



2. PARAMETRY SENZORŮ

Přednášející: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

husak@fel.cvut.cz

tel.: 2 2435 2267

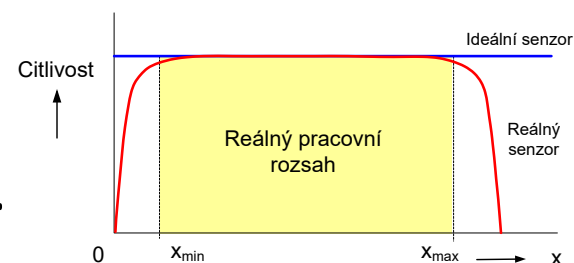
<http://micro.feld.cvut.cz>

Cvičící:

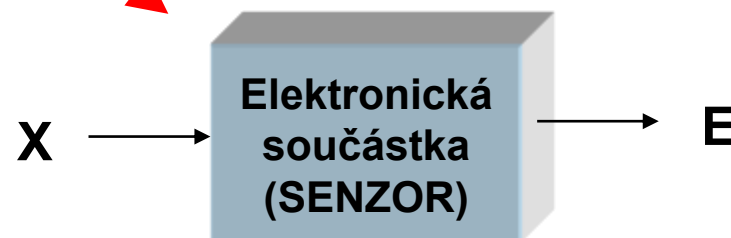
Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

Ing. Tomáš Teplý

Ing. Alexandr Laposa, Ph.D.



Senzor \equiv elektronická součástka (převodník)



Základní typy parametrů:

- Statické
- Dynamické
- Prostředí

? Napište základní typy parametrů charakterizujících senzor (3 typy)

STATICKÉ parametry senzorů



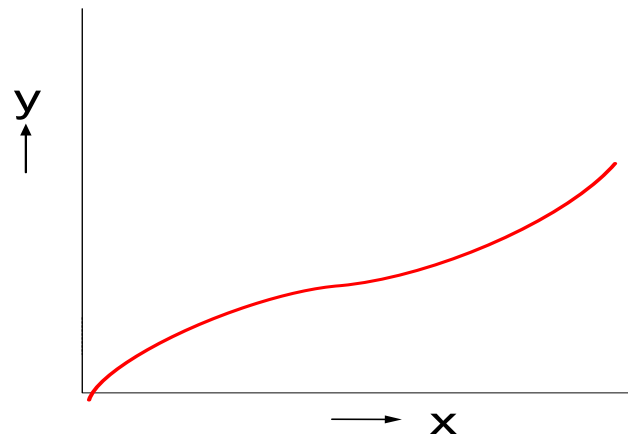
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">■ Přesnost■ Rozlišovací schopnost■ Citlivost■ Selektivita■ Práh citlivosti■ Práh měření■ Linearita■ Zkreslení | <ul style="list-style-type: none">■ Šum■ Hystereze■ Reprodukovatelnost■ Výstupní impedance■ Nestabilita a drift■ Rozsah měření■ |
|--|---|

? Vyjmenujte alespoň 5
základních statických
parametrů
charakterizujících senzor

Převodní charakteristika

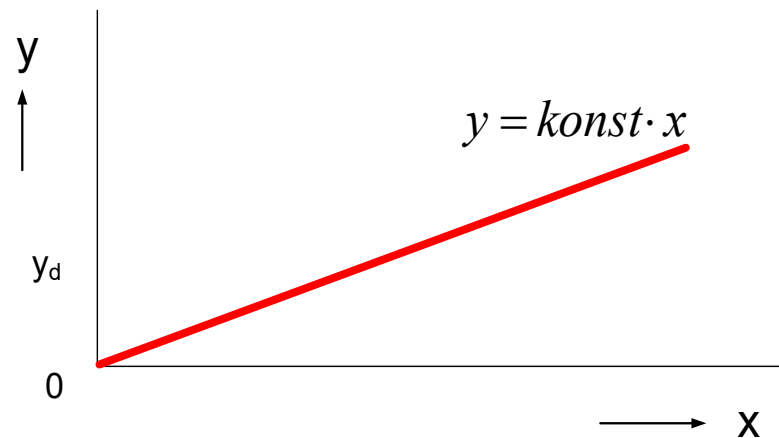
Obecná statická převodní charakteristika

$$y = f(x)$$



Ideální lineární převodní charakteristika

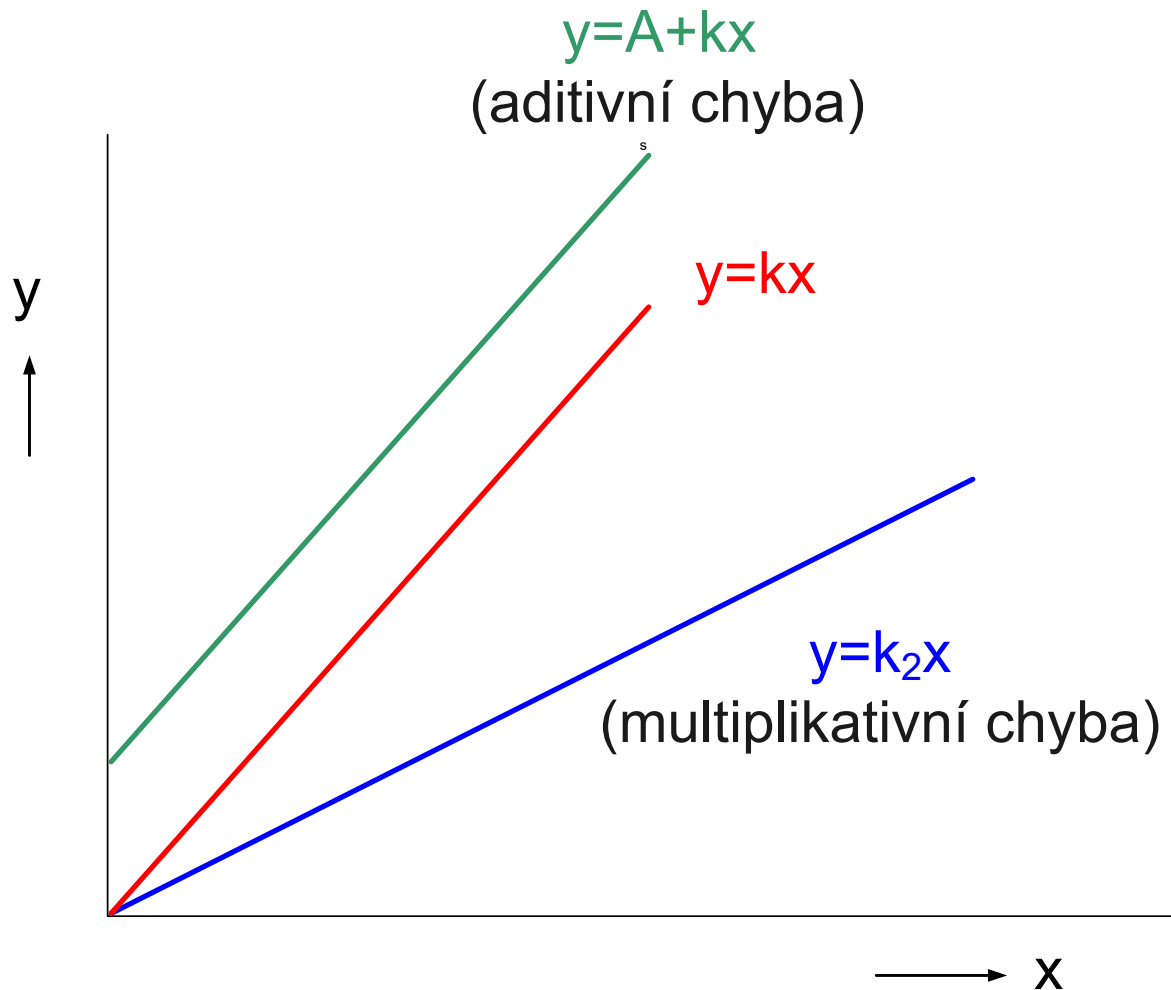
$$y = konst \cdot x$$



? Nakreslete obecnou a ideální převodní charakteristiku senzoru, napište základní rovnice popisující charakteristiky

