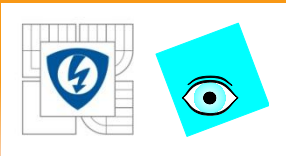


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Koherentní demodulace a její využití v měřicí technice

Prof. Ing. Stanislav Ďad'o, DrSc.
Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

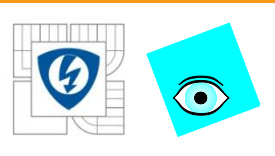


OBSAH A CÍLE PŘEDNÁŠKY

18.11.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

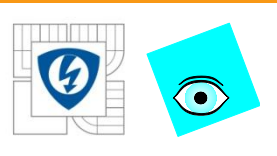




Obsah a cíle přednášky

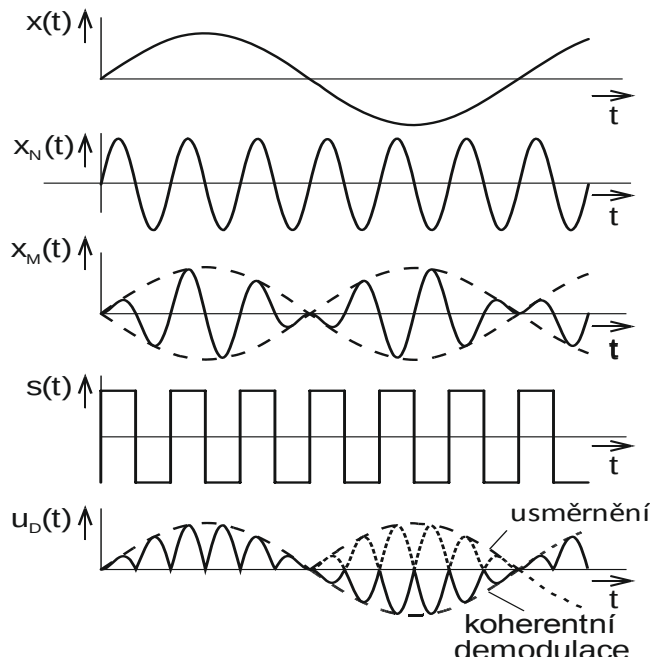
- 1. Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu**
Nekonvenční přístup – odhadování parametrů signálu
- 2. Realizace koherentních metod- obvodová, přístrojová**
Koherentní demodulátory, integrátory (BCI), filtry
- 3. Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice**
Modulační metody (záření), šum, můstková měření, impedance
- 4. Vývoj - problémy k řešení**

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

obvodový popis **X** metody odhadu parametrů signálu



Odhad minimalizující střední kvadratickou hodnotu odchylky - MMSE

$\mathbf{x}$ - cíl odhadu, $[n \times 1]$, $\mathbf{y}$ - data, rozměr $[n \times 1]$

Minimalizujeme výraz

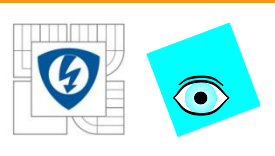
$$E \{ (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})) (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}))^T \}$$

$$J_{MS} = \iint (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})) (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}))^T p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) p(\mathbf{y}) d\mathbf{x} d\mathbf{y}$$

$$p(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = p(\mathbf{x} | \mathbf{y}) p(\mathbf{y})$$

$$J_{MS} = \iint (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})) (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}))^T p(\mathbf{x} | \mathbf{y}) p(\mathbf{y}) d\mathbf{x} d\mathbf{y}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

$$J_{MS} = \iint (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}))(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}))^T p(\mathbf{x}|\mathbf{y})p(\mathbf{y})d\mathbf{x}d\mathbf{y}$$

Vnitřní $\int$ a $p(\mathbf{y})$...nezáporné $\longrightarrow$ min.vnitřního $\int$ pro každé $\mathbf{y}$
odpovídá minimalizaci výrazu

$$J'_{MS} = \int (\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS})(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{MS})^T p(\mathbf{x}|\mathbf{y})d\mathbf{x}$$

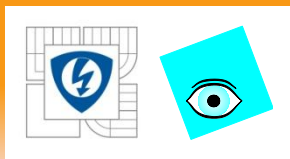
$$J'_{MS} = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^T|\mathbf{y}\} - E\{\mathbf{x}|\mathbf{y}\}\hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})^T - \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})E\{\mathbf{x}^T|\mathbf{y}\} + \hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})\hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})^T$$

$$\frac{dJ'_{MS}}{d\hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y})} = -2E\{\mathbf{x}|\mathbf{y}\} + 2\hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}) = 0$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{MS}(\mathbf{y}) = \mathbf{E}\{\mathbf{x}|\mathbf{y}\}$$

určení $p(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ a $p(\mathbf{x}|\mathbf{y})$obtížné

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Odhady parametrů podle kritéria **LMMSE**

Lineární závislost mezi parametry $\mathbf{x}$ a daty $\mathbf{y}$ $\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{y} + \mathbf{b}$

hledá se vektor $\hat{\mathbf{x}}_{LMS}(\mathbf{y}) = \boldsymbol{\alpha}\mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}$

Minimalizujeme **stopu matice** :

$$E\left\{(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS})(\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS})^T\right\} \quad (D)$$

Dosadíme do (D)

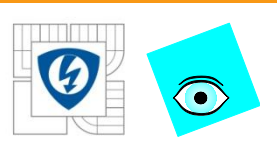
$$\hat{\mathbf{x}}_{LMS} = \boldsymbol{\alpha}\mathbf{y} + \boldsymbol{\beta}$$

Pravidla derivace:

$$\frac{d}{d\mathbf{A}} \left\{ \text{tr}[\mathbf{A}\mathbf{B}\mathbf{A}^T] \right\} = 2\mathbf{B}\mathbf{A}$$

$$\frac{d}{d\mathbf{A}} \left\{ \text{tr}[\mathbf{C}\mathbf{A}\mathbf{B}] \right\} = \mathbf{C}^T \mathbf{B}^T$$

Poznámky



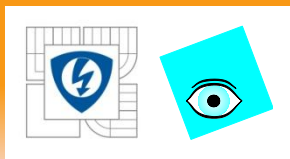
Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Vyjádření stopy matice $D \dots tr D$

$$\begin{aligned} tr \left\{ E [\mathbf{x} - \alpha \mathbf{y} - \beta] [\mathbf{x} - \alpha \mathbf{y} - \beta]^T \right\} &= tr \left\{ E [\mathbf{x} \mathbf{x}^T] - E [\alpha^T \mathbf{x} \mathbf{y}^T] - E [\mathbf{x} \beta^T] - E [\alpha \mathbf{y} \mathbf{x}^T] \right\} + \\ &+ tr \left\{ E [\alpha \alpha^T \mathbf{y} \mathbf{y}^T] + E [\alpha \mathbf{y} \beta^T] - E [\beta \mathbf{x}^T] + \alpha^T \beta E [\mathbf{y}^T] + E [\beta \beta^T] \right\} = \\ &= tr \left\{ \mathbf{P}_{xx} - \alpha^T \mathbf{P}_{xy} - E [\mathbf{x}] \beta^T - \alpha \mathbf{P}_{yx} + \alpha \mathbf{P}_{yy} \alpha^T + \alpha E [\mathbf{y}] \beta^T - \beta E [\mathbf{x}^T] + \alpha^T \beta E [\mathbf{y}^T] + \beta \beta^T \right\} = tr \{ \mathbf{M} \} \\ \frac{d}{d\beta} tr \{ \mathbf{M} \} &= -E [\mathbf{x}] + \alpha E [\mathbf{y}] + \beta \quad \mathbf{P}_{xx} = E [\mathbf{x} \mathbf{x}^T], \mathbf{P}_{xy} = E [\mathbf{x} \mathbf{y}^T], \mathbf{P}_{yy} = E [\mathbf{y} \mathbf{y}^T] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha E [\mathbf{y}] - E [\mathbf{x}] + \beta &= 0 \Rightarrow \beta = E [\mathbf{x}] - \alpha E [\mathbf{y}] \\ \beta^T &= E [\mathbf{x}^T] - E [\mathbf{y}^T] \alpha^T \end{aligned}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

dosazením za β do $\mathbf{M}$  matice $\mathbf{N}$

$$\frac{d}{d\alpha} \{tr[\mathbf{N}]\} = -\mathbf{P}_{yx} + \mathbf{P}_{yy}\alpha$$

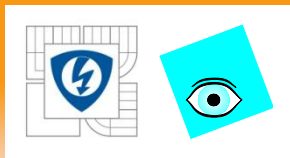
Výsledný vztah

$$\hat{\mathbf{x}}_{LMS} = \boldsymbol{\mu}_x + \mathbf{P}_{xy}^T \mathbf{P}_{yy}^{-1} (\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu}_y) \quad \text{„Regresní přímka“}$$

Chyba odhadu:

$$E \left\{ [\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS}] [\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS}]^T \right\} = \mathbf{P}_{xx} - \mathbf{P}_{xy} \mathbf{P}_{yy}^{-1} \mathbf{P}_{xy}^T = \mathbf{P}_{xx} - \mathbf{P}_{xy} \mathbf{P}_{yy}^{-1} \mathbf{P}_{yx}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Odhad měronosných parametrů signálu

$$A \sin(\omega t + \varphi)$$

Odhad amplitudy signálu

$$V(t) = A_0 \cdot s(t) + N(t) \quad \mathbf{V} = A_0 \mathbf{s} + \mathbf{N} \quad \mathbf{IV} = A_0 \mathbf{Is} + \mathbf{IN}$$

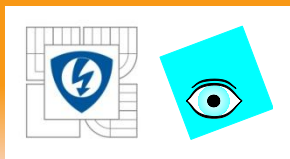
$$\mathbf{V}_d = A_0 \mathbf{s}_d + \mathbf{N}_d \quad A_0 = \mathbf{V}_d \mathbf{s}_d^{-1} - \mathbf{N}_d \mathbf{s}_d^{-1}$$

Obecný vztah

$$\hat{\mathbf{x}}_{LMS} = \boldsymbol{\mu}_x + \mathbf{P}_{xy}^T \mathbf{P}_{yy}^{-1} (\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu}_y)$$

$$A_{0LMS} = \mu_{A0} + \mathbf{P}_{A0V}^T \cdot \mathbf{P}_{VV}^{-1} \cdot (\mathbf{V} - \boldsymbol{\mu}_V)$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Kovarianční matice $\mathbf{P}_{A_0V}$, $\mathbf{P}_{VV}$

$$\mathbf{P}_{A_0V} = E\{A_0 \mathbf{V}\} - E\{A_0\}E\{\mathbf{V}\}$$

$$E\{A_0 \mathbf{V}\} = E\{A_0 (A_0 \mathbf{s} + \mathbf{N})\} = E\{A_0^2 \mathbf{s}\} + E\{A_0 \mathbf{N}\} = E\{A_0^2 \mathbf{s}\}$$

$$E\{\mathbf{V}\} = E\{A_0 \mathbf{s}\} + E\{\mathbf{N}\} = E\{A_0\} \mathbf{s}$$

$$\mathbf{P}_{A_0V} = E\{A_0^2 \mathbf{s}\} - \mathbf{s} \cdot E\{A_0\} \cdot E\{A_0\} = \mathbf{s} \cdot (E\{A_0^2\} - (E\{A_0\})^2) = \mathbf{s} \cdot \sigma_{A_0}^2$$

$$\mathbf{P}_V = \text{var}(A_0 \mathbf{s} + \mathbf{N}) = \text{var } A_0 \mathbf{s} + \text{cov}(A_0 \mathbf{s}, \mathbf{N}) + \text{cov}(\mathbf{N}, A_0 \mathbf{s}) + \text{var } \mathbf{N} = \text{var } A_0 \mathbf{s} + \text{var } \mathbf{N}$$

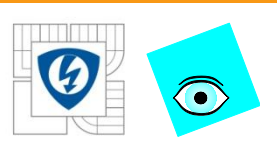
$$\text{var } A_0 \mathbf{s} = \mathbf{s}^T \mathbf{s} \cdot \sigma_{A_0}^2$$

$$\mathbf{P}_{VV} = \sigma_{A_0}^2 \mathbf{s}^T \mathbf{s} + \text{var } \mathbf{N} = \sigma_{A_0}^2 \mathbf{s}^T \mathbf{s} + \mathbf{P}_{NN}$$

↑
↑
nezávislé procesy

$\mathbf{s} = \text{const} \dots$ podmínka koherence !!!

