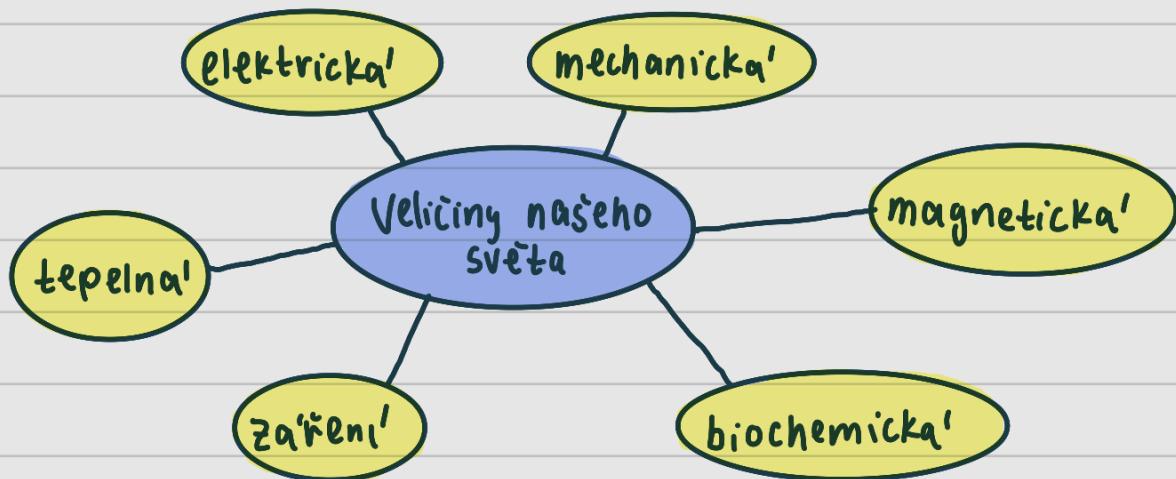


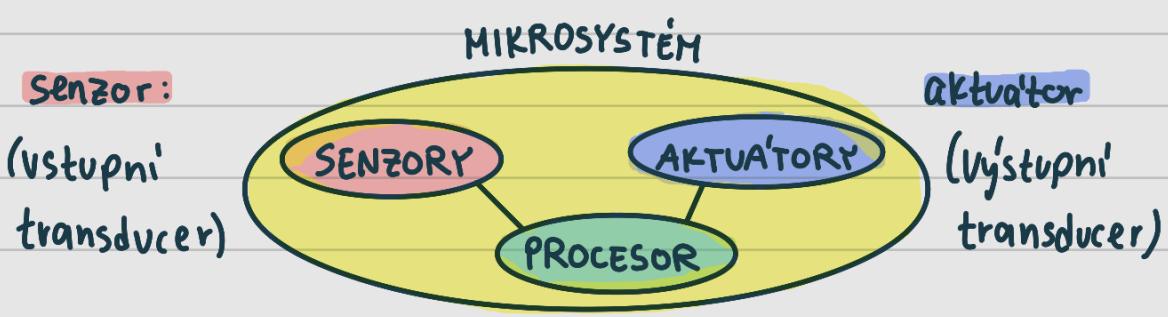
Nakreslete 6 základních energetických signálových domén.



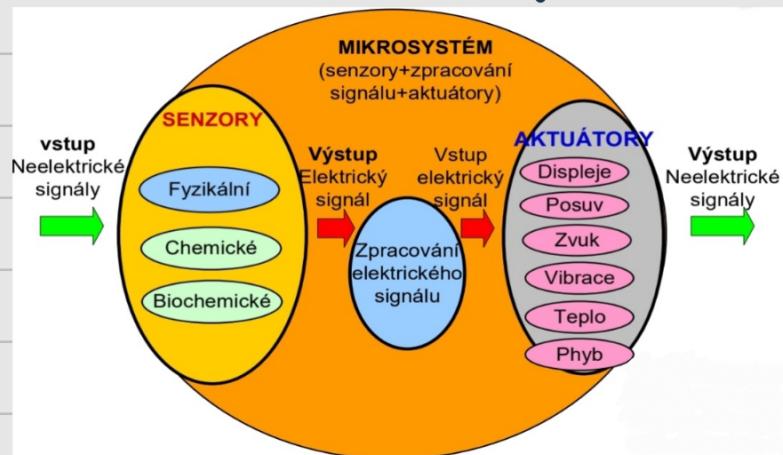
Vysvětlete pojmy: transducer, senzor, aktuator, procesor.

Nakreslete obrázek, jak souvisí senzor, aktuator a procesor?

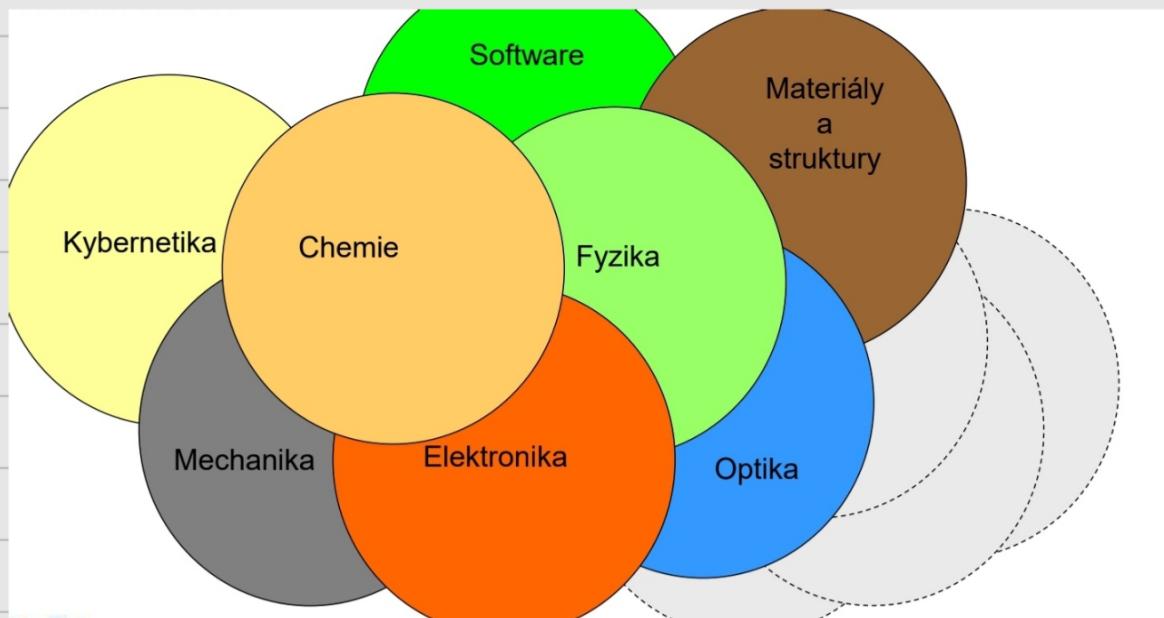
- transducer - obecný neelektrický převodník
- senzor - převodník neelektrické veličiny na elektrickou
  - měří veličiny ze vstupních energetických (signálových) domen okolního reálného světa
- aktuator - převodník elektrické veličiny na neelektrickou
- procesor - Soustava elektrických převodníků (A/A, A/D, D/A, D/D)



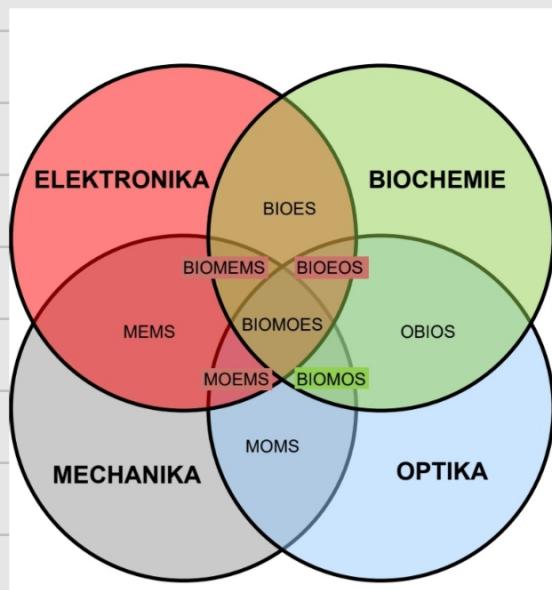
Procesor (elektrický transducer)



Nakreslete princip využití různých oborů pro navrh a realizaci senzoru.



Nakreslete příklad průniku 4 energetických domén.



Nakreslete, jak vzniká doména MEMS a MOES, co vyjadřuje zkratka?

- MEMS - mikro elektro mechanický Systém
- MOES - mikro opticko elektrický Systém

M ... S  
↑ ↑ ↑ Systém  
mikro  
průnik domén

Uveděte 3 hlavní funkce měřicího (regulačního) řetězce.



Definujte I., II. a III. generaci senzorů - charakteristické znaky

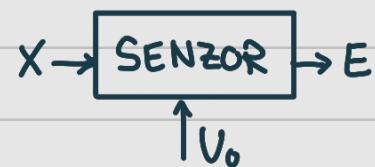
- **I. generace** - základní fyzikální jevy
  - vývoj ukončen
  - např. odporové, indukční, kapacitní
  - využití: automatizace a robotizace
- **II. generace** - využití polovodičů
  - integrace s elektronikou
  - řady a matice senzorů
  - multisenzory
  - význam pro robotiku
  - stále ve vývoji
- **III. generace** - optické vlákno a optoelektronické senzory
  - přenos signálů optickými vlákny
  - využití ve všech oblastech průmyslu
  - ve vývoji

Definujte aktivní a pasivní senzor. Uveděte konkrétní příklady senzorů pro obě skupiny. Principiální blokové zapojení pro měření fyzikální veličiny (pasivní a aktivní senzor)

- 1. aktivní** - generátorové
  - nepotřebuje napájení
  - např. termočlánek



- 2. pasivní** - modulační
  - potřebuje napájení
  - např. termistor



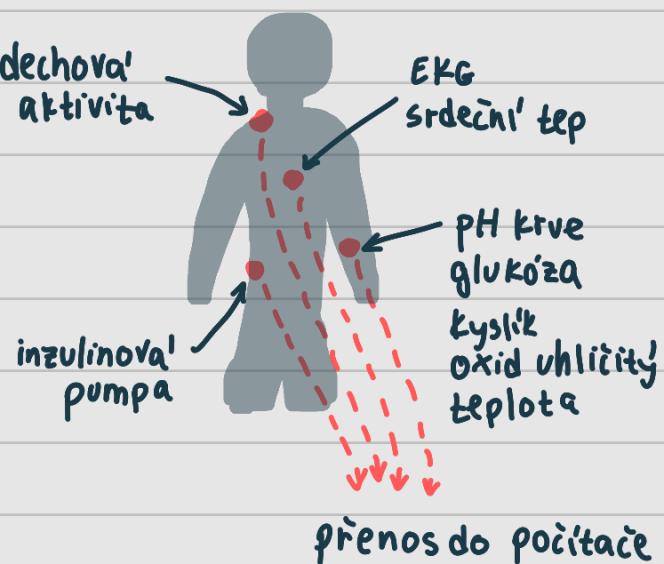
Napište alespoň 5 základních požadavků na výběr senzoru.

- jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní
- vhodný tvar základní přenosové charakteristiky
- velká citlivost
- požadovaná přesnost
- časová stability
- vhodná frekvenční charakteristika (časová konstanta)
- minimální závislost na parazitních parametrech (teplota, tlak, vlhkost, ...)
- minimální zatěžování měřeného prostředí (velký vstupní odpor)
- minimální ovlivňování okolního prostředí (parazitní vliv senzoru)
- co největší vstupní el. signál
- spolehlivost

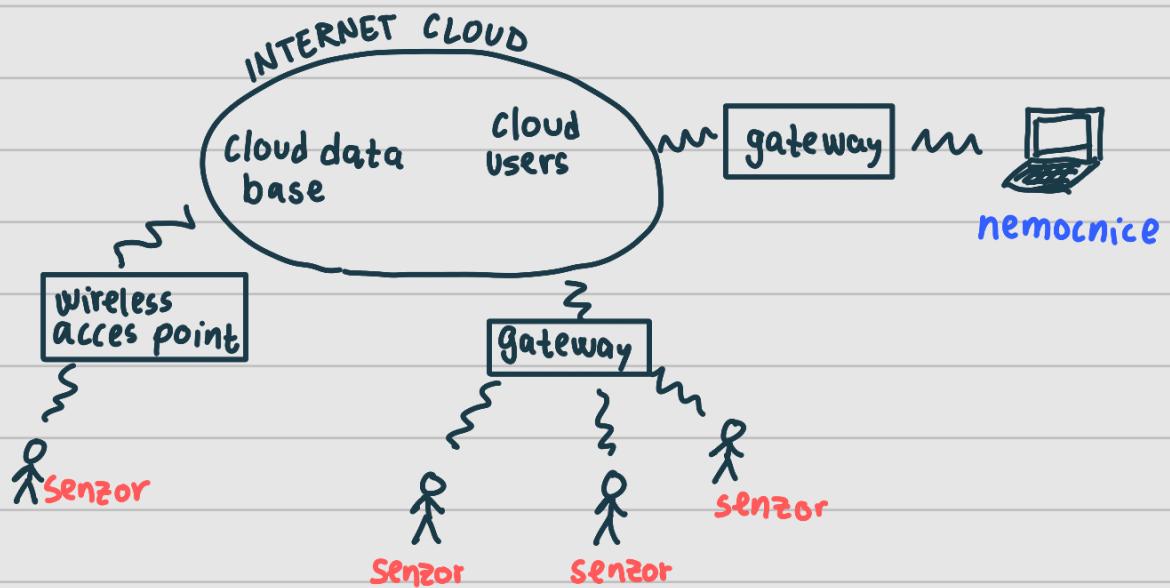
↳ nikdy nelze splnit všechno !