Aditivní a multiplikativní chyby

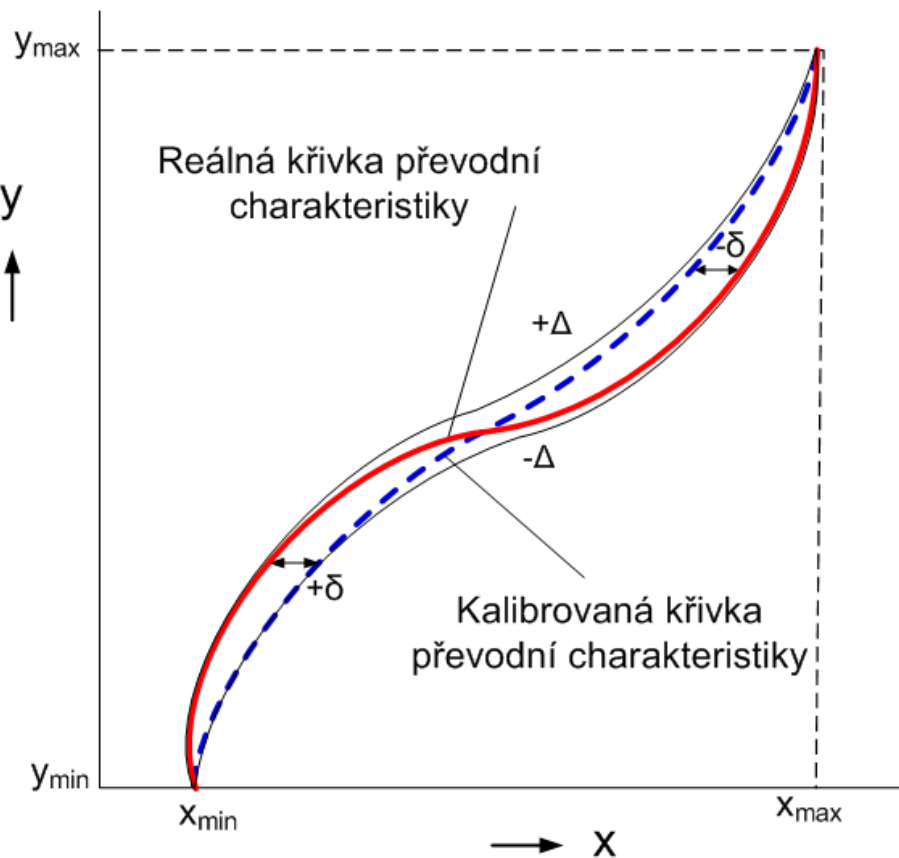
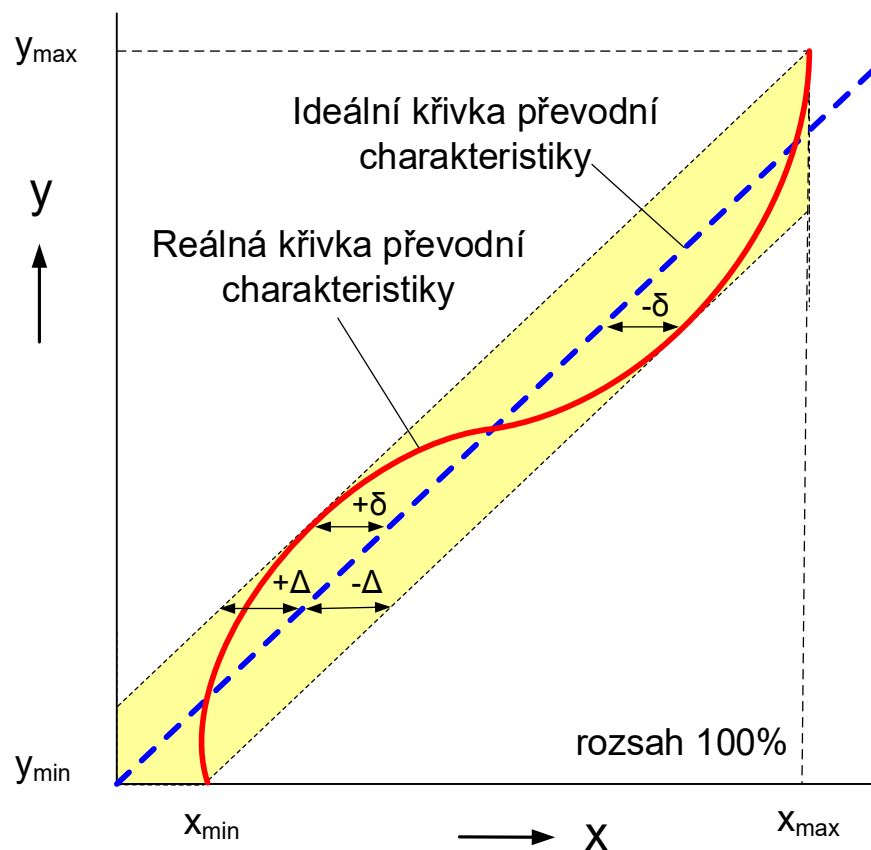
Zkouška



? Nakreslete princip vzniku
aditivní a multiplikativní chyby



Přesnost vyjádřená graficky (kalibrace (cejchování) = zvýšení přesnosti)



δ odchylka skutečné od teoretické hodnoty
 Δ odchylka teoretické od tolerančního pásma

$$\delta = X_m - X_t$$

? Nakreslete princip kalibrace nelineárních senzorů



Přesnost (relativní chyba senzoru)

$$\varepsilon_a = 100 \cdot \frac{X_m - X_t}{X_t} \quad (\%)$$

m measurement,

t true (skutečná)

Přesnost vyjádřená na plný rozsah výstupu

$$\varepsilon_f = 100 \cdot \frac{X_m - X_t}{X_{\text{FSO}}} \quad (\%)$$

FSO ... Full Scale Output

? Napište matematické vztahy
pro definice přesnosti



Rozlišovací schopnost

$$R_{\max} = 100 \cdot \frac{\Delta X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (\%)$$

? Napište matematický vztah pro rozlišovací schopnost

Průměrná rozlišovací schopnost

$$R_{\text{av}} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n \cdot (X_{\max} - X_{\min})} \quad (\%)$$

? Napište matematický vztah pro průměrnou rozlišovací schopnost

n - počet úseků



Citlivost

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

platí v daném pracovním bodě P_0

Selektivita

$$S_{\alpha} = \frac{\Delta y}{\Delta x_{\alpha}}$$

x_{α} je působící fyzikální veličina α

S_{α} je citlivost na veličinu α

Citlivost multisenzorového systému

$$S_{\alpha\beta} = \frac{\Delta y_{\beta}}{\Delta x_{\alpha}}$$

α - působící fyzikální veličina

β - β -itý senzor

? Napište matematické vztahy pro citlivost, selektivitu, citlivost multisenzorového systému

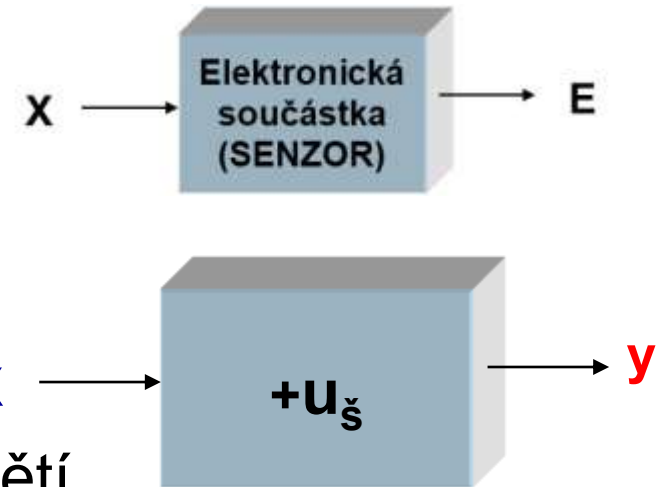


Minimální detekovatelný signál (MDS=minimum detectable signal)

$$y = f(x + u_{\text{š}})$$

$$y = \sqrt{u_{\text{š}}^2}$$

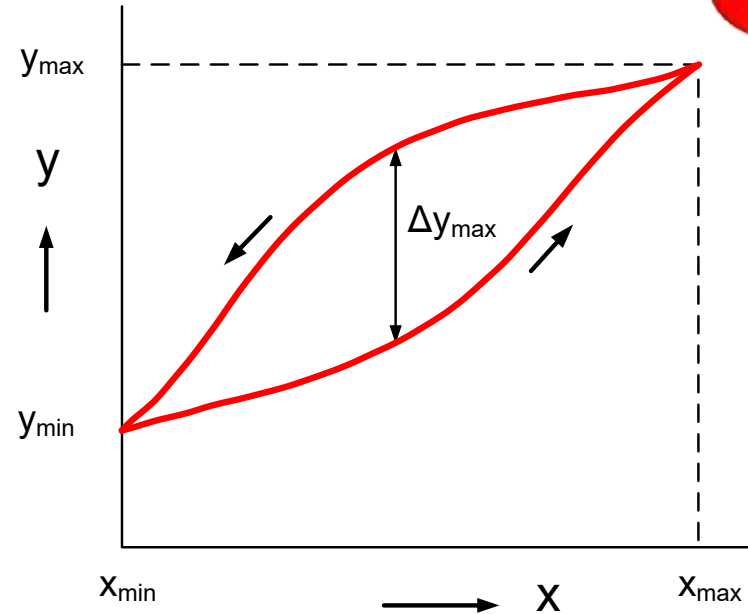
$u_{\text{š}}$ je šumové napětí



$$y \approx u_{\text{š}}$$

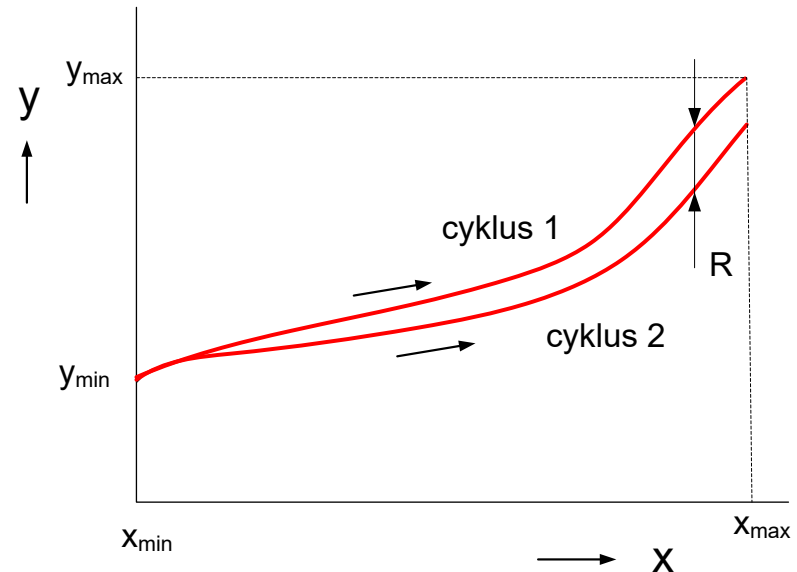
? Napište vztah pro minimální detekovatelný signál

