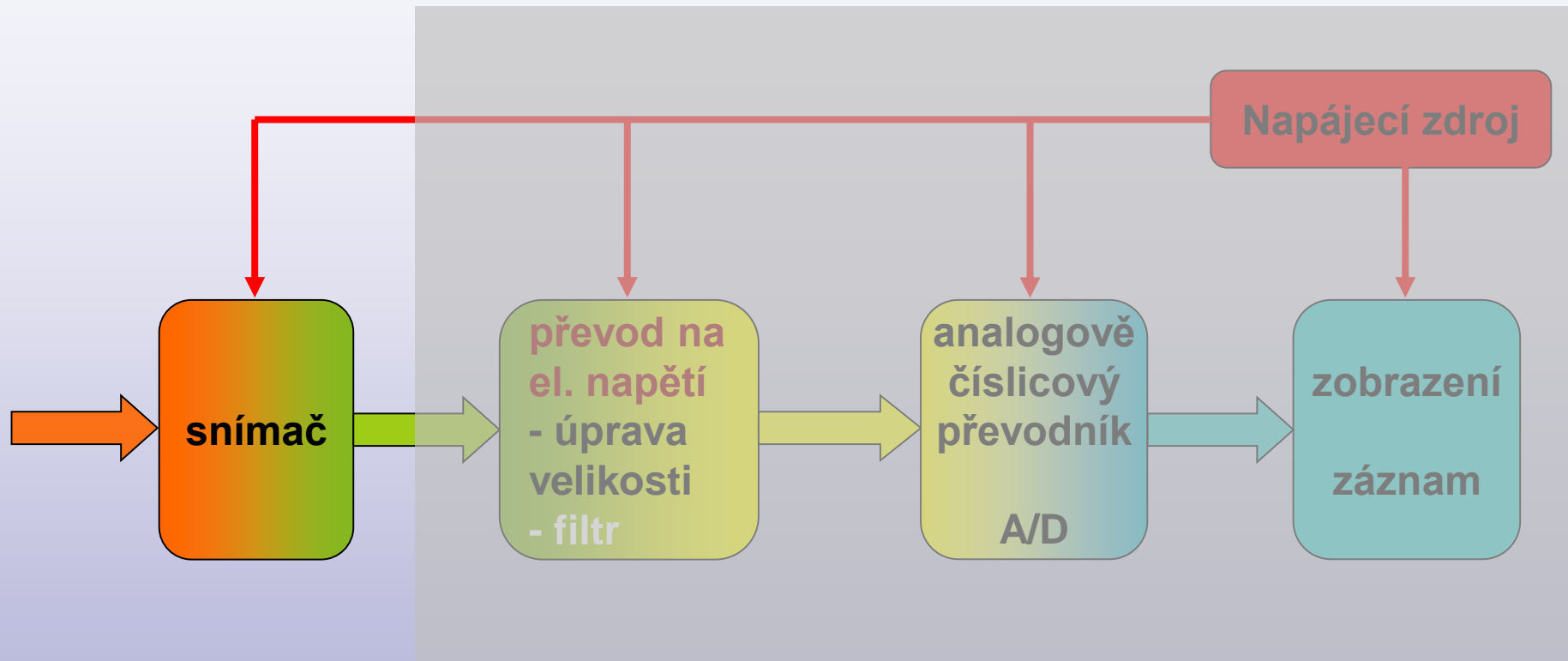


5.1. SNÍMAČ

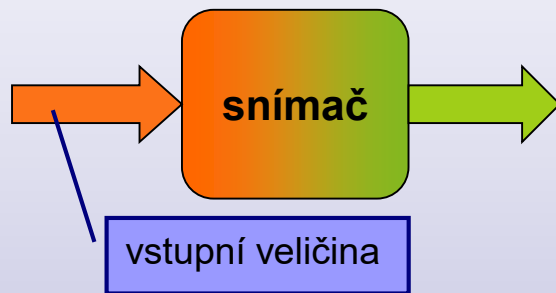


- 5.1.1. Statické vlastnosti snímače
- 5.1.2. Chyby statické převodní charakteristiky snímače
- 5.1.3. Dynamické vlastnosti snímače
- 5.1.4. Shrnutí vlastností snímače

5.1.1. STATICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

▪ rozsah snímače

- udává minimální a maximální hodnotu vstupní sledované veličiny, kterou je snímač schopen zpracovat

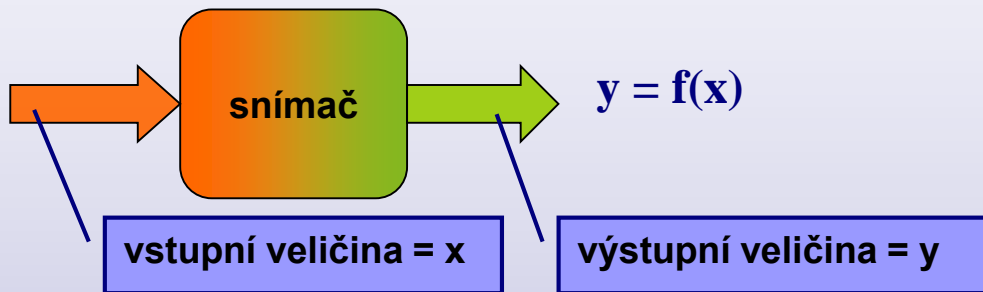


- pokud vstupní veličina leží uvnitř rozsahu snímače je výstupní signál snímače úměrný vstupní veličině
- pokud vstupní veličina leží mimo rozsah snímače:
 - výstupní signál snímače neodpovídá vstupní veličině
 - může dojít ke zničení snímače (většina snímačů umožňuje určité překročení rozsahu, které snímač vydrží bez destrukce)

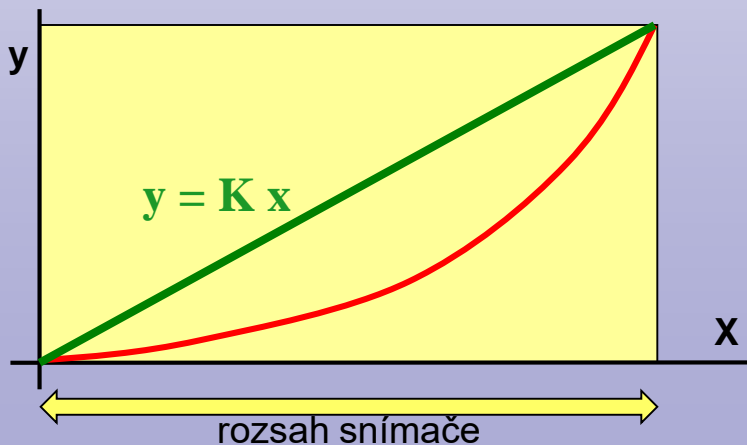
5.1.1. STATICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

- statická převodní charakteristika (citlivost)

- definuje vztah mezi výstupním signálem snímače a vstupní měřenou veličinou

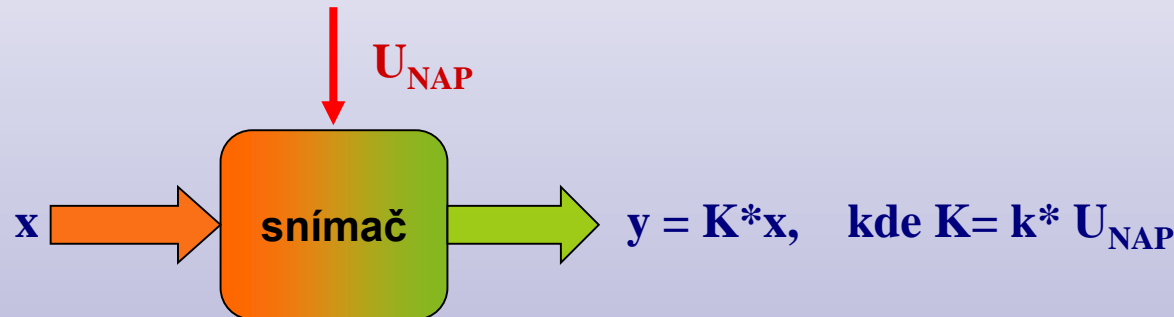


- obecně je to polynom $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$
- ideálně $y = a_1x$, což se většinou zapisuje $y = K x$, kde K je citlivost snímače
- platí pouze, pokud je vstupní veličina uvnitř rozsahu!!!!



