



# ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZA BIOSIGNÁLŮ III.



## ELEKTROKARDIOGRAM II.

# POŽADAVKY NA SYSTÉMY ZPRACOVÁNÍ EKG FILTRACE

**!!! ZÁSADA !!!**

**ODSTRANIT VEŠKERÉ RUŠENÍ, ALE  
UŽITEČNÝ SIGNÁL MUSÍ ZŮSTAT  
NEOVLIVNĚNÝ**

**!!! ZÁSADA !!!**

# POŽADAVKY NA SYSTÉMY ZPRACOVÁNÍ EKG FILTRACE

## KRITÉRIA VĚRNOSTI (SIGNAL FIDELITY CRITERIA)

Recommendation for Standardization and Specifications in Automated Electrocardiography: Bandwidth and Digital Processing. *Circulation*, roč.81, 1990, č.2, s.730-739.



# KRITÉRIA VĚRNOSTI

## ☑ pro rutinní vizuální analýzu:

F1: Odchylka zaznamenaného výstupu od přesně lineární reprezentace vstupního signálu nesmí překročit  $25 \mu\text{V}$  nebo 5%, je-li signál větší.

# KRITÉRIA VĚRNOSTI

## ☑ pro morfologickou počítačovou analýzu

- F2: směrodatná odchylka v komplexu PQRST nesmí překročit  $10 \mu\text{V}$ ;
- F3: chyba výchylek špička-špička nesmí překročit  $10 \mu\text{V}$  nebo 2%, je-li signál větší;
- F4: střední kvadratická odchylka dělená střední hodnotou čtverce amplitud nesmí překročit 1%;

# KRITÉRIA VĚRNOSTI

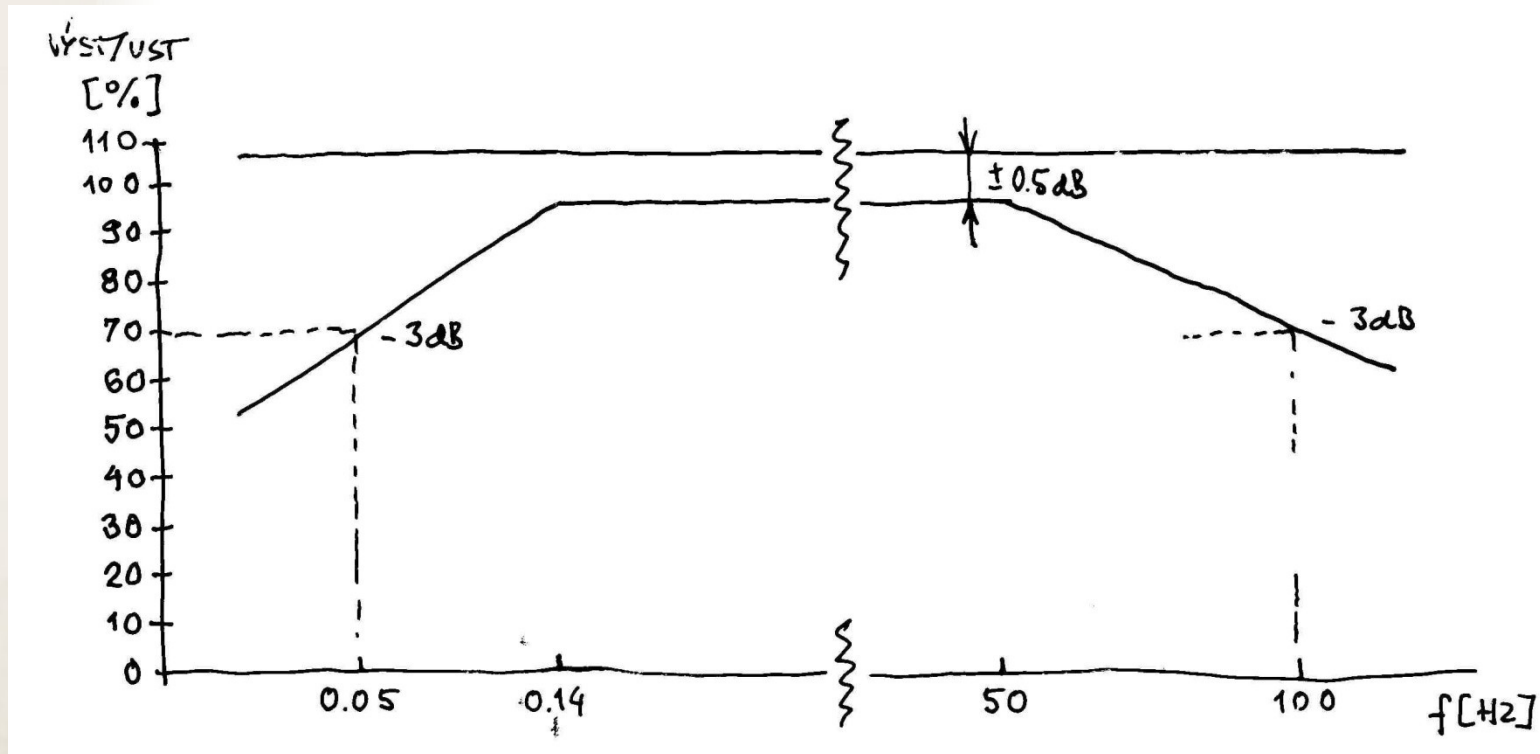
## ☑ pro morfologickou počítačovou analýzu