Hystereze



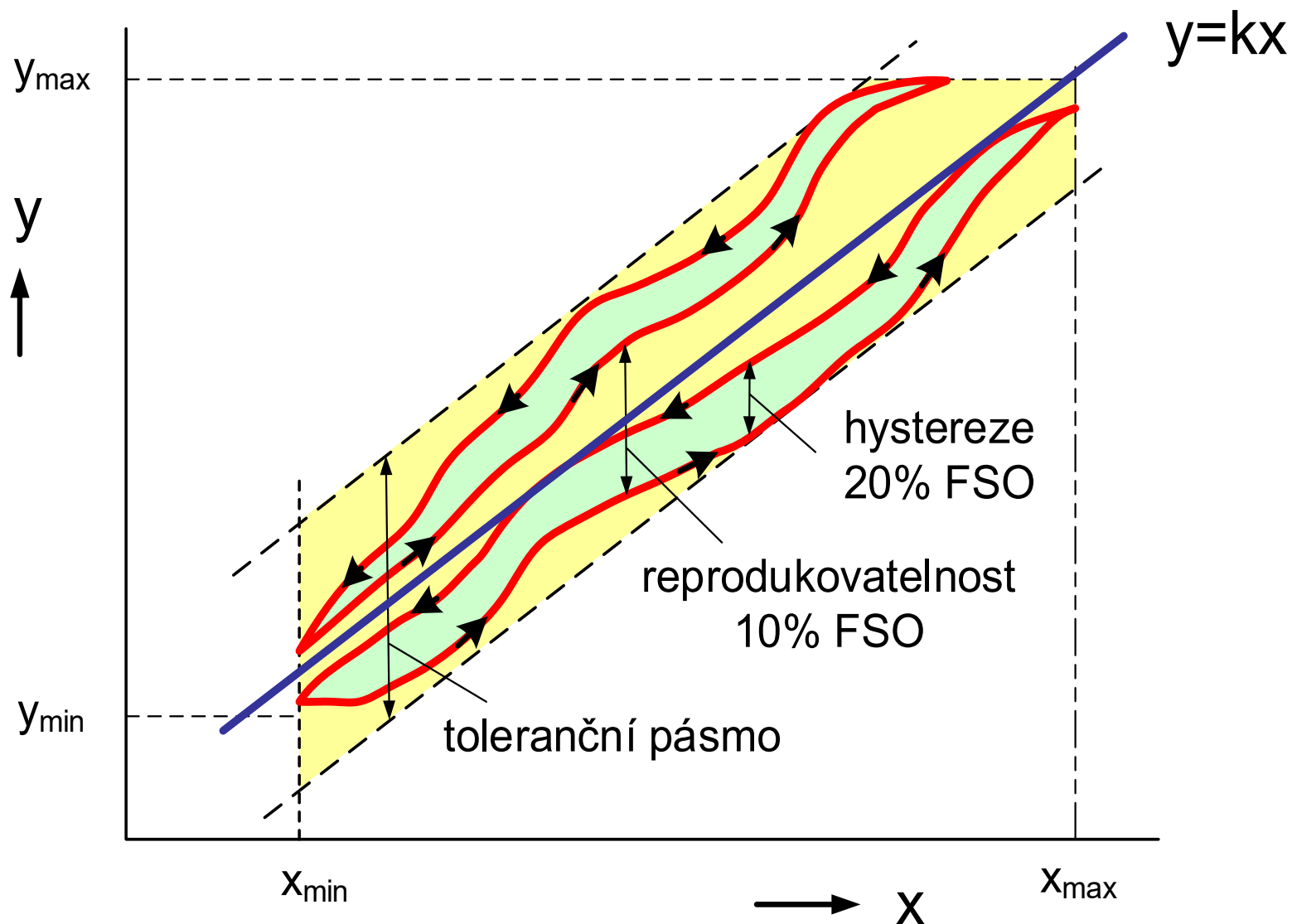
Reprodukovatelnost

? Nakreslete křivky vyjadřující hysterezi a reprodukovatelnost

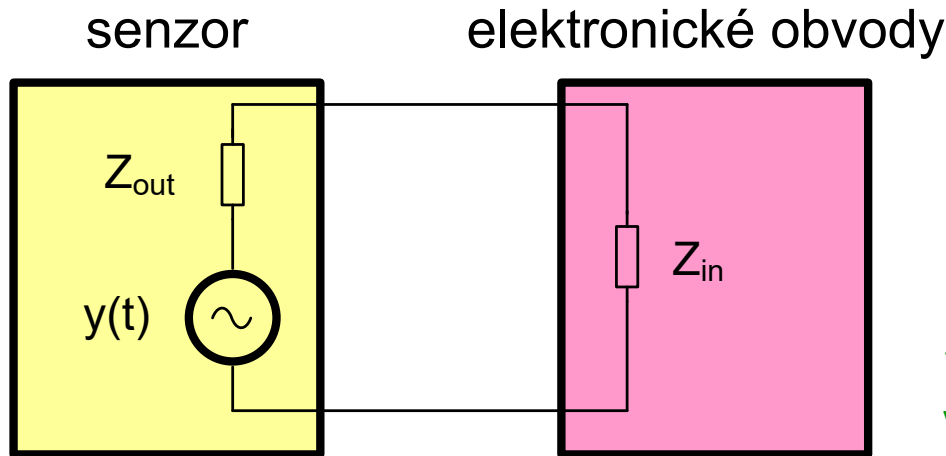


Hystereze, reprodukovatelnost – vzájemné propojení

Možnosti kombinace obou parametrů u jednoho senzoru



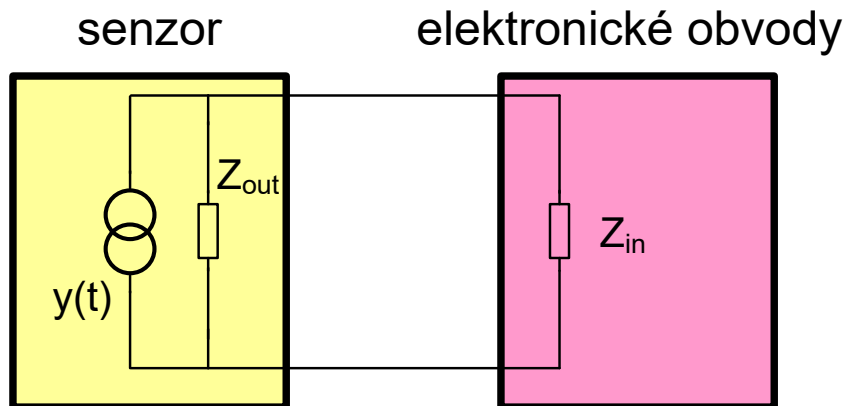
Senzor s napěťovým výstupem



$$Z_{in} \gg Z_{out}$$

? Nakreslete elektrický model senzoru s napěťovým výstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedancí senzoru s napěťovým výstupem a vstupní impedancí zátěže