5.1.1. STATICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

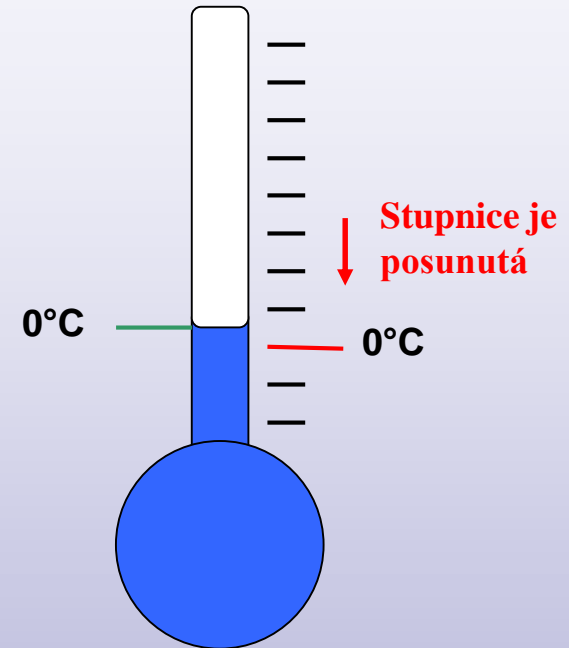
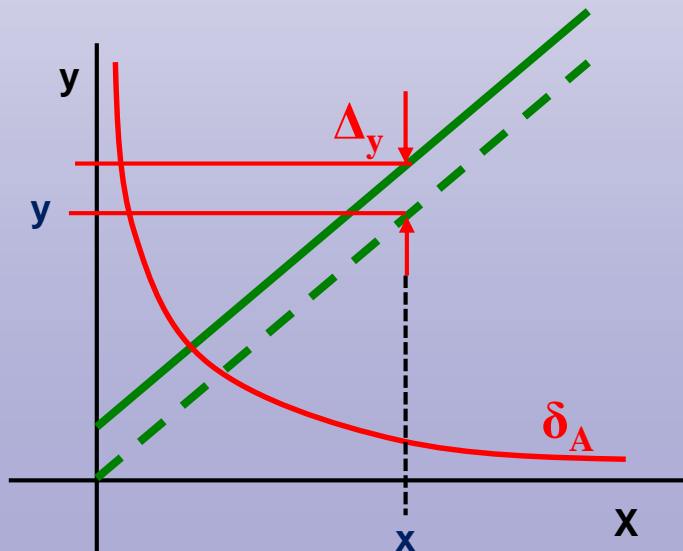
- příklady uvádění těchto hodnot na snímačích:
 - vstupní rozsah + citlivost rozsah: 0 - 100°C, 5mV/°C
 - vstupní rozsah + výstupní rozsah rozsah: 0 - 100°C, výstup: 0–500mV
- u některých snímačů citlivost K závisí přímo úměrně na napájecím napětí (např. všechny snímače založené na tenzometrickém můstku)



- údaj na snímači rozsah: 10kN, výstup 2mV/V
 - znamená, že při maximální hodnotě veličiny na vstupu bude na výstupu udávaná hodnota na každý jeden Volt napájení
 - tedy pro výše uvedený rozsah 2mV/V bude na výstupu snímače pro max. sílu 10kN
 - při napájení 5V hodnota 10mV (5x2), tedy citlivost $K = 1\text{mV/kN}$
 - při napájení 10V hodnota 20mV (10x2), tedy citlivost $K = 2\text{mV/kN}$

5.1.2. CHYBY STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE

- **aditivní chyba (chyba nuly) δ_A**
 - nulovému vstupu neodpovídá nulový výstup
 - tedy $y = K x + q$
 - odchylka od správné hodnoty $\Delta y = q$
 - odchylka je konstantní přes celý rozsah
- **výpočet chyby:** $\delta_A = \frac{\Delta y}{y} (* 100 [\%])$
- na ovlivnění výsledku se projeví hyperbolicky



Příklad:

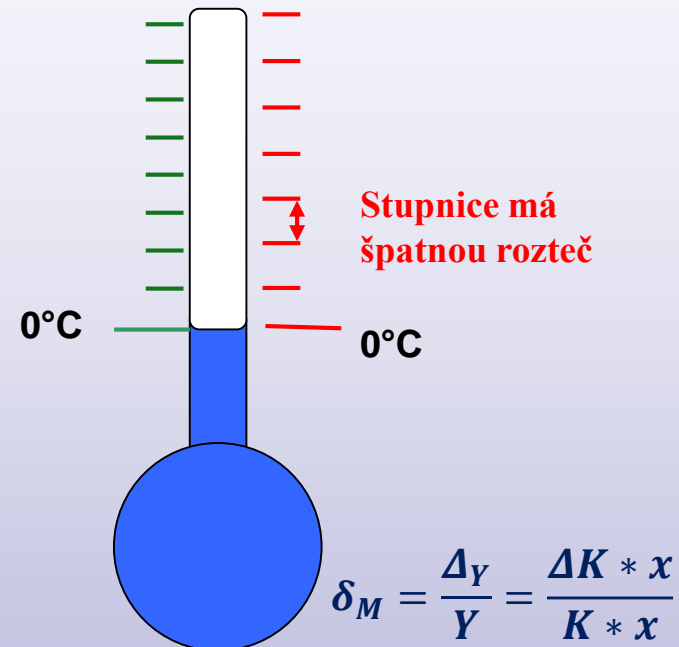
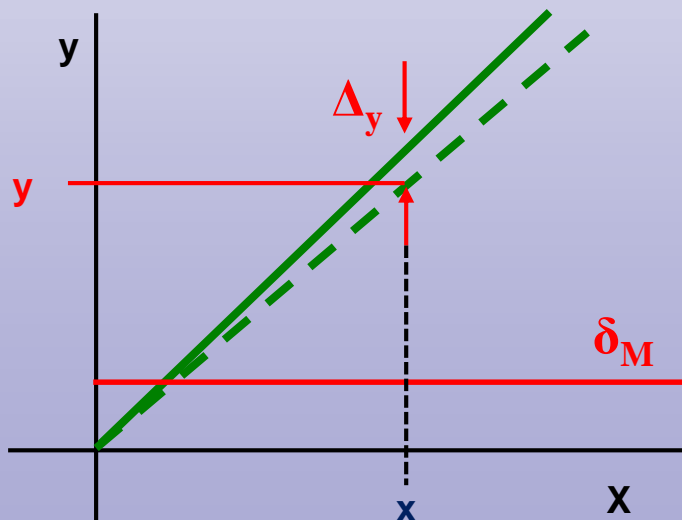
rozsah teploměru je 0 až 100°C

chyba nuly, tj. posunutí stupnice je 1°C

skutečnost	teploměr ukazuje	chyba
1°C	2°C	100%
100°C	101°C	1%

5.1.2. CHYBY STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE

- **multiplikativní chyba (chyba citlivosti) δ_M**
 - citlivost není K , ale $K + \Delta K$
 - tedy $y = (K + \Delta K) * x$
 - odchylka od správné hodnoty $\Delta y = \Delta K * x$
 - odchylka se s hodnotou zvětšuje
- výpočet chyby: $\delta_M = \frac{\Delta y}{y} (* 100 [\%])$
- chyba je konstantní přes celý rozsah



