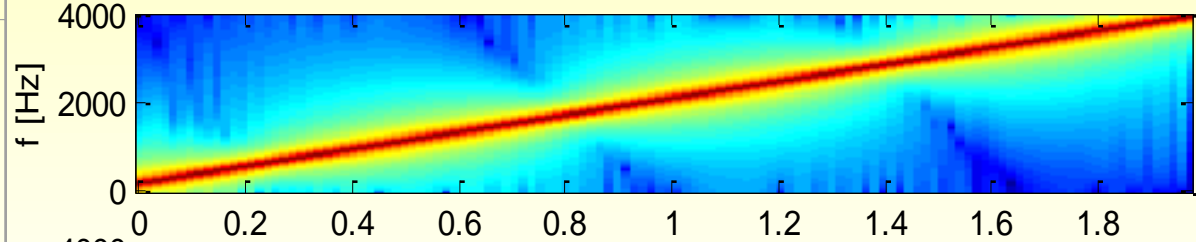
200

2000



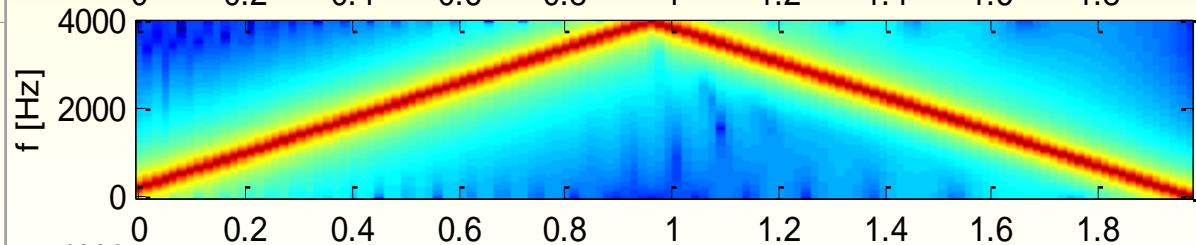
200

4000



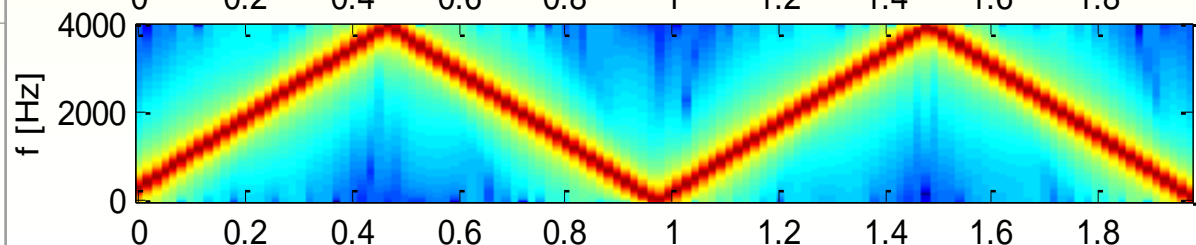
200

8000



200

16000



Antialiasing

- Při vzorkování analogových signálů hrozí, že složky signálu, které mají vyšší frekvence než $f_s/2$ budou změněny (přeloženy na jiné frekvence) a dojde ke zkreslení signálu a tím i přenášené informace.
- Jak tomu zabránit: Před A/D převodník se vloží antialiasingový filtr, který nepropustí složky o frekvencích vyšších než $f_s/2$ (**dolní propust**).

Antialiasing

Příklady:

- **1. Digitální telefonie pracuje se vzorkovací frekvencí 8 kHz. Vstupní signál prochází nejprve filtrem propouštějícím pouze pásmo 0 až 3,3 kHz a teprve pak je digitalizován.**
- **2. Zvukové karty mají vstupní filtry, které se aktivují při nastavení příslušné vzorkovací frekvence**

D/A převod

- Převod digitálních signálů na analogové D/A převod, zpětná rekonstrukce signálů
- Aplikace: rekonstrukce hudby z CD, videa z DVD, řeči z WAV, generování signálů počítačem,
- Pokud by se číslicový signál zavedl přímo do výstupního zařízení (např. reproduktoru), byl by "schodovitý". Problém „schodovitého“ průběhu – obdélníková funkce, která obsahuje velký podíl vyšších harmonických

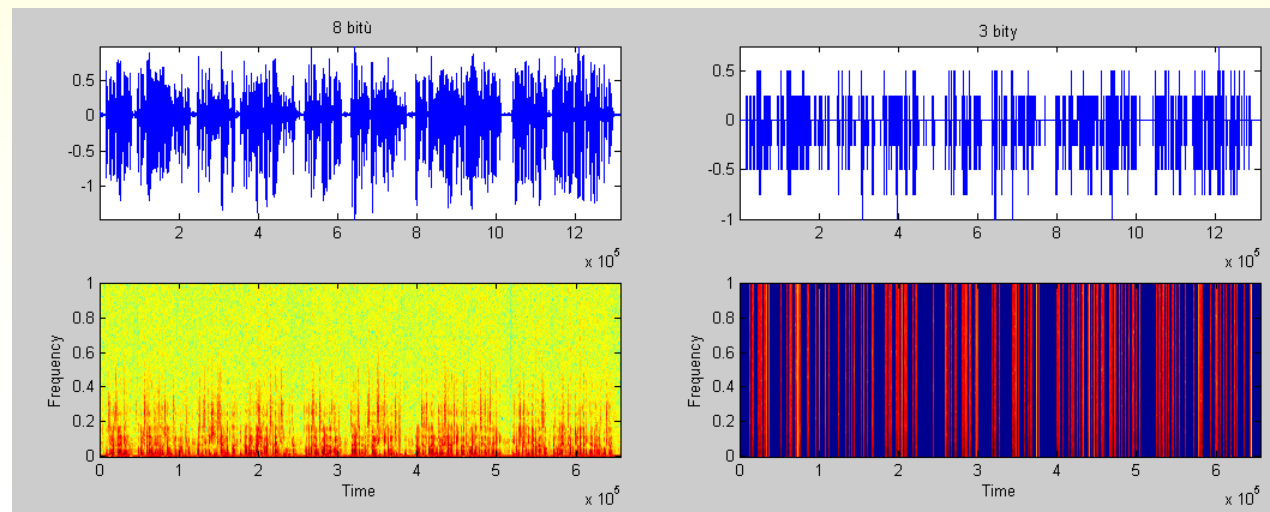
D/A převod

- Řešení: číslicový signál je na výstupu D/A převodníku zaveden do filtru (dolní propust), který propustí pouze složky do $fs/2$
- Závěr: Omezení na pásmo 0 až $fs/2$ je tedy nutné jak při A/D převodu, tak i D/A převodu