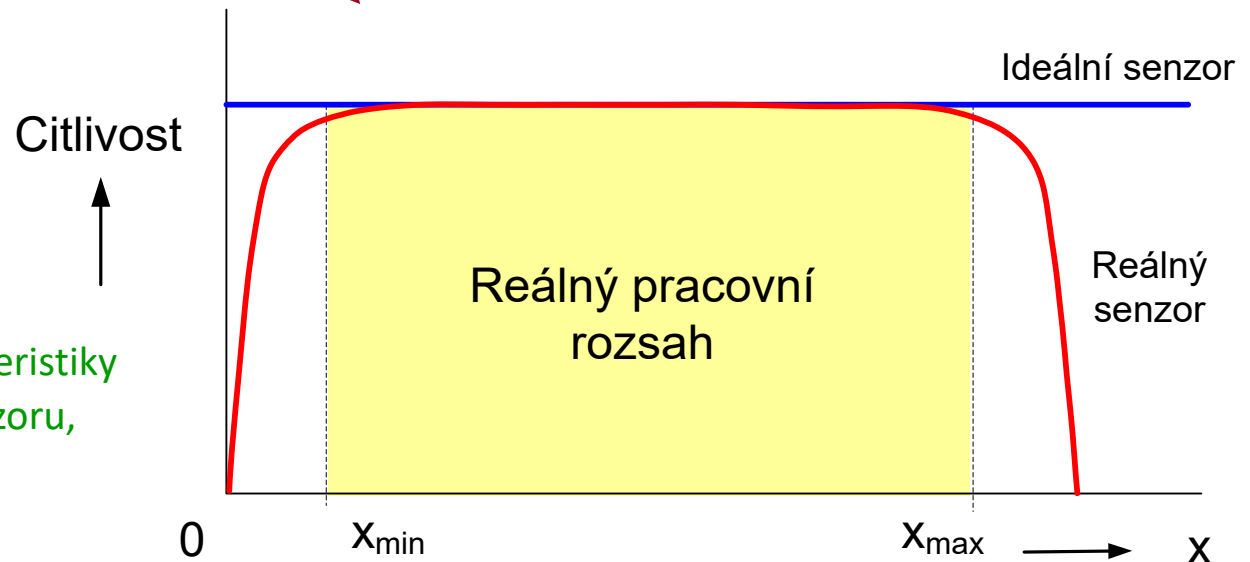
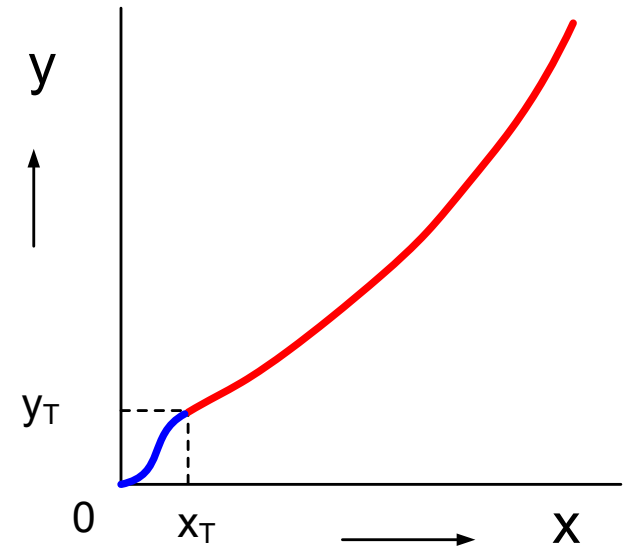
Senzor s proudovým výstupem



$$Z_{in} \leq Z_{out}$$

? Nakreslete elektrický model senzoru s proudovým výstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedancí senzoru s proudovým výstupem a vstupní impedancí zátěže

- Práh měření - X_T
- Rozsah měření
- Šum
- Nestabilita a drift
- atd.



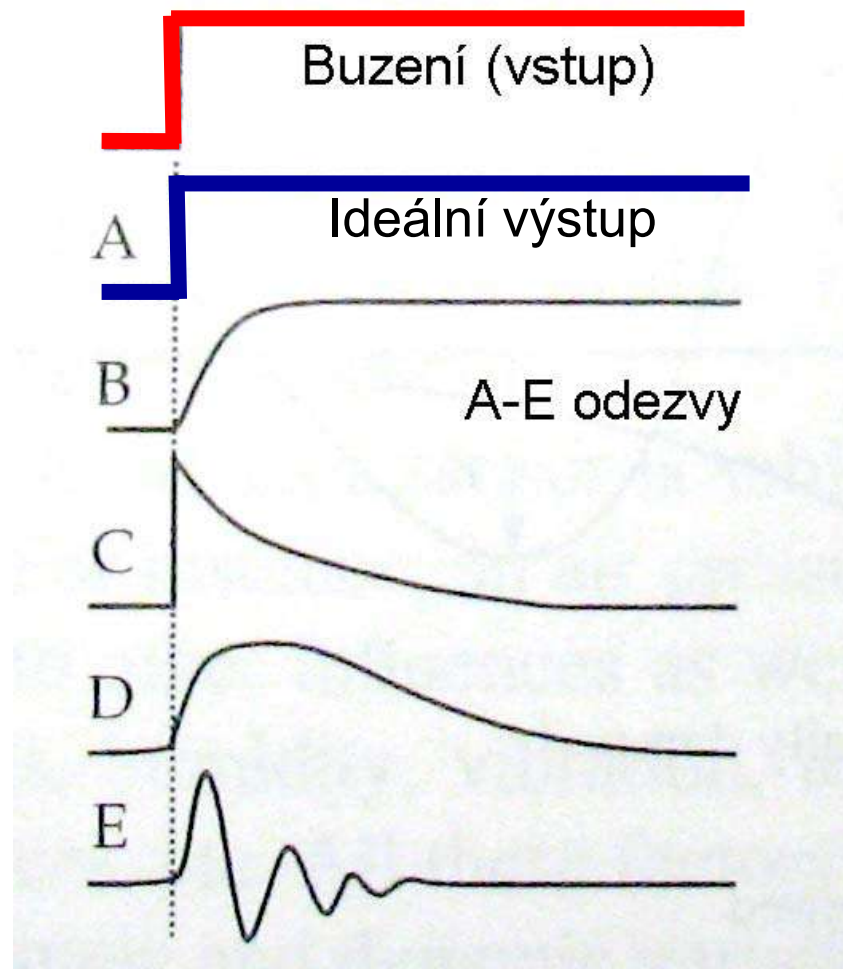
? Nakreslete a popište charakteristiky včetně os: pracovní rozsah senzoru, práh měření

DYNAMICKÉ parametry senzorů



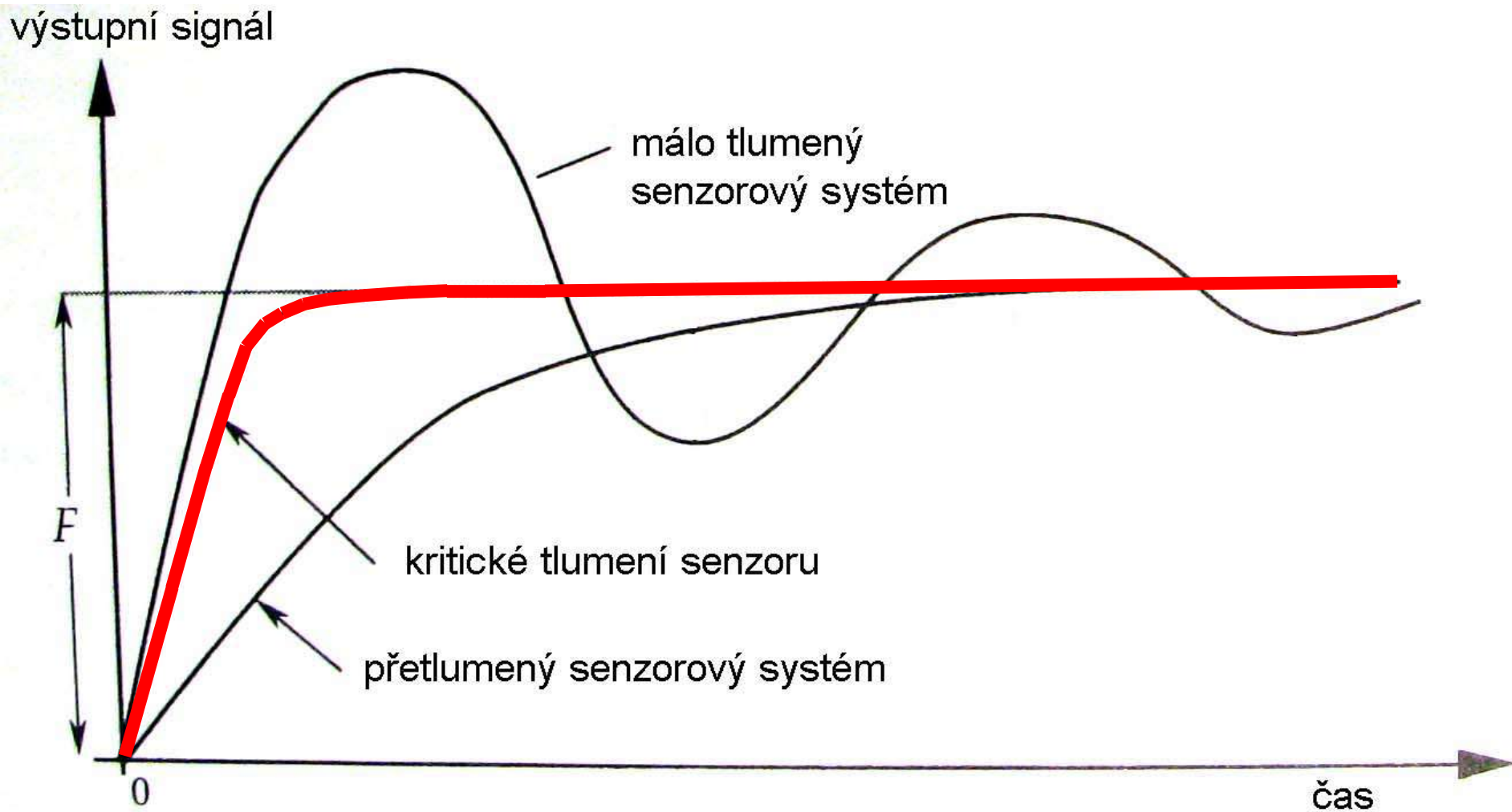
Dynamická odezva výstupního signálu senzoru