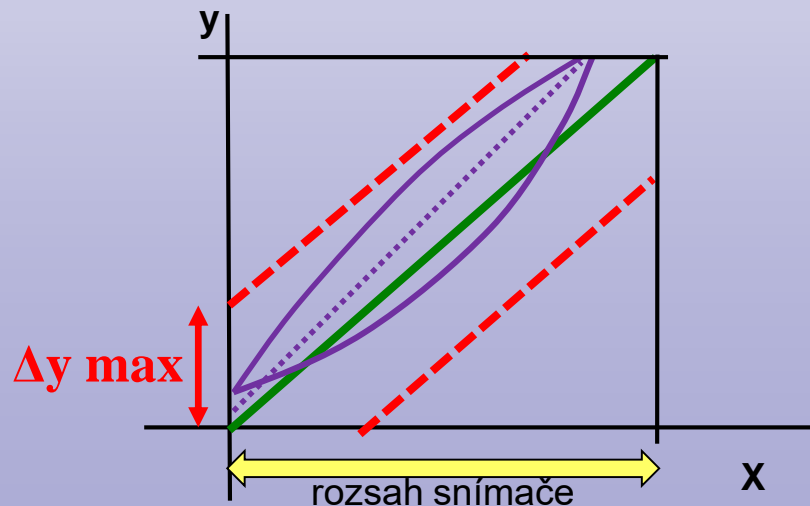
Příklad:

rozsah teploměru je 0 až 100°C
chyba, tj. dílek stupnice je 1,01 °C

skutečnost	teploměr ukazuje	chyba
1°C	1,01°C	1%
100°C	101°C	1%

5.1.2. CHYBY STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE

- další chyby
 - nelinearita, hystereze
- všechny chyby se mohou vyskytovat současně
- chyby se mohou měnit v závislosti na vnějších podmínkách (teplota) a čase
- **obtížné stanovení výsledné chyby**
- **výrobce stanoví pásmo, tj. maximální přípustnou odchylku kam se „vejdou“ všechny chyby v celém rozsahu snímače**
 - z té se stanoví takzvaná relativní chyba snímače (nebo přesnost snímače)



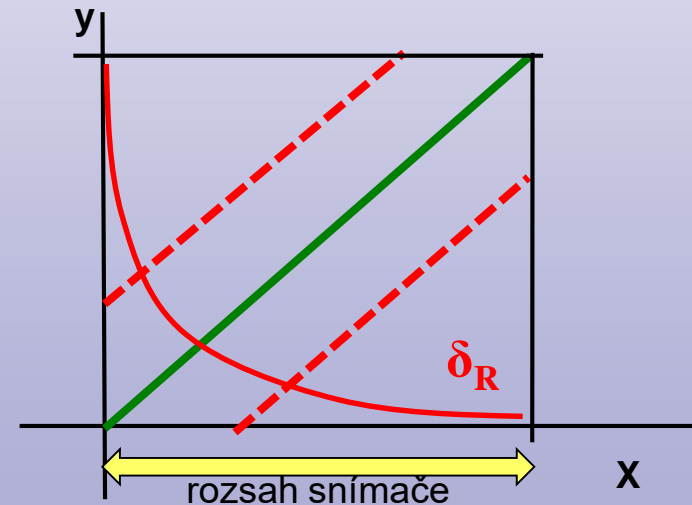
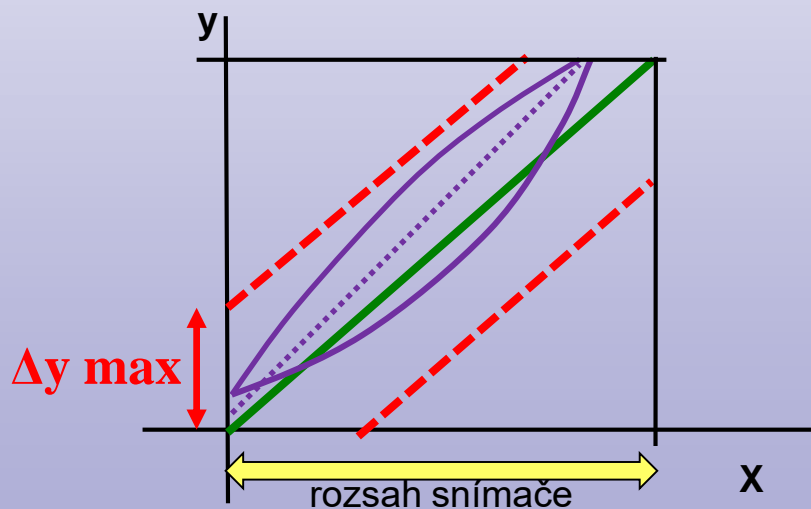
5.1.2. CHYBY STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE

▪ relativní chyba snímače (přesnost snímače)

- stanovena z maximální možné odchylky vztažené k rozsahu

- tedy:
$$\delta_R = \frac{\Delta y_{MAX}}{y_{MAX} - y_{MIN}} = \frac{\Delta y_{MAX}}{ROZSAH\ SNÍMAČE} \quad (* 100 [\%])$$

- odchylka je konstantní přes celý rozsah
- relativní chyba se na ovlivnění výsledku projeví hyperbolicky



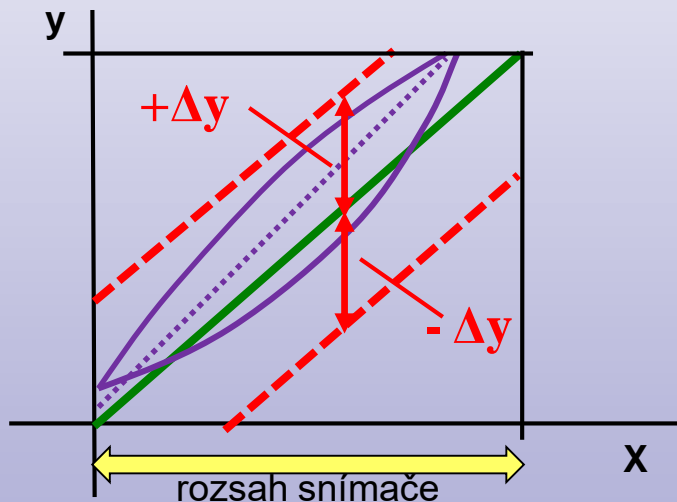
- rozsah použitého snímače by měl odpovídat rozsahu sledované veličiny

5.1.2. CHYBY STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SNÍMAČE

▪ rozlišitelnost

- odchylka způsobená relativní chybou může být kladná nebo záporná
- rozlišitelnost je nejmenší změna snímané veličiny, kterou lze jednoznačně určit

• je dána jako:
$$r = \frac{1}{\frac{y_{MAX}-y_{MIN}}{2*\Delta y_{MAX}} + 1} \cong \frac{2*\Delta y_{MAX}}{y_{MAX}-y_{MIN}} = 2 * \delta_R$$



Příklad:

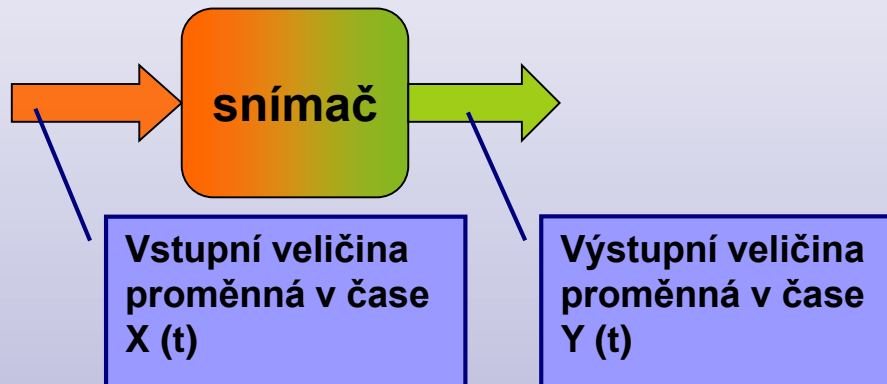
- rozsah teploměru je **0 až 100°C**
- uvedená relativní chyba je **1%**

tedy v celém rozsahu 0-100 °C je přesnost měření 1% z rozsahu, tj. 1 °C

- odchylka od skutečnosti může být **± 1 °C**
- rozlišitelnost je tedy **2 °C**

5.1.3. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

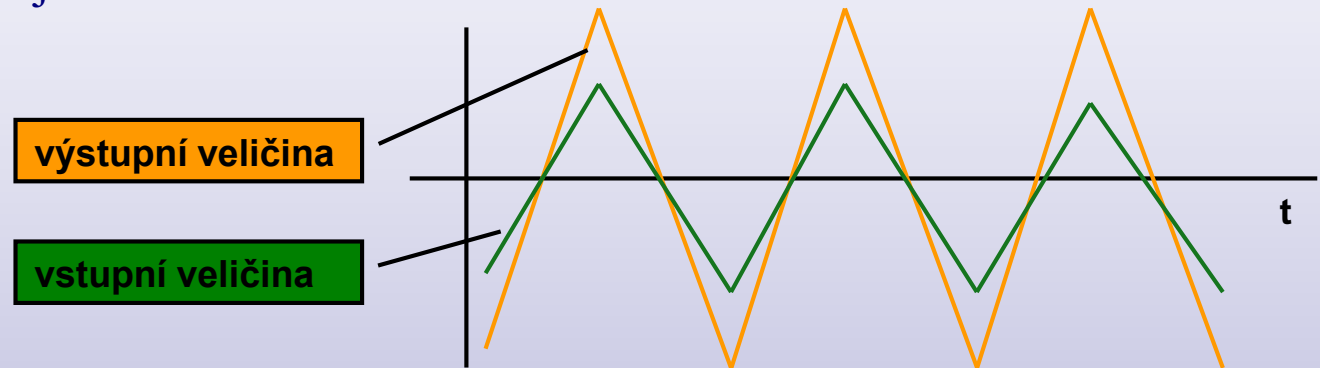
- **přenos**
 - je definován jako poměr výstupní funkce k funkci vstupní
 - tedy $G(t) = \frac{Y(t)}{X(t)}$