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Součin matic

$$\mathbf{P}_{VV}^{-1} \mathbf{P}_{A0V} = \left(\sigma_{A0}^2 \mathbf{s}^T \mathbf{s} + \mathbf{P}_{NN} \right)^{-1} \mathbf{s} \sigma_{A0}^2 = \left[\mathbf{P}_{NN} \left(1 + \sigma_{A0}^2 \mathbf{s}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s} \right) \right]^{-1} \mathbf{s} \cdot \sigma_{A0}^2$$

$$F_S = \mathbf{s}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s} \quad \mathbf{P}_{VV}^{-1} \cdot \mathbf{P}_{A0V} = \sigma_{A0}^2 \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s} \left(1 + F_S \sigma_{A0}^2 \right)^{-1}$$



$$\boldsymbol{\mu}_V = E\{\mathbf{V}\} = E\{\mathbf{s} + \mathbf{N}\} = E\{A_0 \mathbf{s}\} = \mathbf{s} \mu_{A0}$$

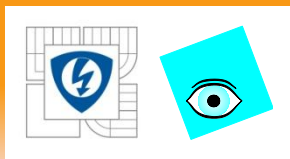
Kvadratická forma-skalár

$$A_{0LMS} = \mu_{A0} + \mathbf{P}_{A0V}^T \cdot \mathbf{P}_{VV}^{-1} \cdot (\mathbf{V} - \boldsymbol{\mu}_V) \quad A_{0LMS} = \mu_{A0} + \frac{\sigma_{A0}^2}{1 + F_S \sigma_{A0}^2} \left(\mathbf{V}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s} - \mu_{A0} \mathbf{s}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s} \right)$$

$$F_V = \mathbf{V}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s}$$

$$A_{0LMS} = \mu_{A0} \left(1 - \frac{\sigma_{A0}^2 F_S}{1 + \sigma_{A0}^2 F_S} \right) + \sigma_{A0}^2 \frac{F_V}{1 + \sigma_{A0}^2 F_S} = \frac{\mu_{A0} + \sigma_{A0}^2 F_V}{1 + \sigma_{A0}^2 F_S}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

$$A_{0LMS} = \frac{\mu_{A0} + \sigma_{A0}^2 F_V}{1 + \sigma_{A0}^2 F_S} \quad \text{„Přesný „ odhad-znalost}$$

Chyba odhadu

$$E \left\{ [\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS}] [\mathbf{x} - \hat{\mathbf{x}}_{LMS}]^T \right\} = \mathbf{P}_{xx} - \mathbf{P}_{xy} \mathbf{P}_{yy}^{-1} \mathbf{P}_{xy}^T = \mathbf{P}_{xx} - \mathbf{P}_{xy} \mathbf{P}_{yy}^{-1} \mathbf{P}_{yx}$$

$\mathbf{P}_{A0A0}$, $\mathbf{P}_{A0V}$, $\mathbf{P}_{VV}$

$$\sigma_{A0LMS}^2 = \sigma_{A0}^4 \frac{F_S}{1 + \sigma_{A0}^2 F_S}$$

$$\sigma_{A0}^2 F_S \gg 1$$

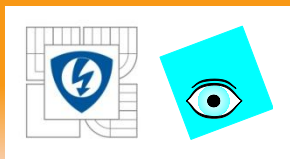
Odhadem se rozptyl
nezvětší

$$A_{0LMS} \approx \frac{F_V}{F_S} = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s}}{\mathbf{s}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s}} = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}{\mathbf{s}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}$$

$$\sigma_{A0LMS}^2 \approx \sigma_{A0}^2$$

$$\sigma_{A0}^2 \ll 1$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Odhad amplitudy pro případ bílého šumu

$(P_{nn} = I)$,

$$A_{0LMS} \approx \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{I} \mathbf{s}}{\mathbf{s}^T \mathbf{I} \mathbf{s}} \quad A_{0LMS} = \frac{\sum_{i=1}^M V(t_i) s(t_i)}{\sum_{i=1}^M s^2(t_i)} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M V(t_i) s(t_i)}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s^2(t_i)}$$

energie signálu

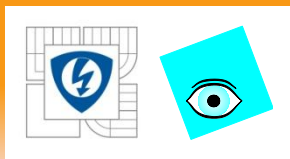
vzájemná korelace $V(t)$ a $s(t)$

Odhad amplitudy pro **spojité** signály-

Interval mezi daty $\Delta t \rightarrow 0$

$$A_{0LMS} = \frac{\frac{1}{T_m} \int_{t_0}^{t_0+T_m} V(t) \cdot s(t) dt}{\frac{1}{T_m} \int_{t_0}^{t_0+T_m} s^2(t) dt}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

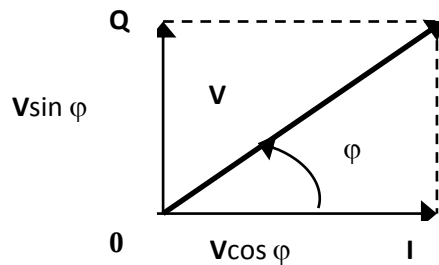
$V(t), s(t)$...harmonické

$$A_{0LMS0} = V_m \sin(\omega t + \varphi_V) S_m \sin(\omega t + \varphi_S) = \\ = V_m S_m \frac{1}{2} [\cos(\varphi_V - \varphi_S) + \cos(2\omega t + \varphi_V + \varphi_S)]$$

Za DP (střední hodnota)-

$$A_{0LMS0} = \frac{1}{2} V_m S_m \cos(\varphi_V - \varphi_S) \quad \text{Fázová citlivost}$$

Určení složek fázoru

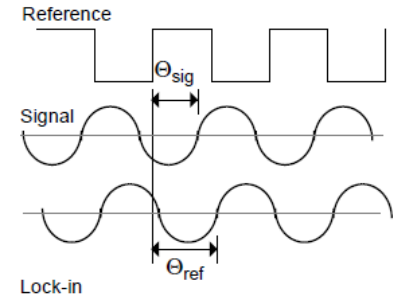


$$V = \sqrt{I^2 + Q^2} = \sqrt{(Re(V))^2 + (Im(V))^2} = \sqrt{(V \cos \varphi)^2 + (V \sin \varphi)^2}$$

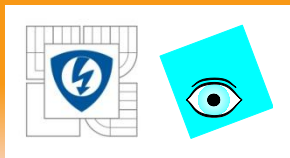
V lze určit i při nestálé fázi

Dva KD s referencí $s(t)$ posunutou vzájemně o 90°

Podstata „vektor voltmetru“



Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

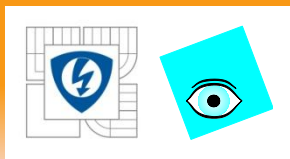
Podmínky koherence - základ správné funkce KP

Okamžiky odběru vzorků $V(t)$ musí být v **známých** časových relacích s referenčním průběhem $s(t)$.

Při každém opakování pokusu se získá posloupnost vzorků odebraných ze stejných míst průběhu signálu. Zajištění: pevná relace odběrů $V(t)$ vůči $s(t)$. (Např. odvozením budícího napětí z referenčního napětí generovaného v KP)

Jinak se F_v pokus od pokusu mění, hodnota A_{OLMS} kolísá

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Zlepšení poměru signál/šum odhadem amplitudy dle LMMSE

Před odhadem S/Š

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{A_0}{\sigma_N}$$

$$\text{odhad } A_{0LMS} \approx \frac{F_V}{F_s} = \frac{(A_0 \mathbf{s} + \mathbf{N})^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}{F_s} = \frac{A_0 \mathbf{s}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s} + \mathbf{N}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}{F_s} = A_0 + \frac{\mathbf{N}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}{F_s}$$

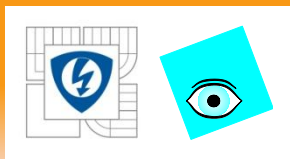
Šum po odhadu-

$$\sigma_{NO}^2 = \text{var}\left(\frac{\mathbf{N}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}{F_s}\right) = \frac{1}{F_s} (\mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s})^T \text{var } \mathbf{N}^T (\mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}) \frac{1}{F_s}$$

$$\text{var } \mathbf{N} = \mathbf{P}_{NN} = \sigma_N^2 \mathbf{P}_{nn} \quad \sigma_{NO}^2 = \frac{1}{F_s^2} (\mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s})^T \sigma_N^2 \mathbf{P}_{nn} (\mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}) = \frac{\sigma_N^2}{F_s}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_O = \frac{A_0}{\sigma_{NO}} = \frac{A_0 \sqrt{F_s}}{\sigma_N} = \left(\frac{S}{N}\right)_i \sqrt{F_s}$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Zlepšení poměru s/š koherentní demodulací

$$\left(\frac{S}{N}\right)_O = \frac{A_0}{\sigma_{NO}} = \frac{A_0 \sqrt{F_s}}{\sigma_N} = \left(\frac{S}{N}\right)_i \sqrt{F_s}$$

$$G = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_O}{\left(\frac{S}{N}\right)_I} = \sqrt{F_s} = \sqrt{\mathbf{s}^T \mathbf{P}_{nn}^{-1} \mathbf{s}}$$