Různý tvar časového průběhu (závisí na vlastnostech senzoru)

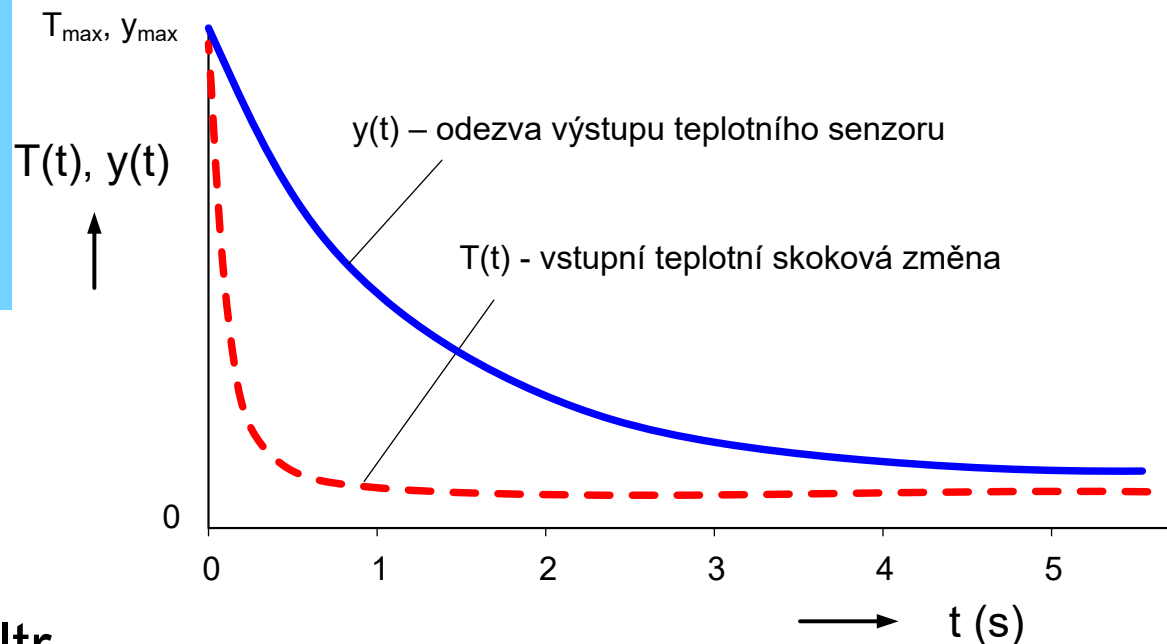


Dynamická odezva senzoru (vliv tlumení)

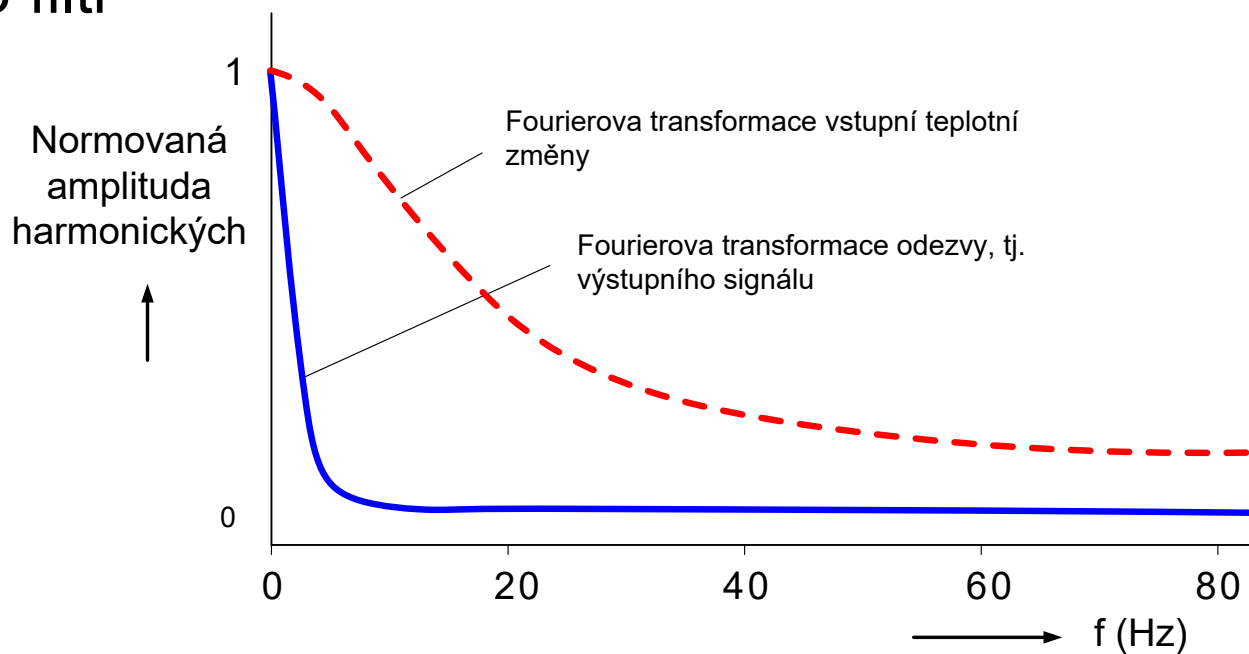
Typický příklad výstupního signálu - Útlum kmitání výstupního signálu



Dynamický signál (buzení a odezva na teplotní impuls)



Senzor se chová jako filtr



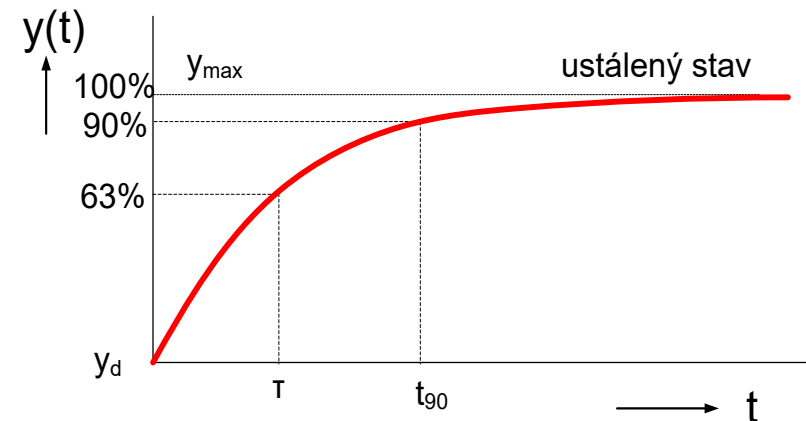
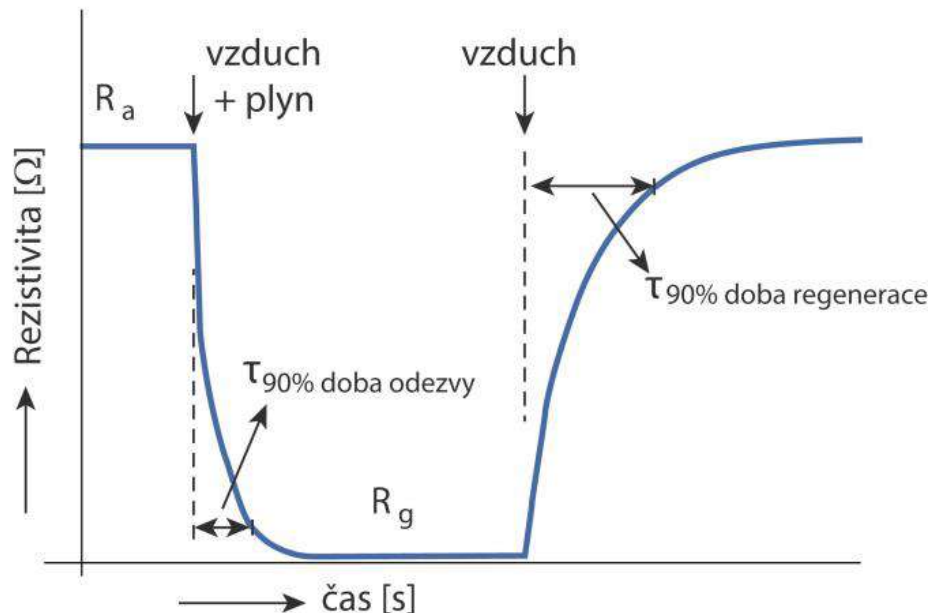
Doba odezvy, doba regenerace

Doba odezvy

čas, při skokové změně veličiny z nuly (hodnota R_a) na hodnotu R_g .
Vzhledem k exponenciálnímu charakteru a dlouhé době ustálení odezvy bývá často stanovován při dosažení 90 % z hodnoty odezvy