Analogově-číslicový převod

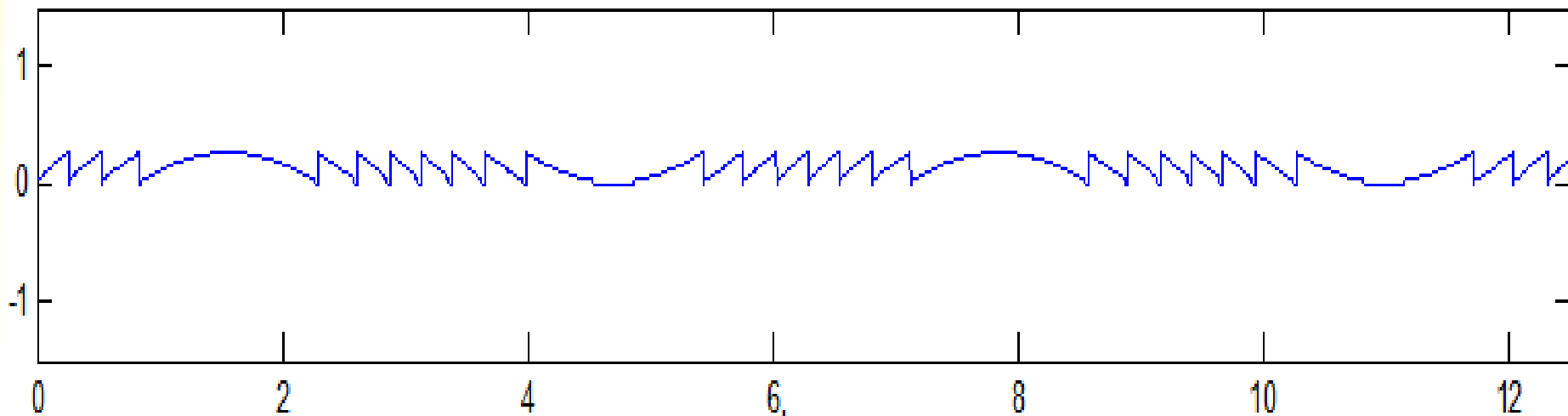
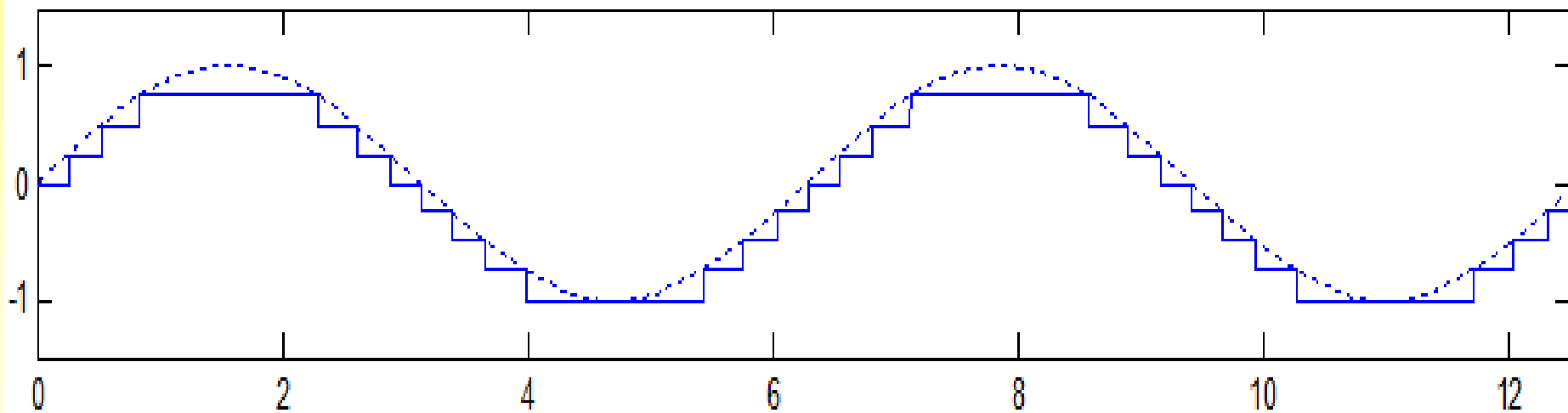
- Volba počtu bitů
 - $SNR \approx 6 \cdot b - 7,2$ [dB]
 - řeč 60 dB => 12 bitů

cv1.m

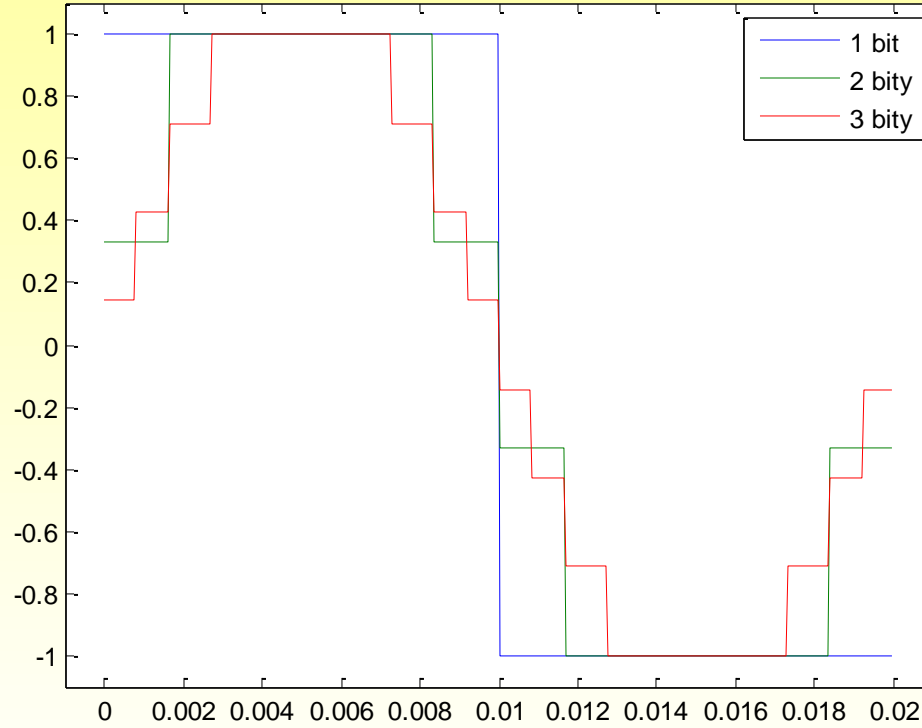


Proces kvantování

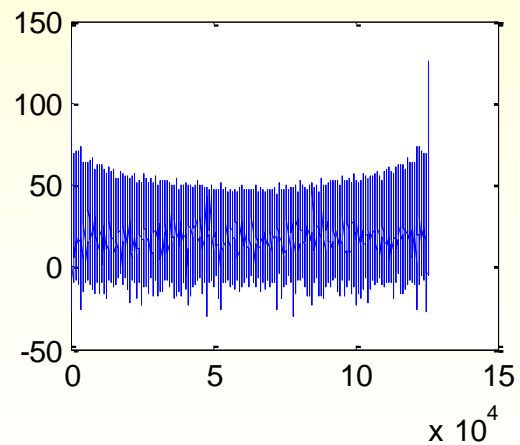
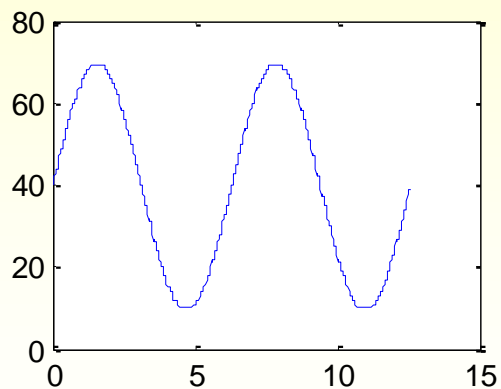
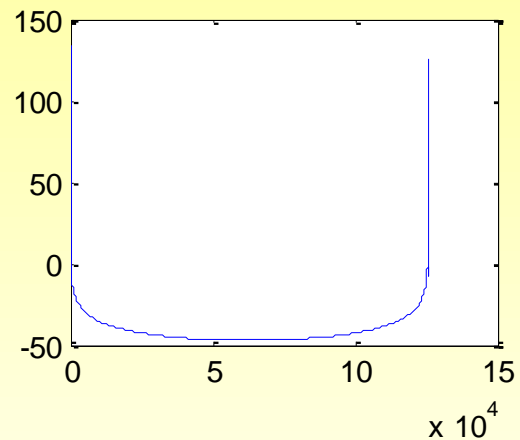
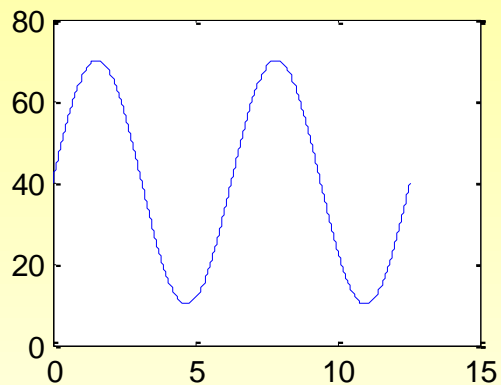
kvantování



Kvantování



Kvantování ve frekvenčním spektru



Hodnocení kvantizačních chyb

$$e[n] = x[n] - x_{\varrho}[n] \qquad SNR_{\varrho} = 10 \log \frac{P_s}{P_N} = 10 \log \frac{\sum x^2[n]}{\sum e^2[n]}$$

$$SNR_{\varrho} = 20 \log \frac{A_{Signal_max}}{A_{Noise_max}} = 20 \log \frac{2^{N-1}}{0.5}$$