Pro bílý šum $\mathbf{P}_{nn} = \mathbf{I}$

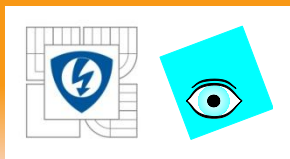
$$G = \sqrt{\mathbf{s}^T \mathbf{I} \mathbf{s}} = \left(\sum_{i=1}^N s^2(t_i) \right)^{1/2}$$

$$s^2(t_i) = 1$$

$$G = \sqrt{N}$$

Pravoúhlý průběh nosné $s(t)$... optimum

Poznámky

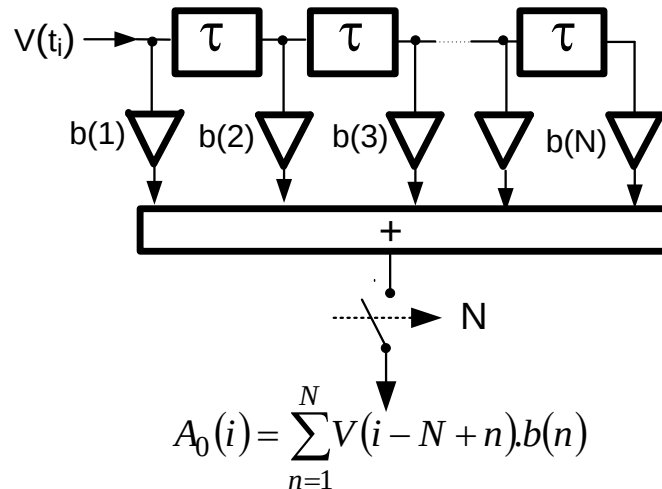


Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Odhad LMMSE jako číslicová filtrace

algoritmus

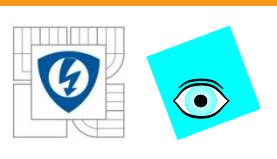
$$F_V = \mathbf{V}^T \mathbf{P}_{NN}^{-1} \mathbf{s}$$



$b(n)$... prvky sloupového vektoru matice $\mathbf{P}_{nn}^{-1} \cdot \mathbf{s}$

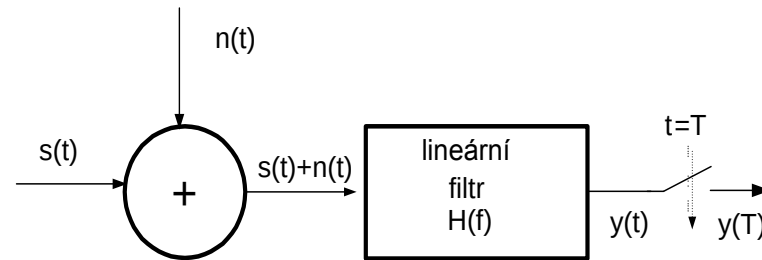
tj. $\mathbf{p}_n \mathbf{s}$ $\mathbf{p}_n$ ($n = 1, 2, \dots, N$)

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Přizpůsobený filtr



Maximum okamžité hodnoty výstupního signálu v okamžiku sepnutí spínače (vzorkování) $t = T$.

Hledáme maximum

$$\eta = \frac{|s_0(T)|^2}{E\{n^2(t)\}}$$

Zpětná FFT

$$s_0(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)S(f)e^{j2\pi ft} df$$

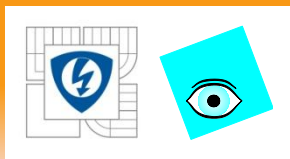
$$|s_0(T)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} H(f)S(f)e^{j2\pi fT} df \right|^2$$

Šum

$$S_N(f) = \frac{N_0}{2} |H(f)|^2$$

$$E\{n^2(t)\} = \frac{N}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df$$

Poznámky



Teoretický základ metod koherentního zpracování signálu

Přizpůsobený filtr

$$\eta = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} H(f) S(f) e^{j2\pi f T} df \right|^2}{\frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df}$$

Schwarzova nerovnost

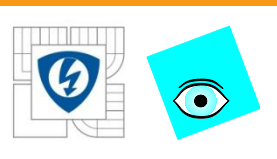
$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} H(f) S(f) e^{j2\pi f T} df \right|^2 \leq \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df$$

maximum **h** pro rovnost , proto volíme

$$\eta \leq \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df \quad H_{opt}(f) = k S^*(f) e^{-j2\pi f T} \quad FFT^{-1}\{H_{opt}(f)\} = h_{opt}(t) = k s(T-t)$$

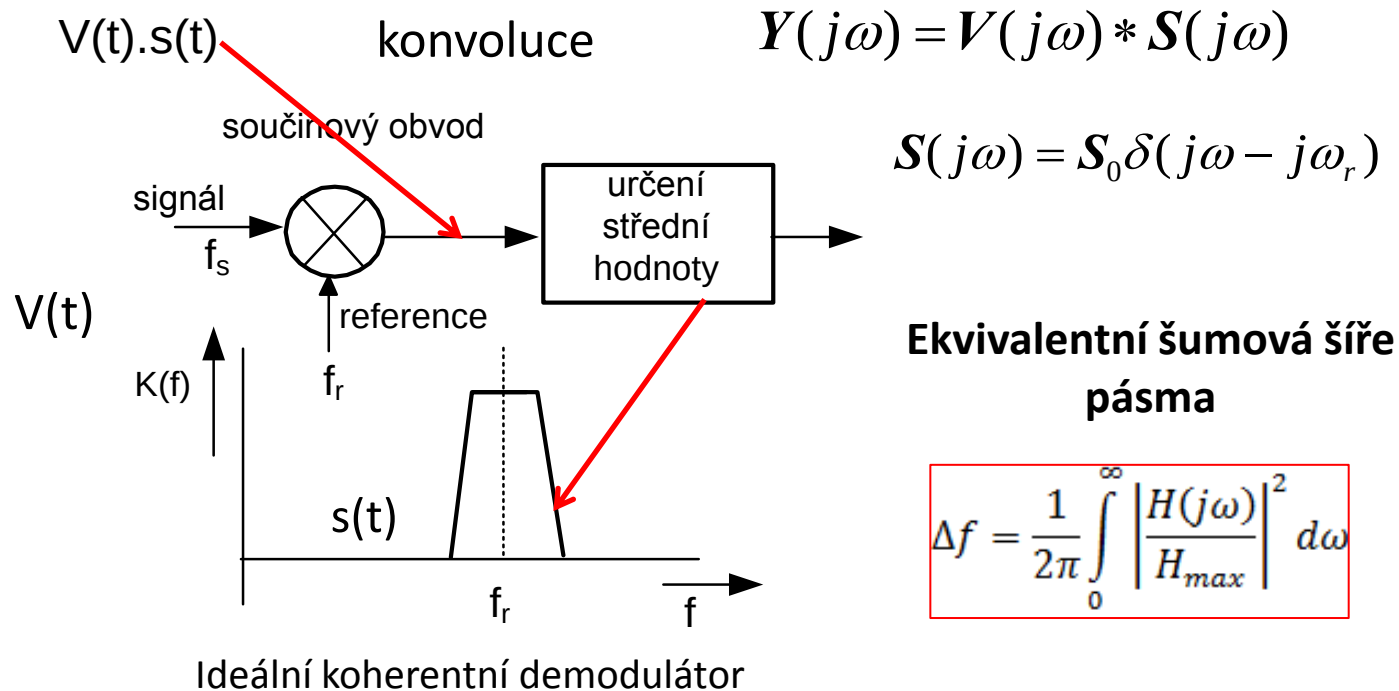
Impulsní odezva přizpůsobeného filtru je v čase obrácená a zpožděná verze vstupního signálu modifikovaná měřítkem k

Poznámky



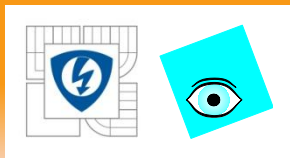
Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Obvody vlastního koherentního demodulátoru



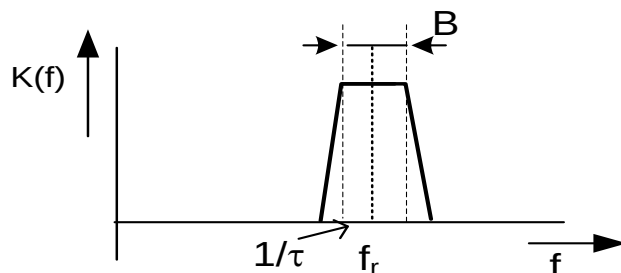
AFCH druhého druhu...pásma kmitočtů vstupních signálů přispívajících k výstupu

$$f_{vst} \neq f_{výst}$$



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Zlepšení poměru s/š-obvodová interpretace

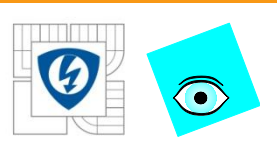


- Zmenšováním šumové šíře pásma B klesá úměrně úroveň šumu na výstupu KD.
- Teoreticky pro $B=0$ je šum „nulový“ a lze určit libovolně nízkou amplitudu.
- Avšak pokles B lze dosáhnout zvětšováním časové konstanty DP τ
- **Lze měřit signál blízky nule ale za dobu blízko nekonečnu.**

V odhadu se signál V vyskytuje v první mocnině –**lineární operace**.

V případě nutnosti výpočtu vyšších mocnin V

by mohl vzniknout efekt „potlačení signálu šumem“



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Spínačové koherentní demodulátory

Periodicky pracující spínač...spínací funkce $K(t)$

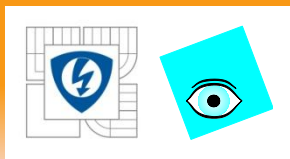
$$y(t) = v(t) \cdot K(t) \quad Y(j\omega) = V(j\omega) * K(j\omega)$$

$$K(j\omega) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k \delta(j\omega - jk\omega_0)$$

$$Y(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} V(j\nu) \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k \delta(j\omega - jk\omega_0 - j\nu) d\nu = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k \int_{-\infty}^{\infty} V(j\nu) \delta(j\omega - jk\omega_0 - j\nu) d\nu$$

$$\delta(-\tau) = \delta(\tau), \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - t_0) dt = f(t_0) \quad \int_{-\infty}^{\infty} V(j\nu) \delta(j\omega - jk\omega_0 - j\nu) d\nu = V(j\omega - jk\omega_0)$$

Poznámky



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

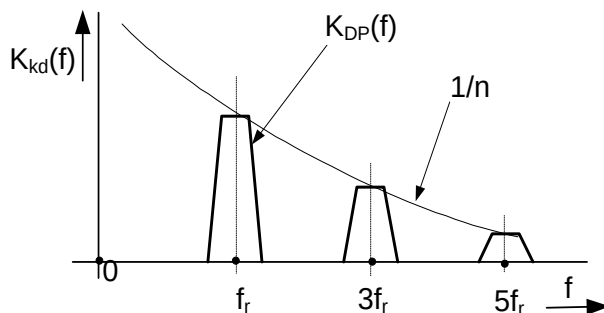
$$Z(j\omega) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k K_D(j\omega) V(j\omega - jk\omega_0) K_D(j\omega)$$

substituce

$$\omega - k\omega_0 = \Omega, \quad Z(j\Omega + jk\omega_0) = \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k K_D(j\Omega + jk\omega_0) V(j\Omega)$$

$$V(j\Omega) = V = \text{konst.} \quad Z(j\Omega + jk\omega_0) = V \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} S_k K_D(\Omega + jk\omega_0)$$