Nakreslete princip činnosti senzorových sítí v medicíně (BAN)

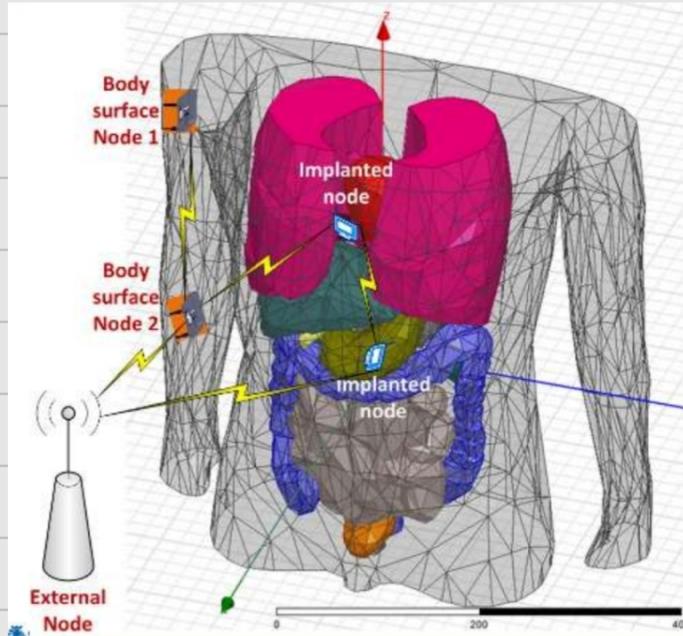
-BAN (Body Area Network)



Nakreslete princip využití internetu věcí (IoT) v medicíně.



Nakreslete princip činnosti implantované senzorové sítě BAN



Napište základní typy parametrů charakterizujících senzor (3 typy).



- Senzor = elektronická součástka (převodník)
- typy parametrů: statické  
dynamicke  
prostředí

Vyjmenujte alespoň 5 základních statických parametrů charakterizujících senzor.

- přesnost
- rozlišovací schopnost
- citlivost
- selektivita
- prah citlivosti
- prah měření
- linearita
- zakreslení
- řízení
- hystereze
- reprodukovatelnost
- výstupní impedance
- nestabilita a drift
- rozsah měření

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

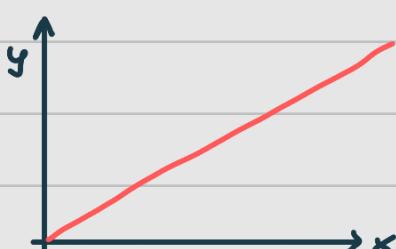
- obecná statická převodní charakteristika

$$y = f(x)$$



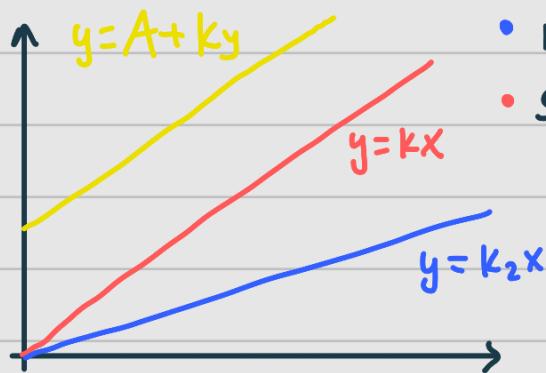
- ideální linearní převodní charakteristika

$$y = K \cdot x$$

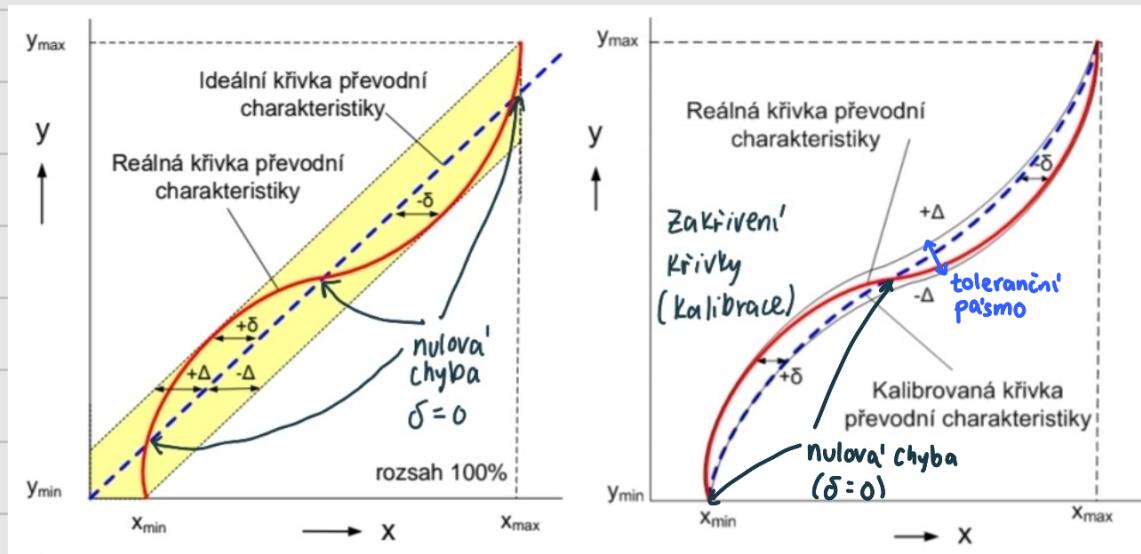


## Nakreslete princip vzniku aditivní a multiplikativní chyby.

- aditivní: přičtení konstanty
- multiplikativní: vynásobení konstantou
- Správně



## Nakreslete princip kalibrace nelineárních senzorů.



$$\delta = X_m - X_t$$

$\delta$  odchylka skutečné od teoretické hodnoty

$\Delta$  odchylka teoretické hodnoty od tolerančního pašma

## Napište matematický vztah pro definici přesnosti.

- přesnost (relativní chyba senzoru)

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

m... measurement

t... true

- přesnost vyjádřena na plný rozsah výstupu

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

FSO... Full Scale Output

Napište matematický vztah pro rozlišovací schopnost.

$$R_{\max} = 100 \cdot \frac{\Delta X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

rozlišení  
(%)

Napište matematický vztah pro průměrnou rozlišovací schopnost.

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

průměrné rozlišení  
(%)

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

• citlivost:  $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

$\Delta y$  ... změna naměřená

$\Delta x$  ... změna skutečná

$x_d$  ... působící veličina

$S_d$  ... citlivost na veličinu  $d$

• selektivita:  $S_d = \frac{\Delta y}{\Delta x_d}$

$$S_{d\beta} = \frac{\Delta y_\beta}{\Delta x_d}$$

$\beta$ -tý senzor

$d$ -ta veličina

• citlivost multisenzorového systému:

matice (počet senzorů x počet veličin)

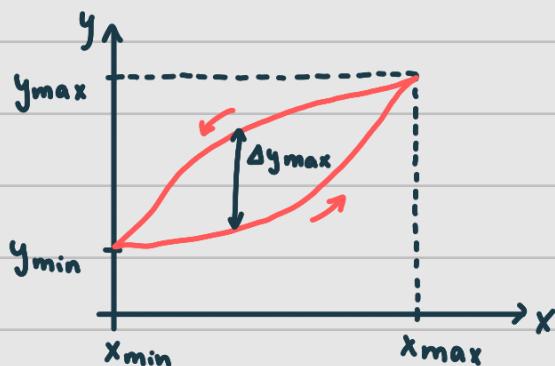
Napište vztah pro minimální detekovaný signál.

$$y = \sqrt{M_s^2}$$

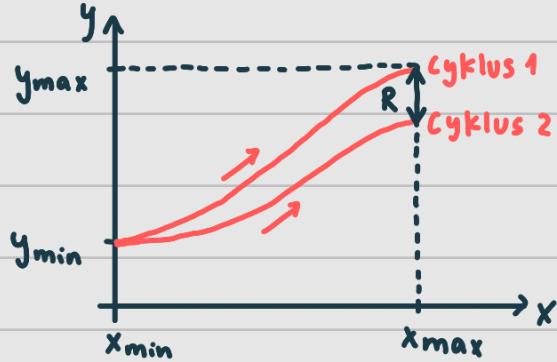
$M_s$  ... šumové napětí

Nakreslete křivky vyjadřující hysterezi a reprodukovatelnost.

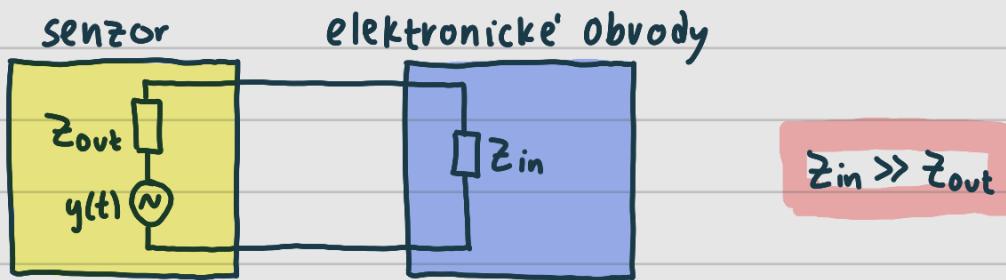
(a) hystereze



(b) reprodukovatelnost



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



Nakreslete elektrický model senzoru s proudovým vstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedance senzoru s napěťovým výstupem a vstupní impedance zátěže.

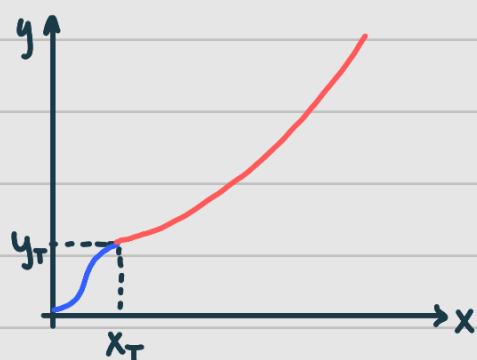


Nakreslete a popište charakteristiky včetně os: pracovní rozsah senzoru, prah měření

(1) pracovní rozsah senzoru

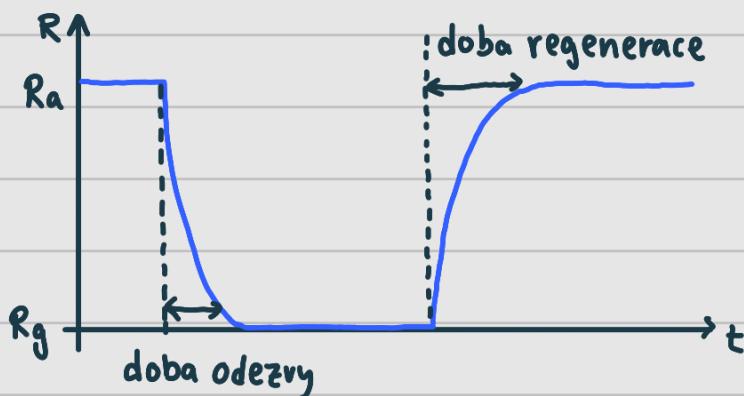


(2) prah měření ( $x_T, y_T$ )