- F5: výchylky komplexu QRS o velikosti  $\geq 20 \mu\text{V}$  a trvání  $\geq 6 \text{ ms}$  musí být detekovatelné (práh definovaný CSE);
- F6: maximální relativní chyba vrcholů kmitů nesmí překročit 10% pro jakékoliv výchylky komplexů QRS  $\geq 20 \mu\text{V}$  a  $\geq 12 \text{ ms}$

# KRITÉRIA VĚRNOSTI

## ☑ frekvenční oblast:

BEJVÁVALO



# KRITÉRIA VĚRNOSTI

## ☑ frekvenční oblast:

### SOUČASNOST

1. amplitudová charakteristika by měla být v rozsahu 6% (0,5 dB) v intervalu 1,0 – 30 Hz; 3 dB body by měly být na frekvenci menší než 0,67 Hz a větší než 150 Hz;
2. vstupní impuls 1 mV-s by neměl generovat snížení o více než 0,3 mV;
3. pro vstupní impuls 1 mV-s by sklon odezvy vně impulsu neměl nikde překročit 1mV/s

**(kritéria 2 a 3 splňuje analogový filtr 1. řádu s  $f_{mez} = 0,05$  Hz)**



# KRITÉRIA VĚRNOSTI

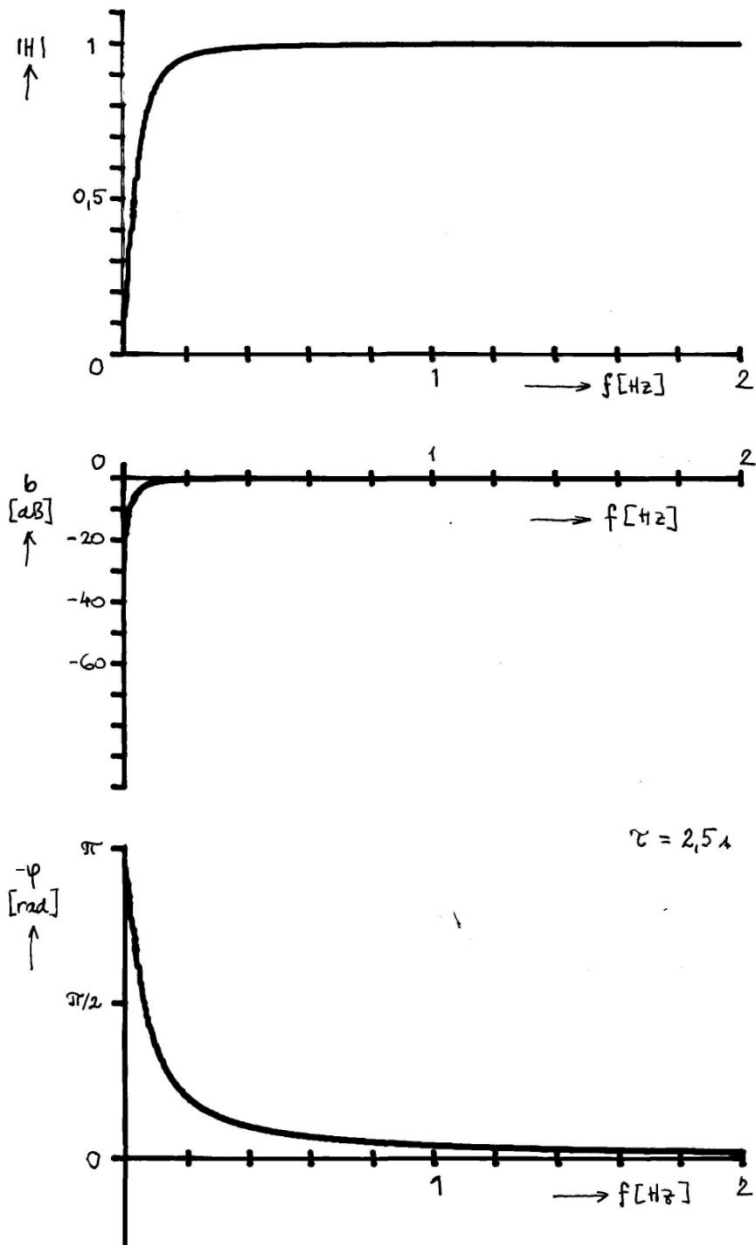
## ☑ frekvenční oblast:

### SOUČASNOST

1. amplitudová charakteristika by měla být v rozsahu 6% (0,5 dB) v intervalu 1,0 – 30 Hz; 3 dB body by měly být na frekvenci menší než 0,67 Hz a větší než 150 Hz;
2. vstupní impuls 1 mV-s by neměl generovat snížení o více než 0,3 mV;
3. pro vstupní impuls 1 mV-s by sklon odezvy vně impulsu neměl nikde překročit 1mV/s

**(kritéria 2 a 3 splňuje analogový filtr 1. řádu s  $f_{mez} = 0,05$  Hz)**  
**a co síťový brum?!?**

# KRITÉRIA VĚRNOSTI



# KRITÉRIA VĚRNOSTI

## ✓ pro číslíkový přenos a uchování dat:

F7: odpovídající si vzorky vstupních a rekonstruovaných dat by se měly lišit o méně než  $10 \mu\text{V}$