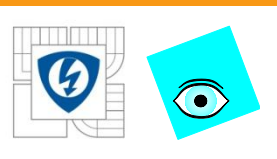
Po záměně sčítacích indexů $k = -l$



$$Z(j\Omega - jl\omega_0) = V \sum_{l=-\infty}^{l=\infty} S_k K_D(j\Omega - jl\omega_0)$$

Hřebenový filtr

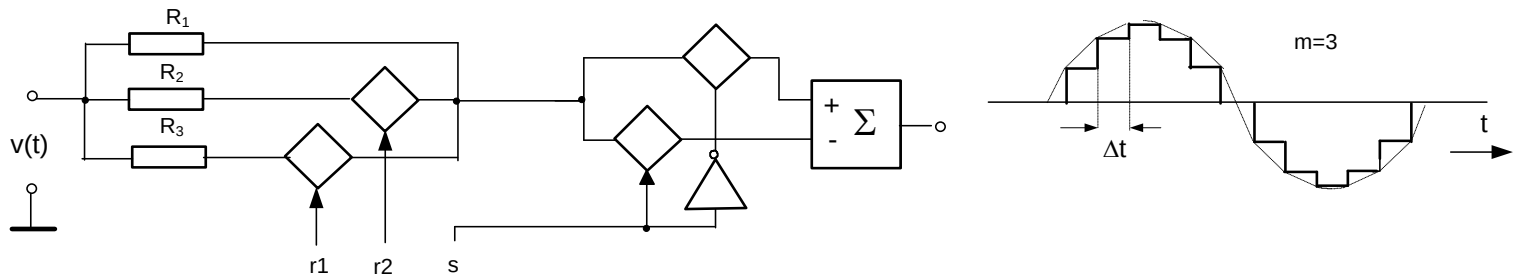
Symetrie a **stálý tvar** K(t) !!



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

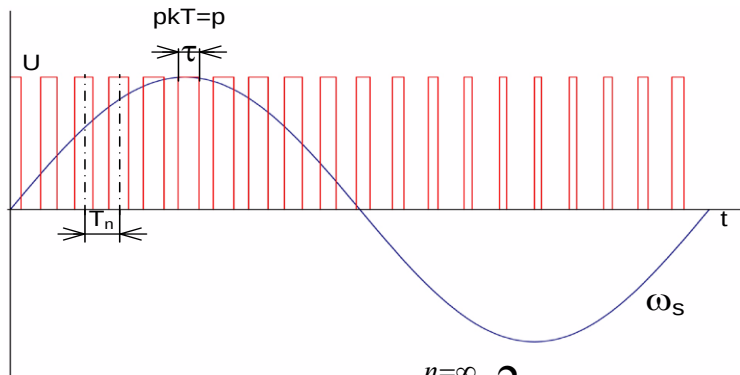
Potlačení vlivu vyšších harmonických spínací funkce

a) levný
D/A



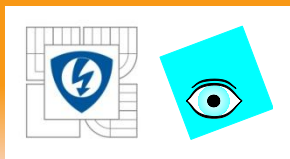
$$f_n = (4mn \pm 1)f, \quad n = 1, 2, \dots \quad f = 1/T \quad m = 3, \text{ nejblížší harmonická } n=11$$

b) PŠM



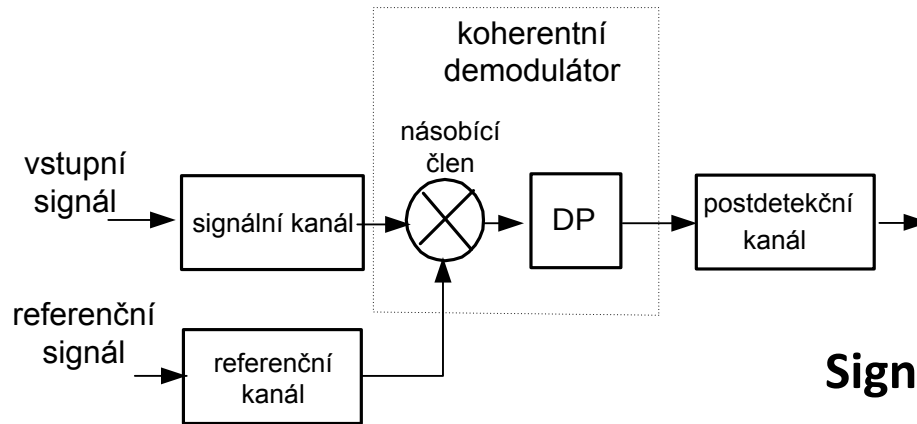
kmitočet nosné $W_n \gg w_s$,
nejblížší w : $W_n - w_s$,

$$s(t) = kU + kUp \sin \omega_s t + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{2}{\pi} \sin[n\pi(kU + kpU \sin \omega_s t)] \cos n\Omega_n t$$



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

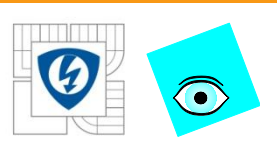
Základní části přístrojů pro koherentní demodulaci



Předdetekční zpracování signálu

Signální kanál,
Referenční kanál
Koherentní demodulátor
Postdetekční kanál

Poznámky

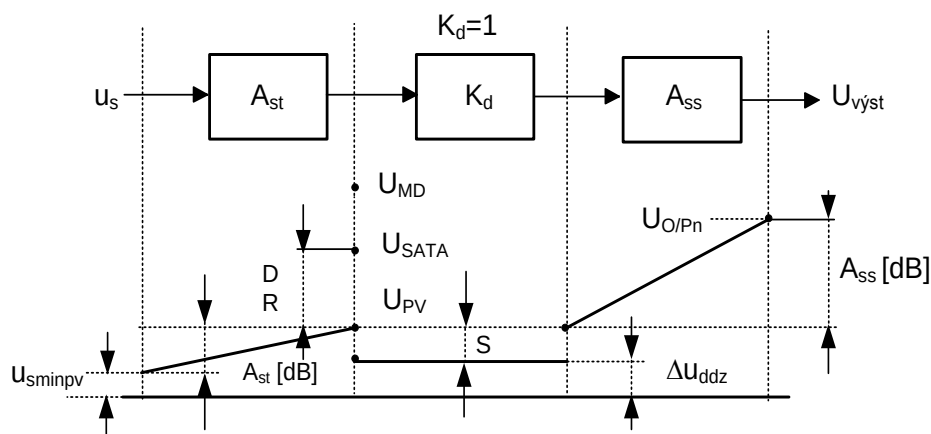


Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Dynamická rezerva - DR

Největší úroveň rušivého signálu, která vyvolá změnu výstupní úrovně menší než je dovolená chyba.

DRnásobek úrovně užitečného signálu U_{PSV} , nutného pro plnou výchylku



Δu_{DDZ}

U_{PV}

$s = U_{PV} / \Delta u_{DDZ}$

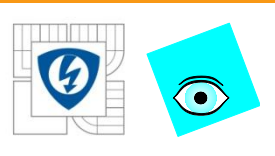
U_{SATA}

U_{DM}

drift demodulátoru a ss. zes.
napětí na vstupu KD pro FS
činitel stálosti výstup. napětí,
hranice linearity p.ch. zes.,
hranice linearity p.ch. dem.

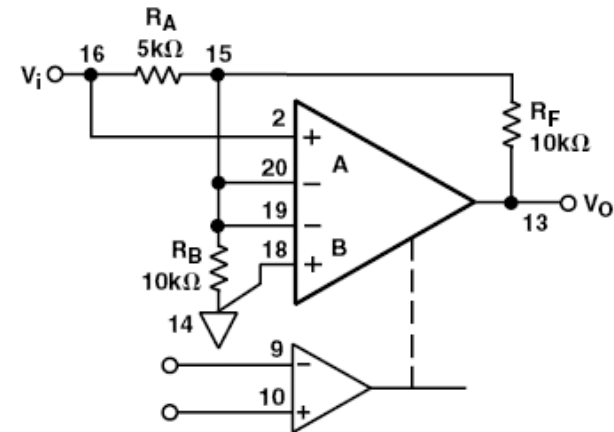
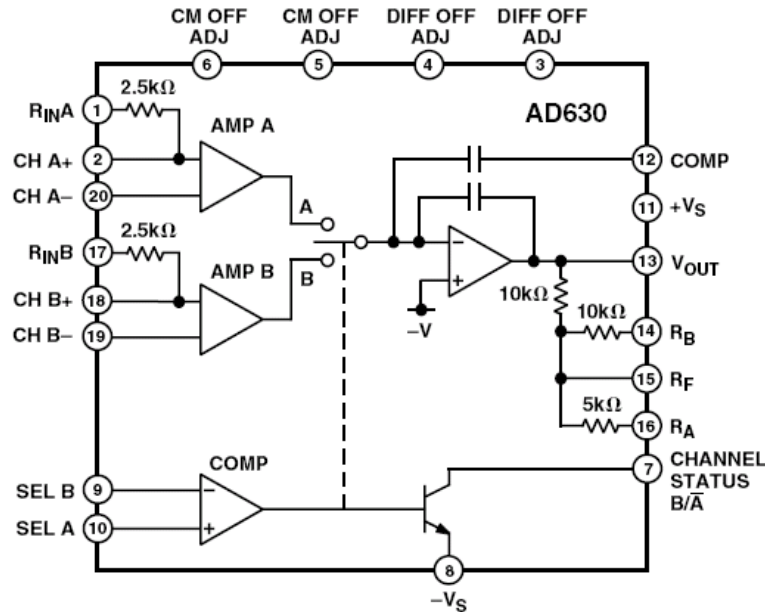
$$DR = \frac{U_{SATA}}{U_{PV}}$$

Poznámky

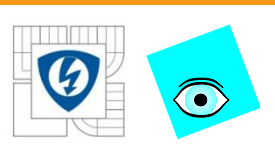


Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Vyvážený modulátor – demodulátor AD 630 (Analog Devices)