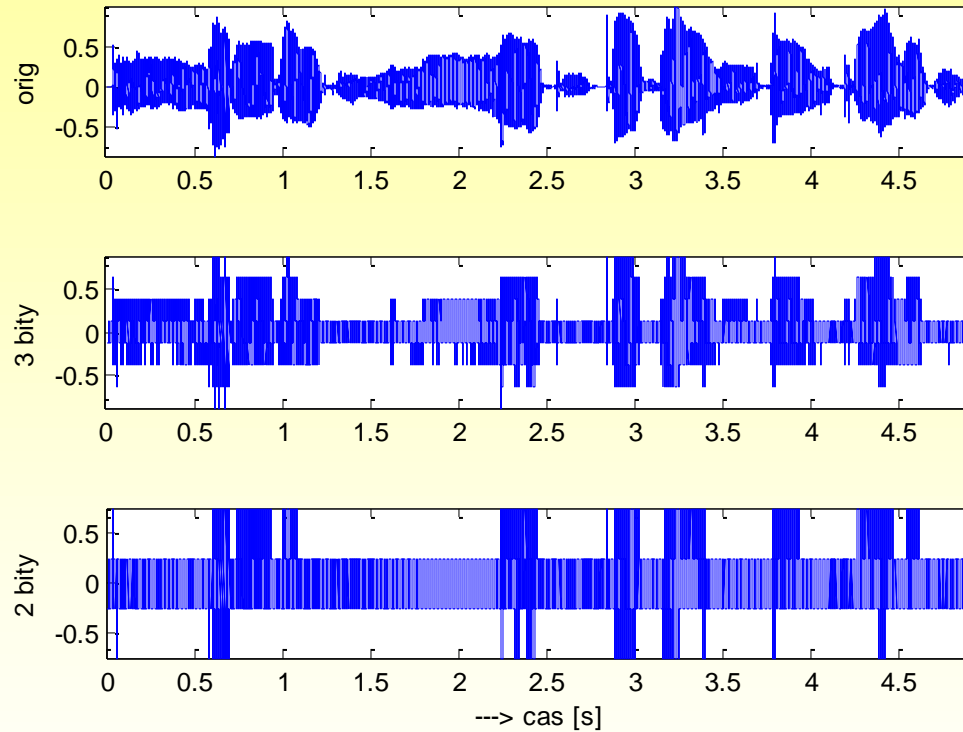
$$= 20 \log(2^{N-1}) - 20 \log(0.5)$$

$$= N \cdot 20 \log 2 - 20 \log 2 - 20 \log 0.5$$

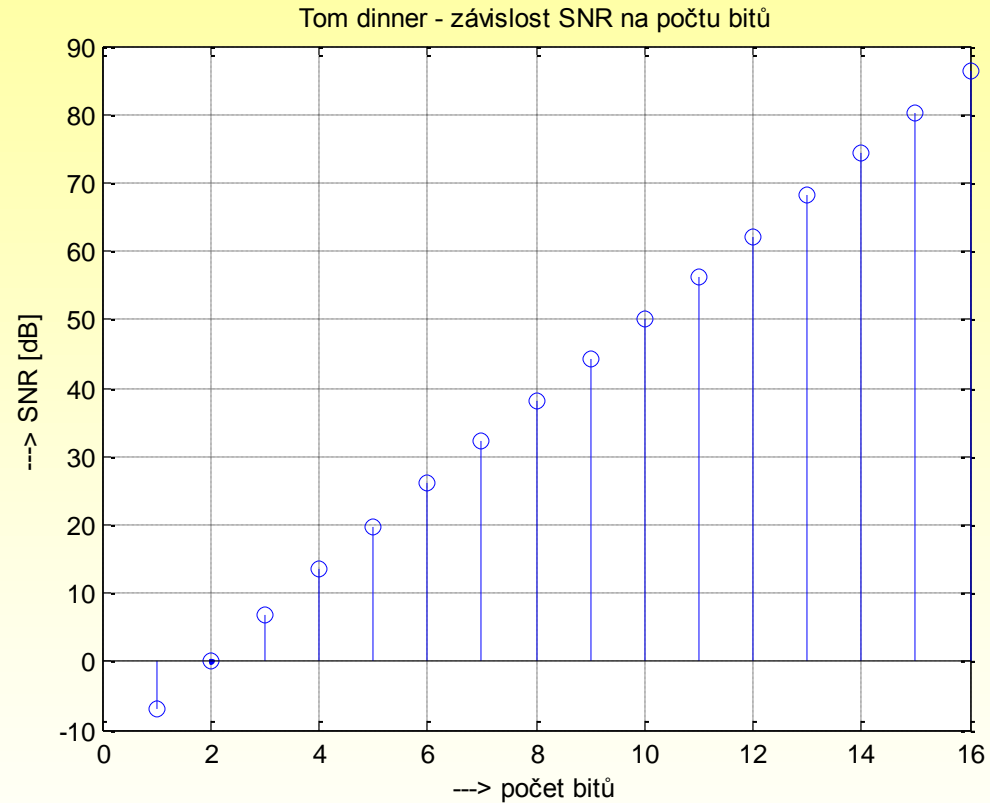
$$= N \cdot 20 \log 2 = N \cdot 6.02$$

Závěr: pro aproximaci dynamického rozsahu číslicového systému platí:
s každým bitem roste odstup signál / šum přibližně o 6 dB

Hodnocení kvantizačních chyb

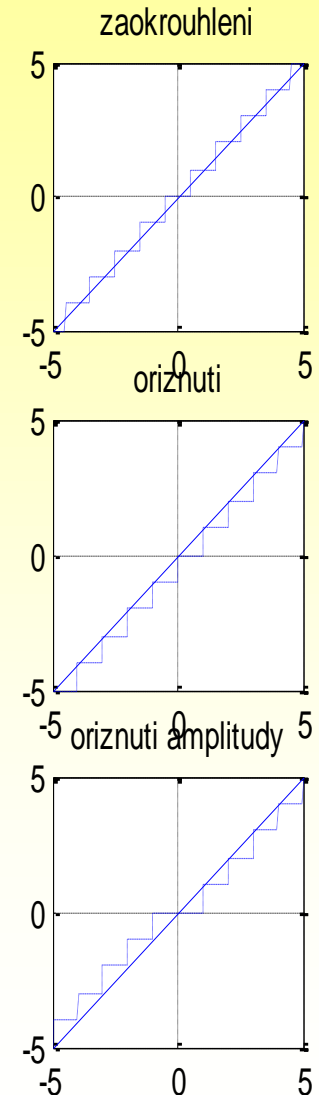


Hodnocení kvantizačních chyb



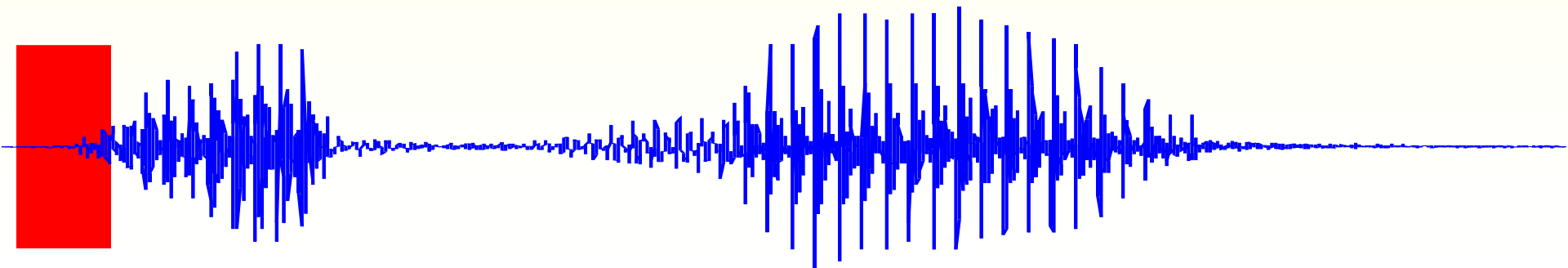
Simulace kvantizačních jevů

round(x)	Zaokrouhlení k nejbližšímu celému číslu
floor(x)	Zaokrouhlení k nejbližšímu celému číslu ve směru k $-\infty$
ceil(x)	Zaokrouhlení k nejbližšímu celému číslu ve směru k $+\infty$
fix(x)	Oříznutí neceločíselné části. Funkce fix(x) provede totéž jako $\text{sign}(x) \cdot \text{floor}(\text{abs}(x))$



Analýza reálných signálů v časové oblasti I

- ***Segmentace*** - rozdělení signálů do kratších úseků, u nichž lze předpokládat ***stacionaritu***
 - periodičnost průběhu
 - neměnné charakteristiky
 - řeč - kvazistacionární úseky 10 až 25 ms



Analýza reálných signálů v časové oblasti II

- *Segmentace signálů*

```
signal=signal./max(abs(signal));
```

```
signal=signal-mean(signal);
```

```
delka_okna = 128; posun=delka_okna/2;
```

```
for start_vz = 0:posun:length(signal),
```

```
if (start_vz+delka_okna < length(signal))
```

```
segment = signal(start_vz+1:start_vz+delka_okna);
```

```
Z=[Z ZCR(segment,fs)]; % kratkodobe char.
```

```
E=[E RMS(segment)];
```

```
end;
```

```
end;
```

Analýza reálných signálů v časové oblasti III

- ***Krátkodobé charakteristiky***
 - **energetické obálky**
 - energie, výkon,
efektivní hodnota,
špička-špička
 - **počet průchodů nulou**
 - ... **autokorelační funkce**