# POŽADAVKY NA SYSTÉMY ZPRACOVÁNÍ EKG VZORKOVÁNÍ

## ☑ morfologická analýza

1. signál EKG dospělých osob má spektrální složky do 125 Hz; signál EKG dětí do 150 Hz;
2. pro vizuální analýzu dodržet kritérium F1;
3. pro počítačovou analýzu splnit kritéria F2 nebo F4 + kritérium vlnového rozlišení (F3, F5 nebo F6).

**Obecně se za minimální vzorkovací frekvenci považuje 500 Hz (s rovnoměrným vzorkováním) a maximální kvantizační krok 10  $\mu$ V.**

# FILTRACE RUŠENÍ

**!!! ZÁSADA !!!**

**FILTRACE AŽ KDYŽ NENÍ MOŽNÉ ŠUM  
ODSTRANIT NASTAVENÍM PODMÍNEK  
VYŠETŘENÍ**

**!!! ZÁSADA !!!**

# FILTRACE SÍŤOVÉHO BRUMU

**kritéria věrnosti vůbec nepřipouštějí  
možnost lineární filtrace síťového  
brumu**



**výrobci v dokumentaci pouze uvádějí,  
že přístroj filtraci síťového brumu umí,  
ale nespecifikuje se jak**

# FILTRACE SÍŤOVÉHO BRUMU

- ✓ lineární filtry s co nejužším zadržovaným pásmem;
- ✓ spolehlivost a účinnost filtrace nesmí narušit kolísání síťového kmitočtu  $\Rightarrow$  synchronizace vzorkování se síťovým kmitočtem;
- ✓ neharmonický průběh brumového signálu  $\Rightarrow$  vyšší harmonické;

# LINEÁRNÍ FILTRACE SÍŤOVÉHO BRUMU

## ☑ **FILTRY S NEKONEČNOU IMPULSNÍ ODEZVOU (NIO, IIR)**

Butterworthovy filtry, Čebyševovy filtry, ...