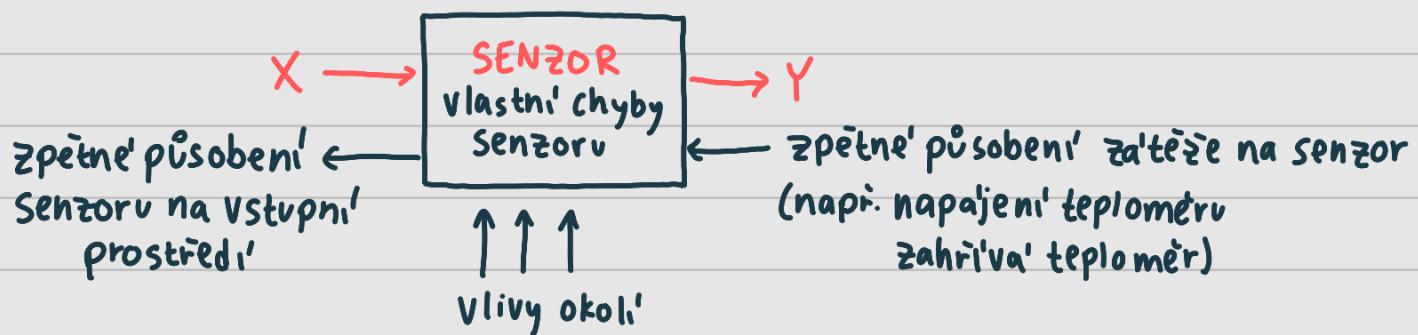


## Co je doba odezvy a doba regenerace.

- doba odezvy - čas při skokové změně veličiny (z  $R_a$  na  $R_g$ )
- doba regenerace - čas navratu signálu po detekci zpět na výchozí hodnotu



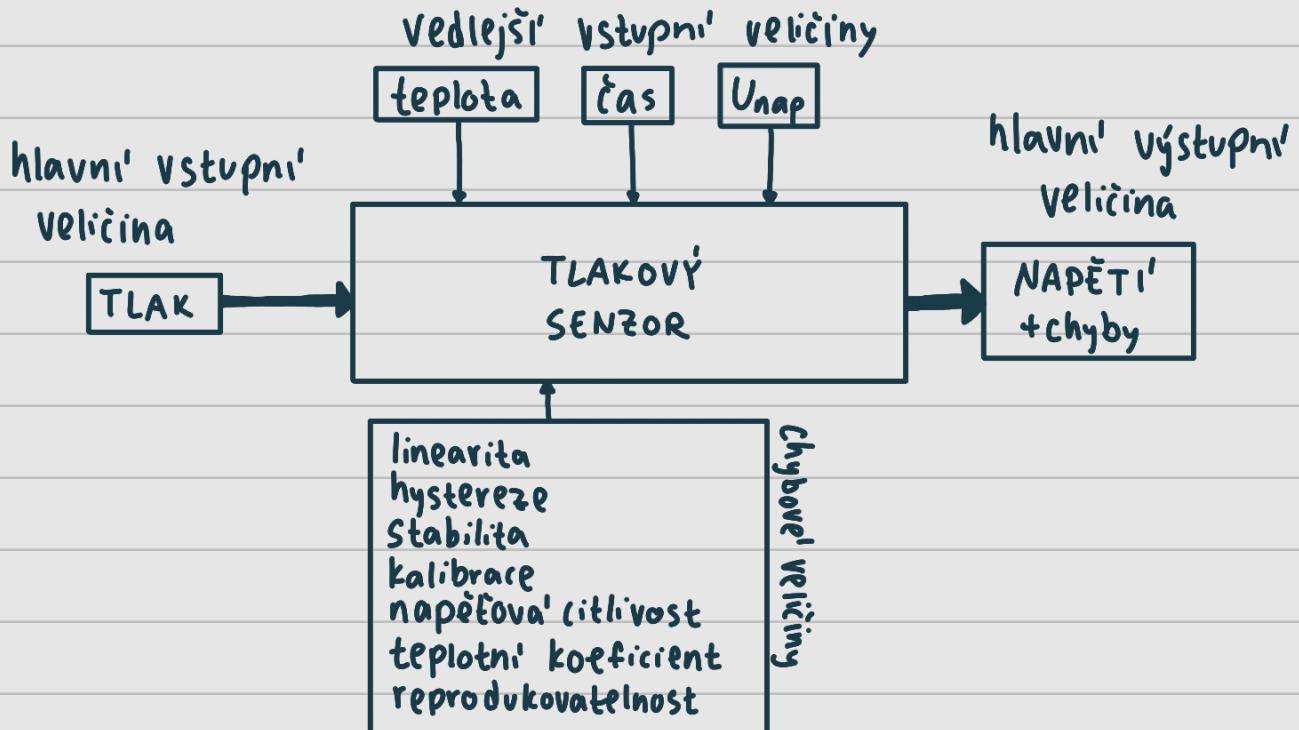
Nakreslete model senzoru jako black-box s příkladem vstupního a výstupního zpětného působení.



Nakreslete model senzoru s působením chybových veličin:

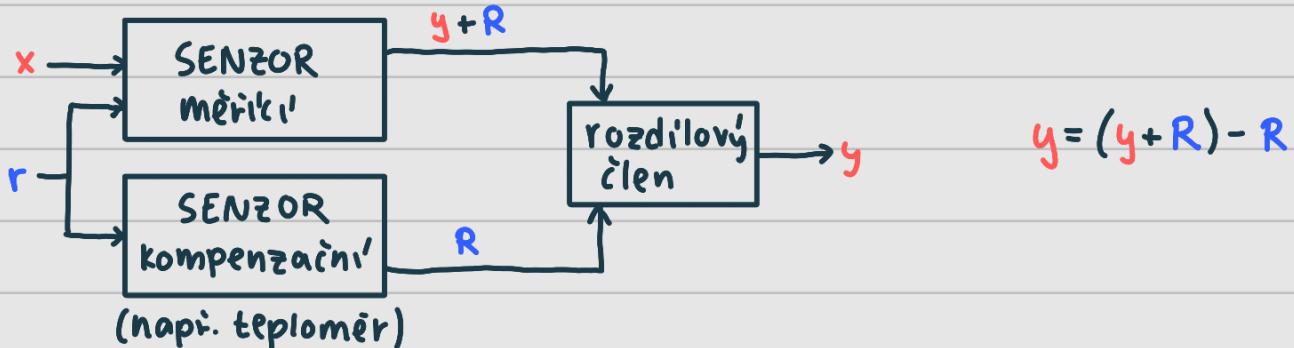
Uveďte příklady chybových veličin, hlavních a vedlejších vstupních veličin.

- příklad: tlakový senzor

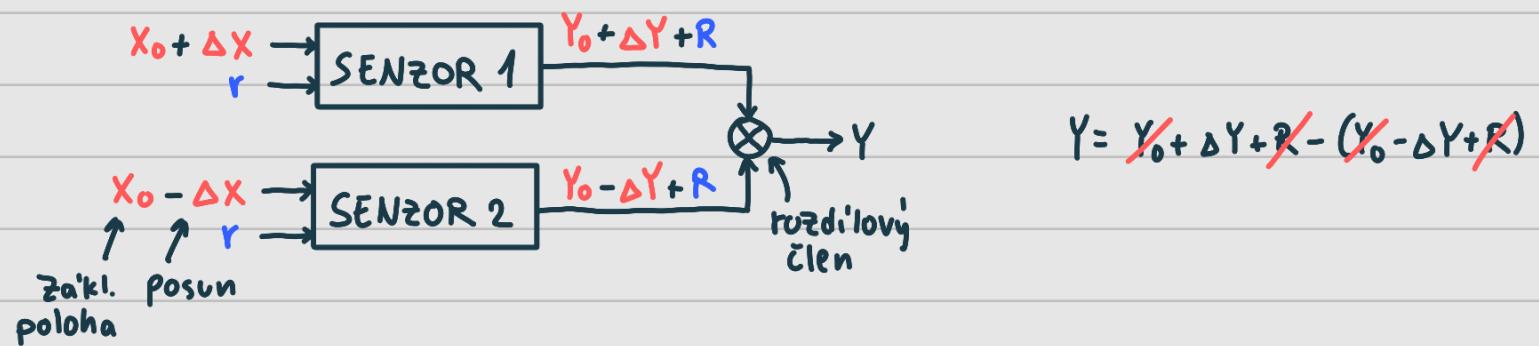


Nakreslete princip kompenzační metody ke zmenšení chyb  
(např. vyloučení vlivu teploty na měření).

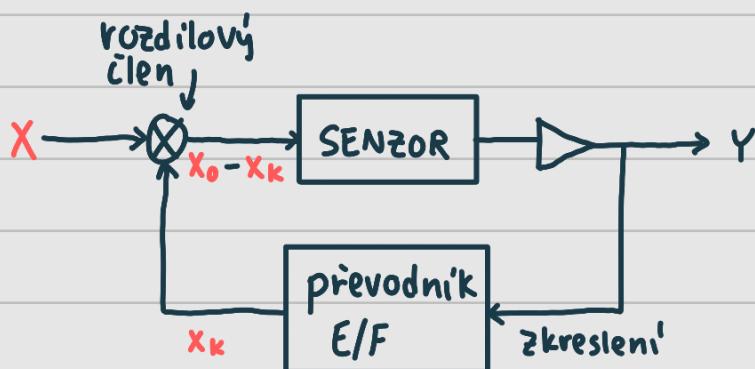
- rušiva veličina se snímá dalším senzorem
- při vyhodnocování korekce (rušiva veličina se odečte)



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

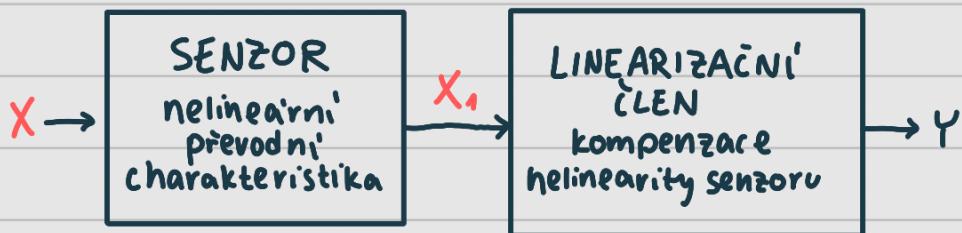


Nakreslete blokově princip zpětnovazební metody pro zmenšování chyb.



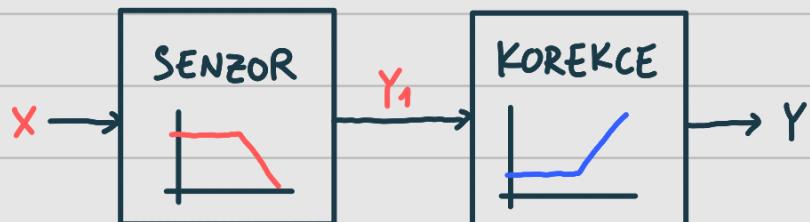
- kompenzace měřené veličiny zpětnou vazbou
- potlačení chyb nelineárních senzorů
- např. potlačení zkreslení (reprodukce hudby)

Nakreslete blokově princip linearizace sériovým členem pro zmenšování chyb.



- linearizační člen kompenzuje nelinearitu senzoru
- na výstupu lineární závislost veličiny Y

Nakreslete blokově princip korekce dynamické charakteristiky senzoru.



- korekce kmitočtové charakteristiky
- realizace RC členy (horní/dolní/pásmová propust)

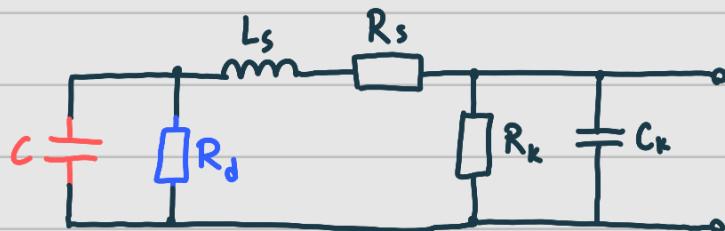
Kapacitní senzor: napište základní rovnici pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru a k ní napište diferenciální rovnici. Popisujte změnu kapacity. Nakreslete nařadní zapojení pro připojení kapacitního senzoru k měřicímu obvodu. K nařadnímu obvodu napište rovnici pro určení frekvence napájecího signálu.