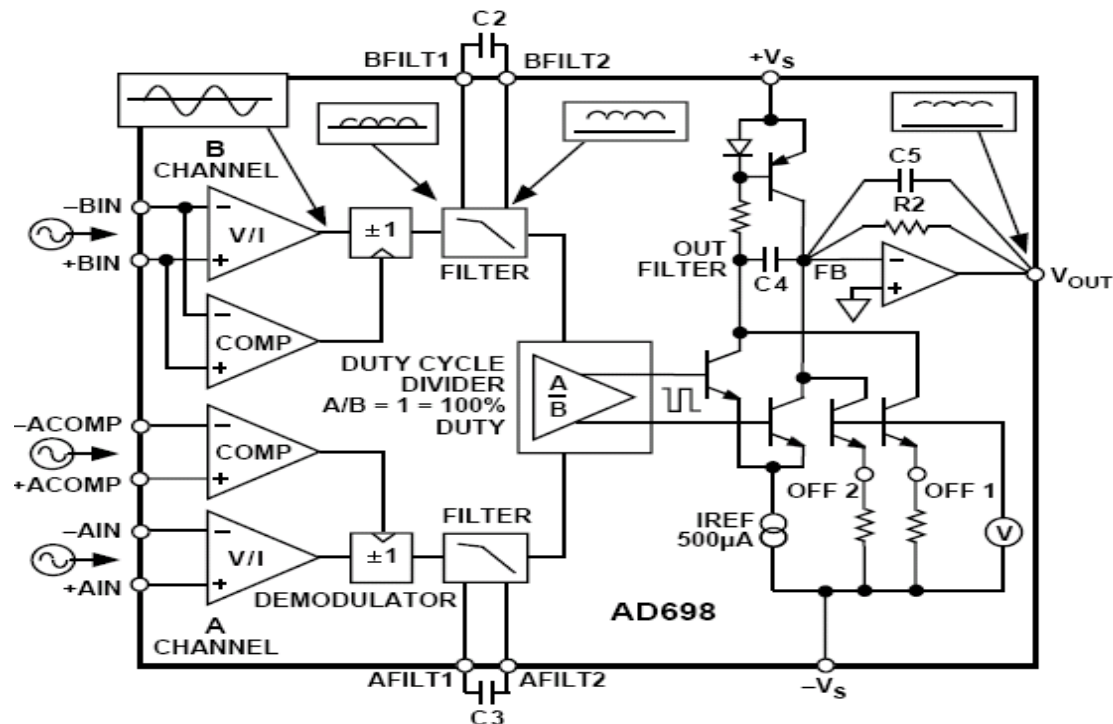


Poznámky



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

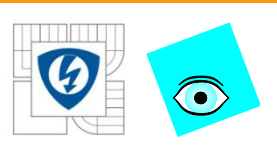
Integrovaný obvod se dvěma KD vhodný pro poměrová měření



Poznámky

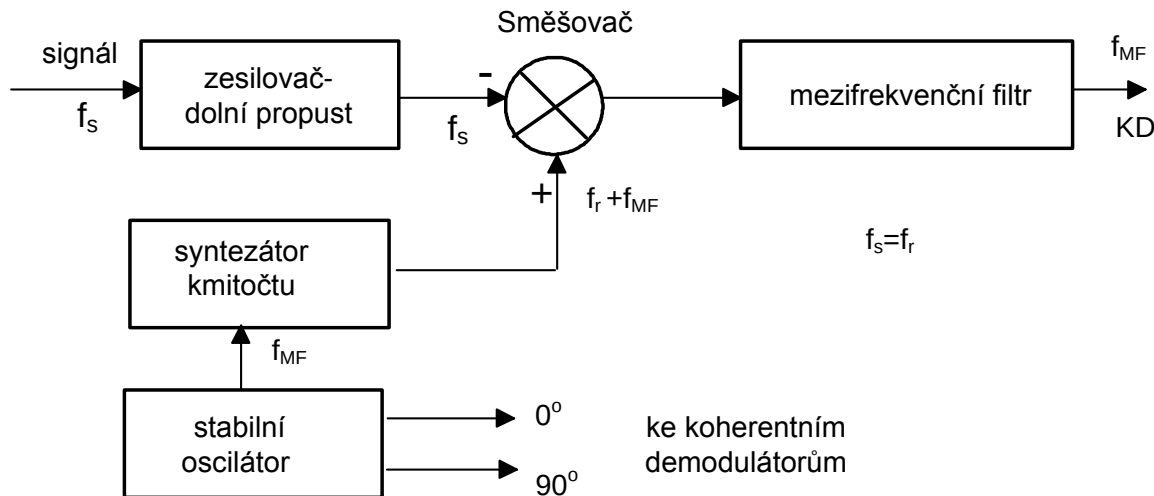
18.11.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



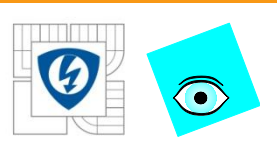
Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Rozšíření frekvenčního rozsahu KD heterodynní filtrací



Výhody : práce KD na **stálé** frekvenci f_{MF}
snadná realizace **fázového posuvu** o $\pi/2$
selektivita-**piezokeramické** filtry

Poznámky

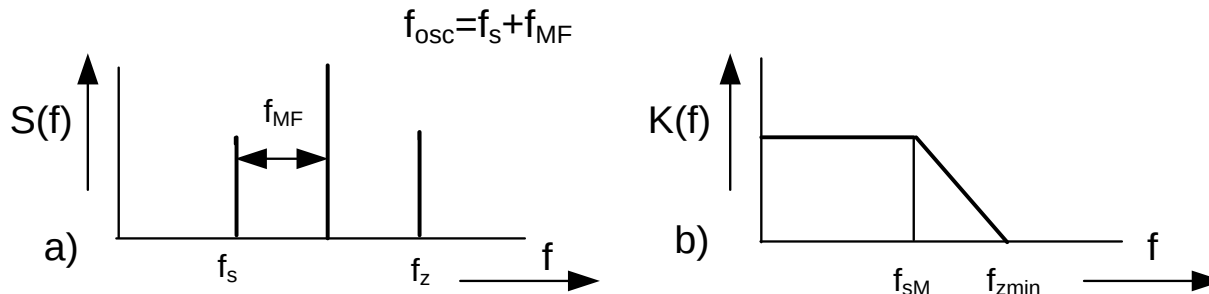


Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Nevýhody heterodynní filtrace:

- složitost
- zrcadlové kmitočty
- nelinearity směšovače-parazitní kmitočty

$$f_{osc} = f_s + f_{MF}$$



Potlačení zrcadlových kmitočtů – dolní propust $K(f)$

$$f_{zmin} = f_{smin} + 2f_{MF}$$

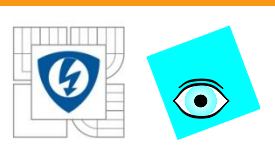
Poznámky



The diagram illustrates a PLL frequency divider circuit. It starts with a reference frequency f_r entering a phase detector (fázový detektor). The output of the phase detector is summed (Σ) with a feedback signal from a divider ($:2$) to produce a control voltage $+U$ and $-U$. This control voltage is applied to a frequency doubler (NŘO). The output of the frequency doubler is mixed (MIXER) with the reference frequency f_r to produce a signal $f_r + f_{MF}$. This signal is then filtered (FILTR (DP)) and divided ($:2$) to produce the output frequency $f_r/2$. The output frequency is also used to generate a feedback signal for the phase detector. The circuit includes two phase shifters (posuv fáze) to provide phase-shifted versions of the output frequency, $f_{MF}(0^\circ)$ and $f_{MF}(90^\circ)$.

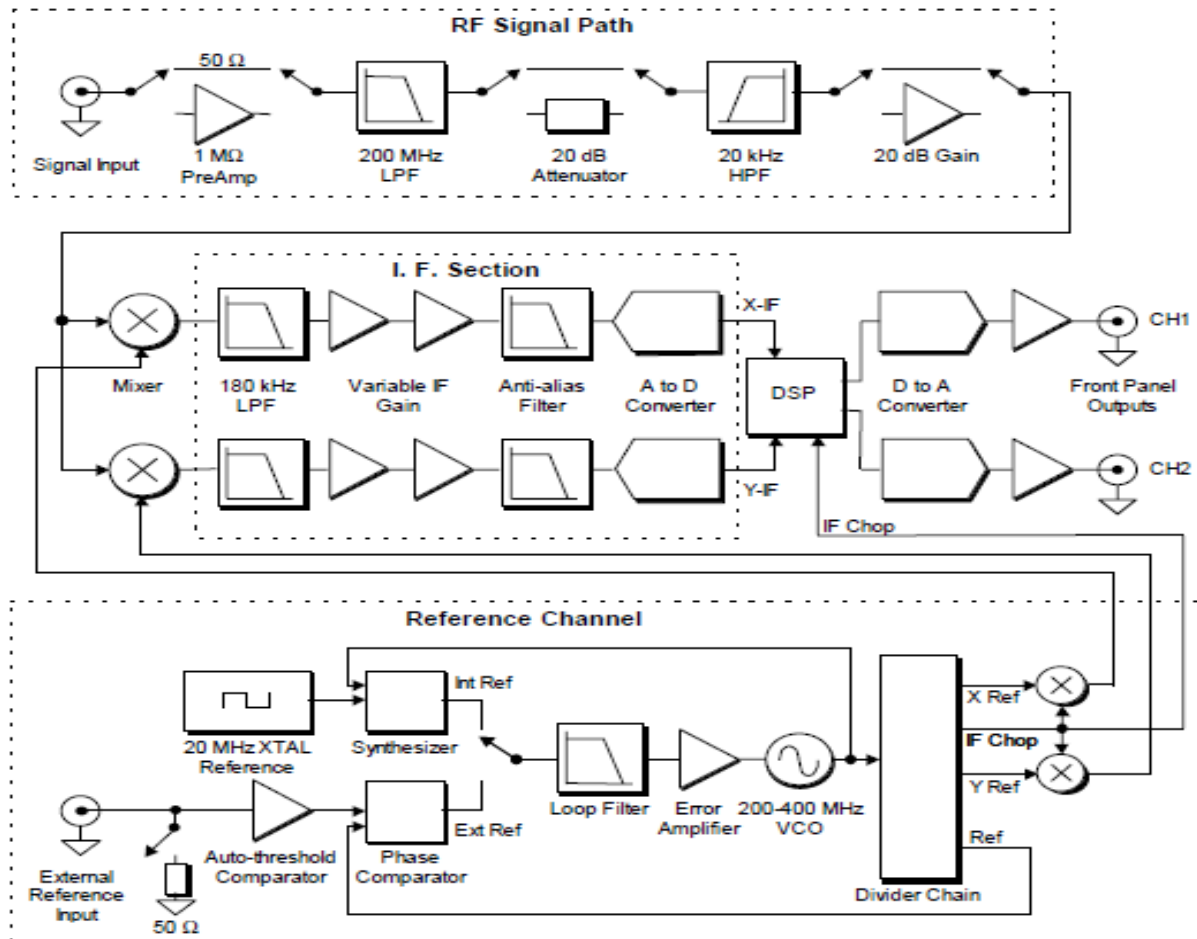
-NŘO navržen na $f_r + f_{MF}$ Směšovač ... $(f_r + f_{MF}) + / - f_{MF} = f_r$
 -XTAL pro f_{MF}

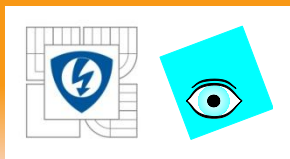
32



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

**Příklad
koncepce
moderního
heterodynního
LIA**





Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Číslicové koherentní demodulátory

Odhad amplitudy signálu výpočtem (číslicovým procesorem)

Problém: mimořádné nároky na rozlišovací schopnost převodu A/D

Např. vyhodnotit amplitudu signálu na 7 bitů. Signál utopen o 90 dB pod rušením, vyžaduje se A/Č převodník s rozlišením 23 bitů.