Analýza reálných signálů v časové oblasti IV

- **Energie**

$$E = \sum_{n=1}^N x^2[n]$$

- **Výkon**

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x^2[n]$$

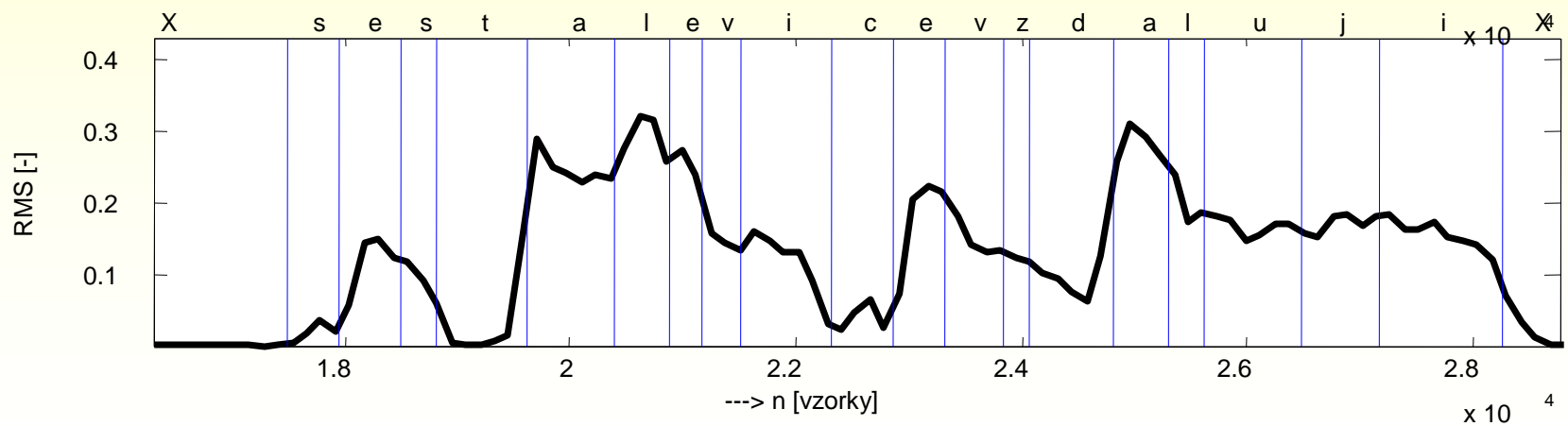
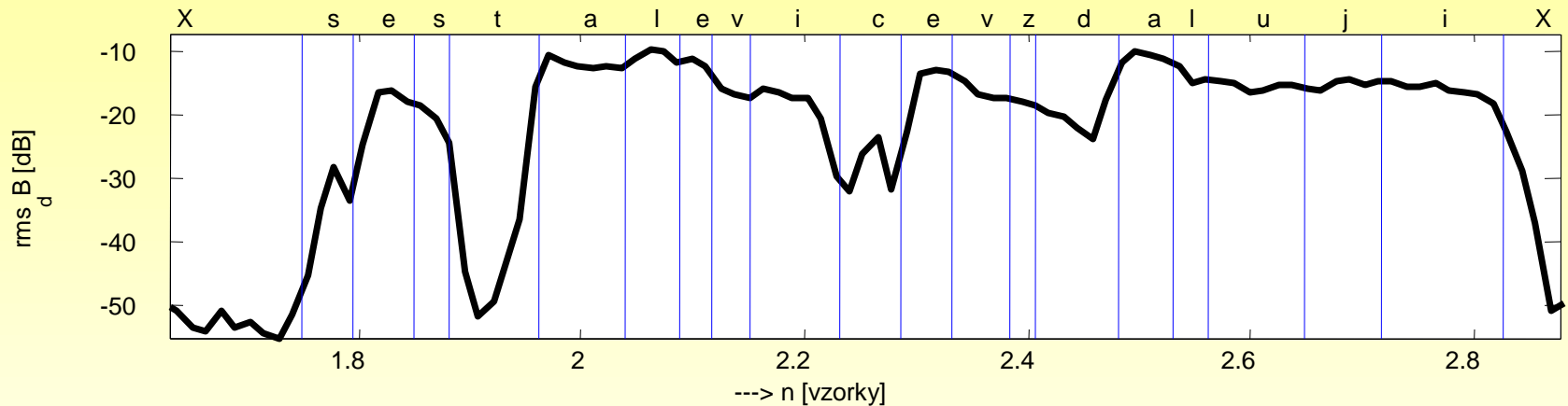
- **RMS**

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N x^2[n]}{N}}$$

- **Špička-špička**

$$PP = \max(x[n]) - \min(x[n])$$

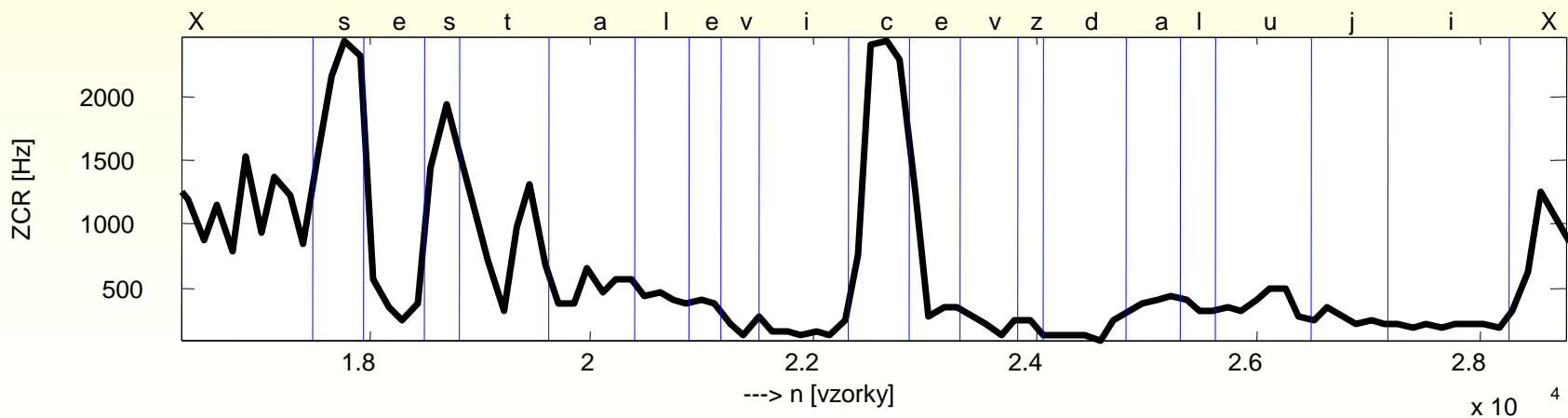
Analýza reálných signálů v časové oblasti V



Analýza reálných signálů v časové oblasti VI

- Počet průchodů nulou [Hz]*

$$Z = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|\text{sgn}(x[n]) - \text{sgn}(x[n-1])|}{2} \cdot f_s$$



Analýza reálných signálů v časové oblasti VII

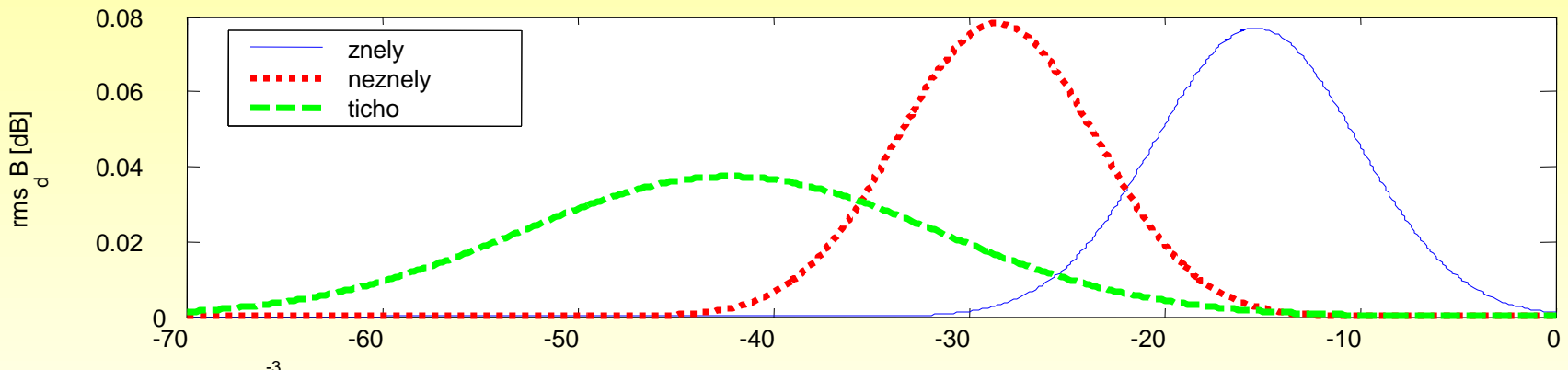
- *Funkce pro výpočet efektivní hodnoty*

```
function out=RMS(segment);  
out = sqrt(sum(segment.^2) ./length(segment));  
% rms_dB = 20*log10(RMS);
```