- Výpočet kapacity:

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

- Výpočet změny kapacity:

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S} dS + \frac{\partial C}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial d} d(d)$$



$$\underbrace{R_s, \omega L_s}_{\text{Všechno sériově}} \ll \frac{1}{\omega C} \ll \underbrace{R_d, R_k, \frac{1}{\omega C_k}}_{\text{Všechno paralelně}} \rightarrow \text{řešení (w) rozsah kmitočtu}$$

Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vzdálenosti elektrod.

diferenciální zapojení (zmensení chyby)



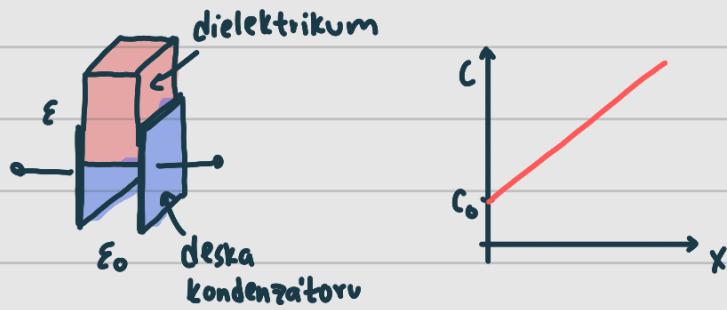
Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity vzajemným posuvem elektrod.

posunutí do střihu

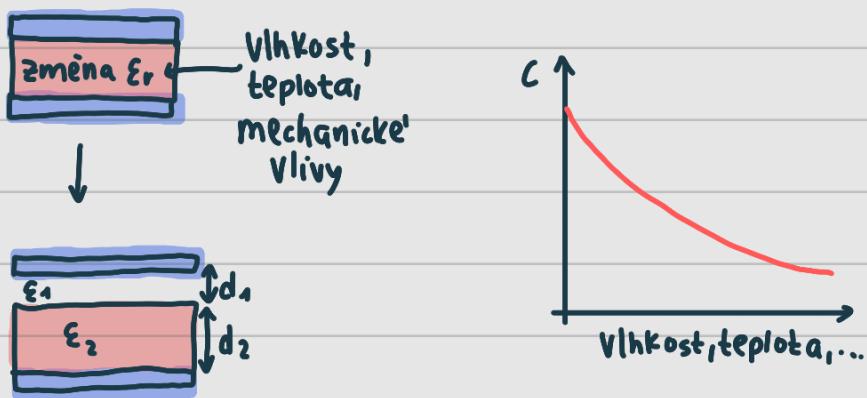
diferenciální zapojení



Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity zasouvaním dielektrika.

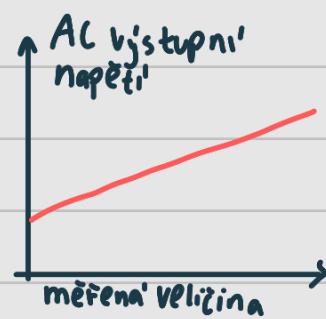
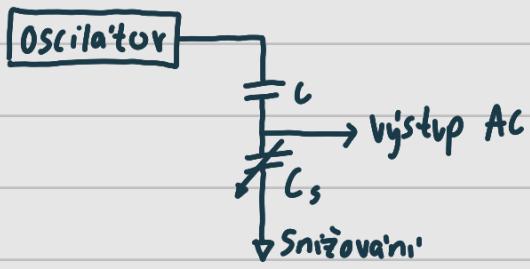


Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vlastnosti dielektrika.



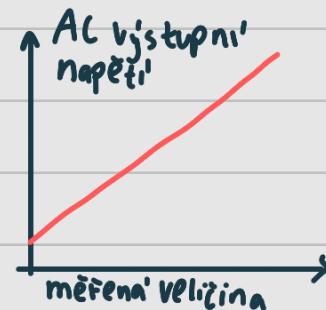
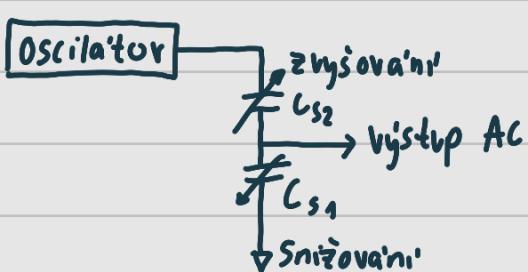
Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s napěťovým kapacitním děličem a střídavým a stejnosměrným výstupním signálem.

(a) Střídavý výstup

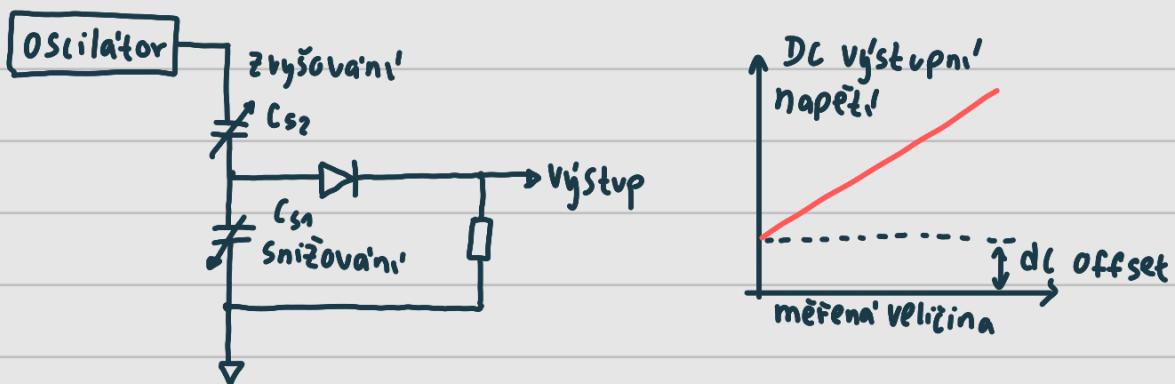


$$U_{\text{výst}} = f(C_s)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f L}$$



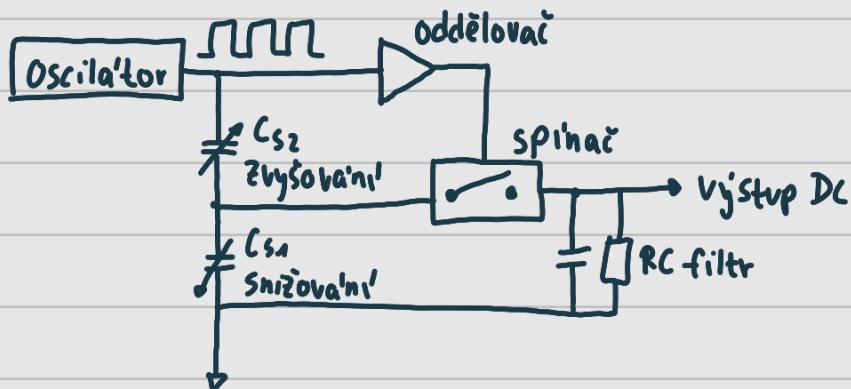
### (b) střídavý výstup s usměrňovacem



může existovat i diferenciální výstup

Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s napěťovým kapacitním děličem a střídavým a stejnosměrným výstupním signálem a synchronním demodulátorem

### (c) střídavý výstup + synchronní demodulátor



- Princip: elektronický spínač místo diody

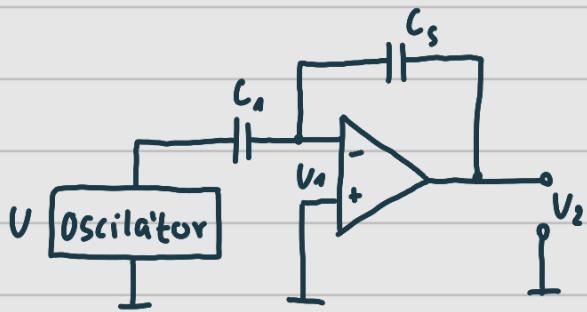
Synchronizace spínače s oscilátorem

a) sepnutí - vyšší napětí (C se nabíjí z děliče)

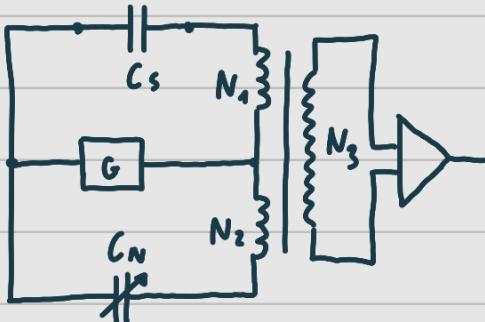
b) rozepnutí - nižší napětí

Nakreslete zapojení pro vyhodnocování kapacity se zesilovačem se zpětnou vazbou.

$$U_2 = -\frac{C_1}{C_S} U$$



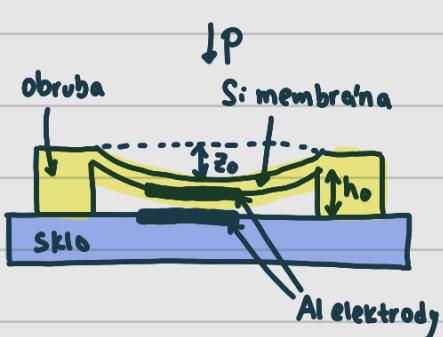
Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s kapacitním můstkom.



příklad: kapacitní měření výšky hladiny

## KAPACITNÍ TLAKOVÉ SENZORY

Nakreslete zjednodušený model kapacitního tlakového senzoru, napište rovnici pro citlivost kapacitního senzoru



- kondenzátor s jednou pružnou membránovou elektrodou
- dielektrikum (vzduch/vakuu)
- změna vlastnosti dielektrika  $\epsilon_r = f(p)$

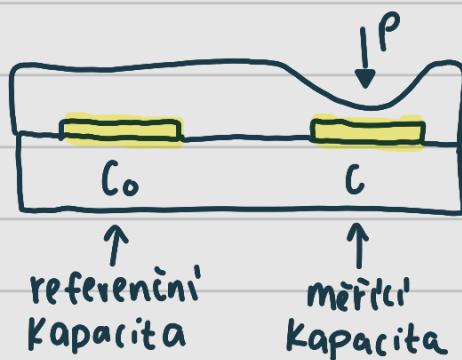
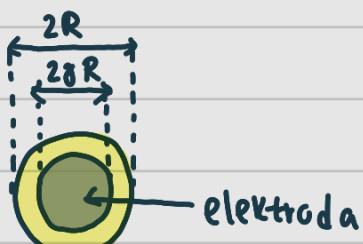
$$C_0 = \epsilon \frac{S}{h_0}$$

citlivost senzoru:

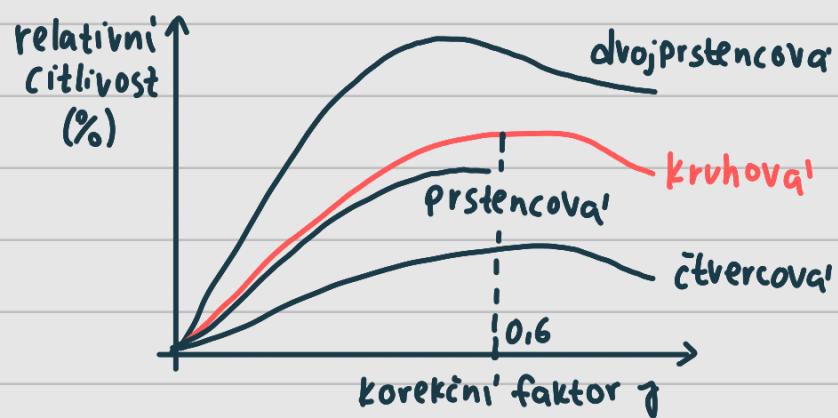
$$S = \frac{\Delta C}{\Delta p}$$

Nakreslete zjednodušené základní integrovanou strukturu s referenční kapacitou a měřicí kapacitou, souvislost citlivosti s rozměrem elektrody (faktor  $\gamma$ ).

- relativní citlivost:  $S_r = \frac{dC}{dp} = f(\gamma)$   $\rightarrow$  funkce  $\gamma$

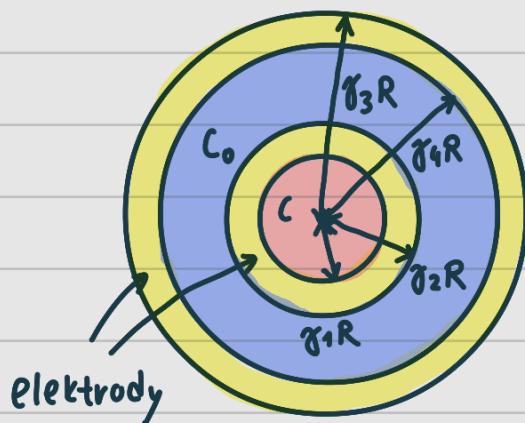


Nakreslete zjednodušeně závislost citlivosti na rozměrech elektrody (faktor  $\gamma$ )  
Pro základní strukturu s měřicí a referenční kapacitou

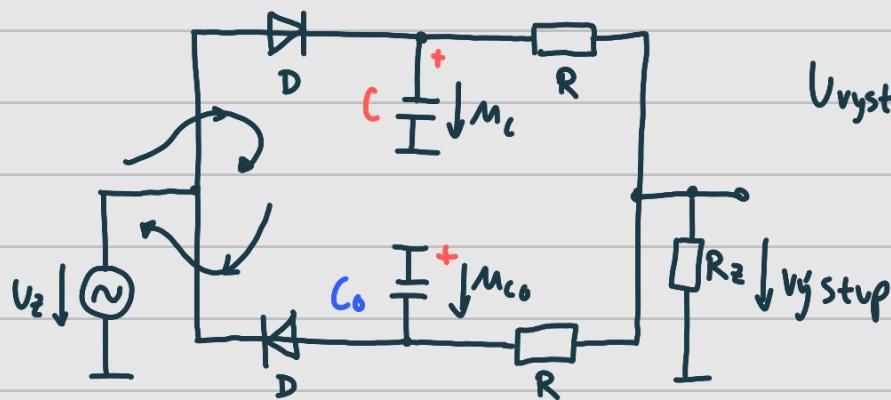


Maximální citlivost  
 $\gamma = 0,6 \sim 36\% \text{ plochy}$

Nakreslete zjednodušeně prstencovou strukturu



Nakreslete zjednodušeně princip vyhodnocovací kapacity impedancímůstekem.