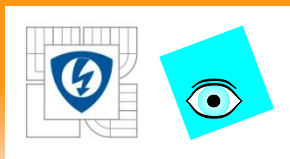
Řešení: dithering- rušení působí jako „rozmítací signál“

Teorém ekvivalentní nelinearity (TEN).

Určení podmíněné střední hodnoty (signál+šum) na výstupu členu s nelineární převodní charakteristikou $y(x)$

$$E\{y(x)|s\} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} y(s+n)r[(s+n)|s]dn$$

Poznámky



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Bayesův vztah

$$r[(s+n)|s] = \frac{p[(s+n),s]}{q(s)}$$

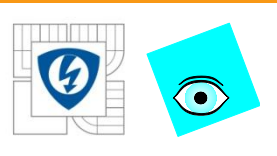
Nezávislé procesy $p[(s+n),s] = p_1(s+n).q(s)$

$$r[(s+n)|s] = p_1(s+n)$$

Hustota pravděpodobnosti součtu nezávislých veličin $R = P + Q$

konvoluce
$$p_r(r) = \int p_p(u)p_q(r-u)du$$

Po dalším odvození (viz textová část -brožura) výsledek je
Teorém ekvivalentní nelinearity

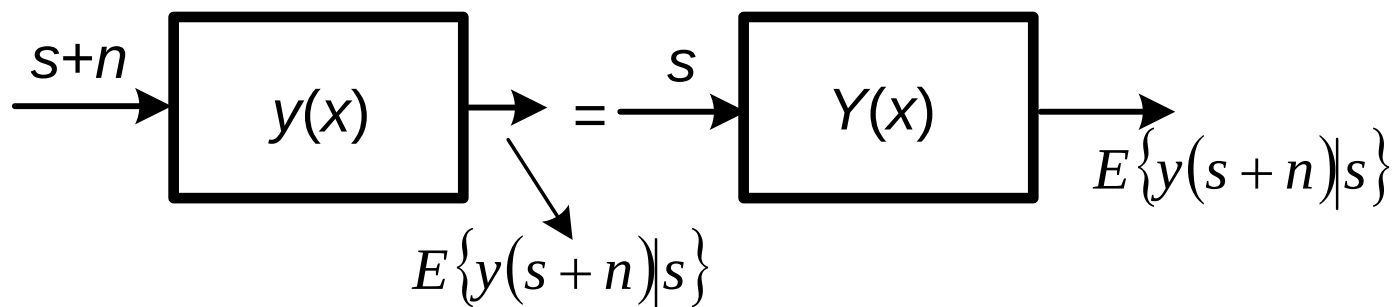


Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

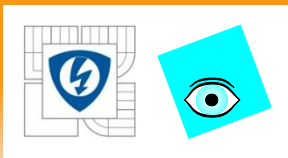
Podmíněná střední hodnota $s+n$ na výstupu $y(x)$ se rovná podmíněné střední hodnotě signálu na výstupu ekvivalentní nelinearity $Y(x)$.

$Y(x)$ se určí jako konvoluce původní nelinearity $y(x)$ s hustotu pravděpodobnosti přídatného signálu

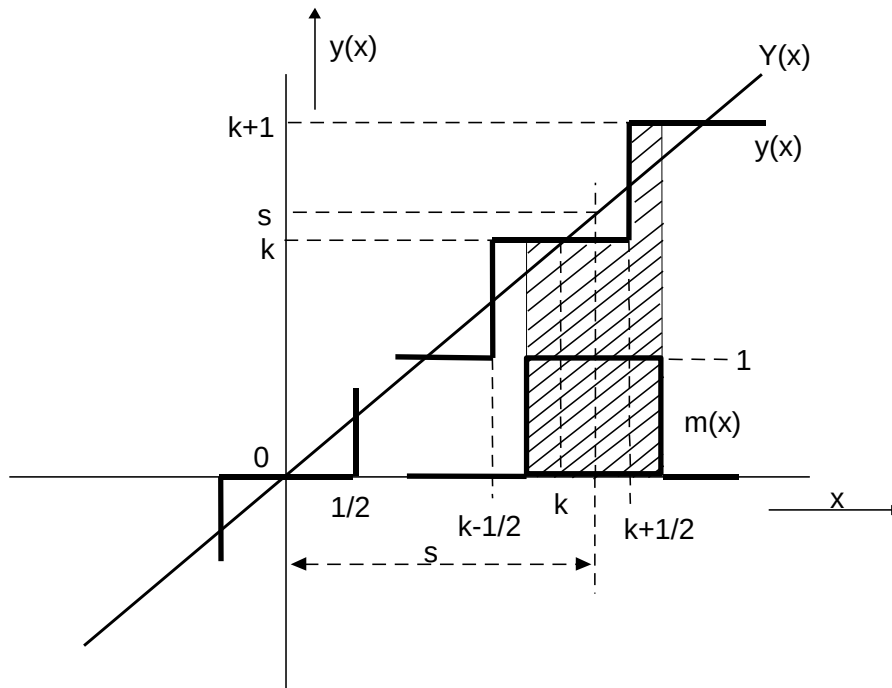
$$Y(x) = y(x) * m(n)$$



Poznámky

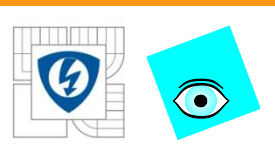


Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

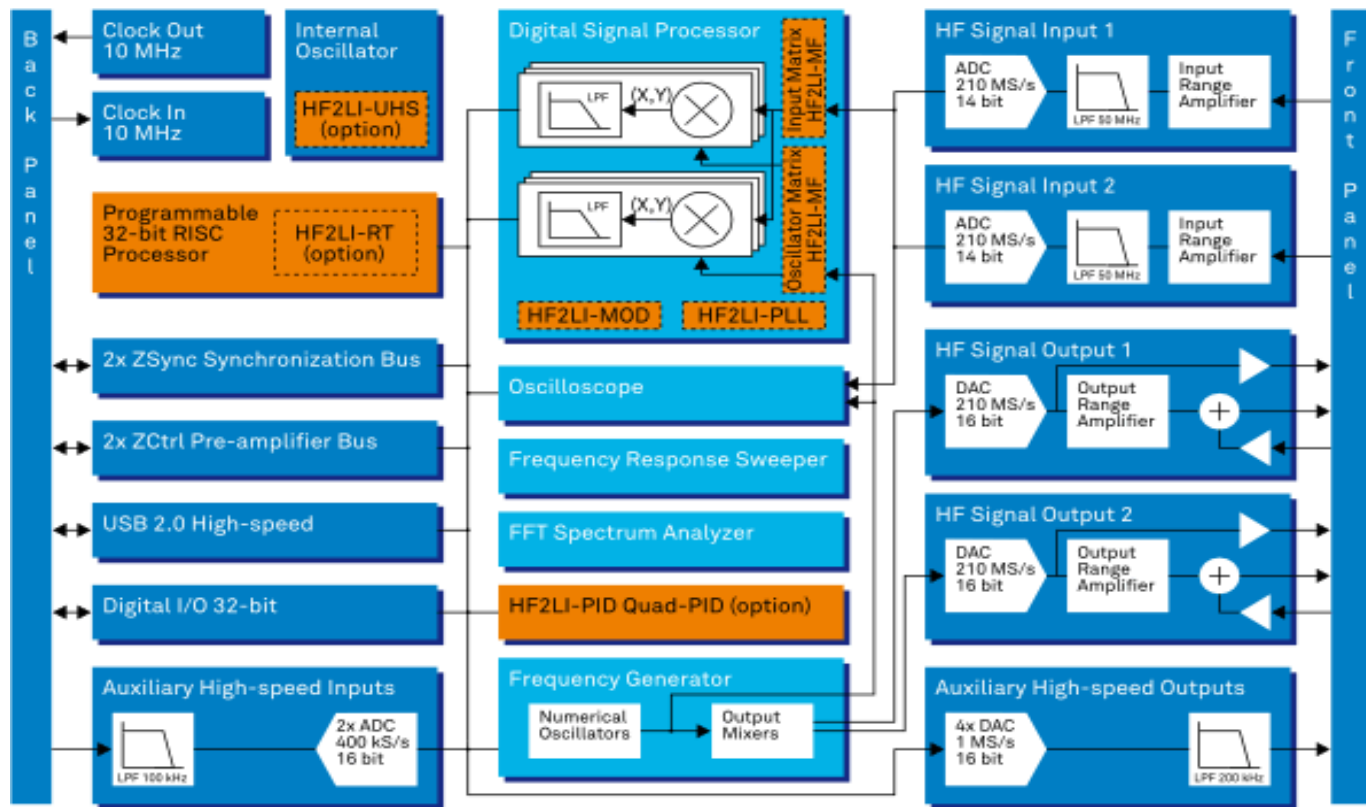


Grafická konvoluce převodní charakteristiky A/D a rovnoměrné hustoty pravděpodobnosti

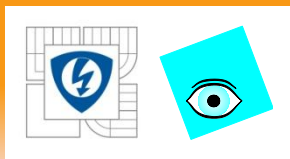
Poznámky



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod



Moderní koncepce číslicového koherentního demodulátoru (Zurich Instruments)
A/D převod 210 Ms, 14 bitů



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

KOHERENTNÍ PRŮMĚROVÁNÍ SIGNÁLŮ

TEORÉM FUSE INFORMACÍ

Odhad $\mathbf{X}$ (rozměr $p \times 1$) z měřených dat $\mathbf{Y}_i$ (rozměr $p \times 1$).

