



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 μV 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

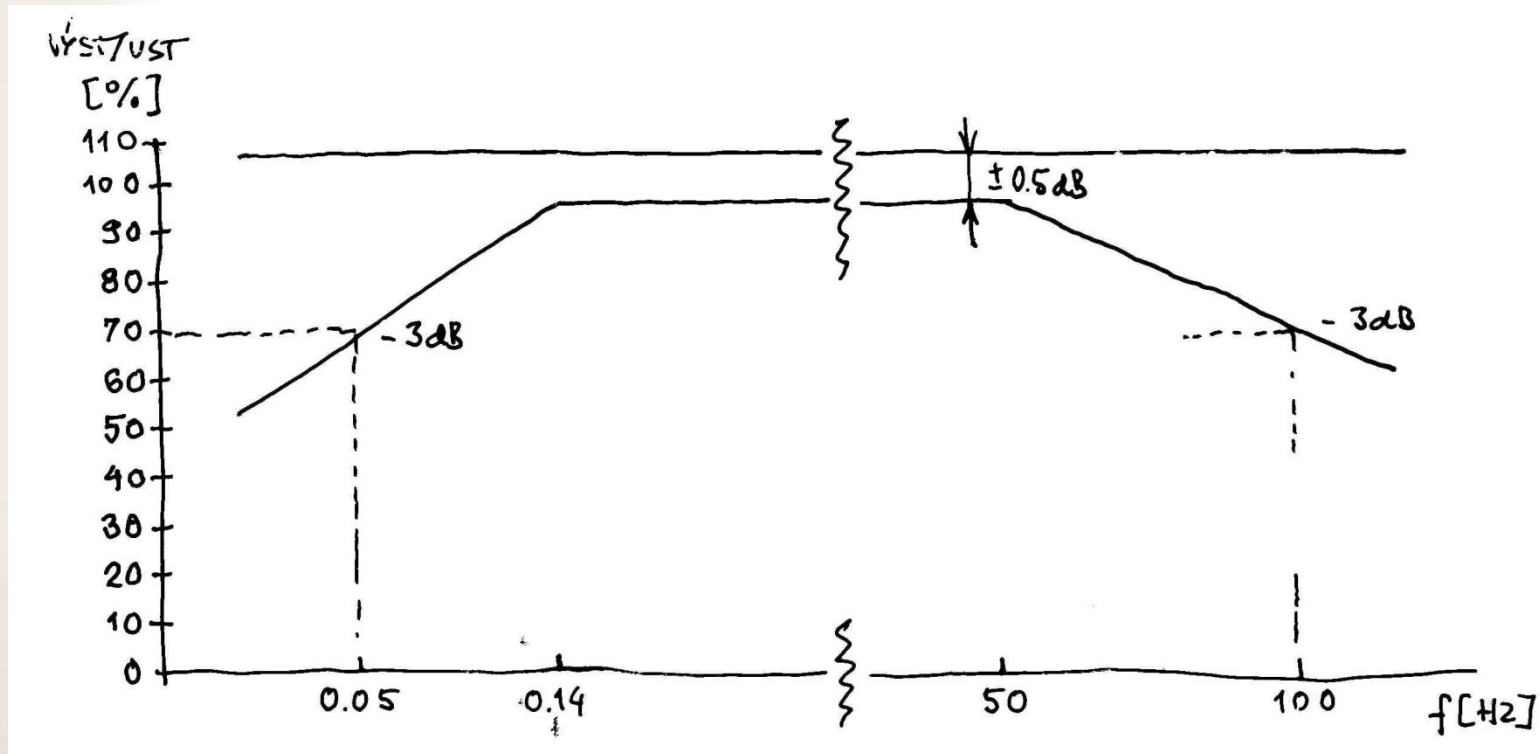
☑ pro morfologickou počítačovou analýzu

- 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