$$U_{vyst} = \text{Konst.} \cdot U_Z f(C - C_o)$$

Nakreslete zjednodušené kapacitní vyhodnocovací obvody s kapacitně řízenými oscilačory

(a) převodník C/f

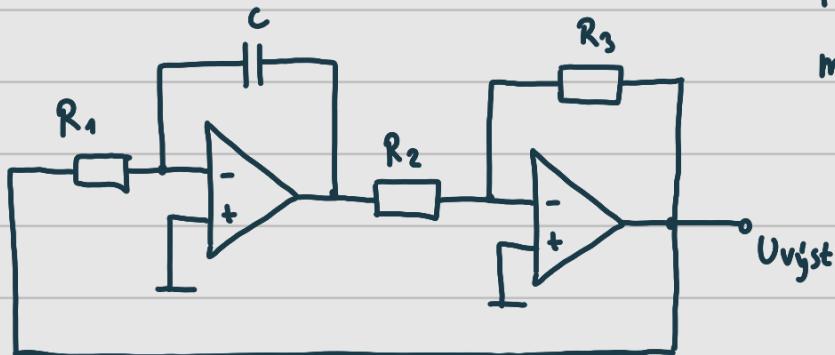
$$f = g(C)$$

příklady: spojení integrátor a komparátor

sinusový oscilátor

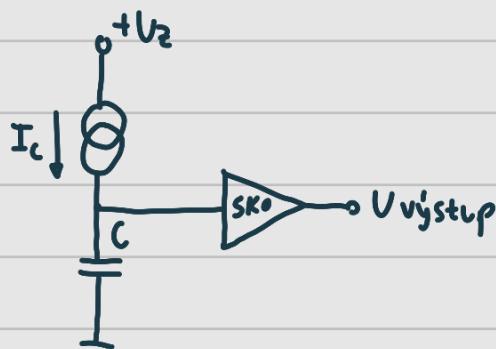
relaxační oscilátor

multivibrátor

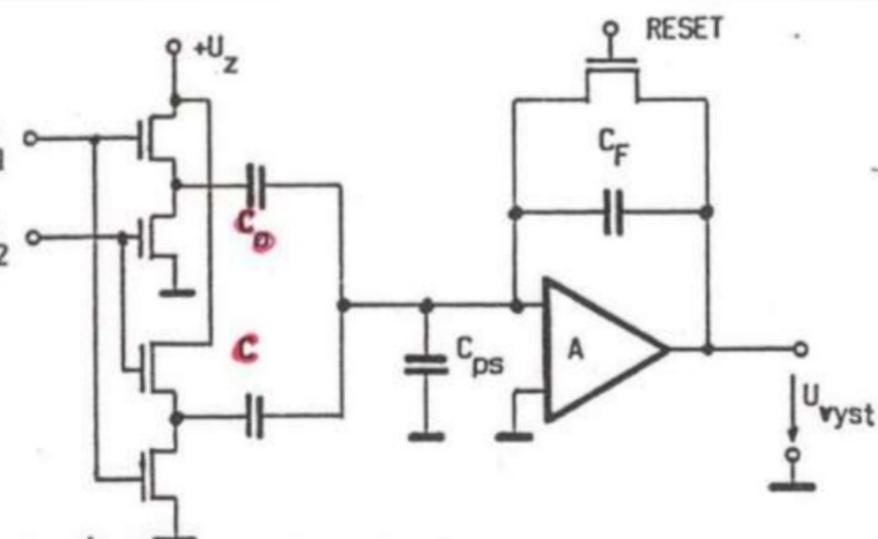


(b) převodník C/t

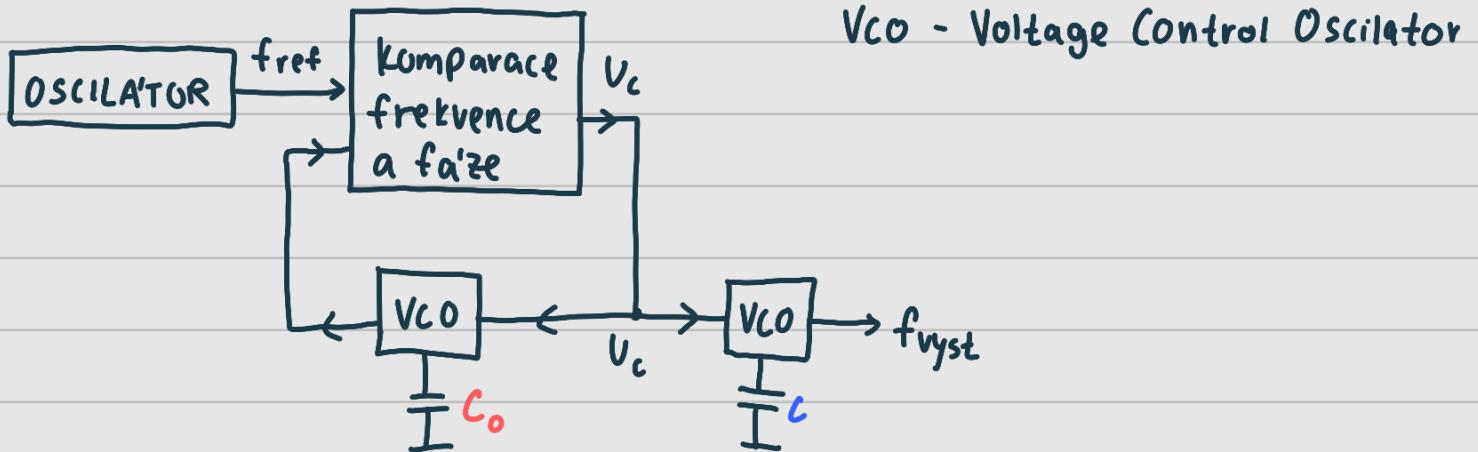
$$t = g(C)$$



Nakreslete zjednodušené základní vyhodnocovací obvody se spinajícimi kondenzátory  
Kondenzátor  $U = f(Q)$



Nakreslete zjednodušené kapacitní vyhodnocovací obvody s fázovým zařízením (PLL)



## Piezoodporový jev.

Definujte deformaci elastickou a deformaci plastickou.

- deformace: změna tvaru při mechanickém namáhání
- elastická: těleso se vrátí do původního stavu po odezvění namáhání
- plastická: těleso zůstane deformované

## Hookův zákon.

Napište matematický vztah, co vyjadruje jednotlivé jeho členy

- popisuje deformaci materiálu působením sil

$\sigma$  - mechanické napětí

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

$\epsilon$  - relativní délkové prodloužení

E - Youngův model pružnosti

## Piezoodporový jev.

Napište základní vztah pro závislost elektrického odporu piezoodporového materiálu na změně geometrických rozměrů vlivem mechanického namáhání.

R - odpor vodiče

V - objem

l - délka

D - průměr

$\rho$  - měrný odpor

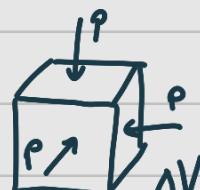
- piezoodporový jev: závislost odporu R materiálu na mechanickém namáhání

## Objemová deformace.

Nakreslete princip činnosti senzoru pro objemovou deformaci piezoodporového materiálu mechanickým namáháním a napište rovnici pro výpočet závislosti změny odporu působením tlaku

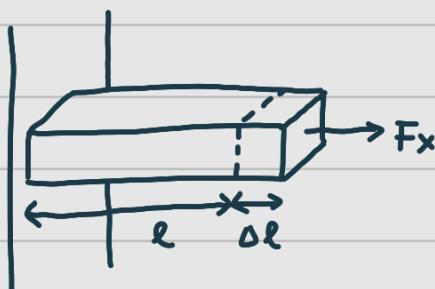
$$\frac{\Delta R}{R} = d_p$$

d - tlakový součinitel



## Podeľna deformace:

Nakreslete princip činnosti senzoru pro podeľnou deformaci piezoodporového materiálu mechanickým namáháním a napište rovnici pro výpočet závislosti změny odporu na jeho relativní změně délky  $\Delta R = f(\Delta l)$



$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

$\frac{\Delta R}{R}$  - relativní změna odporu

$\Delta l$  - změna délky

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  relativní prodloužení

K - součinitel deformacní citlivosti

## Kovové tenzometry s volným drátkem.

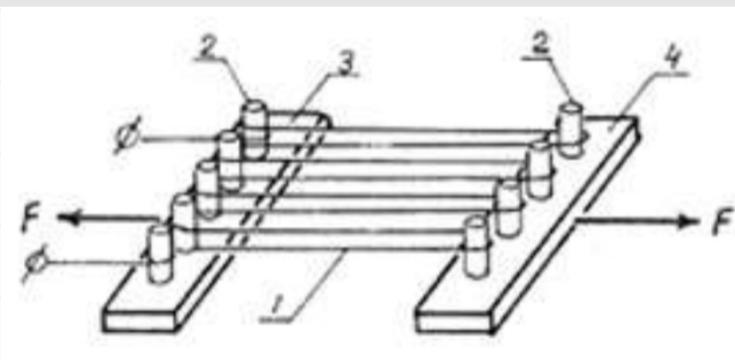
Nakreslete základní konstrukci uspořádání, používané materiály, typická citlivost K, rozměry

- nelepene tenzometry

- materiály: Pt, Ni, Cu, Fe

- citlivost K: -12 Ni až +6 Pt

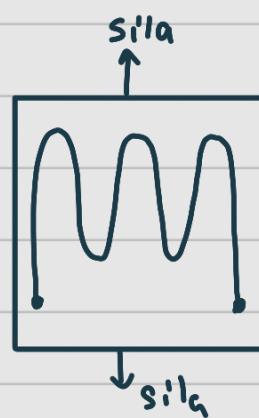
- rozměry: cm



## Lepene' kovove' draťkove' tenzometry

Nakreslete základní konstrukční uspořádání, používané materiály, typická citlivost K, rozměry

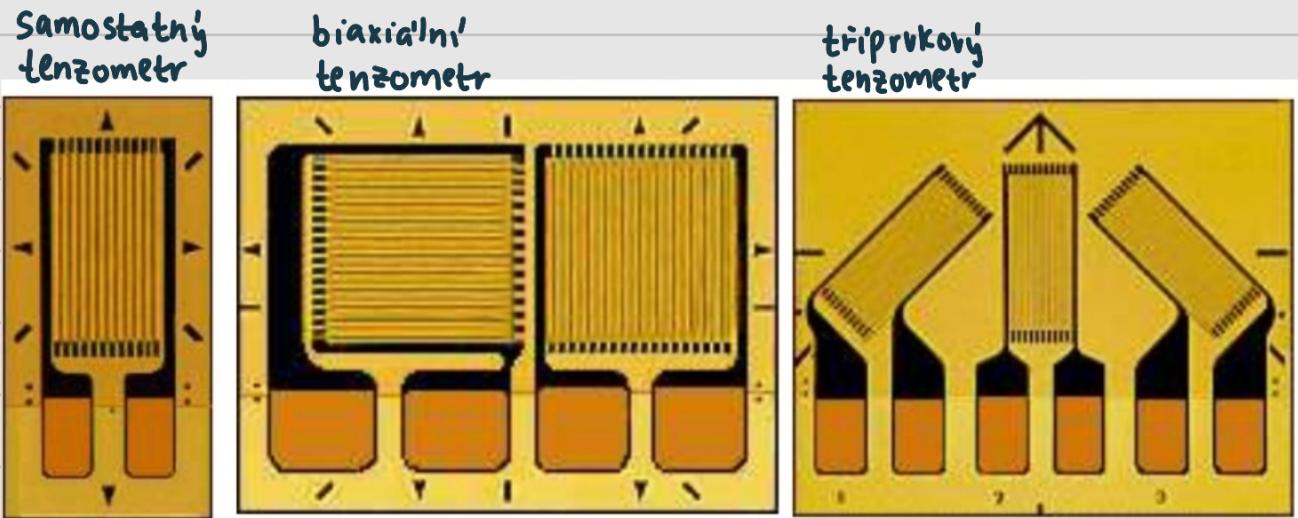
- pružná podložka (prilepi se na objekt)
- jede vekat do látky
- materiály: Pt, Ni, Cu, Fe
- citlivost K:  $-12 \text{ Ni} \text{ až } +6 \text{ Pt}$
- rozměry: cm



## Foliove' kovove' tenzometry.

Nakreslete 2 příklady uspořádání tenzometrů

- odporová folie
- v ní vyleptané vodiče
- měření mechanického namáhání různých tvarů  
(např. nádrže na palivo)