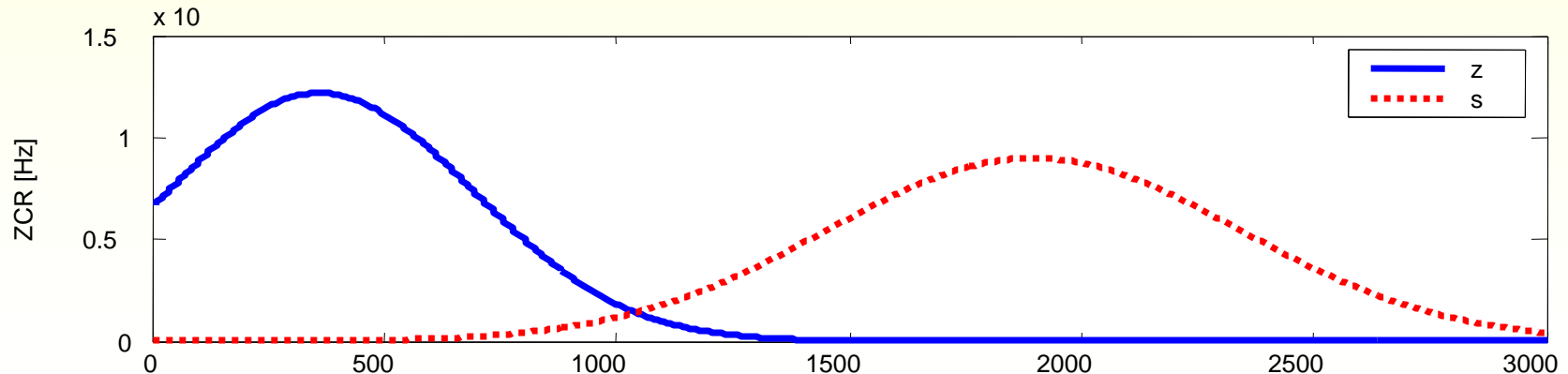
- *Funkce pro výpočet počtu průchodů nulou*

```
function out=ZCR(segment,fs);  
zcr = sum(abs(diff(segment>0)));  
% normovaná hodnota počtu průchodu nulou  
out = zcr*fs / (2*length(segment));
```

Analýza reálných signálů v časové oblasti VIII



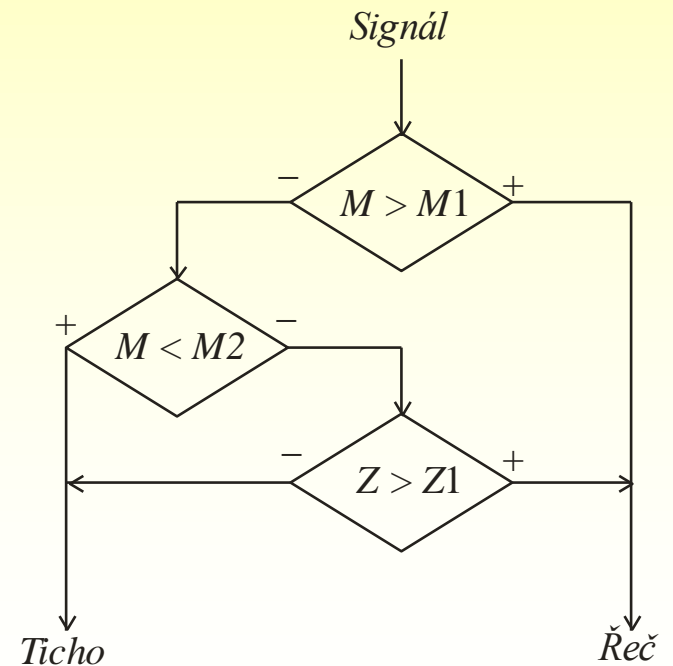
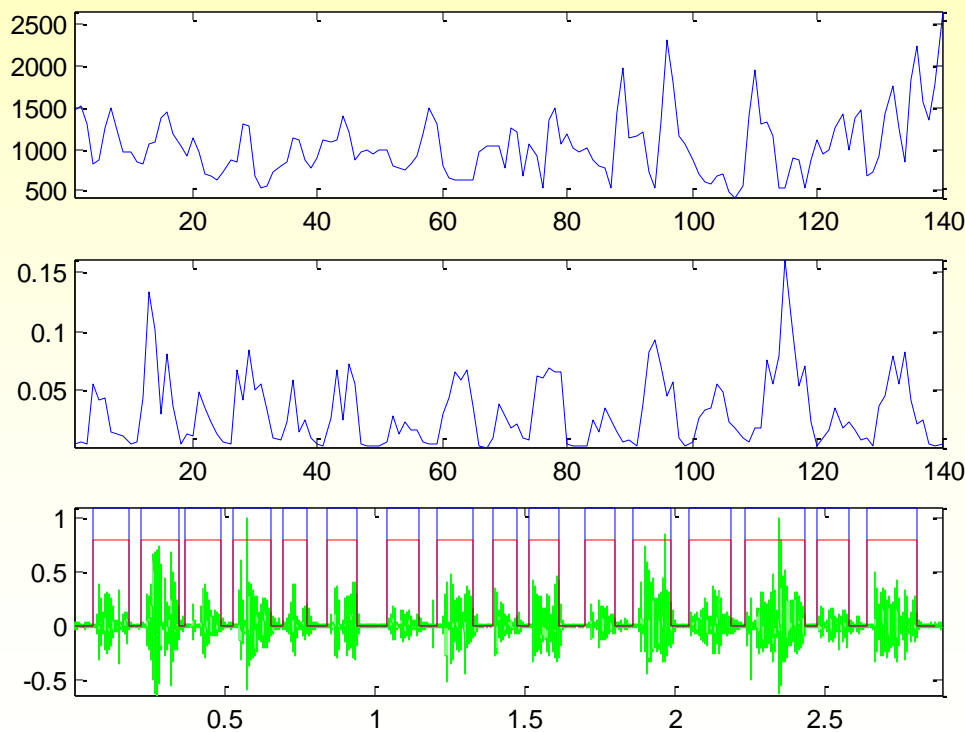
Rozdělení efektivní hodnoty pro fonetické kategorie „znělý“, „neznělý“ a „ticho“, počítaných z promluv od 16 mluvčích



Rozdělení počtu průchodů nulou pro „s“ a „z“ promluv od 16 mluvčích

Analýza reálných signálů v časové oblasti IX

- Jednoduchý detektor řeč-pauza**



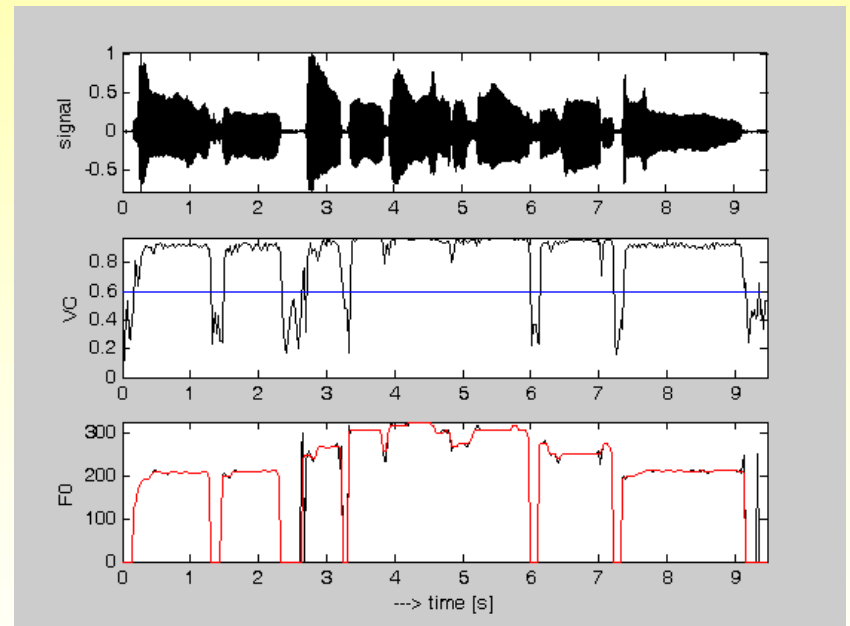
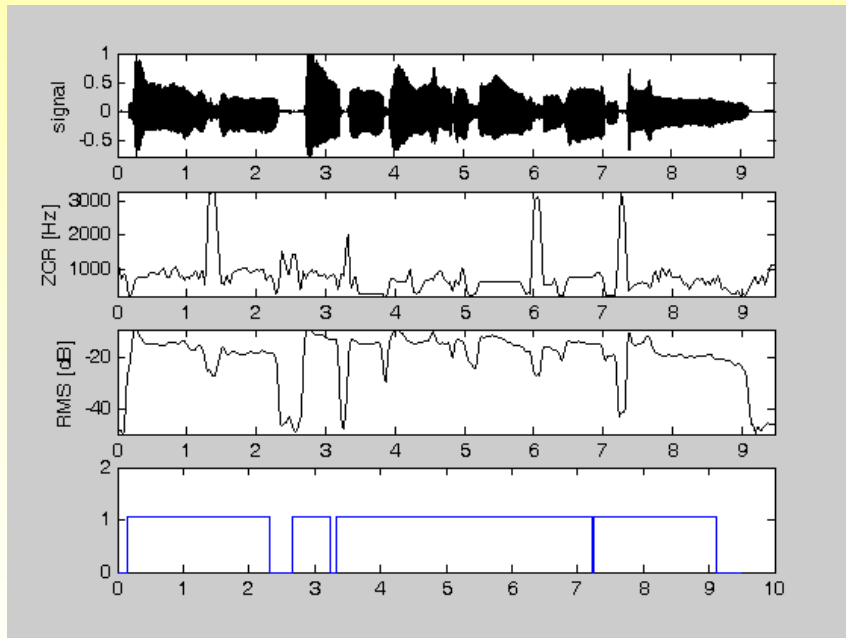
$$M1 = \text{mean}(M) \quad M2 = (\text{mean}(M) - \text{std}(M)) \times 10^5 \quad Z1 = \text{mean}(Z)$$