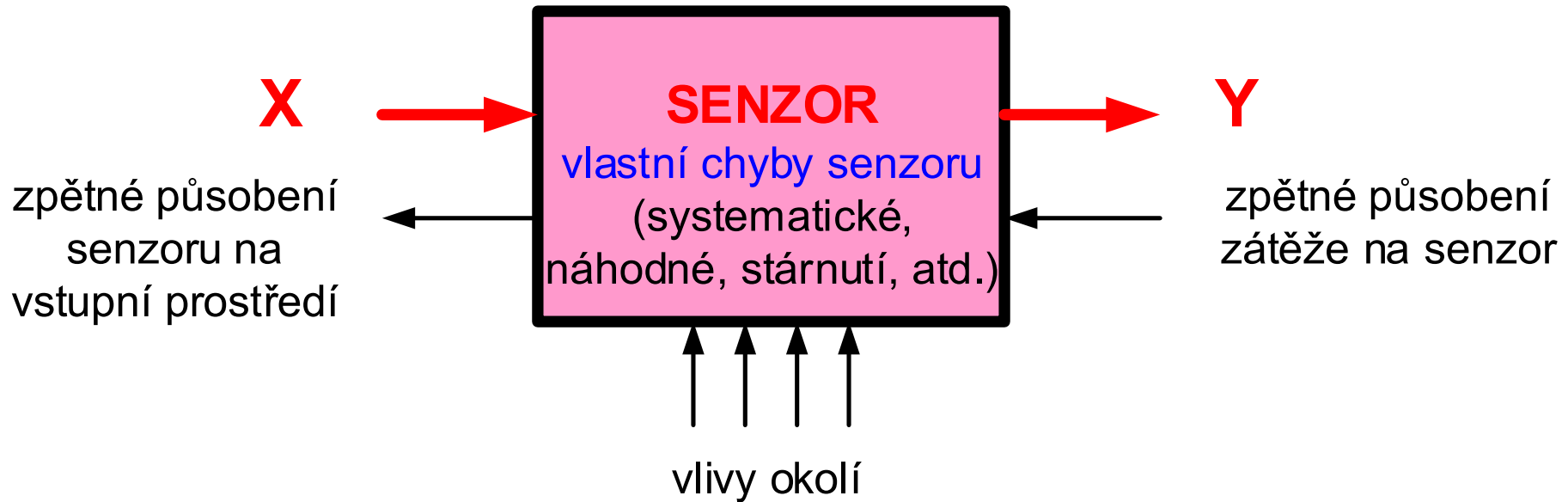
Doba regenerace

čas návratu signálu po detekci zpět na výchozí hodnotu



VLIV PROSTŘEDÍ na chyby senzorů

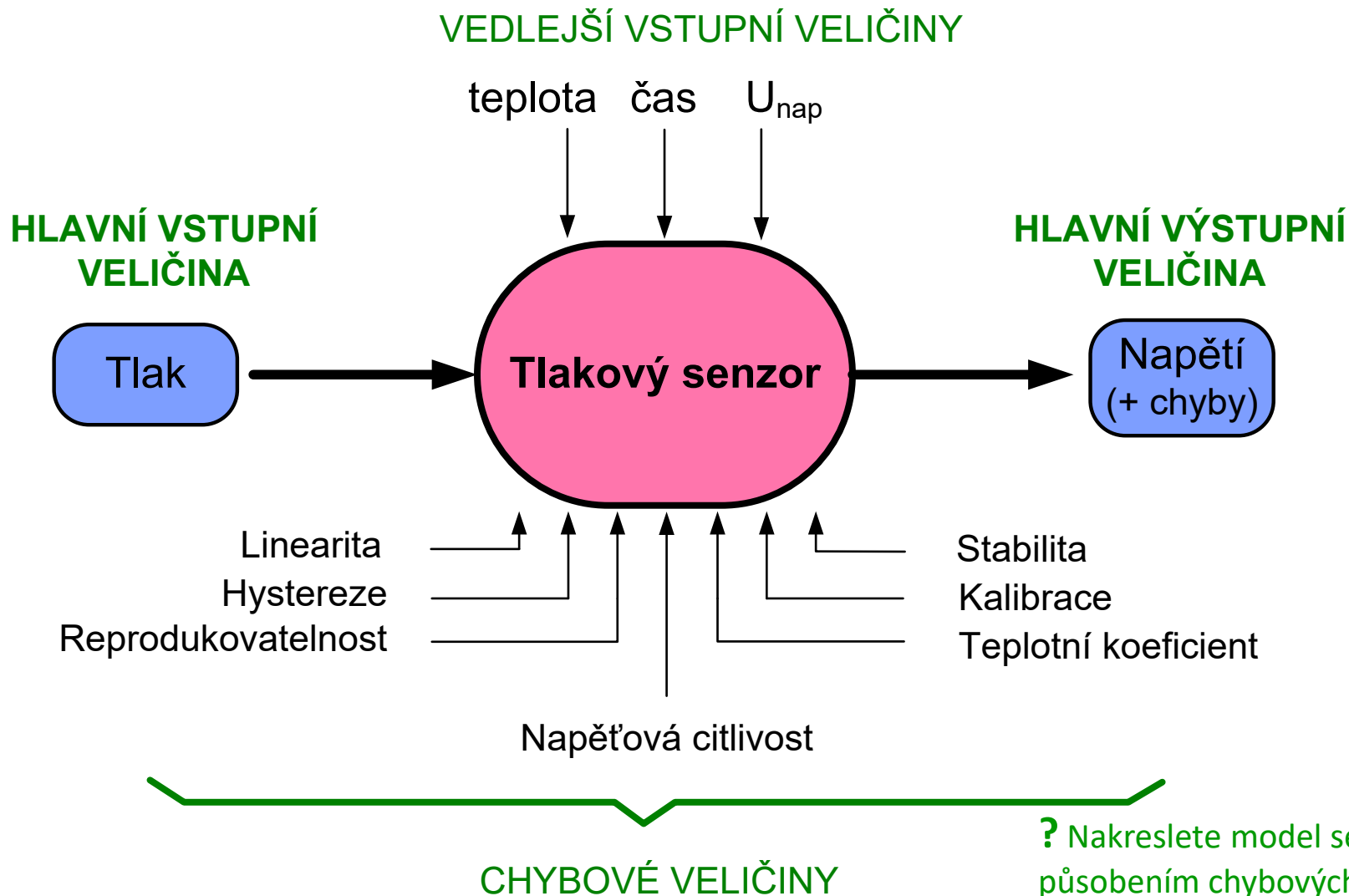




? Nakreslete model senzoru jako black-box s příkladem vstupního a výstupního zpětného působení

Hlavní, vedlejší a chybové veličiny působící na senzor

Zkouška



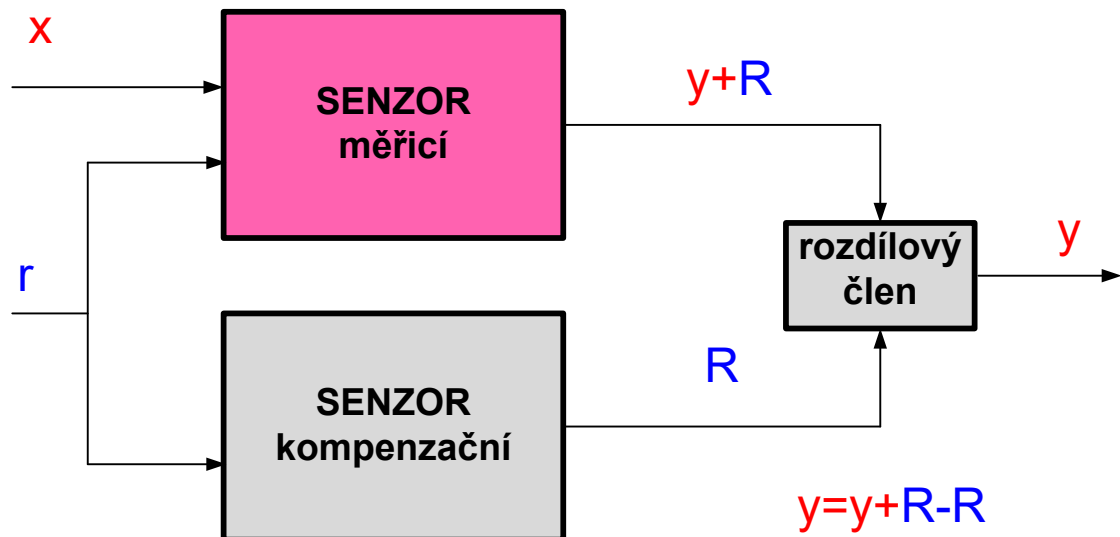
? Nakreslete model senzoru s působením chybových veličin: uveďte příklady chybových veličin, hlavních a vedlejších vstupních veličin