(JSOU ZALOŽENY NA PRINCIPECH ANALOGOVÉHO ZPRACOVÁNÍ)

### nevýhody:

požadovaná vysoká přesnost vyjádření koeficientů (až 10 desetinných míst) i výsledků výpočtů



práce bez nároků na reálný čas; optimalizace délky koeficientů, výběr realizačních schémat málo citlivých na zaokrouhlovací chyby, analýza zaokrouhlovacích chyb



# LINEÁRNÍ FILTRACE SÍŤOVÉHO BRUMU

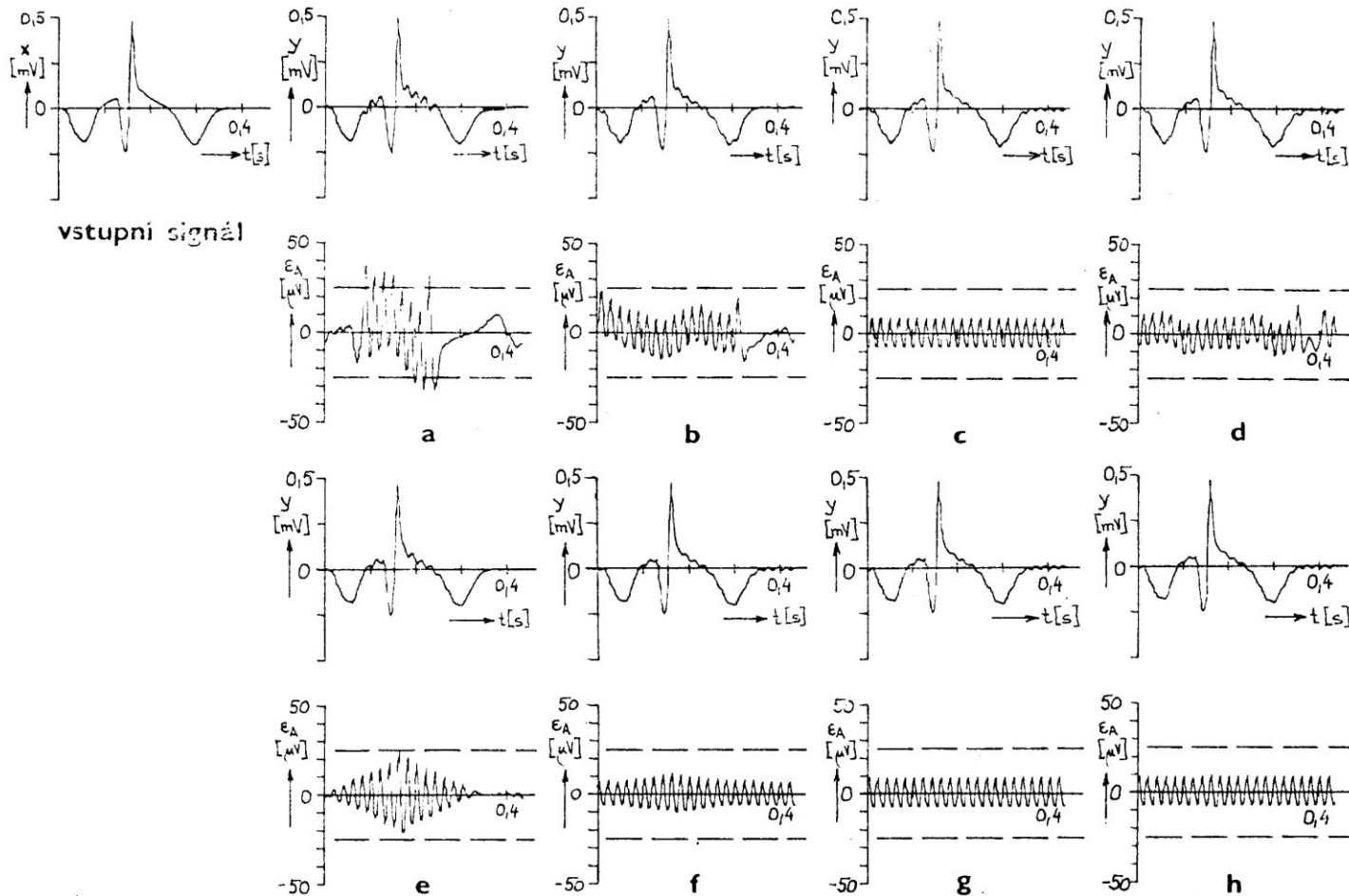
## ☑ **FILTRY S KONEČNOU IMPULSNÍ ODEZVOU (KIO, FIR)**

požadavek na velmi úzké zadržované frekvenční pásmo vede k použití filtrů s velkým počtem vzorků impulsových odezev (nad 100 vzorků při  $f_{vz} = 500$  Hz)



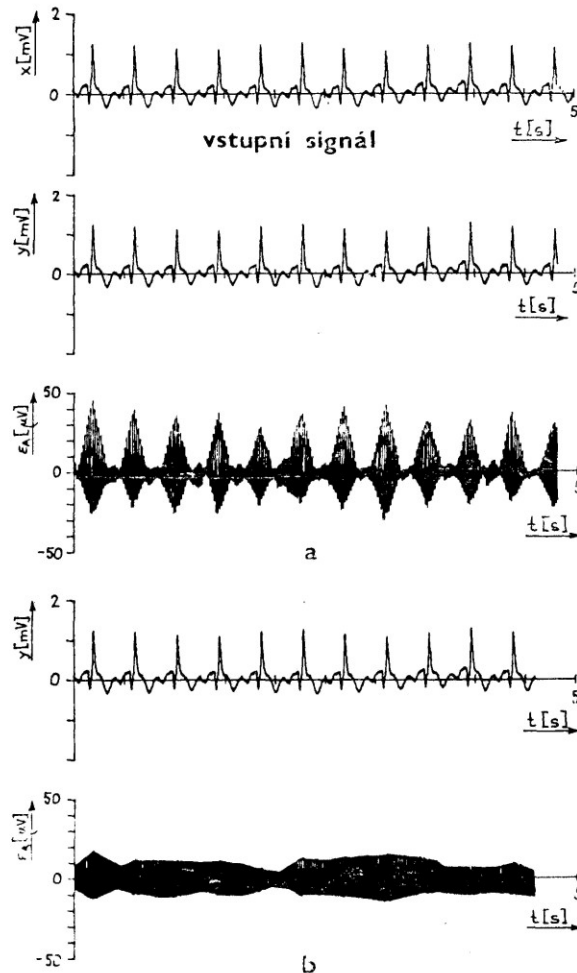
standardní realizace jsou proto značně výpočetně náročné ⇒ hledání speciálních struktur filtrů, resp. výpočetních algoritmů, např. tzv. **Lynnovy filtry**

# PŘÍKLADY FILTRACE LYNNOVY FILTRY



Obr. 4. Ukázky zkrácení užitečného signálu vlivem různých typů úzkopásmových zádrží — a) výstup filtru  $H_{8,5}^{(1)}$ , b) výstup  $H_{16,5}^{(1)}$ , c) výstup  $H_{22,5}^{(1)}$  — systému s optimální hodnotou  $K = 22$  pro délku periody signálu 110 vzorků, d) výstup  $H_{24,5}^{(1)}$ , e) výstup  $H_{8,5}^{(2)}$ , f) výstup  $H_{16,5}^{(2)}$ , g) výstup  $H_{22,5}^{(2)}$  — optimálního systému, h) výstup  $H_{24,5}^{(2)}$   $f_{vz} = 250$  Hz, kvantovací krok  $1 \mu V$