Analýza reálných signálů v časové oblasti X

```
for i = 1:length(E)
    if E(i) > E1
        y = [y ones(1, posun)]; % jisty prah
                                   % ---> urcite rec
    elseif E(i) < E2
        y = [y zeros(1, posun)]; % nejisty prah
    elseif Z(i) > Z0
        y = [y ones(1, posun)]; % sykavka
    else
        y = [y zeros(1, posun)];
    end
end
end;
```

```
E1=-30; E2=-45; Z1=2000; y = E>E1|E<E2&Z>Z1;
Y=E>mean(E)|E<(mean(E)-std(E))&Z>mean(Z);
```

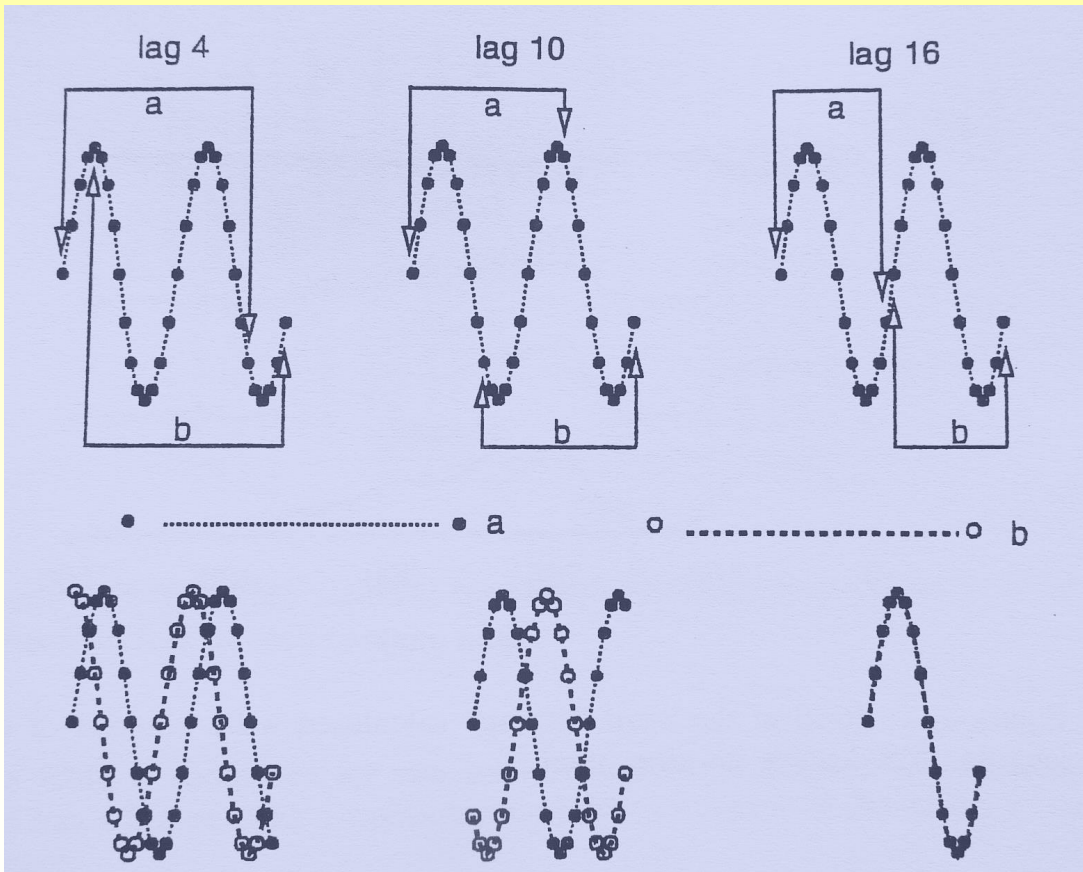
Analýza reálných signálů v časové oblasti XI



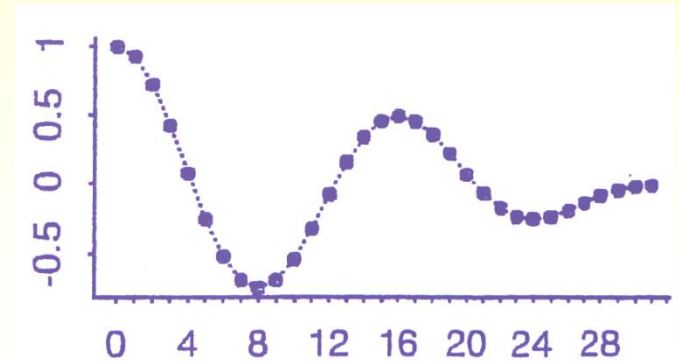
(.wav)