METODY

zmenšování chyb senzorů

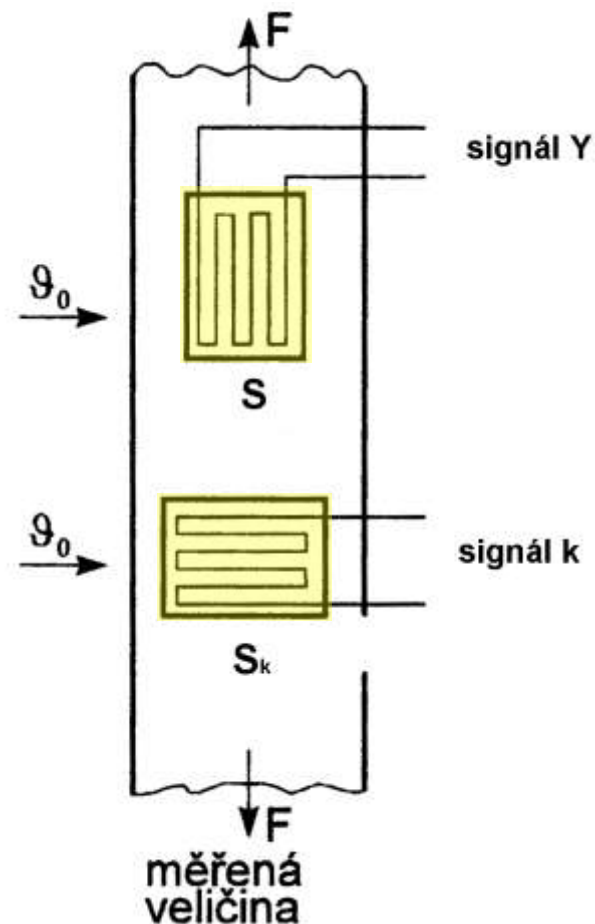


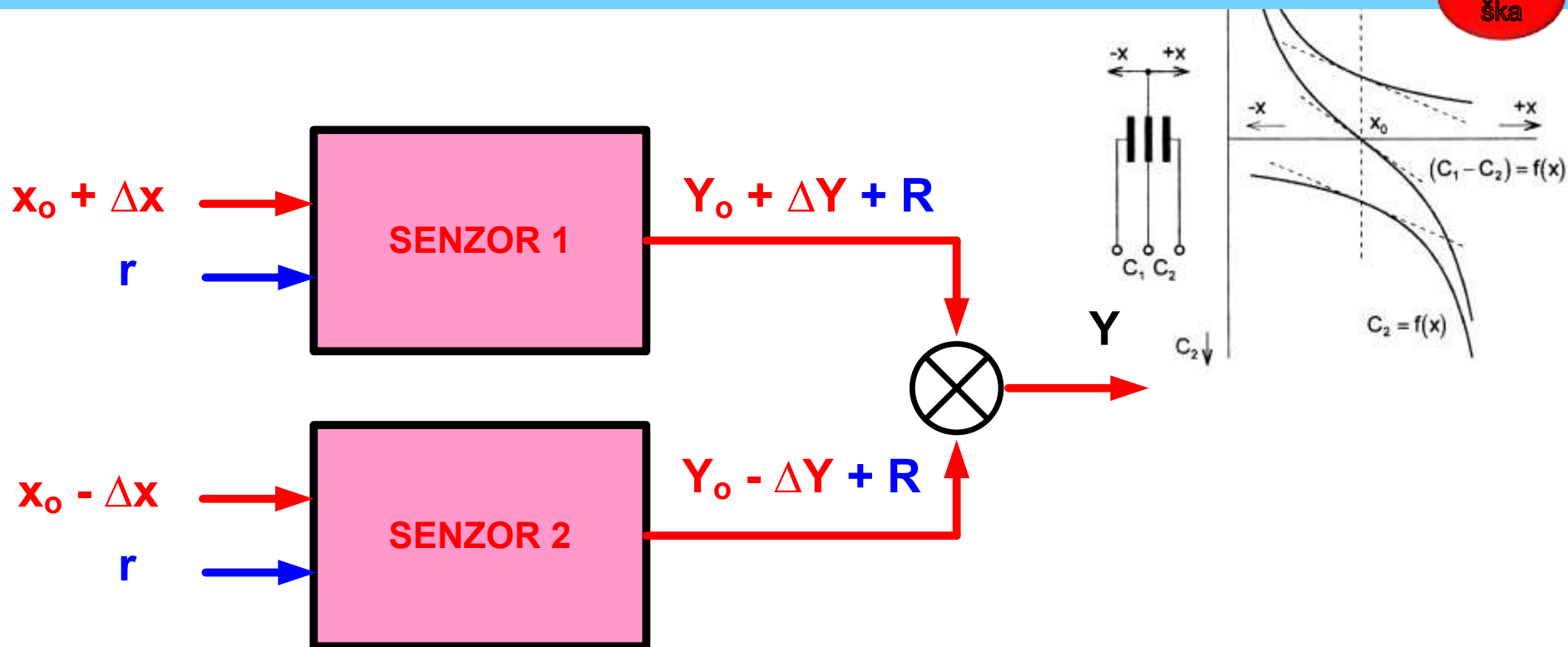


Princip: Použití v případě, že lze rušivou veličinu snímat dalším senzorem /např. teplota).
Vyhodnocení veličiny a korekce ve výstupním členu.

? Nakreslete princip kompenzační metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu teploty na měření)

Příklad

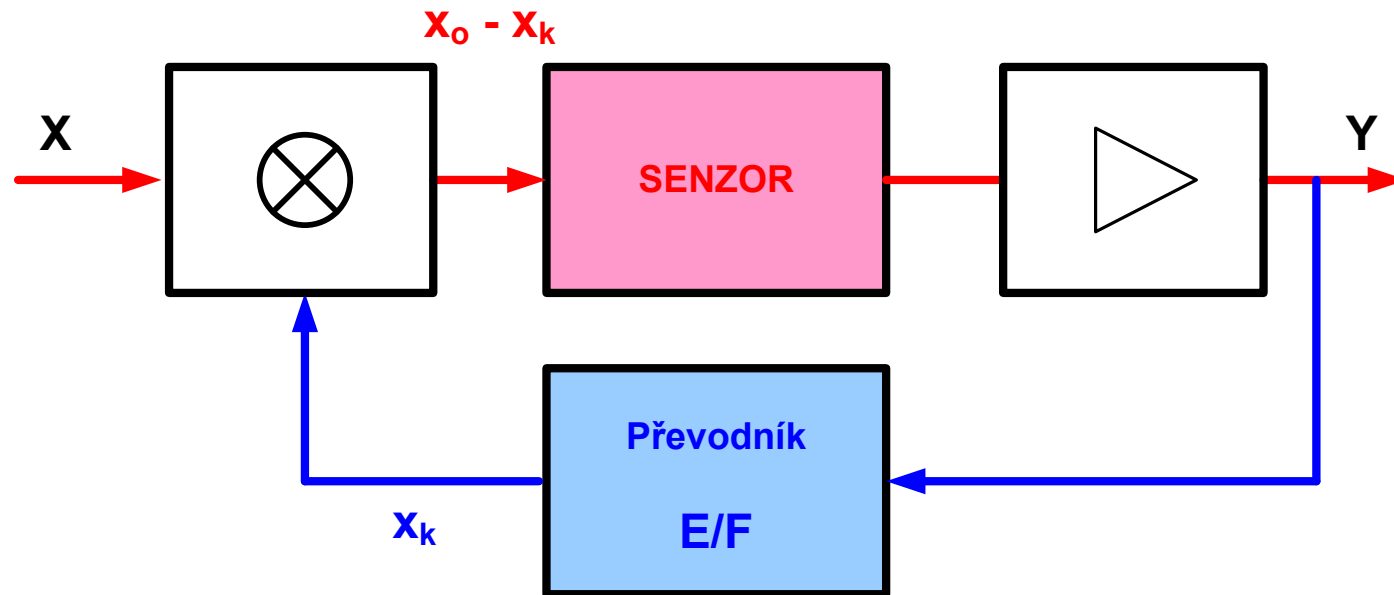




$$Y \approx \cancel{Y_0} + \Delta Y + \cancel{R} - (\cancel{Y_0} - \Delta Y + \cancel{R})$$

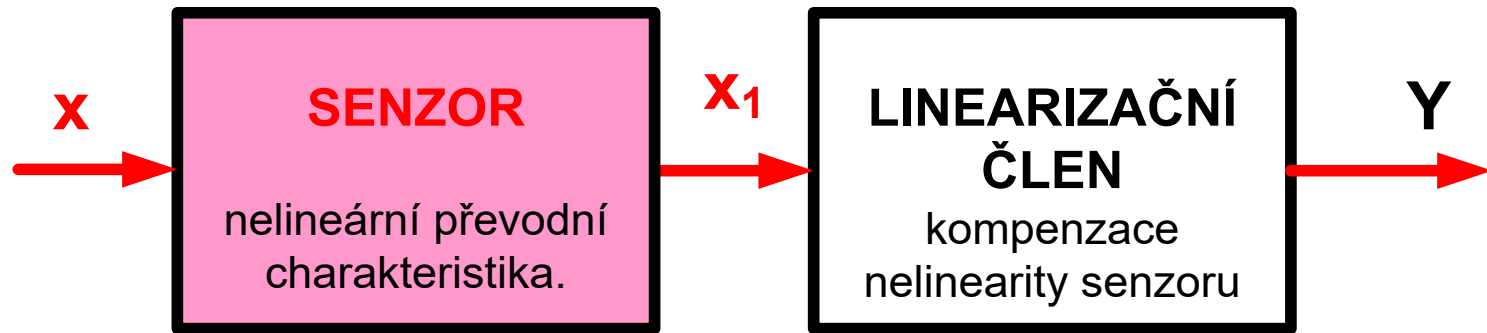
Princip: Dva stejné senzory. Statické charakteristiky jsou totožné. Vstupní signál vstupuje do druhého senzoru s opačným znaménkem. Rušivé signály vstupují se shodným znaménkem.