## Piezoodporový jev v polovodičích.

Typické používané polovodičové materiály

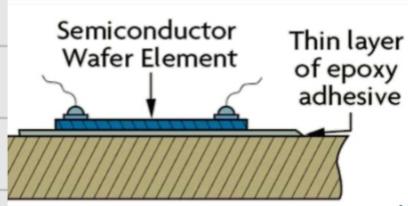
- diamant
- Si (krystalický, polikrystalický, amorfni')
- Ge, GaAs, SiC

(Princip: změna odporu je způsobena anizotropní změnou pohyblivosti nosičů proudu při písobení napětí)

## Polovodičové lepene' tenzometry.

Nakreslete konstrukční uspořádání lepeného polovodičového tenzometru, typické rozměry

- nalepený na substrátu :



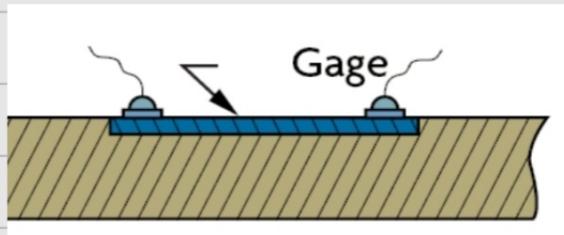
- Samotné kontakty:



- rozměry: mm

## Polovodičové difúzní tenzometry

Nakreslete konstrukční uspořádání polovodičového difúzního tenzometru, typické rozměry



- rozměry: μm-mm

## Polovodičové tenzometry.

Napište definici teplotního součinitele odporu polovodičového tenzometru

$$\alpha_R = \frac{1}{R_0} \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})$$

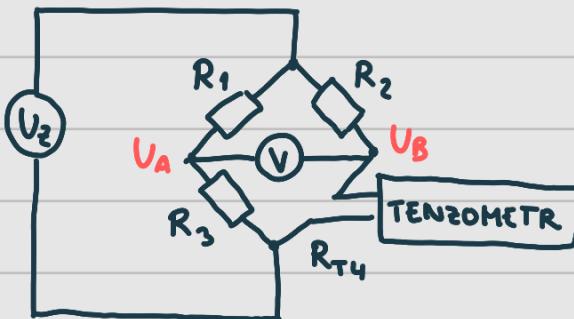
$R_0$  Odpor při pokojové teplotě

$\Delta R$  změna odporu

$\Delta T$  změna teploty

Tenzometry - vyhodnocování signálu:

Nakreslete zapojení tenzometrů do tenzometrického můstku, napište podmínu vyvážení můstku.



$$U_A = U_B \quad (\text{podmínka pro vyvážení})$$

$$U_A = U_2 \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

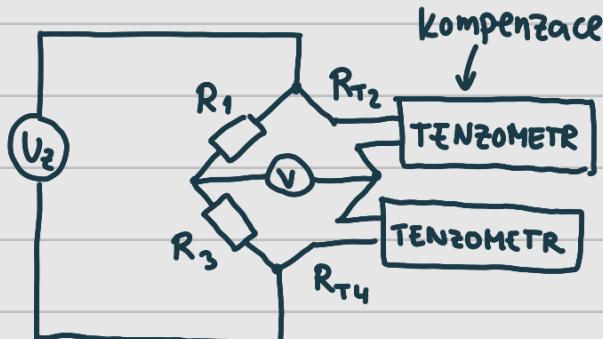
$$U_B = U_2 \frac{R_{T4}}{R_2 + R_{T4}}$$

problem: teplota

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_{T4}}$$

Tenzometry - vyhodnocování signálu.

Nakreslete princip kompenzace teploty v můstku

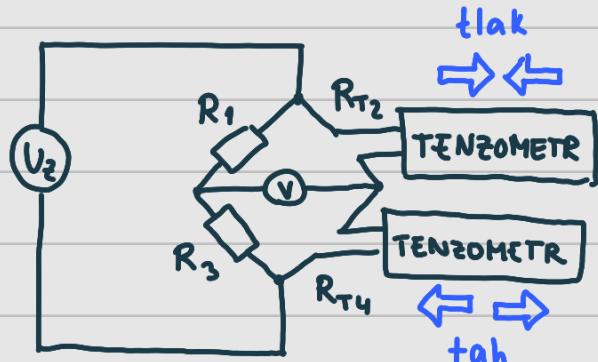


podminka pro vyvážení:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_{T2}}{R_{T4}}$$

Tenzometry - vyhodnocování signálu.

Nakreslete princip zvýšení citlivosti 2x v můstku.

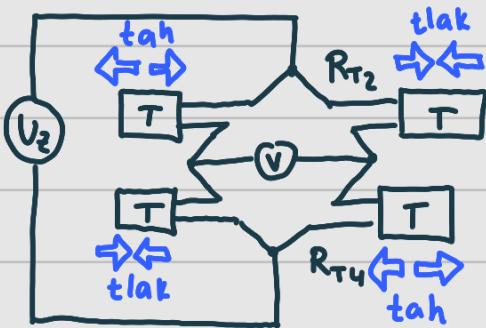


oba tenzometry měří

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_{T2}}{R_{T4}}$$

Tenzometry - vyhodnocování signálu.

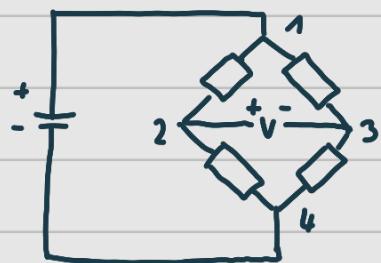
Nakreslete princip zvýšení citlivosti 4x v můstku.



$$\frac{R_{T1}}{R_{T3}} = \frac{R_{T2}}{R_{T4}}$$

Snímání informace v elektronické váhy.

Nakreslete princip činnosti snímacího elementu v elektronické váhy, nakreslete zjednodušený elektronický vyhodnocovací obvod snímace

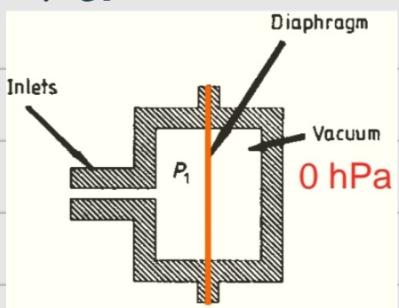


## PIEZODPOROVÉ SENZORY TLAKU

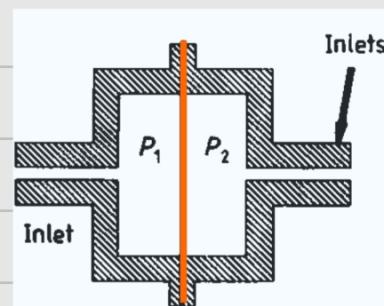
Nakreslete princip činnosti tlakového senzoru pro měření absolutního a senzoru pro měření diferenciálního tlaku

- absolutní: tlak působící na jednu stranu membrány druhá strana je referenční tlak
- diferenciální: tlaky působící na obě strany membrány měří se rozdíl tlaků

### ABSOLUTNÍ



### DIFERENCIÁLNÍ

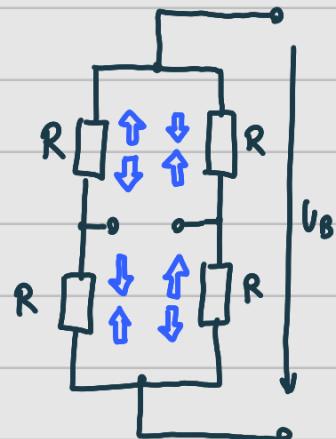
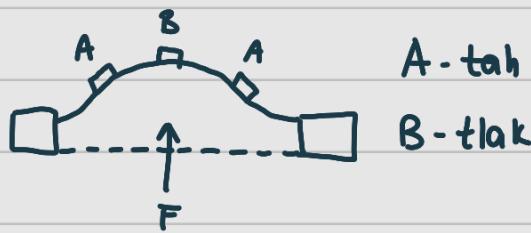


Napište alespoň 3 základní typy polovodičových tlakových senzorů

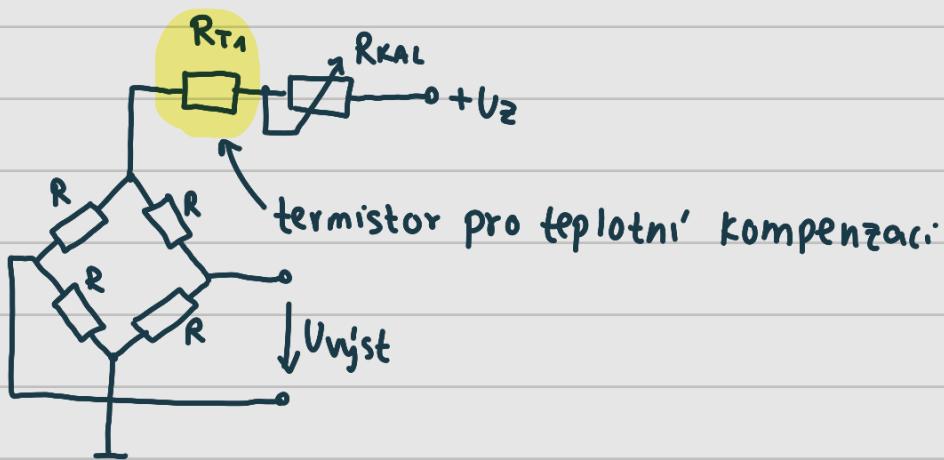
- piezoelektrické
- piezoodporové
- kapacitní

Nakreslete základní uspořádání piezoodporového tlakového senzoru se 4 piezoodporovými tenzometry na membráně.

Nakreslete obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu ze 4 piezodporů tlakového senzoru



Nakreslete zjednodušené elektronické obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu z piezoodporů tlakového senzoru. Do zapojení nakreslete princip jednoduché teplotní kompenzace termistorem.

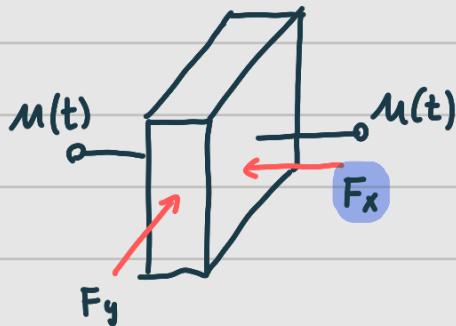


Počítačový piezoelektrický jev:

Nakreslete princip činnosti piezoelektrického senzoru.

Napište základní rovnice pro výpočet naboje a napětí

- mechanická deformace působí ve směru elektrické osy (směr X)



$$- \text{Vektor polarizace } P_e = k_p \cdot P_x = k_p \frac{F_x}{S_x}$$

Konst. tlak

$$- \text{elektrický náboj } Q_x = P_e S_x = k_p F_x \quad k_p - \text{piezoelektrická konstanta}$$

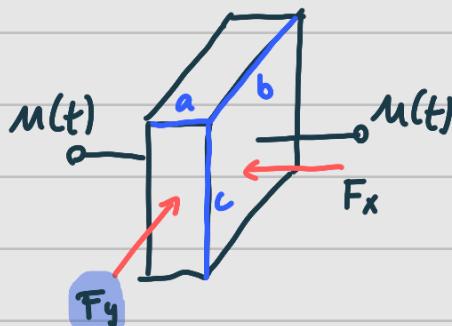
$$- \text{napětí na elektrodech } U_{xx} = k_m F_x \quad k_m - \text{napěťová citlivost}$$

Příčný piezoelektrický jev:

Nakreslete princip činnosti piezoelektrického senzoru.

Napište základní rovnice pro výpočet naboje a napětí

- mechanická deformace působí ve směru kolmo na elektrickou osu (směr y)



$$- \text{Vektor polarizace } P_e = -k_p \cdot P_y = -k_p \frac{F_y}{S_y}$$

Konst. tlak

$k_p - \text{piezoelektrická konstanta}$

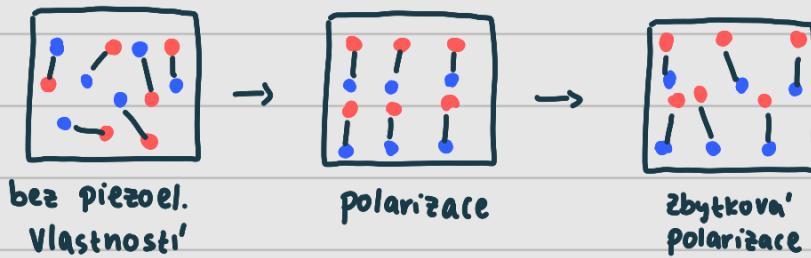
$$- \text{elektrický náboj } Q_x = P_e S_x = -k_p \frac{F_y S_x}{S_y} = -k_p \frac{b}{a} F_y$$

$$- \text{napětí na elektrodech } U_{xx} = k_m \frac{b}{a} F_y \quad k_m - \text{napěťová citlivost}$$

## Piezoelektrické materiály:

Napište alespoň 3 základní typy piezoelektrických materiálů, vysvětlete pojmu polarizace piezoelektrického materiálu

- polarizace: aplikace silného stejnosměrného el. pole teplota těsně pod Curieovou teplotou žrny jsou orientovány ve směru el. pole



### - materiály:

- keramika
- polymery
- monokrystaly

## Piezoelektrické materiály:

Napište názvy 3 typických piezoelektrických materiálů, nakreslete příklad teplotní závislosti s Curie teplotou, jaký význam má tato teplota?