Korelační analýza

autokorelační funkce



$$acf[k] = \sum_{n=0}^{N-k-1} x[n] \cdot x[n+k]$$



Spektrální a korelační analýza

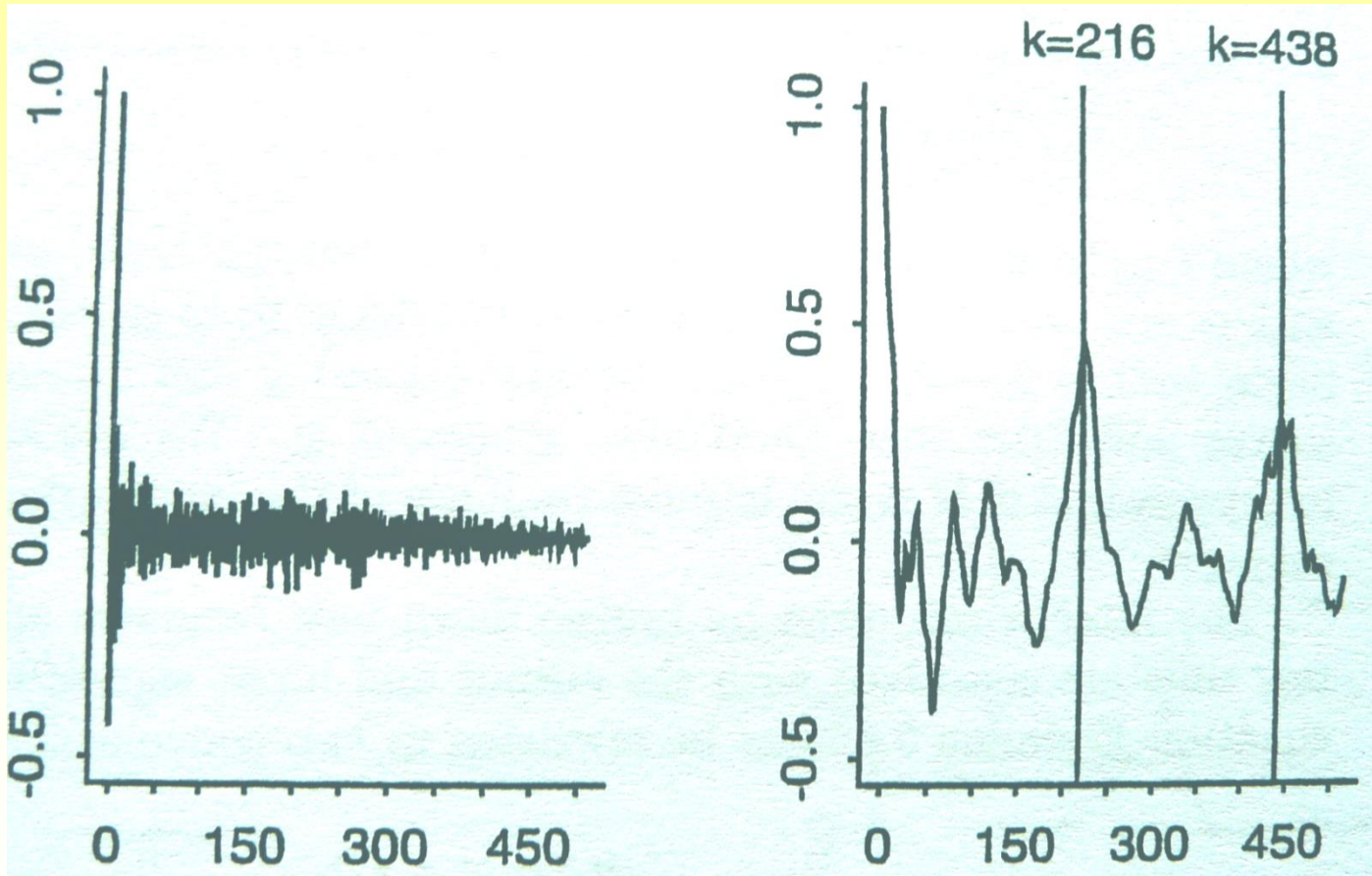
ACF - autokorelační funkce

$$acf[k] = \sum_{n=0}^{N-k-1} x[n] \cdot x[n+k]$$

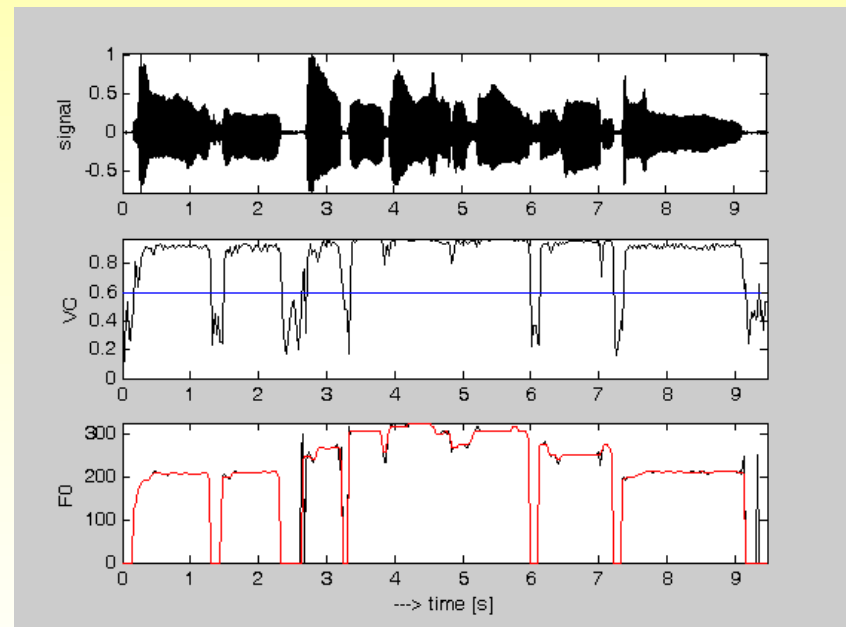
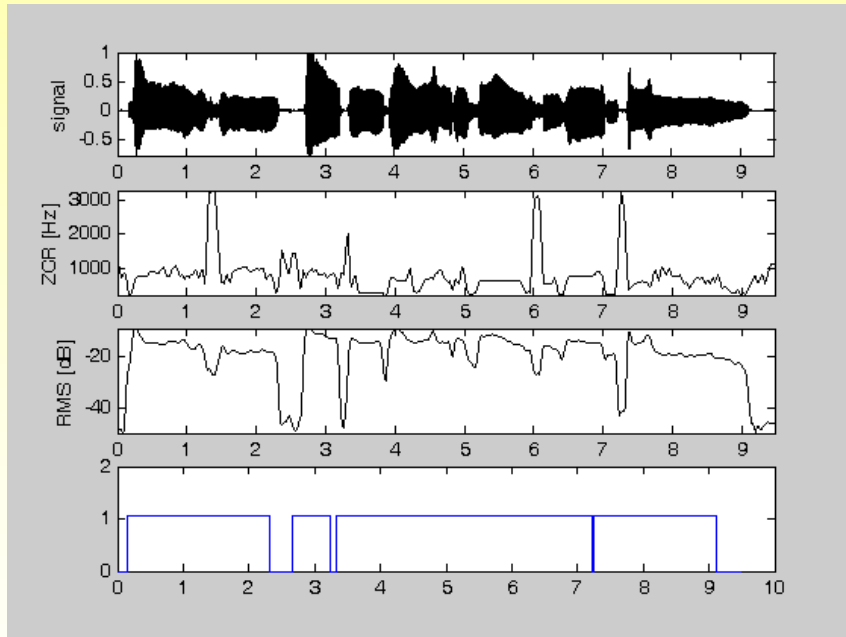
- ACF udává míru korelace mezi dvěma úseky
- používá se k detekci přítomnosti významné periodicity
- periodický průběh má periodickou ACF
- první špička ukazuje periodu průběhu
- ACF neperiodických signálů je tlumená a dosahuje zanedbatelných hodnot po několika milisekundách

Spektrální a korelační analýza

autokorelační funkce



Analýza reálných signálů v časové oblasti XI

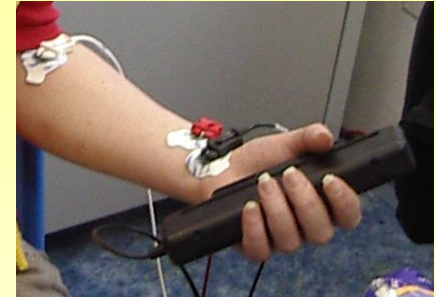


(.wav)