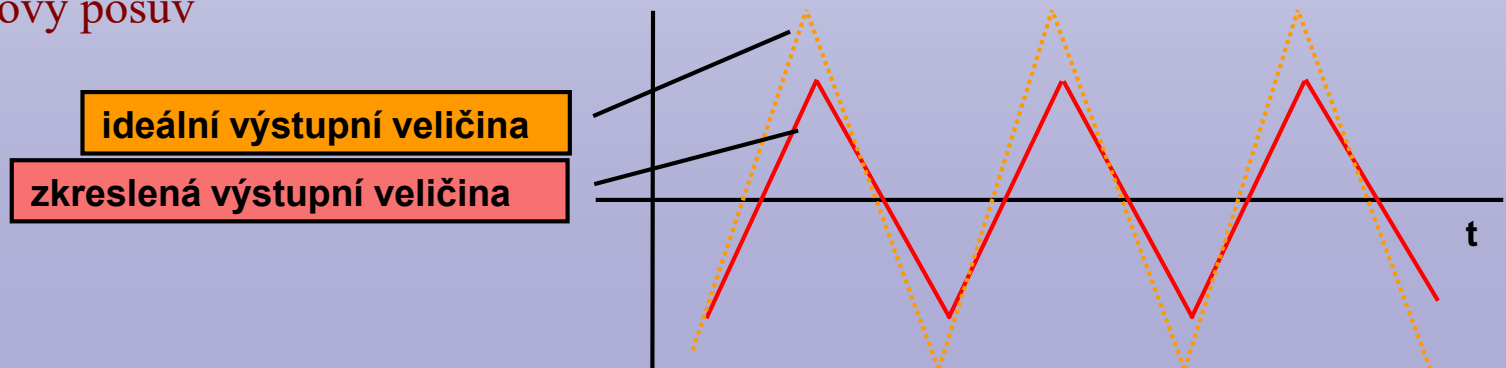
- ideální stav je když výstupní veličina přesně sleduje vstupní
- tedy $G(t) = K$, kde K je citlivost snímače
- **každé zařízení, tedy i snímač ale pracuje s nějakou konečnou maximální rychlostí a proto dochází ke zkreslení signálu**

5.1.3. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

- pokud rychlost změny vstupního signálu nepřekračuje možnosti snímače, nedojde ke zkreslení výstupního signálu
 - jen amplituda je změněna citlivostí snímače



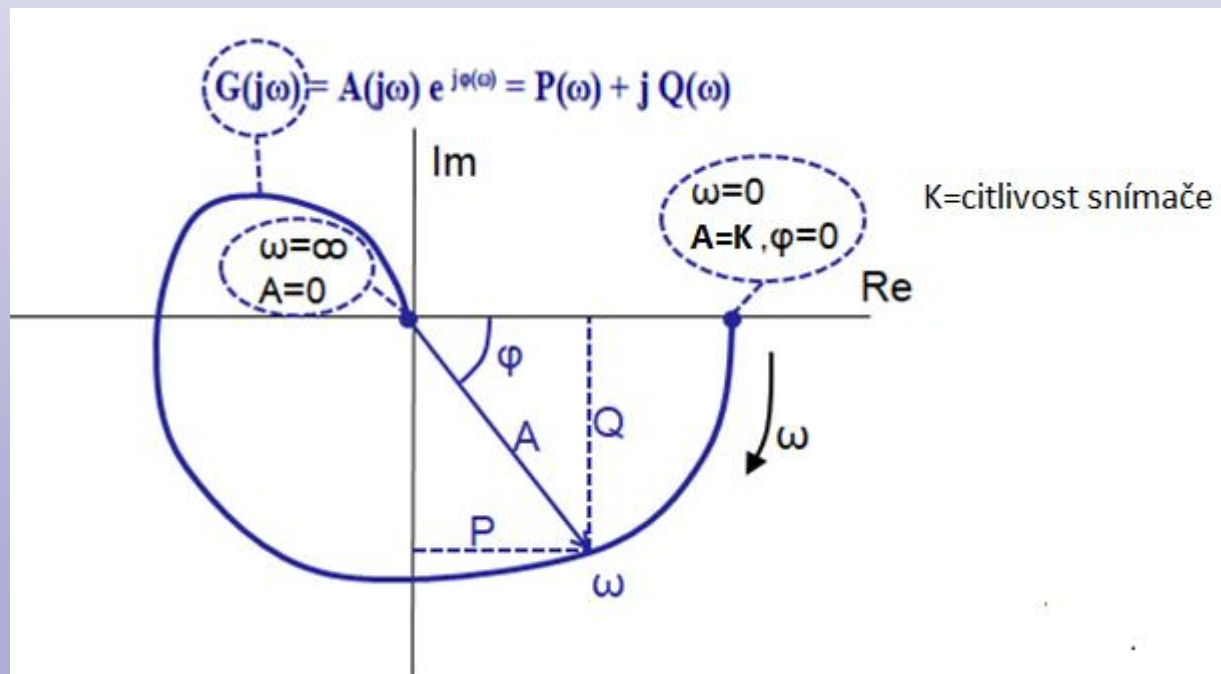
- pokud rychlost změny vstupního signálu překračuje možnosti snímače, dojde ke zkreslení výstupního signálu
 - zkreslení amplitudy
 - fázový posuv



5.1.2. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

▪ frekvenční charakteristika snímače

- časová funkce přenosu $G(t) = \frac{Y(t)}{X(t)}$ se pomocí Fourierovy transformace převede na frekvenčně závislý poměr obrazů obou funkcí:
- $G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = A(j\omega) * e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + j * Q(\omega) \quad \text{kde } \omega = 2\pi f$
- frekvenční charakteristiku lze vyjádřit v komplexní rovině:



5.1.3. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

- amplitudová a fázová frekvenční charakteristika snímače

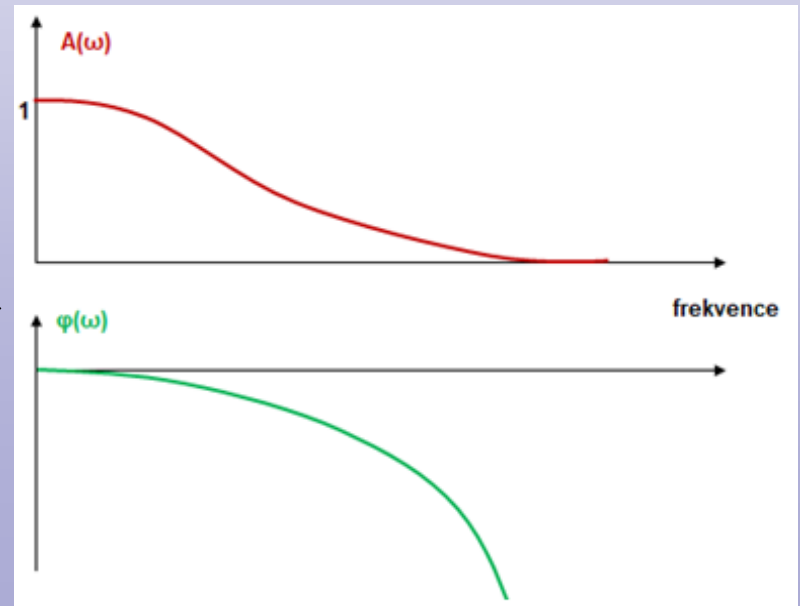
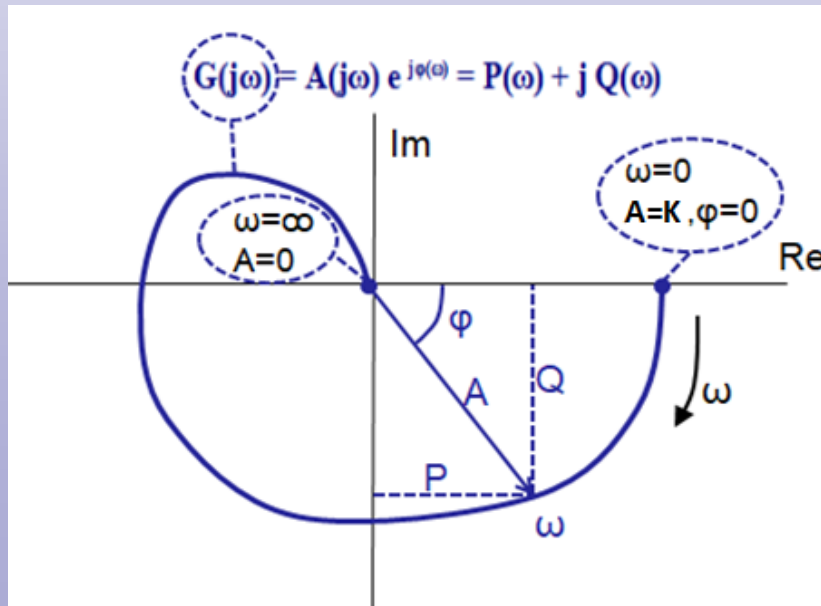
- zobrazení frekvenční charakteristiky v komplexní rovině může být nesrozumitelné
- častěji se proto zobrazuje zvlášť amplitudová a zvlášť fázová charakteristika jako závislost amplitudy a fáze na frekvenci:

- $G(j\omega) = P(\omega) + j * Q(\omega)$



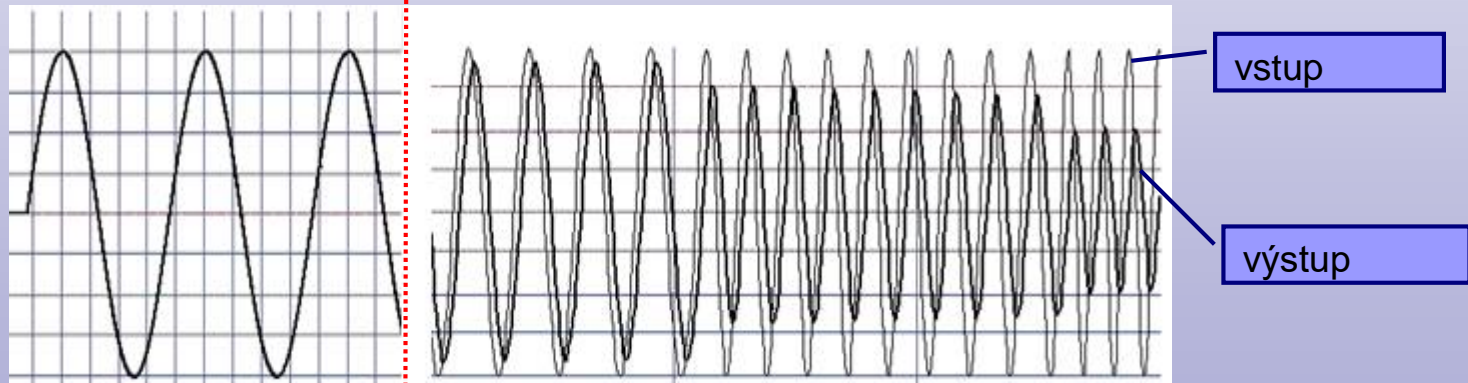
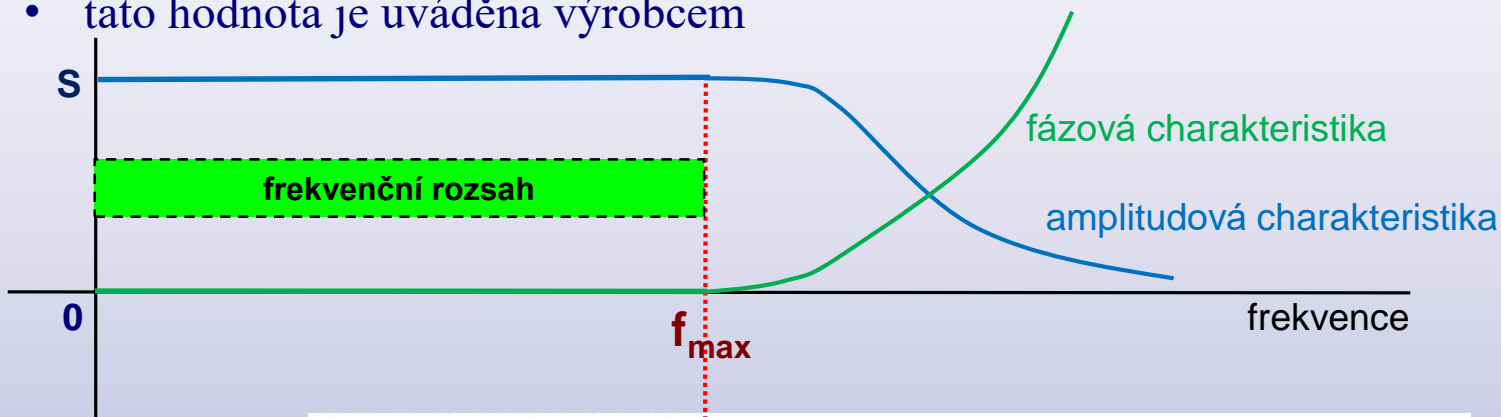
$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$$

$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}$$



5.1.3. DYNAMICKÉ VLASTNOSTI SNÍMAČE

- **frekvenční rozsah snímače**
 - maximální frekvence vstupní veličiny, kterou snímač zpracuje bez zkreslení
 - tato hodnota je uváděna výrobcem