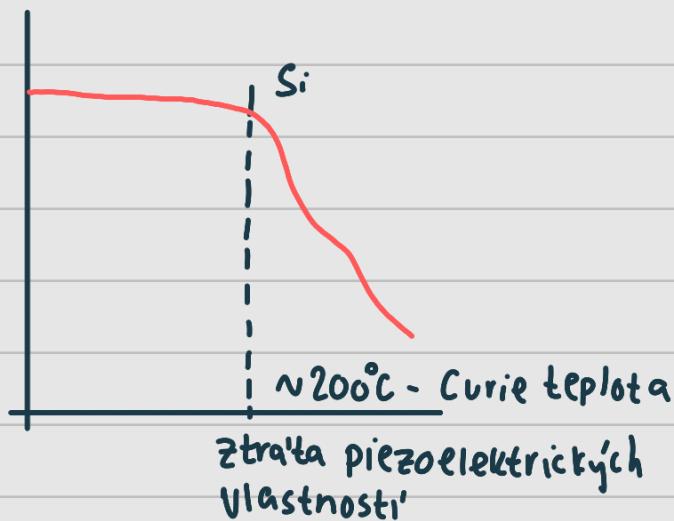
### - typy materiálů:

$\rho_{Si}$  - závisle na teplotě

- keramika
- polymery
- monokrystaly

### - Curie teplota

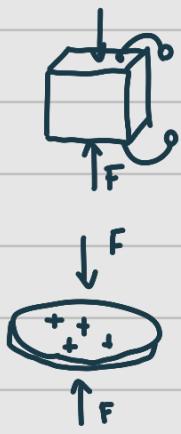
→ když se k ni přiblížujeme materiál ztrácí piezoelektrické vlastnosti



## Piezoelektrický senzor:

Nakreslete základní typy mechanického zatížování piezoelektrické struktury

(a) podélný



(b) příčný



(c) stříh

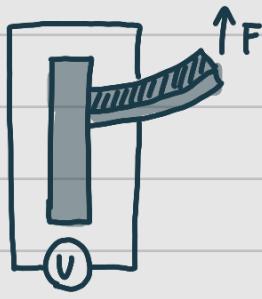


## Piezoelektrický aktuator:

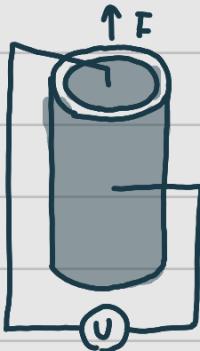
Nakreslete alespoň 3 základní struktury piezoelektrických aktuatorů

(nosník, torze, dilatace), porovnejte sílu a posun u těchto struktur.

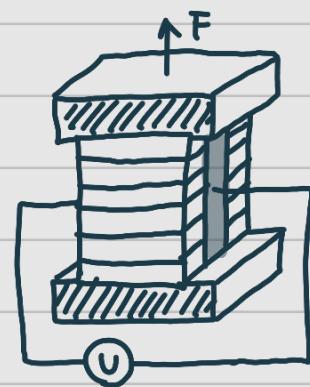
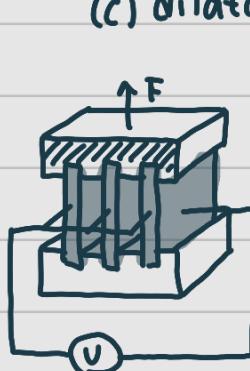
(a) nosník



(b) torze



(c) dilatace



posuv:  $\leq 1000 \mu\text{m}$

posuv:  $\leq 50 \mu\text{m}$

posuv:  $\leq 50 \mu\text{m}$

posuv:  $20 - 200 \mu\text{m}$

síla:  $\leq 5 \text{ N}$

síla:  $\leq 1000 \text{ N}$

síla:  $\leq 1000 \text{ N}$

síla:  $\leq 3000 \text{ N}$

napětí:  $60 - 400 \text{ V}$

napětí:  $120 - 1000 \text{ V}$

napětí:  $60 - 500 \text{ V}$

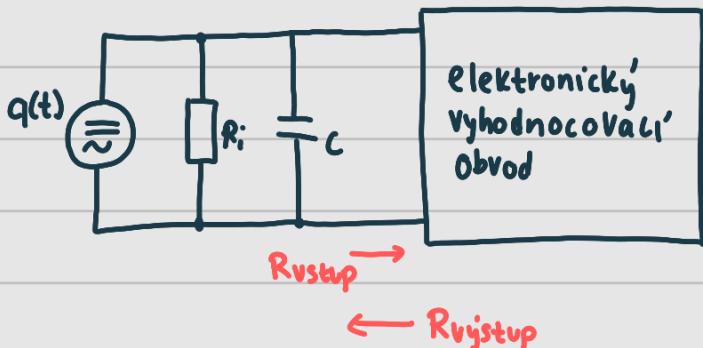
napětí:  $6 - 1000 \text{ V}$

## Vyhodnocování signálů z piezoelektrických senzorů.

Nakreslete nahradní elektrický model piezoelektrického senzoru.

Nakreslete připojení vyhodnocovacího obvodu. Definujte podmínku

pro vstupní impedanci připojeného elektrického vyhodnocovacího obvodu.

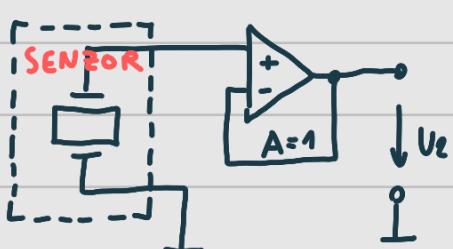


$R_{vystup} >> R_{vystup}$

Vyhodnocovani signalu z piezoelektrickych senzorov:

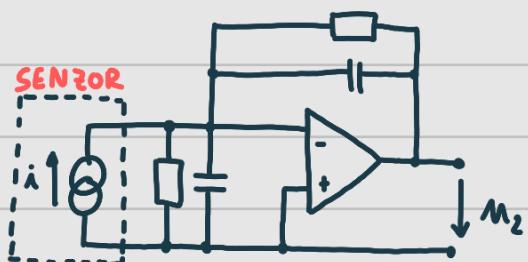
Nakreslete zjednodusene priklady dvou impedancnih oddelovaci pripojenych na vystup piezoelektrickeho senzoru a privedejicih vysokou impedanci na nizkovu.

- hbojový zesilovač :



impedancni prevodnik

zesileni napeti ze senzoru



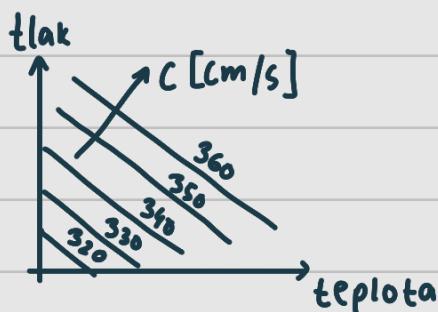
převodník proudu na napětí

Ultrazvuk:

Jaká je približna rychlosť šíření zvuku a ultrazvuku ve vzduchu, jaká je teplotni zavislost, zavisla rychlosť šíření na tlaku vzduchu, dolni kmitočtova hranice ultrazvuku

- rychlosť šíření vzduchu: cca 300 m/s

(závislá na teplotě a tlaku)

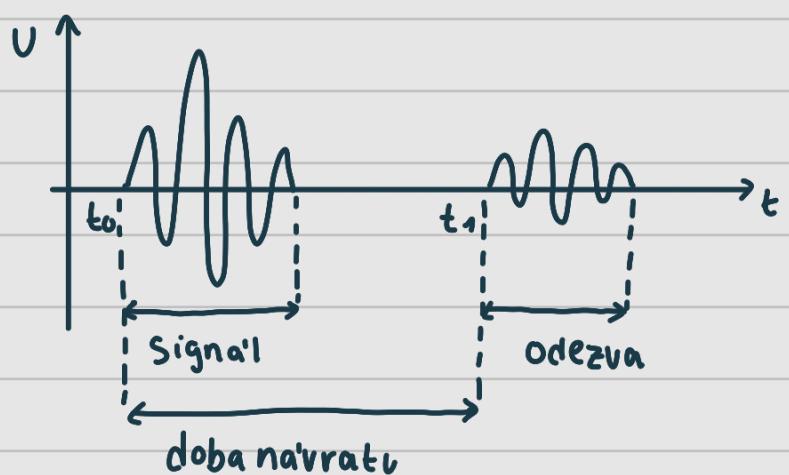


$$c = 331,6 + 0,61 \cdot T \text{ (m/s)}$$

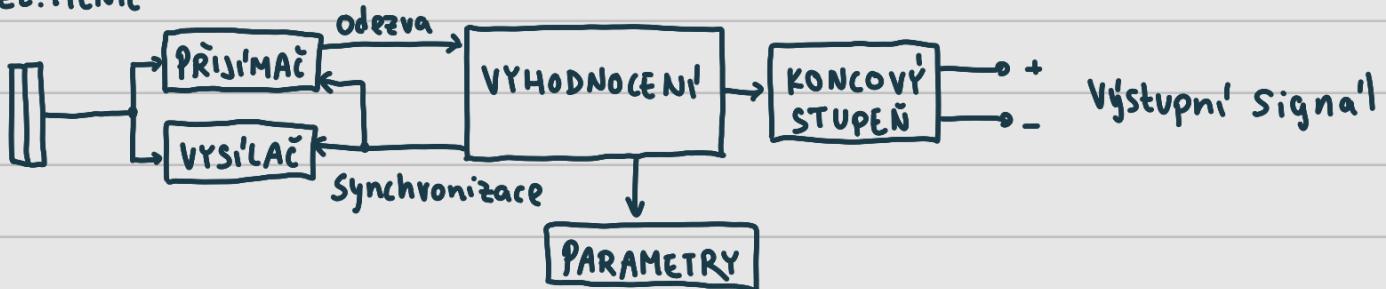
- dolni kmitočtova hranice: 20 kHz

Měření vzdálenosti ultrazvukem:

Nakreslete základní princip (impulzy v závislosti na čase) a způsob vyhodnocování. Nakreslete zjednodušené blokove schéma elektronické části senzoru pro měření vzdálenosti.

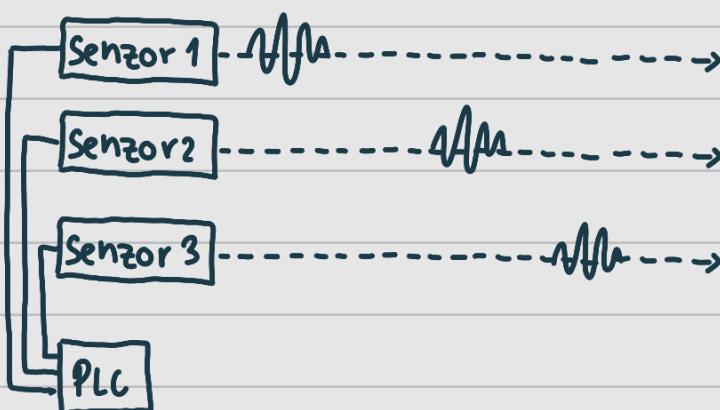
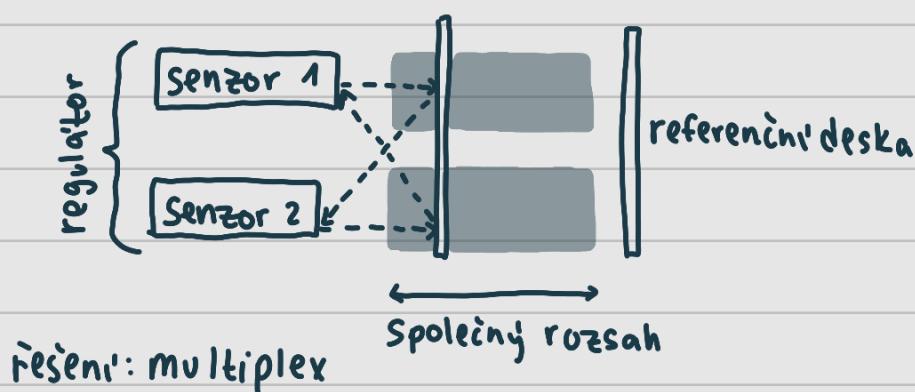


PIEZOEL. MĚNIČ



Použití ultrazvukových senzorů v jednom prostoru:

Lze použít více ultrazvukových senzorů současně v jednom prostoru, eventuálně jakými metodami lze řešit použití více senzorů v jednom prostoru (nakreslete příklady).