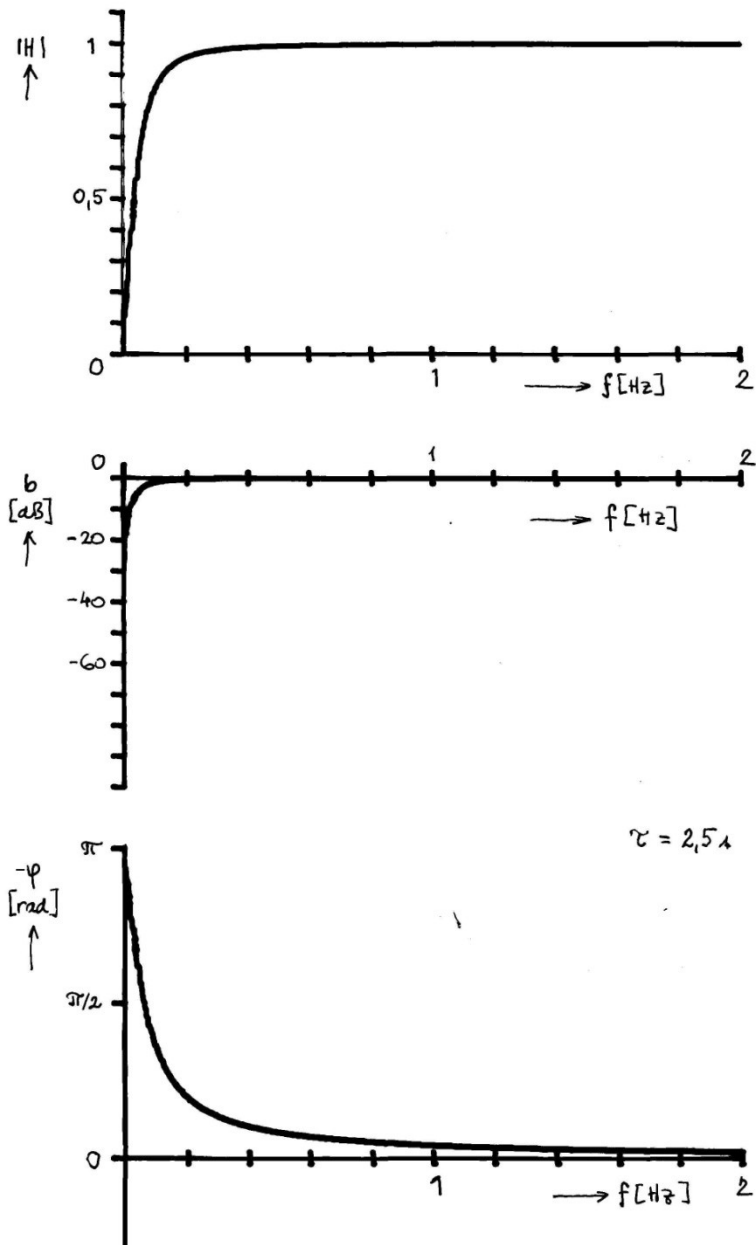
☑ frekvenční oblast:

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 μ 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

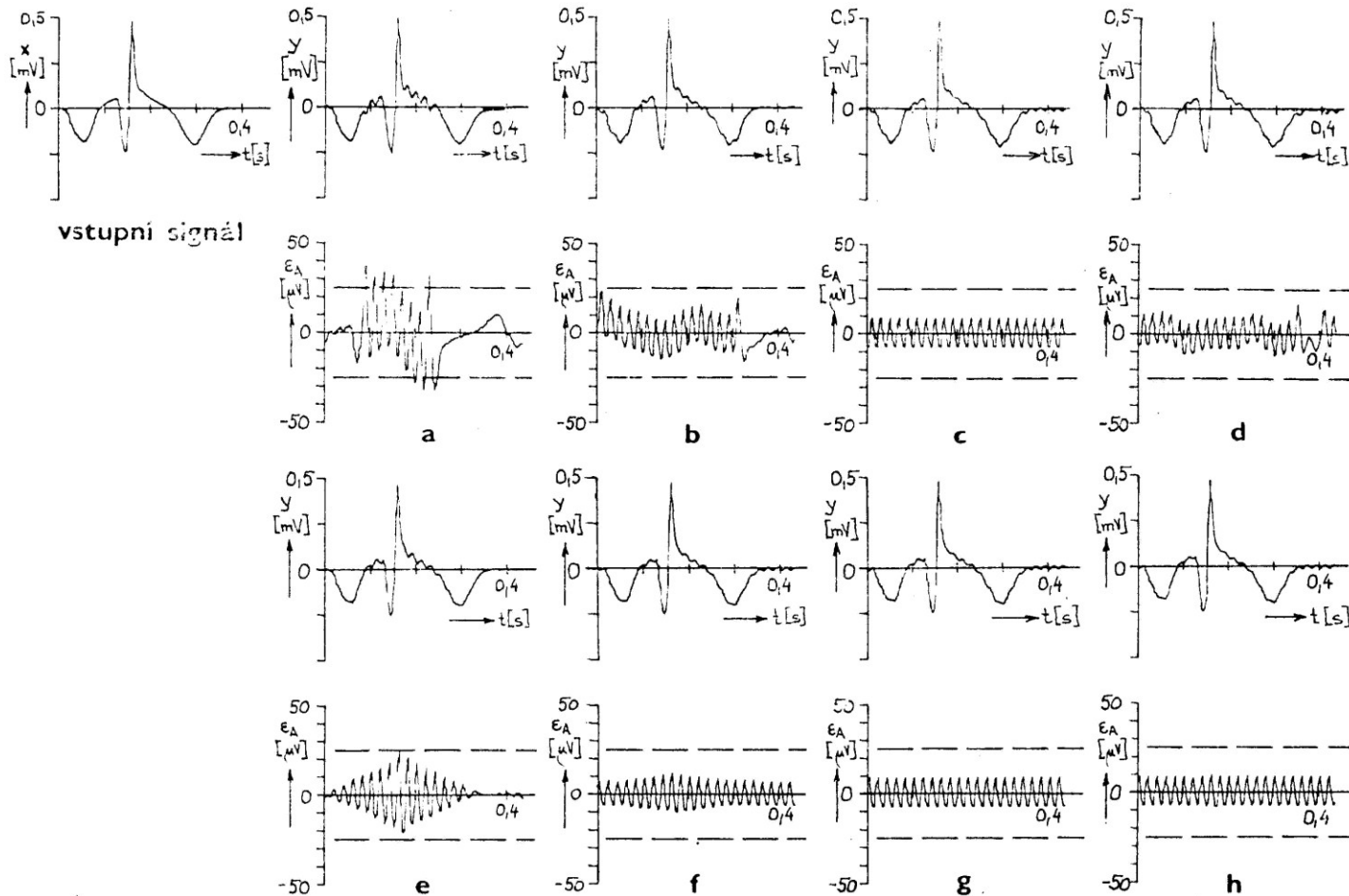
☑ **FILTRY S KONEČNOU IMPULSNÍ ODEZVOU (KIO, FIR)**