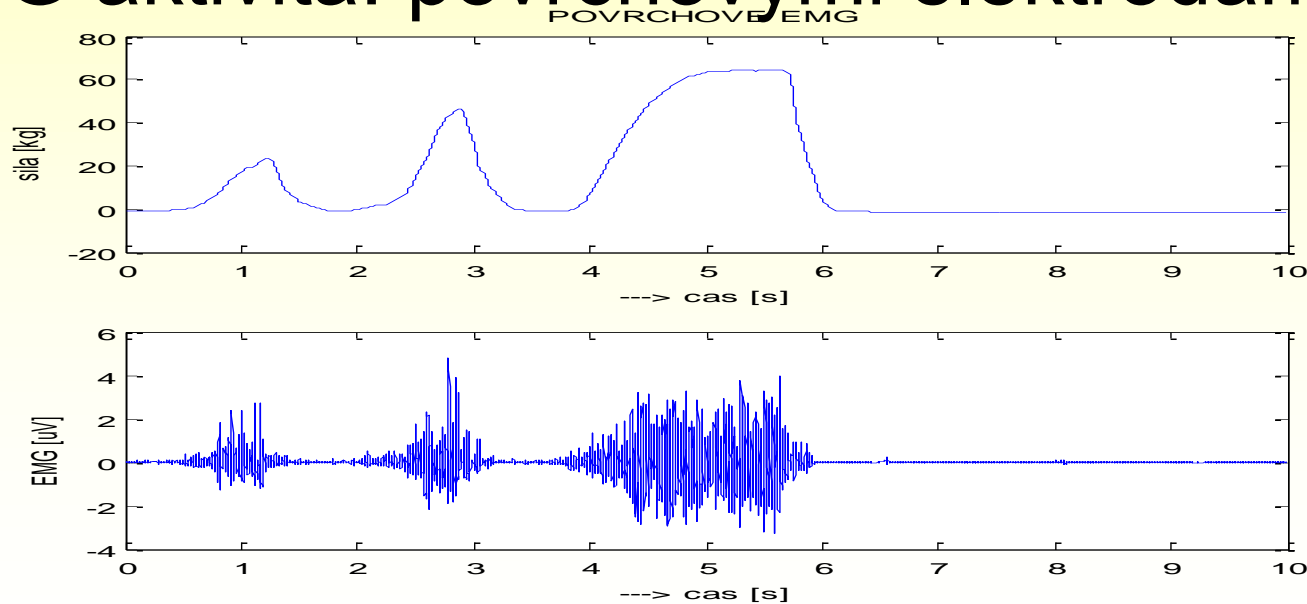
Analýza reálných signálů

v časové oblasti XII

Snímání povrchového EMG při volném úsilí

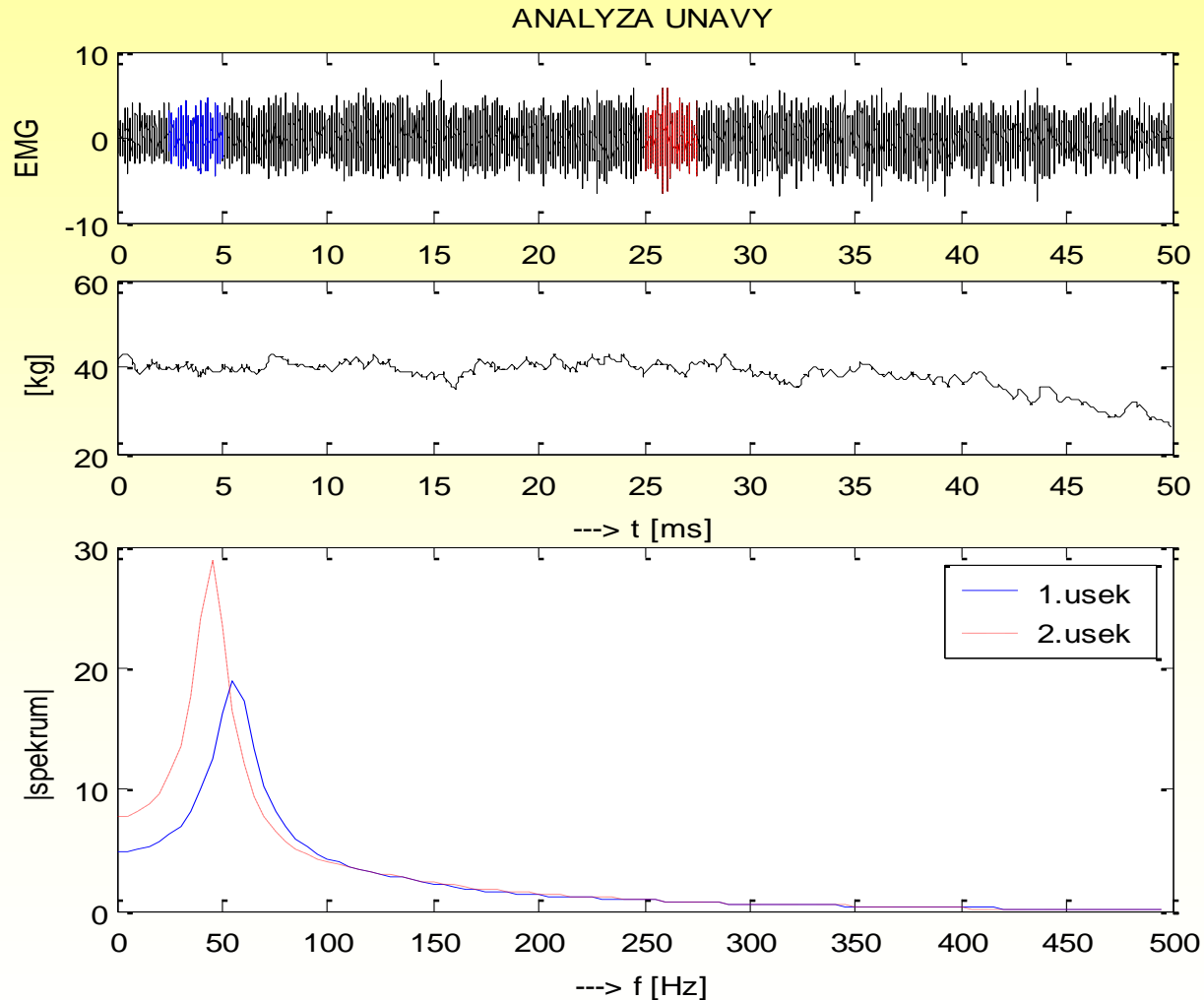


- Síla: dynamometrem
- EMG aktivita: povrchovými elektrodami



- 3x stisk dynamometru se zvětšujícím volným úsilím

Analýza reálných signálů v časové oblasti XIII

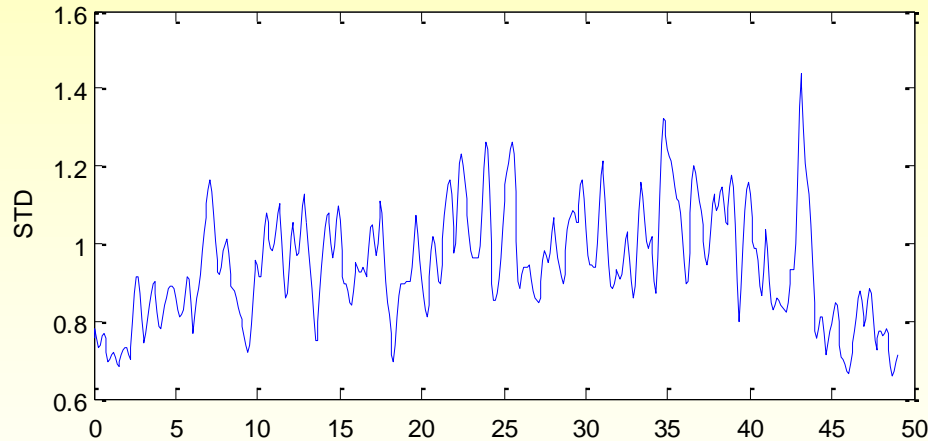


Únava svalu: zvýšení nízkých frekvencí a pokles vysokých frekvencí EMG

Analýza reálných signálů v časové oblasti XIV

Analýza únavy

časový průběh *výkonu* EMG aktivity



```
fs=1000;
```

```
odch(k)=std(segment);
```

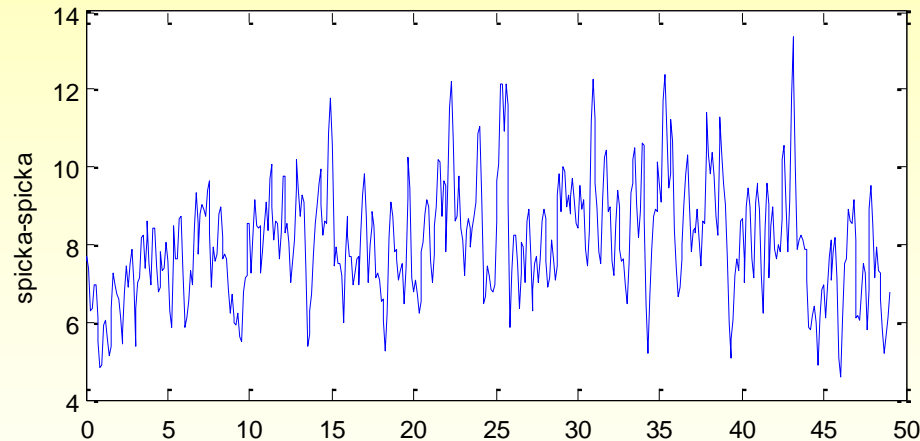
```
delka_okna = 1000;
```

```
posun_okna = delka_okna/10;
```

Analýza reálných signálů v časové oblasti XV

Analýza únavy

časový průběh EMG aktivity „špička-špička“



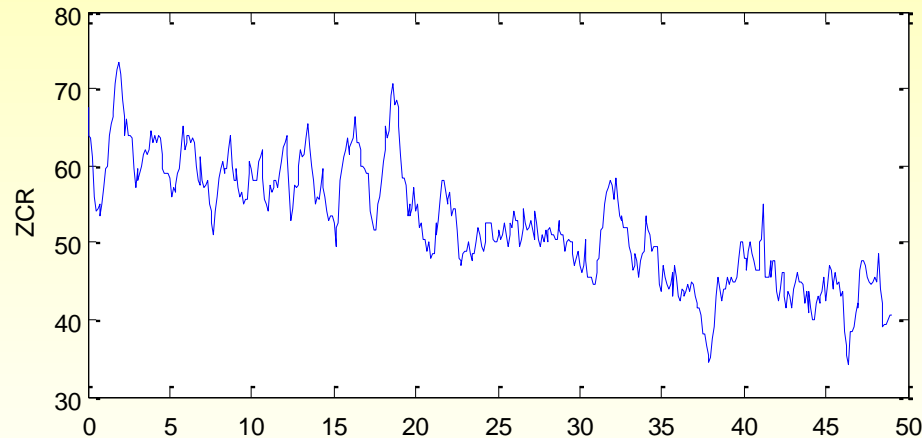
$sp_sp(k) = \max(\text{segment}) + \text{abs}(\min(\text{segment}))$;

Analýza reálných signálů v časové oblasti XVI

Zpracování signálů:

Analýza únavy

časový průběh *počtu průchodů nulou*



```
zcr = sum(abs(diff(segment>0)));
```

```
ZCR(k) = zcr*fs/(2*length(segment));
```