# PŘÍKLADY FILTRACE LYNNOVY FILTRY

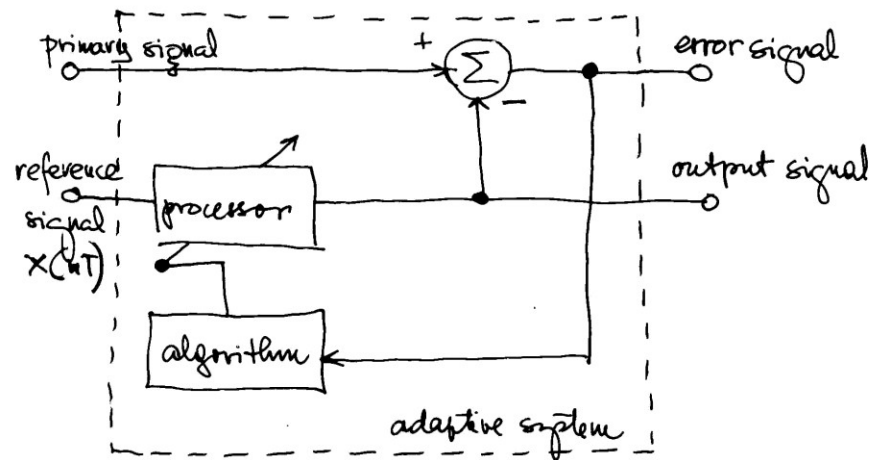


Obr. 6. Filtrace reálného signálu bez síťového rušení a) systémem  $H_{8,5}^{(2)}$ , b) systémem  $H_{20,5}^{(2)}$  s konstantou  $K = 20$  přizpůsobenou délce periody signálu ( $f_{VZ} = 250$  Hz, kvantovací krok  $5 \mu V$ )



Obr. 5. Filtrace reálného pozátěžového signálu znehodnoceného síťovým brumem úzkopásmovou zádrží  $H_{12,5}^{(2)}$   $f_{VZ} = 250$  Hz, kvantovací krok  $5 \mu V$ )

# ADAPTIVNÍ FILTRY



**procesor** – zařízení modelující řešenou situaci;  
**algoritmus** – postup změny parametrů procesoru podle vlastností chybového signálu;

## LMS

FIR

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + \mu \cdot (-\nabla \text{MSE})$$

:

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + 2\mu \cdot e(n) \cdot \mathbf{x}(n)$$

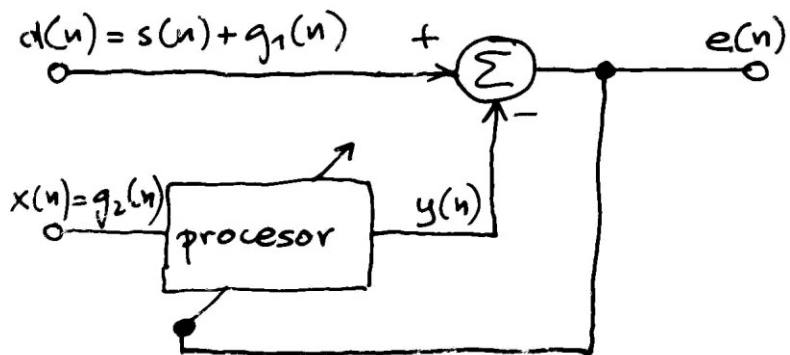
$$0 < \mu < 1/\lambda_{\max}$$

# ADAPTIVNÍ FILTRY

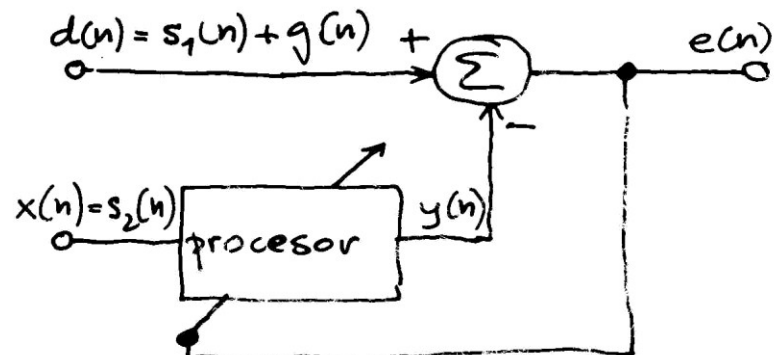
## CO CHCEME ?