Chyby dat $\mathbf{N}_i$. Každá chyba je charakterizována kovarianční maticí $\mathbf{S}_i$

Optimální odhad a jeho kovarianční matice

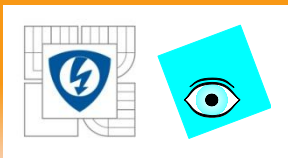
$$\hat{\mathbf{X}} = [\mathbf{S}_1^{-1} + \mathbf{S}_2^{-1} + \dots + \mathbf{S}_n^{-1}]^{-1} [\mathbf{S}_1^{-1}\mathbf{Y}_1 + \mathbf{S}_2^{-1}\mathbf{Y}_2 + \dots + \mathbf{S}_n^{-1}\mathbf{Y}_n]$$

$$\hat{\mathbf{S}} = [\mathbf{S}_1^{-1} + \mathbf{S}_2^{-1} + \dots + \mathbf{S}_n^{-1}]^{-1}$$

Údaje $\mathbf{Y}_i$ zatížené chybou s variancí $S_i = \sigma_i^2$ Po n měřeních

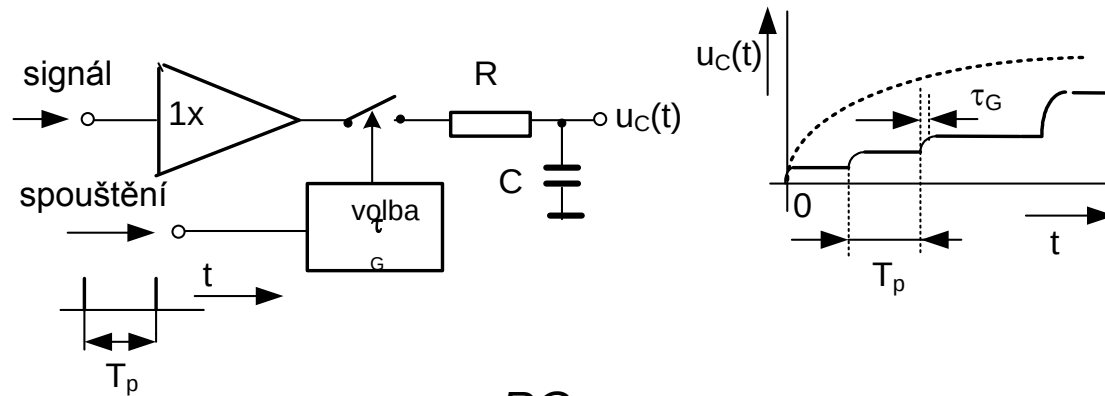
$$\hat{S} = [n\sigma^{-2}]^{-1} = \frac{\sigma^2}{n}$$

Poznámky



Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Koherentní integrátory (Box Car Integrator)

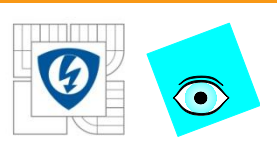


$$\tau = RC \gg \tau_G$$

Zvýšení poměru s/š

$$H = \sqrt{2 \frac{RC}{\tau_G}}$$

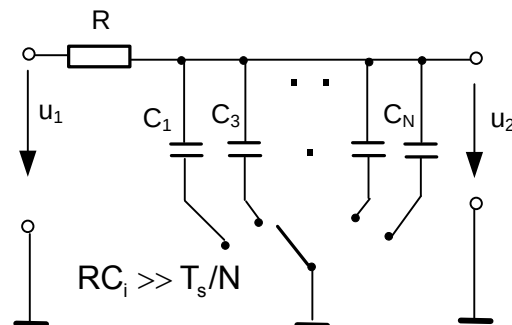
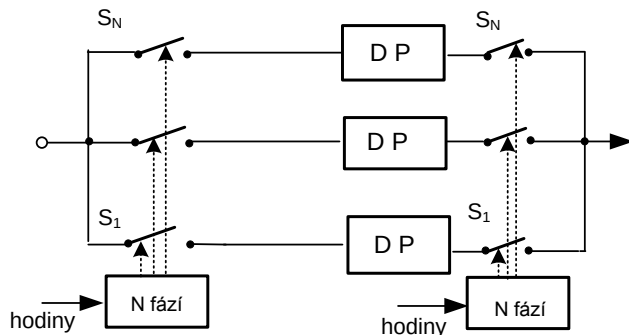
Poznámky



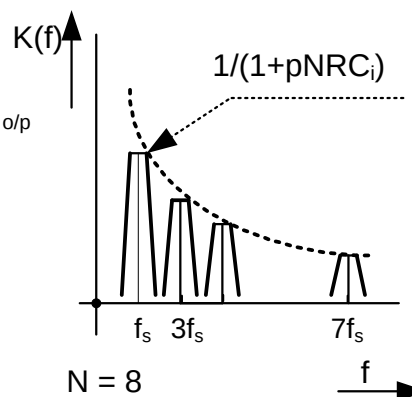
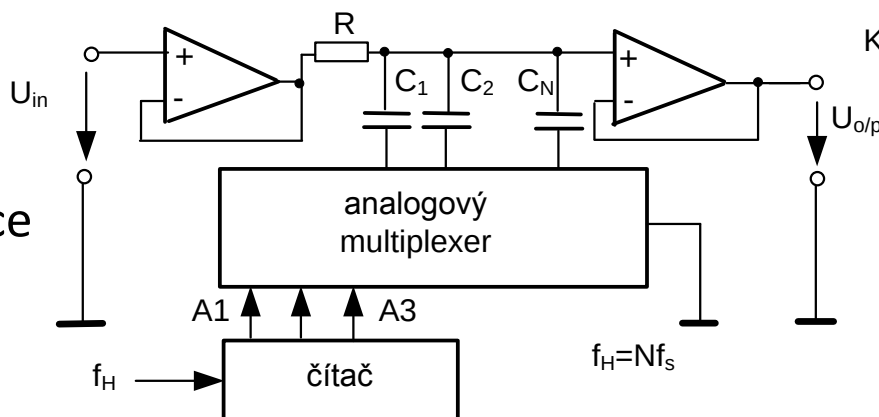
Přístrojová a obvodová realizace koherentních metod

Koherentní filtr

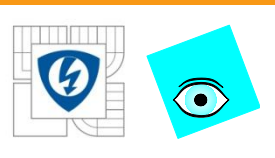
Princip



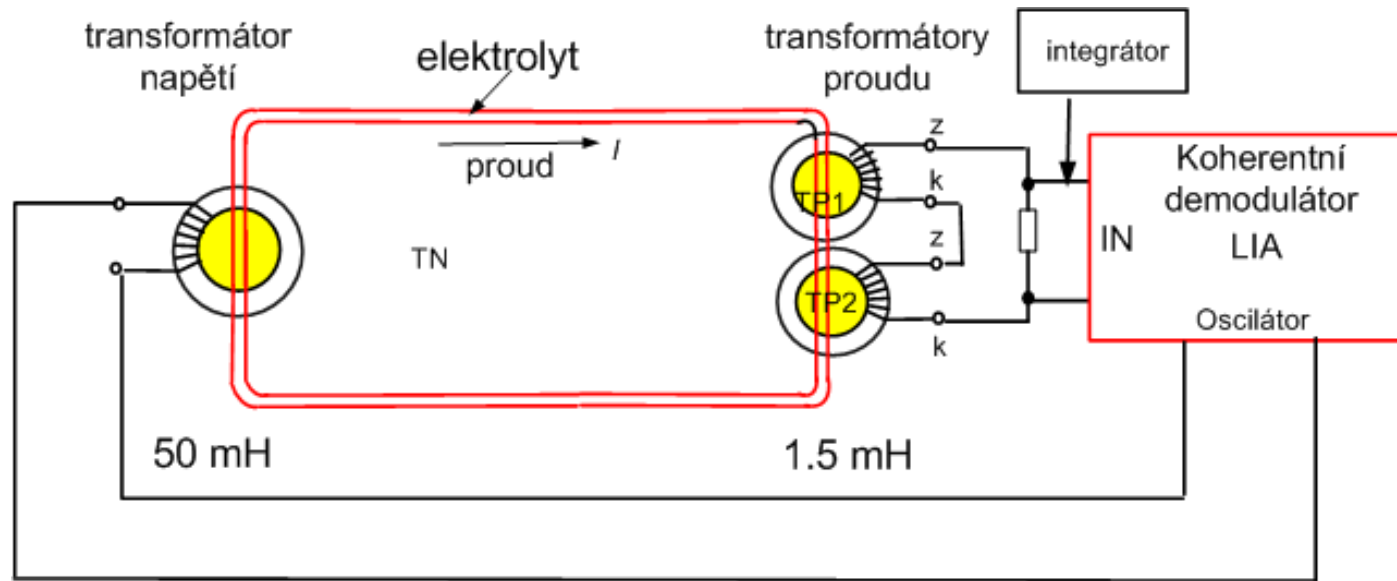
Realizace



Přenosová charakteristika



Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

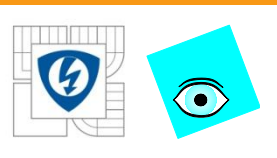


Bezelektroodové měření vodivosti elektrolytů

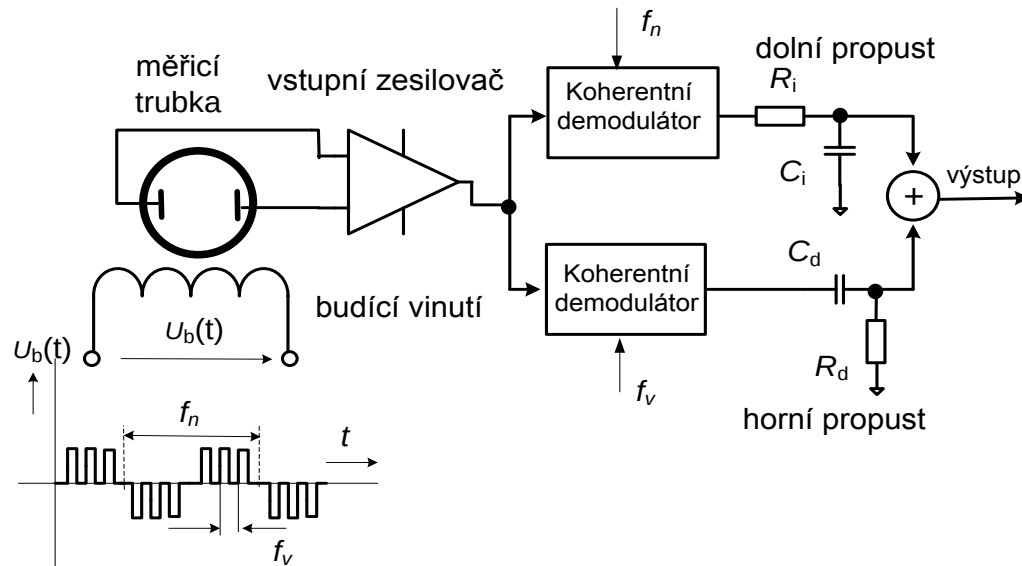
Poznámky

18.11.2011

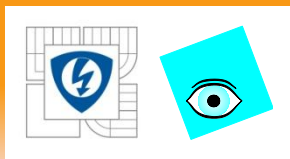
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