výstupní signál sleduje vstup

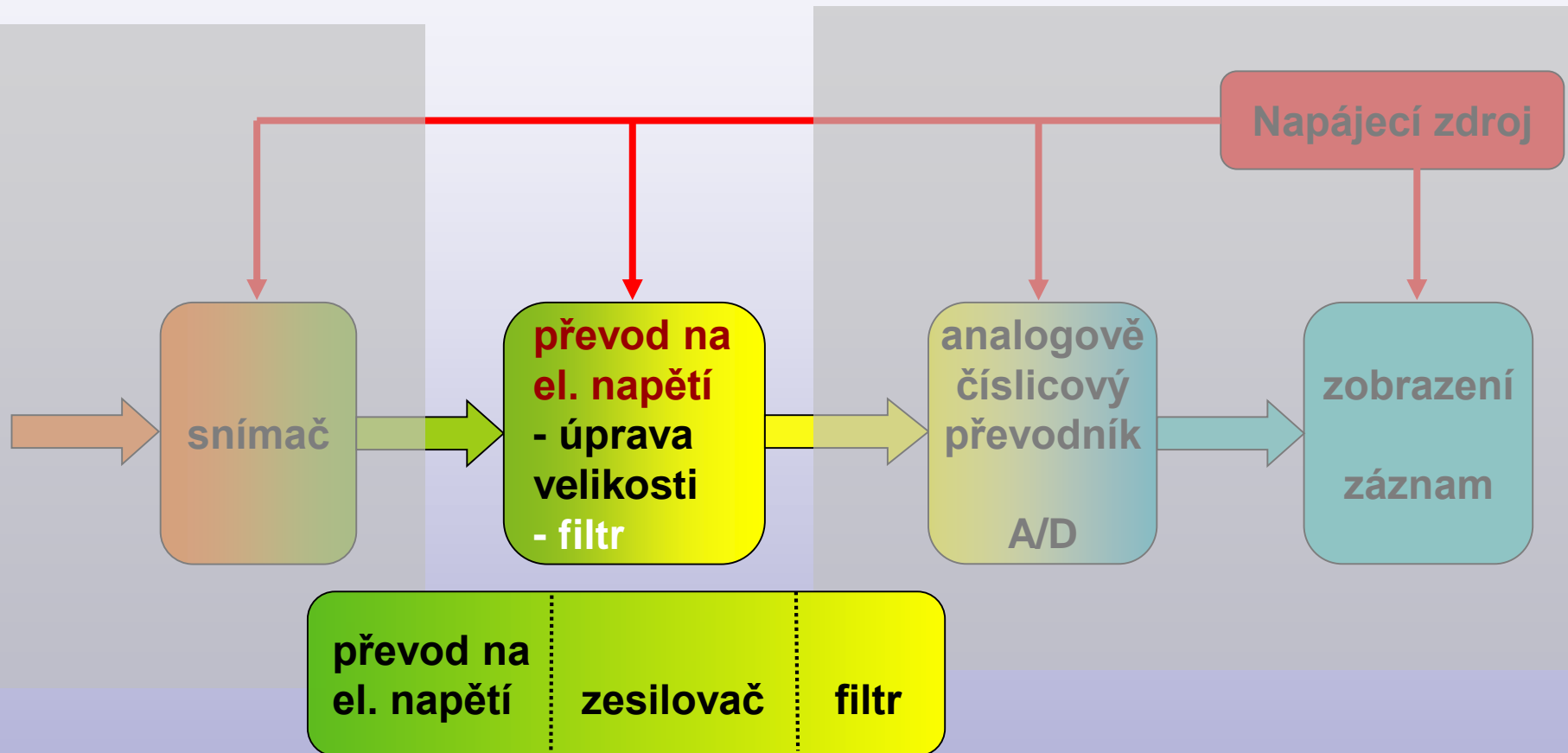
výstupní signál je zkreslen

5.1.4. VLASTNOSTI SNÍMAČE - SHRNU TÍ



- vstupní rozsah snímače
- citlivost K
 - $y = K x$
 - eventuálně polynom $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$ pro nelineární snímače
- relativní chyba snímače (přesnost)
 - $\delta_R = \frac{\Delta y_{MAX}}{ROZSAH\ SNÍMAČE} (* 100 [\%])$
 - rozlišitelnost $r = 2 * \delta_R$
- frekvenční rozsah snímače
 - frekvence, do které nedochází ke zkreslení signálu

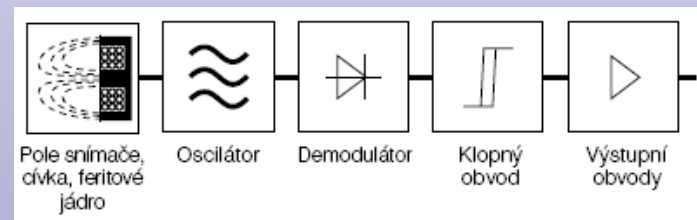
5.2. OBVODY ÚPRAVY SIGNÁLU



- 5.2.1. Převod na elektrické napětí
- 5.2.2. Úprava velikosti – zesilovač
- 5.2.3. Filtr

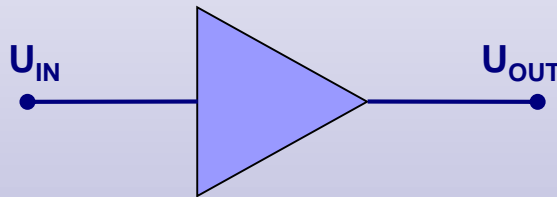
5.2.1. PŘEVOD NA ELEKTRICKÉ NAPĚTÍ

- závisí na principu snímače a jeho výstupní elektrické veličině
 - žádný převod na napětí není potřeba
 - snímače mají na výstupu přímo elektrické napětí (termočlánky, odporové děliče - potenciometry, tenzometrické můstky)
 - jednoduchý obvod pro převod na elektrické napětí
 - odporové snímače (Ohmův zákon $U=R \cdot I$)
 - složitý, jednoúčelový obvod
 - kapacitní, indukční, nábojové snímače
 - v současnosti často přímo v pouzdru snímače, výstup pak je přímo el. napětí
 - pokud ne je třeba speciální modul v měřicím přístroji



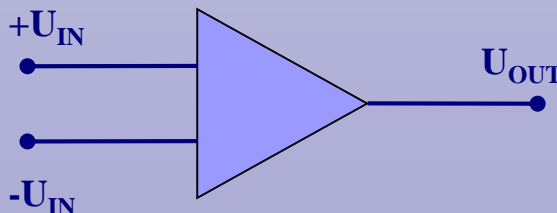
5.2.2. ZESILOVAČ

- upravuje velikost výstupního napětí na hodnotu vhodnou pro navazující A/D převodník
 - pevné zesílení (pro jednoúčelové použití)
 - proměnné zesílení
 - většinou SW volba z několika hodnot např. 1-10-100-1000 pro univerzální použití (více rozsahů snímačů)



$$U_{OUT} = Z * U_{IN} \quad \text{kde } Z \text{ je zesílení}$$

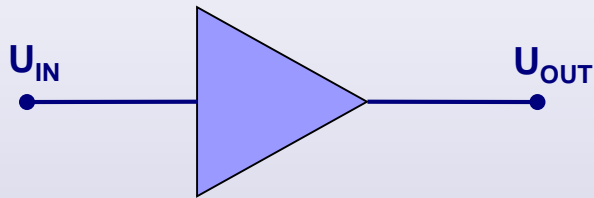
- diferenciální zesilovač
 - dva vstupy: kladný +IN a záporný -IN, zesiluje rozdíl obou vstupů
 - pro snímače s diferenciálním výstupem (tenzometrické můstky)



$$U_{OUT} = Z * (+U_{IN} - -U_{IN})$$

5.2.2. ZESILOVAČ

- vlastnosti zesilovače
 - definice analogické se snímačem

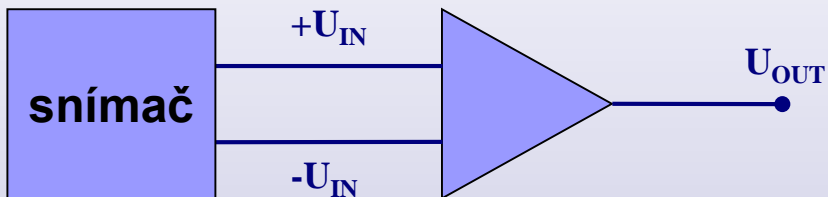


- zde tedy jen shrnutí:
 - vstupní rozsah zesilovače
 - zesílení Z
 - relativní chyba zesilovače (přesnost)
 - $$\delta_R = \frac{\Delta y_{MAX}}{ROZSAH\ ZESILOVAČE} \quad (* 100 [\%])$$
 - frekvenční rozsah zesilovače
 - frekvence, do které nedochází ke zkreslení signálu
- poznámka
 - zesilovač (elektronický obvod) bude mít prakticky vždy lepší parametry než snímač, na výslednou chybu měření bude mít zanedbatelný vliv
 - pro správné měření jsou důležitější správně zvolené parametry snímače

5.2.2. ZESILOVAČ

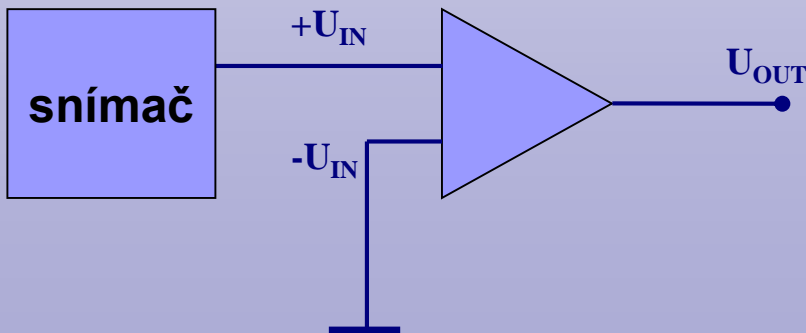
- zapojení diferenciálního zesilovače

- pro snímače s diferenciálním výstupem (tenzometrický můstek)