? Nakreslete princip diferenciální metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu posunutí na měření)



Princip: Kompenzace měřené veličiny zpětnou vazbou. Umožňuj potlačit chybu nelinearit senzorů.

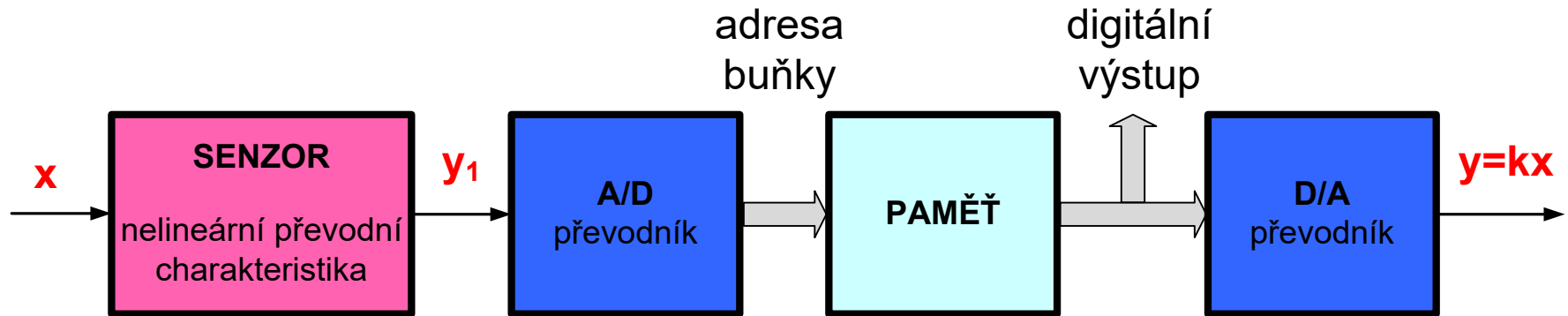
? Nakreslete blokově princip zpětnovazební metody pro zmenšování chyb



Princip: Linearizační člen kompenzuje nelinearitu senzoru, tj. na výstupu teoreticky dostáváme lineární závislost veličiny Y

? Nakreslete blokově princip linearizace sériovým členem pro zmenšování chyb

Linearizace v digitálním tvaru



Princip: Využití uložení konstant v pevné paměti ROM.

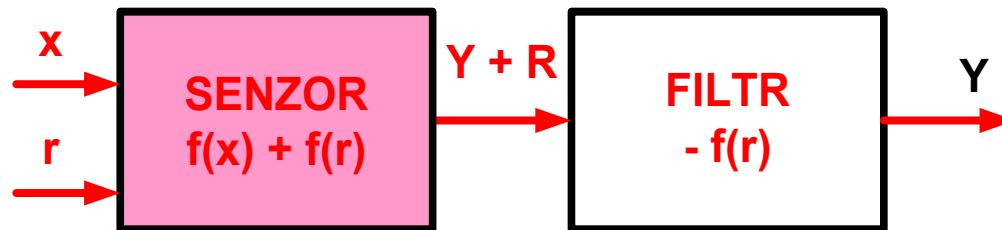
☹ **Nevýhoda:** Výměnou senzoru je nutné vyměnit data v ROM

😊 **Výhoda:** Větší přesnost v porovnání s analogovou linearizací



Filtrace rušivých signálů

a) rušivé kmitočty jiné než aktivní signál – lze odstranit filtry

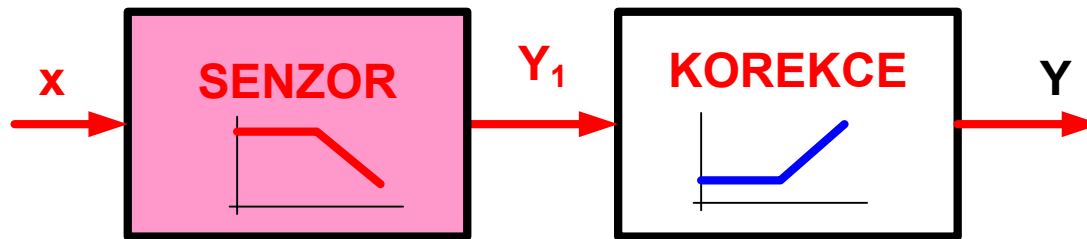


b) rušivé kmitočty ve spektru aktivního signálu –

- 1) vznikají v senzoru – lze řešit pouze pro periodické signály
- 2) vznikají v měřicím řetězci, tj. v elektr. signálu – lze řešit amplitudovou modulací a demodulací

Princip: Potlačení rušivých kmitočtů.





Princip: Korekce kmitočtové charakteristiky

Realizace: např. RC členy (pásmová, dolní nebo horní propust)

? Nakreslete blokově princip korekce dynamické charakteristiky senzoru

Můstky

(pro informaci)



Měřicí můstky

Rovnováha na můstku

$$U_A = U_{cc} \frac{R_a}{R_a + R_b}$$

$$U_B = U_{cc} \frac{R_d}{R_c + R_d}$$

$$U_A = U_B$$

$$\frac{R_b}{R_a} = \frac{R_c}{R_d}$$

WHEATSTONE BRIDGE		$R_d = \frac{R_a R_c}{R_b}$	$\frac{R_b}{R_a} = \frac{R_c}{R_d}$	Principally used to measure Resistance
WIEN BRIDGE		$\omega^2 = \frac{1}{R_d R_c C_d C_c}$ and $\frac{C_d}{C_c} = \frac{R_b}{R_a} - \frac{R_c}{R_d}$ or $C_d^2 = \frac{R_b R_d - R_a R_c}{R_a R_d^2 R_c \omega^2}$ and $C_c^2 = \frac{R_a}{(R_b R_d - R_a R_c) R_c \omega^2}$		Capacitance—Frequency
RESONANCE BRIDGE		$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ $R_d = \frac{R_a R_c}{R_b}$		Inductance
MAXWELL BRIDGE		$L_d = R_a R_c C_b$ $R_d = \frac{R_a R_c}{R_b}$		Inductance
SCHERING BRIDGE		$C_d = \frac{R_b}{R_a} C_b$ $R_d = \frac{C_b}{C_c} R_a$		Capacitance—Inductance
OWEN BRIDGE		$L_d = R_a R_c C_b$ $R_d = \frac{C_b}{C_a} R_c$		Inductance
HAY BRIDGE		$L = \frac{R_a R_c C_b}{1 + (R_b \omega C_b)^2}$ $R_d = \frac{R_a R_b R_c (\omega C_b)^2}{1 + (R_b \omega C_b)^2}$		Inductance



Otázky - 02 parametry senzorů

1. Napište základní typy parametrů charakterizujících senzor (3 typy)
2. Vyjmenujte alespoň 5 základních statických parametrů charakterizujících senzor
3. Nakreslete obecnou a ideální převodní charakteristiku senzoru, napište základní rovnice popisující charakteristiky
4. Nakreslete princip vzniku aditivní a multiplikativní chyby
5. Nakreslete princip kalibrace nelineárních senzorů
6. Napište matematický vztah pro definice přesnosti
7. Napište matematický vztah pro rozlišovací schopnost
8. Napište matematický vztah pro průměrnou rozlišovací schopnost
9. Napište matematické vztahy pro citlivost, selektivitu, citlivost multisenzorového systému
10. Napište vztah pro minimální detekovatelný signál
11. Nakreslete křivky vyjadřující hysterezi a reprodukovatelnost
12. Nakreslete elektrický model senzoru s napěťovým výstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedancí senzoru s napěťovým výstupem a vstupní impedancí zátěže
13. Nakreslete elektrický model senzoru s proudovým výstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedancí senzoru s proudovým výstupem a vstupní impedancí zátěže
14. Nakreslete a popište charakteristiky včetně os: pracovní rozsah senzoru, práh měření
15. Nakreslete model senzoru jako black-box s příkladem vstupního a výstupního zpětného působení
16. Nakreslete model senzoru s působením chybových veličin: uveďte příklady chybových veličin, hlavních a vedlejších vstupních veličin
17. Nakreslete princip kompenzační metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu teploty na měření)
18. Nakreslete princip diferenciální metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu posunutí na měření)
19. Nakreslete blokově princip zpětnovazební metody pro zmenšování chyb
20. Nakreslete blokově princip linearizace sériovým členem pro zmenšování chyb
21. Nakreslete blokově princip korekce dynamické charakteristiky senzoru