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)



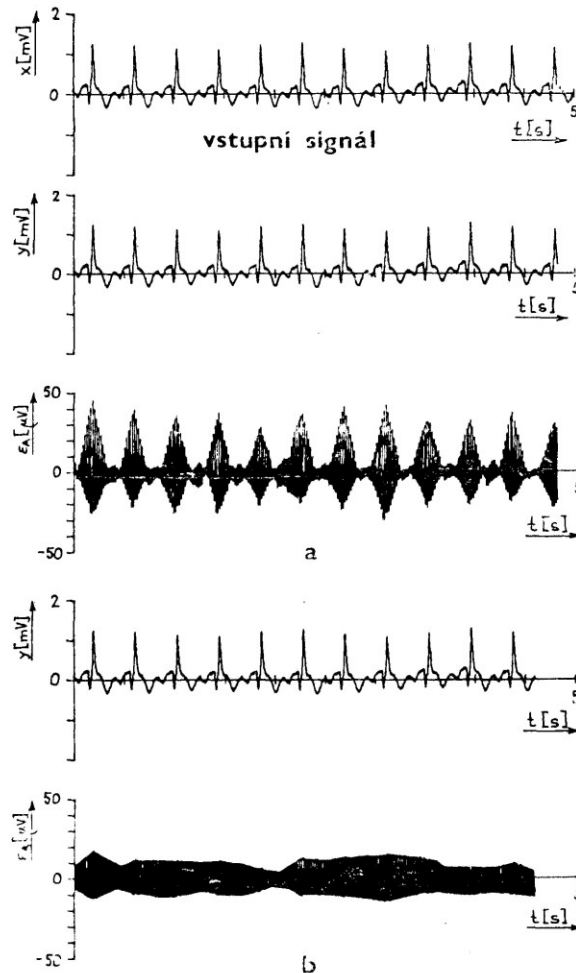
standardní realizace jsou proto značně výpočetně náročné ⇒ hledání speciálních struktur filtrů, resp. výpočetních algoritmů, např. tzv. **Lynnovy filtry**