- pokud je diferenciální zesilovač použit pro snímač s unipolárním výstupem

- snímač se připojí na kladný vstup $+U_{IN}$
- **nevyužitý vstup $-U_{IN}$ je nutné propojit na signálovou zem, aby $-U_{IN} = 0$**
- **nelze ho nechat volný – „brána“ pro šum**

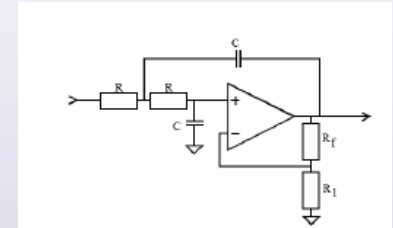


$$U_{OUT} = Z * (+U_{IN} - -U_{IN})$$

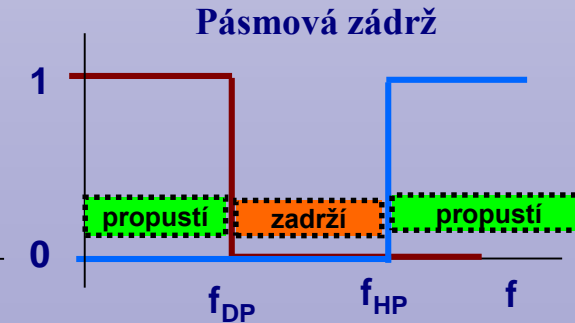
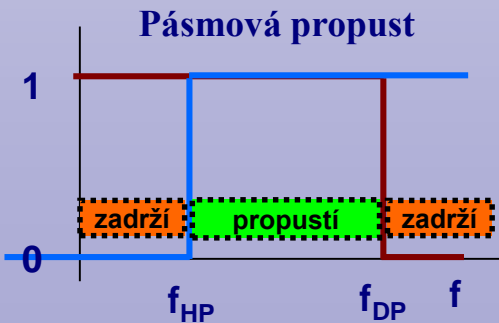
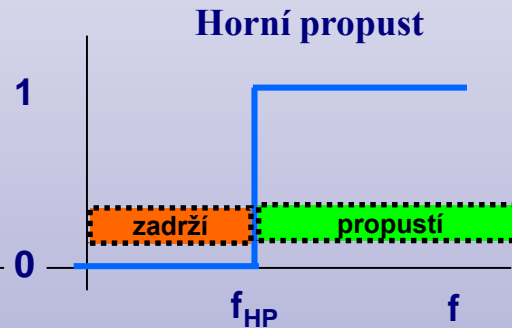
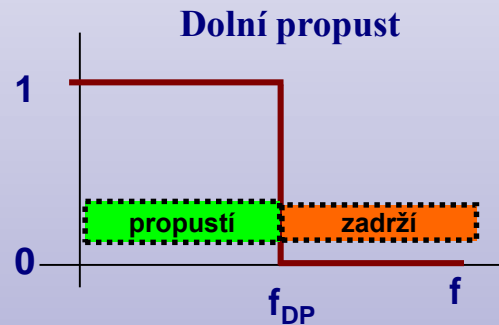
$$U_{OUT} = Z * (+U_{IN} - 0) = Z * +U_{IN}$$

5.2.3. FILTR

- slouží k odstranění nežádoucích frekvencí z měřeného signálu
 - je to většinou zesilovač se zesílením 1, který má uměle zúžené frekvenční pásmo (pomocí pasivních součástek - kondenzátory, indukčnosti ve zpětnovazební síti zesilovače)

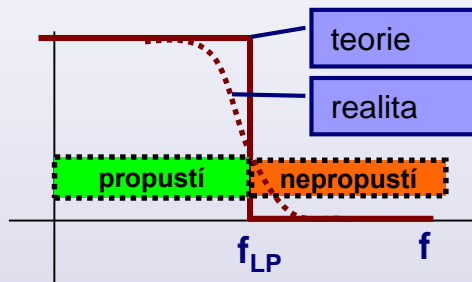


- rozdělení filtrů podle průběhu amplitudové frekvenční charakteristiky

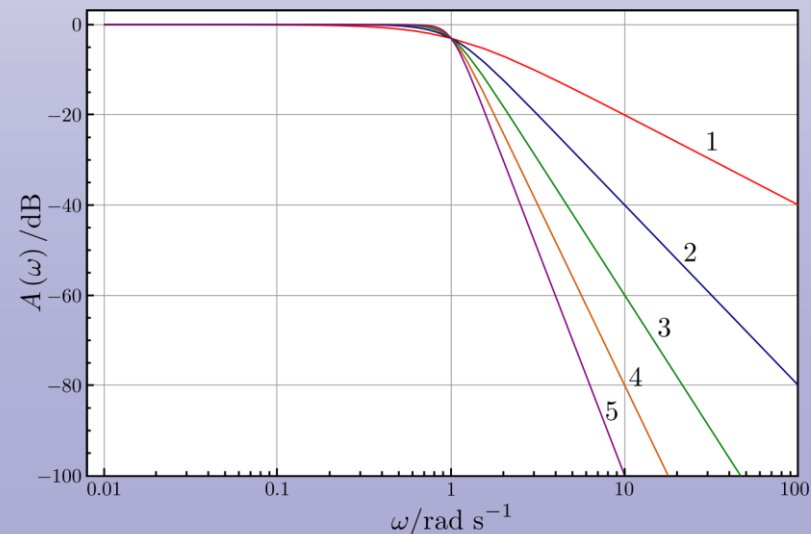


5.2.3. FILTR

- v realitě nejde realizovat pravoúhlý průběh charakteristiky



- tvar poklesu charakteristiky určuje
 - typ zapojení
 - typ elektrického obvodu - je nazýván podle autora Bessel, Butterworth
 - řád filtru
 - dá se zjednodušeně vysvětlit jako počet shodných filtrů zapojených do série za sebe
 - filtr 1. řádu je tedy jeden filtr, filtr 2. řádu jsou dva filtry v sérii za sebou, atd.
- strmost poklesu amplitudy signálu se udává v dB/dek (dB/oktávu pro hluk)



5.2.3. FILTR

▪ definice decibelu dB

- jednotka **bel** je pojmenována po A. G. Bellovi (používal ji pro útlum na tel. vedení)
- jednotka **decibel** je desetinou základní jednotky bel
- 1 bel = poměr 10:1 mezi výkony zvuku na začátku a konci tel. vedení, tedy

10:1 = 1B (10dB), 100:1 = 2B (20dB), 1000:1 = 3B (30dB)

- $bel = \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad [-, W, W]$

- $decibel = 10 * \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad [-, W, W]$

- pokud přejdeme z výkonu na el. napětí:

- $P = \frac{U^2}{R}$ a platí $\log(x^2) = 2 * \log(x)$

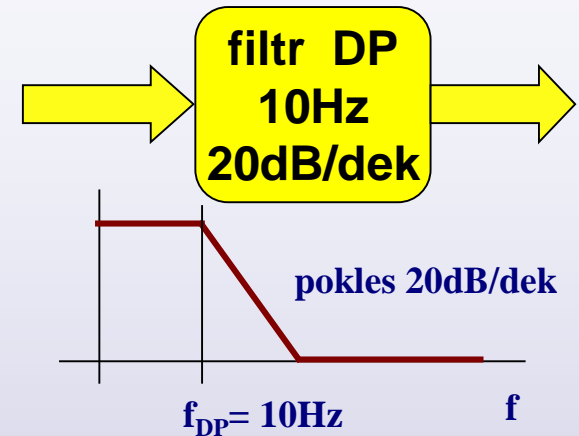
- $decibel = 20 * \log\left(\frac{U_2}{U_1}\right) \quad [-, V, V]$

U [V]		P [W]
pokles	dB	pokles
1	0	1
0,89	1	0,79
0,79	2	0,63
0,707	3	0,5
0,5	6	0,25
0,35	9	0,125
0,316	10	0,1
0,22	13	0,05
0,1	20	0,01
0,01	40	0,0001

5.2.3. FILTR

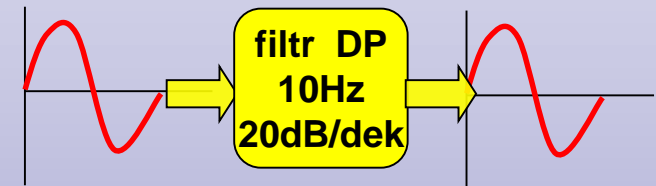
U [V]		P [W]
pokles	dB	pokles
1	0	1
0,89	1	0,79
0,79	2	0,63
0,707	3	0,5
0,5	6	0,25
0,35	9	0,125
0,316	10	0,1
0,22	13	0,05
0,1	20	0,01
0,01	40	0,0001