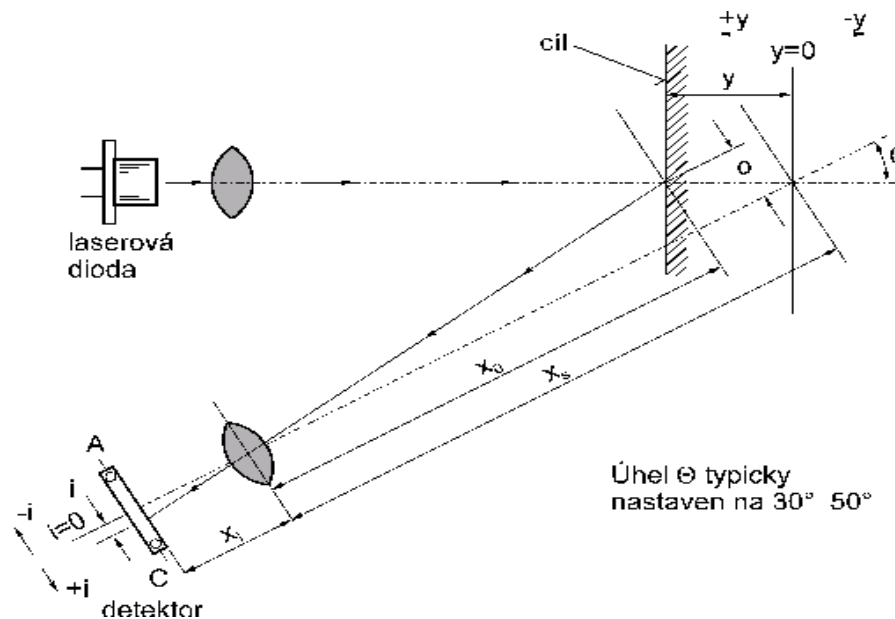


Zpracování signálu z indukčního průtokoměru dvěma KD



Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

Měření využívající senzorů záření

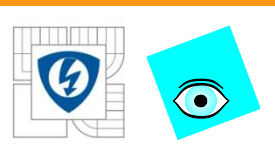


Triangulační měření vzdálenosti s přerušovaným zářením



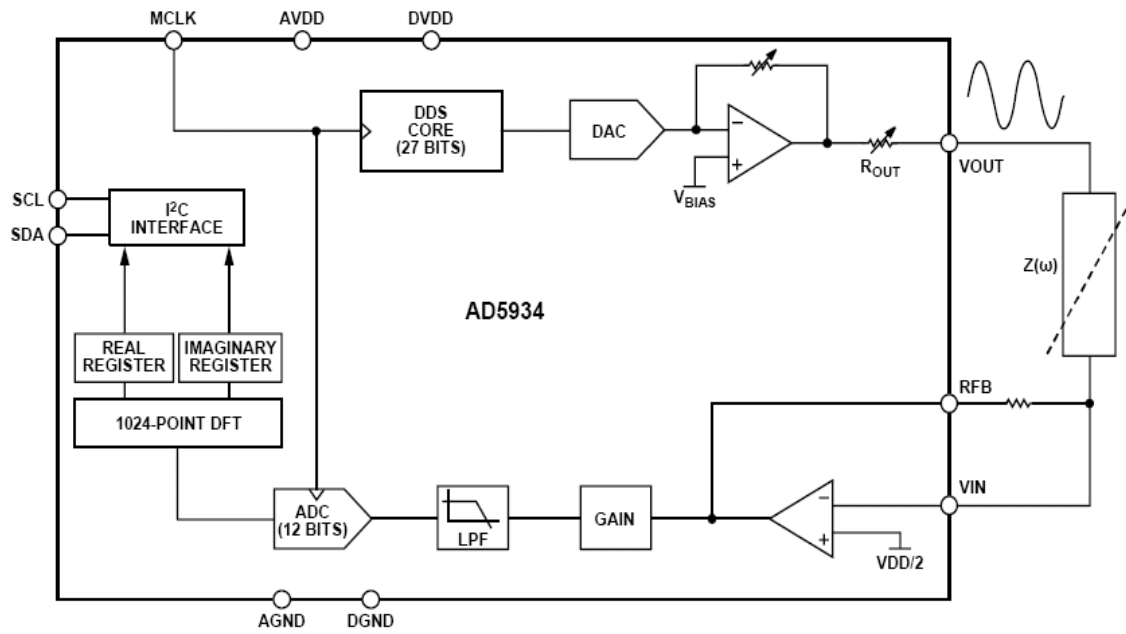
18.11.2011





Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

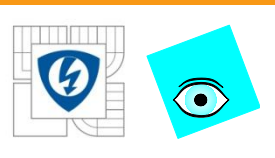
Měření impedance integrovaným obvodem AD5934



Poznámky

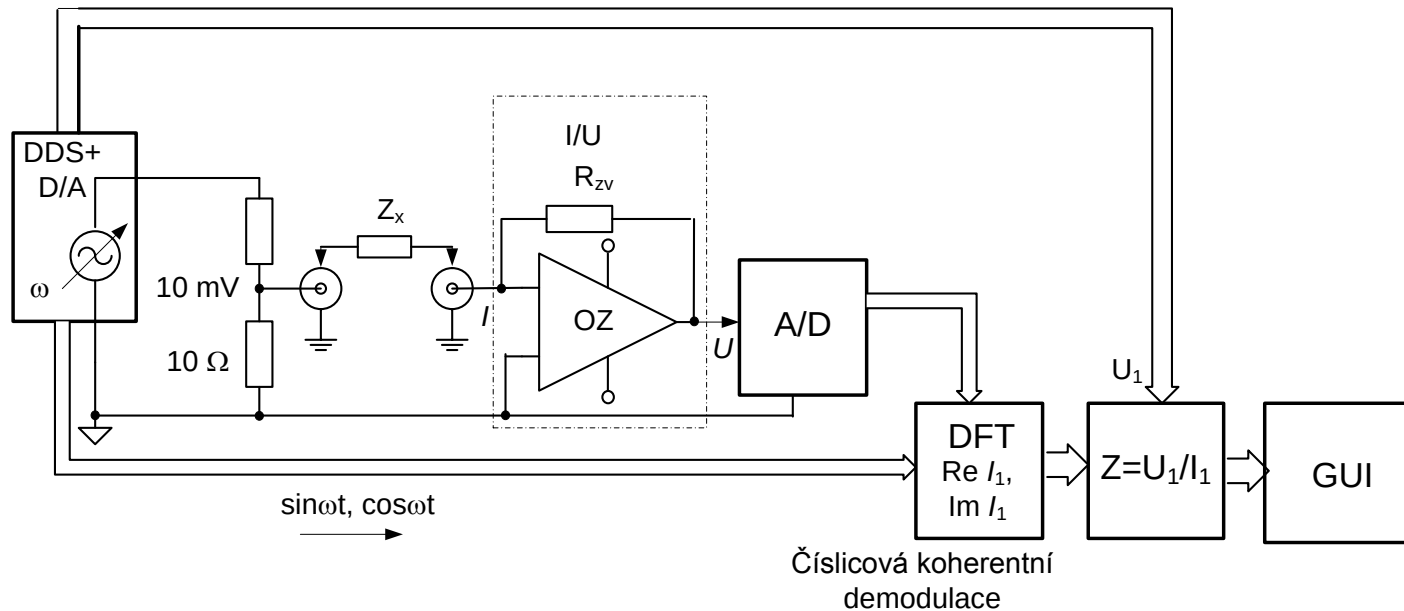
18.11.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

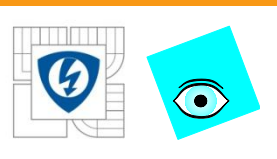


Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

Implementace IO AD5934 pro měření impedance buněk



Poznámky



Příklady aplikací koherentních metod v měřicí technice

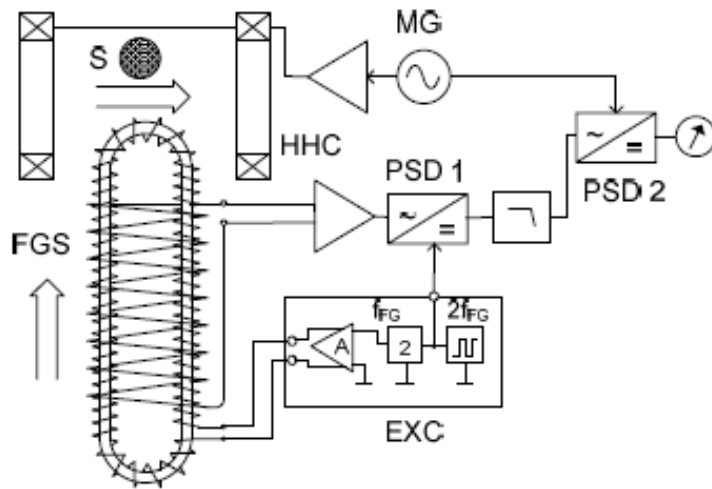


Fig. 1 – Block diagram of a typical setup measuring AC magnetization of a sample using fluxgate

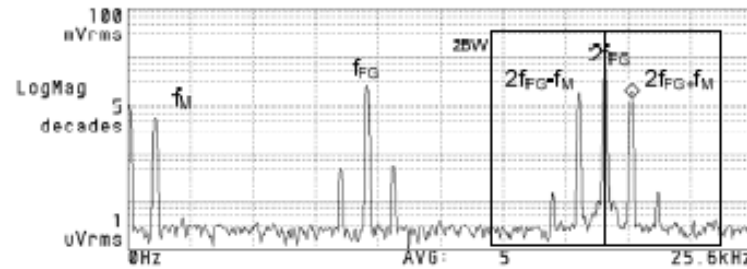


Fig. 2 – Spectrum of fluxgate sensor output signal measuring AC field

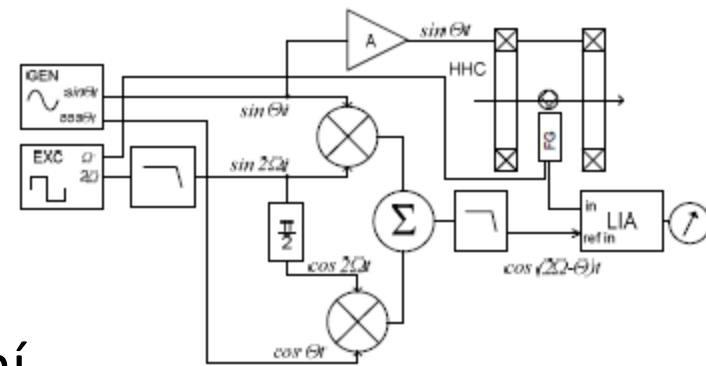
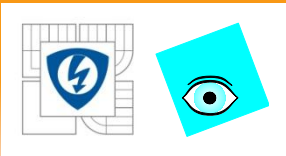


Fig. 4 – Method 2 – direct

Aplikace KD pro magnetická měření



Koherentní demodulace a její využití v měřicí technice

- Vývoj-problémy-náměty
- Metody zajištění koherence- zdroj signálu a KD vzdáleny