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 $1 \mu\text{V}$

PŘÍKLADY FILTRACE LYNNOVY FILTRY

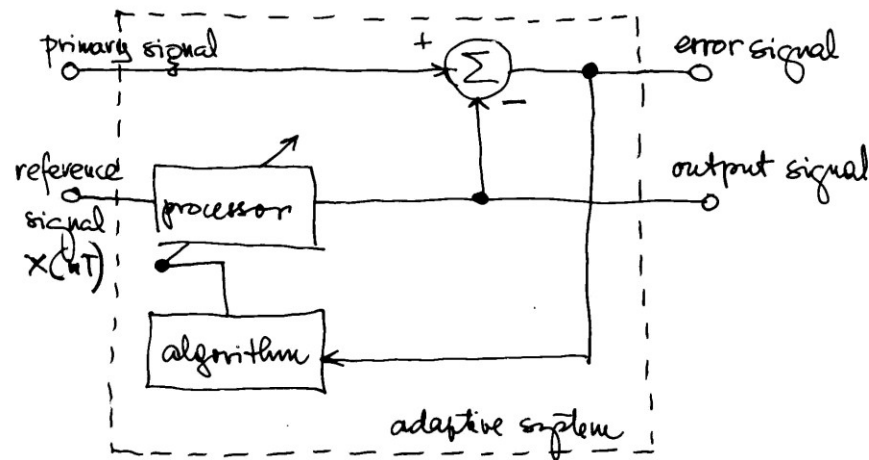


Obr. 6. Filtrace reálného signálu bez síťového rušení a) systémem $H_{8,5}^{(2)}$, b) systémem $H_{20,5}^{(2)}$ s konstantou $K = 20$ přizpůsobenou délce periody signálu ($f_{VZ} = 250$ Hz, kvantovací krok $5 \mu V$)



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

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

:

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

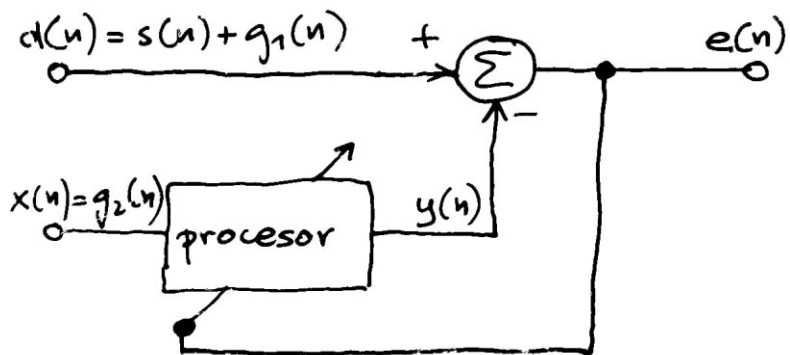
$$0 < \mu < 1/\lambda_{\max}$$

ADAPTIVNÍ FILTRY

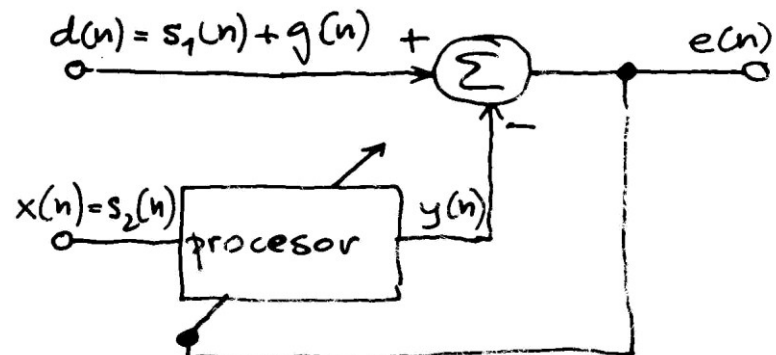
CO CHCEME ?

- ✓ 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

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

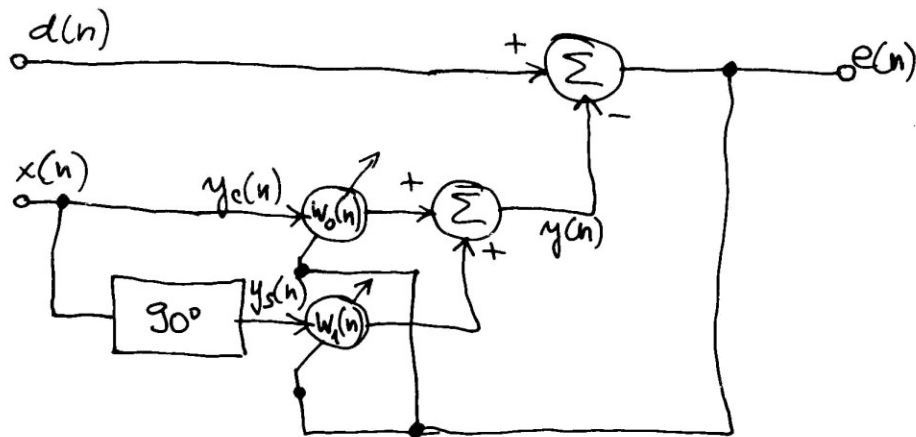
$$e^2(n) = d^2(n) - 2d(n)y(n) + y^2(n)$$

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

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

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

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

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

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