- je li tedy u filtru uvedeno pokles 20dB/dekádu znamená to, že na rozsahu jednoho řádu (tedy např. od 10 do 100Hz) poklesne amplituda signálu 10x



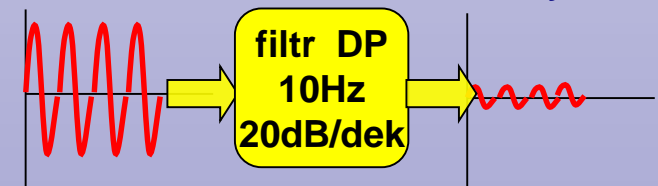
amplituda signálu 10V
frekvence 10Hz

amplituda zůstala
nezměněna 10V



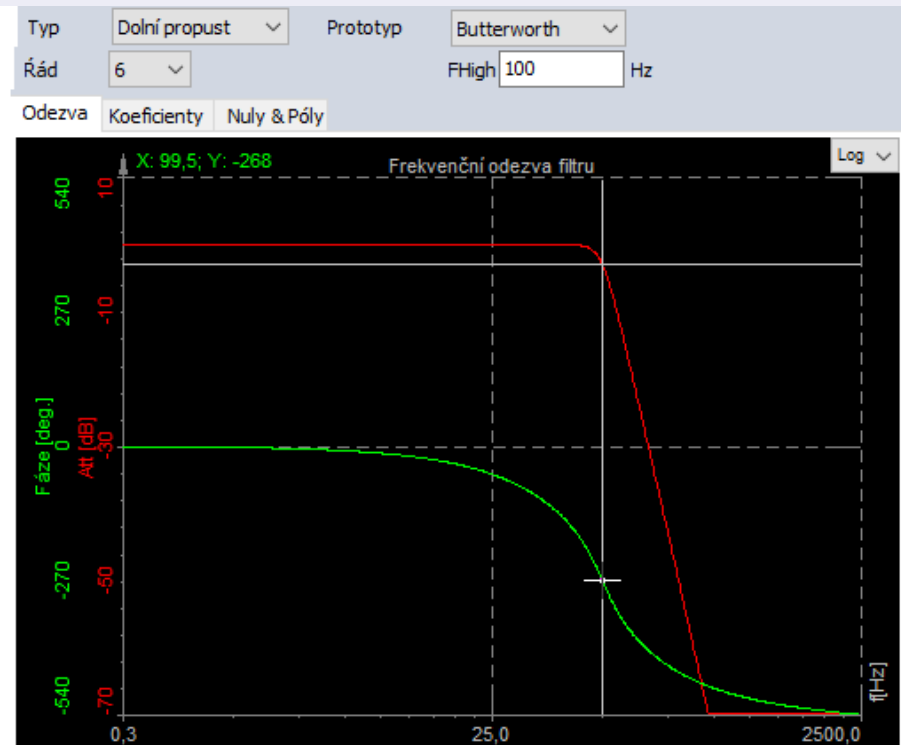
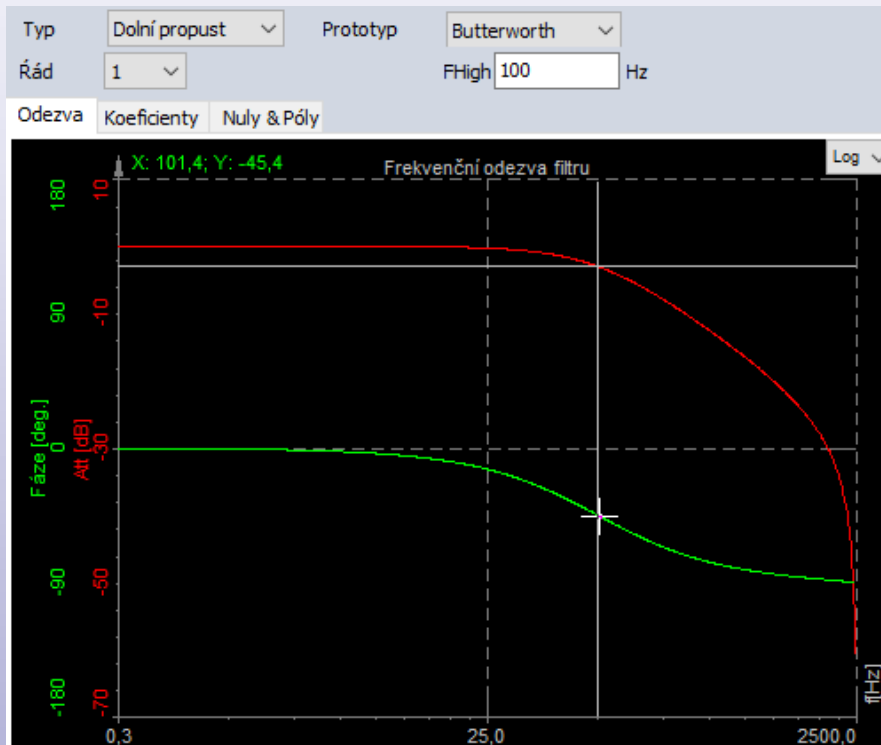
amplituda signálu 10V
frekvence 100Hz

amplituda klesla
10x tedy na 1V



5.2.3. FILTR

- reálný filtr nemá ideální charakteristiku útlumu
 - tvar daný typem a řádem



- každý filtr navíc způsobí fázový posuv signálu!!!!
- vyšší řád = strmější pokles, ale zároveň vyšší fázový posun
- u více kanálů – použít shodný filtr!!!

5.2.3. FILTR

- **parametry filtru - shrnutí:**
 - **druh filtru podle zadržované frekvence (dolní propust, horní propust, atd.)**
 - **frekvence zlomu**
 - **strmost poklesu charakteristiky**
 - typ zapojení filtru (Butterworth, Bessel, Čebyšev)
 - řád filtru

5.2.3. FILTR

- **závěrečná polemika zda filtrovat nebo ne:**
 - **co jednou filtr nepropustí, v naměřených datech již nikdy nebude !!!**
 - špatně nastavený filtr může znehodnotit naměřená data
 - data nebudou obsahovat nějakou složku signálu
 - na signálech bude fázový posun
 - **pro krátkodobá neopakující se měření je lepší nefiltrovat, zaznamenat vše i s šumem a filtraci pak udělat matematicky na datových souborech**
 - lze posoudit (porovnat), jak filtr ovlivní signály
 - je to práce navíc
 - **pro dlouhodobá opakující se měření**
 - poprvé naměřit bez filtru
 - pomocí matematické filtrace na naměřených datech „naladit“ parametry filtru aby odstranil šum a neovlivnil signály
 - získané parametry použít pro nastavení reálného filtru a ten použít pro další opakující se měření
 - žádná další úprava (filtrace) dat pak již není potřeba
 - **u více kanálů použít shodný filtr (fázový posuv)**

KONTROLNÍ OTÁZKY

- statické a dynamické vlastnosti snímače
 - rozsah snímače (str. 3)
 - statická převodní charakteristika , citlivost (str. 4, 5)
 - aditivní a multiplikativní chyba (str. 6, 7)
 - relativní chyba snímače (přesnost), rozlišitelnost (str. 9, 10)
 - přenos (str. 11)
 - frekvenční charakteristika a frekvenční rozsah snímače (str. 13, 14, 15)
 - vlastnosti snímače – shrnutí (str. 16)
- převod na elektrické napětí
 - možnosti, varianty (str. 18)
- zesilovač
 - unipolární, bipolární (str. 19, 21)
 - vlastnosti (str. 20)
- filtr
 - rozdělení filtrů podle průběhu amplitudové frekvenční charakteristiky (str. 22)
 - amplitudová charakteristika, používaná jednotka pro její strmost (str. 23, 24)
 - typ zapojení a řád filtru a jejich vliv na strmost poklesu charakteristiky (str.23)
 - reálný průběh amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky (str. 26)
 - vlastnosti filtru – shrnutí (str. 27)