- ✓ rychlou konvergenci;
- ✓ robustnost vůči šumu;
- ✓ malé výpočetní nároky;

# ADAPTIVNÍ FILTRY



$s(n)$  ... užitečný signál  
 $g_1(n)$  ... šum nekorelovaný s  $s(n)$   
 $g_2(n)$  ... ref. signál nějak korelovaný s  $g_1(n)$



$s_1(n)$  .. užitečný signál  
 $g(n)$  .. šum nekorelovaný s  $s_1(n)$   
 $s_2(n)$  .. ref. signál nějak korelovaný s  $s_1(n)$

# ADAPTIVNÍ FILTRY

## předpoklad:

$s(n)$ ,  $g_1(n)$ ,  $g_2(n)$ ,  $y(n)$  jsou stacionární s nulovou střední hodnotou

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

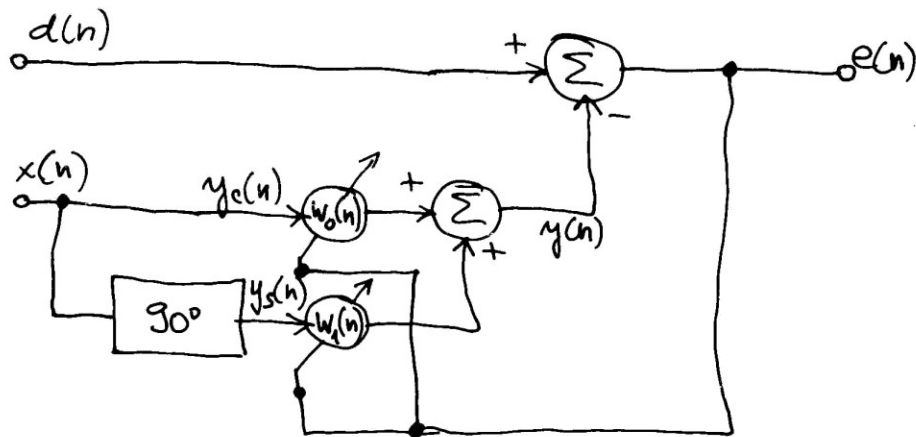
$$e^2(n) = d^2(n) - 2d(n)y(n) + y^2(n)$$

$$\begin{aligned} e^2(n) &= [s(n) + g_1(n)]^2 - 2[s(n) + g_1(n)] \cdot y(n) + y^2(n) = \\ &\dots = [g_1(n) - y(n)]^2 + s^2(n) + 2s(n)g_1(n) - 2y(n)s(n) \end{aligned}$$

## střední hodnota

$$E\{e^2(n)\} = E\{[g_1(n) - y(n)]^2\} + E\{s^2(n)\}$$

# ADAPTIVNÍ FILTRY



$$d(n) = s(n) + g_1(n)$$

$$g_1(n) = A_1 \cos \left[ \frac{2\pi f_0 n}{f_s} + \psi_1 \right]$$

$f_0$ ... a frequency of the noise

$f_s$ ... a sampling frequency

$$x(n) = A_2 \cos \left[ \frac{2\pi f_0 n}{f_s} + \psi_2 \right]$$

$$y_c(n) = x(n)$$

$$y_s(n) = A_2 \cos \left[ 2\pi n \frac{f_0}{f_s} + \psi_2 - \frac{\pi}{2} \right] = A_2 \cdot \sin \left[ 2\pi n \frac{f_0}{f_s} + \psi_2 \right]$$

$$\begin{aligned} y(n) &= w_0(n) \cdot y_c(n) + w_1(n) y_s(n) = \\ &= w_0(n) \cdot A_2 \cos \left[ 2\pi n \frac{f_0}{f_s} + \psi_2 \right] + w_1(n) \cdot A_2 \cdot \sin \left[ 2\pi n \frac{f_0}{f_s} + \psi_2 \right] = \\ &= A(n) \cdot \cos \left[ 2\pi n \frac{f_0}{f_s} + \phi(n) \right] \end{aligned}$$