## Aplikace ultrazvukových senzorů:

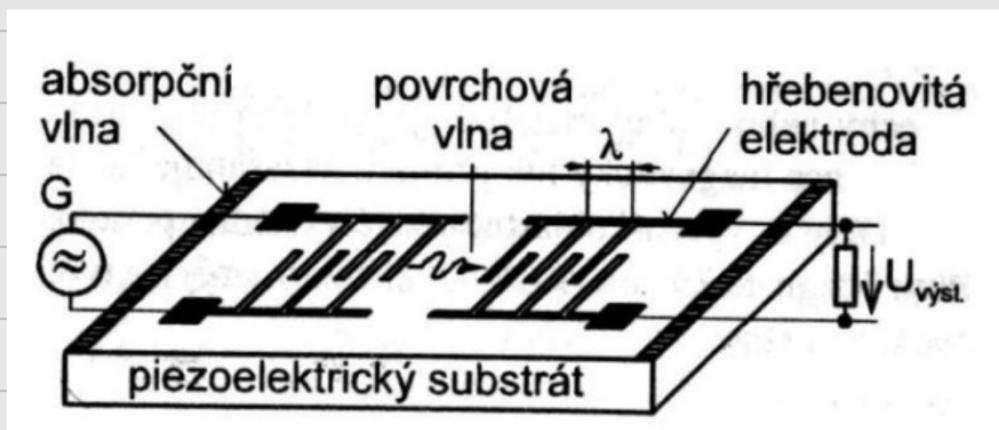
Uveďte příklady 3 aplikací:

- ultrazvukové 'zobrazení' (medicina)
- ultrazvuková 'závora' (počítání průhlednosti plastových lahví)
- ultrazvuková 'detekce naplnění' (výška hladiny)
- parkovací senzory

## SAW senzory:

Nakreslete základní princip činnosti senzorů s povrchově akustickou vlnou, význam budící a snímací interdigitační struktury

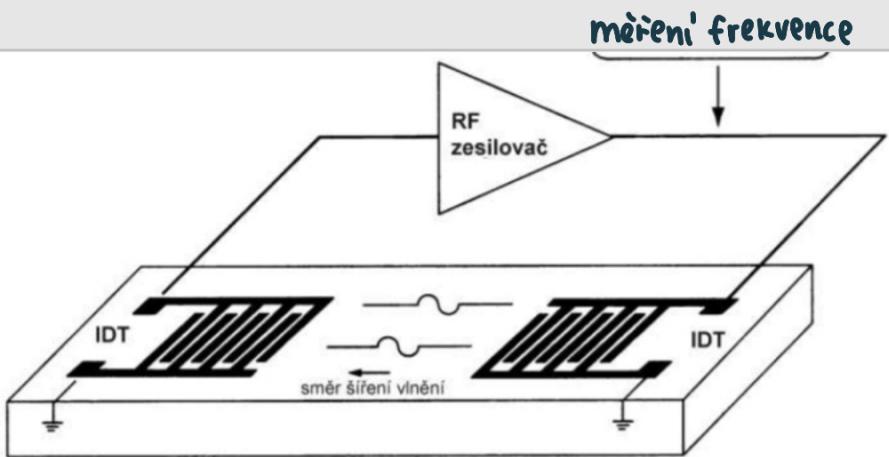
- povrchová akustická vlna (Surface Acoustic Wave)
  - ↳ vznika, pokud má podložka piezoelektrické vlastnosti
  - ↳ síří se po povrchu



- na elektrodech vznika napětí
- změna parametrů vlnění (vysílač  $\rightarrow$  přijímač)
  - ↳ změna frekvence  $\Rightarrow$  změna napětí vysílač/přijímač  $\Rightarrow$  senzor

## Vyhodnocování signálu ze SAW senzoru:

Nakreslete senzor se základním elektronickým vyhodnocovacím obvodem, nakreslete výstup signálu, v jeho formě je výstupní signál.

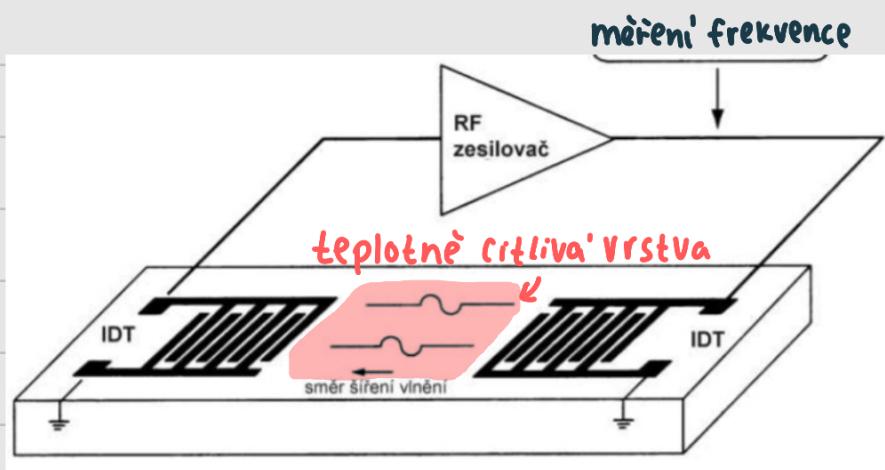


- měření změny parametrů vlny
- a) frekvence oscilačtoru ve zpětné vazbě
- b) rozdíl amplitud (vstup × výstup)
- c) rozdíl fází (vstup × výstup)

### SAW senzory:

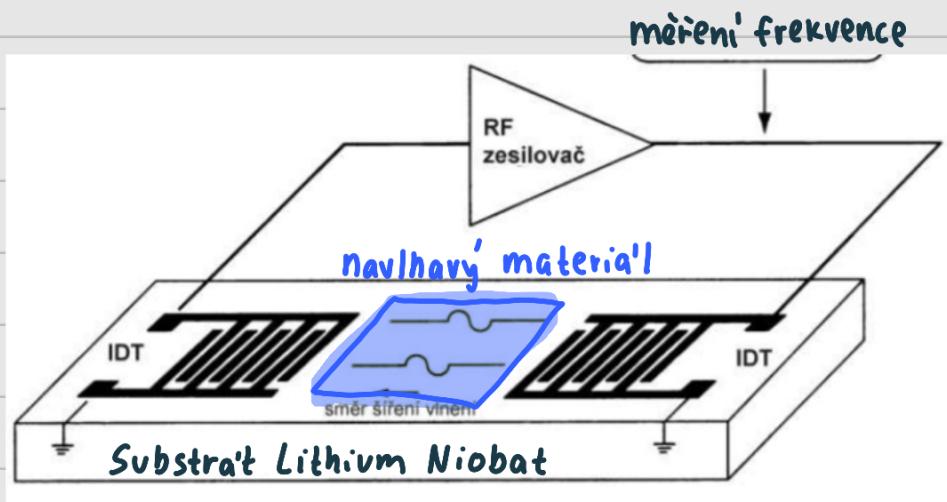
Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření teploty.

- vyhodnocování změny fáze nebo amplitudy
- rozdíl frekvence:  $\Delta f = 800 \text{ Hz}$  (max)
- teplotní rozmezí  $-40^\circ\text{C}$  až  $+160^\circ\text{C}$



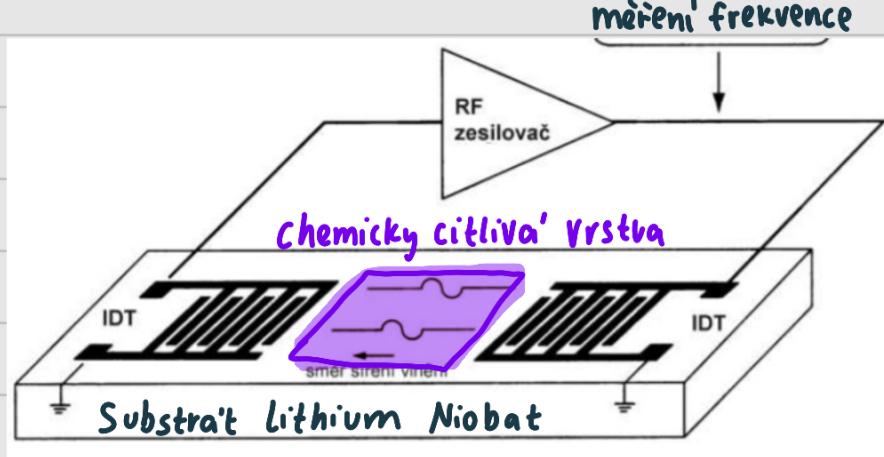
### SAW senzory:

Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti.



## SAW senzory:

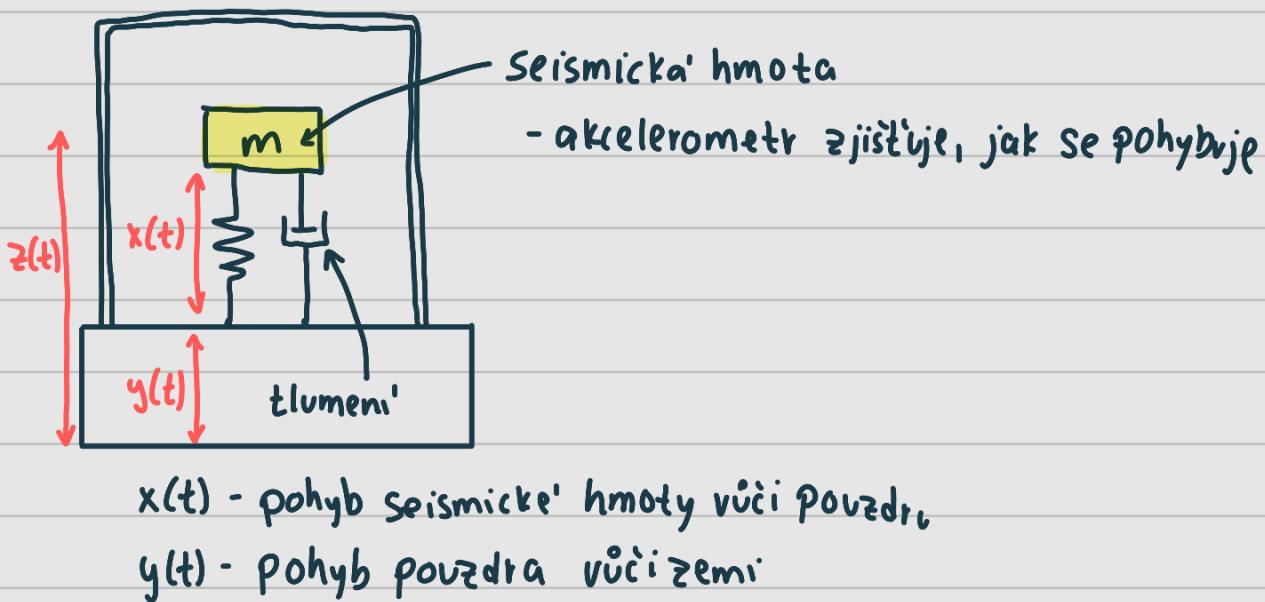
Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření chemických látek.



- Vrstva reaguje s daným plynem / párov
- chemická reakce  $\Rightarrow$  změna hmotnosti a mechanické vlastnosti vrstvy  
 $\Rightarrow$  posuv Δf rezonanční frekvence senzoru

## Akcelerometr:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, co je to seismická hmota, napište základní rovnici popisující pohyb hmoty v jednoosého akcelerometru.



$$z(t) = x(t) + y(t) \quad - \text{rovnice pohybu seismické hmoty vůči zemi}$$

## Akcelerometr s principem piezoodporovým:

Nakreslete zjednodušeně základní strukturu a popište princip činnosti akcelerometru.

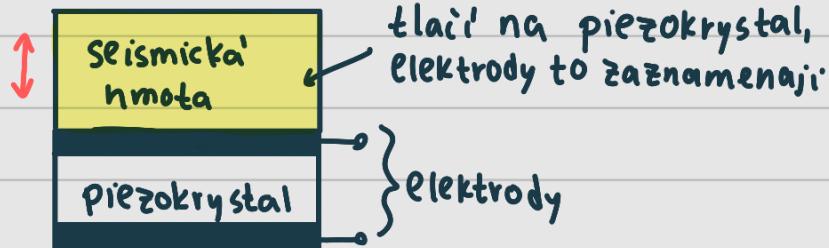


- nejjednodušší princip
- dokáže sledovat statické změny
- pohyb seismické hmoty  $\Rightarrow$  prodlužování a zkracování piezoodporu  
 $\hookrightarrow$  změna odporu úměrná výchylce hmoty

## Akcelerometr s principem piezoelektrickým:

Nakreslete zjednodušeně základní strukturu a popište princip činnosti akcelerometru.

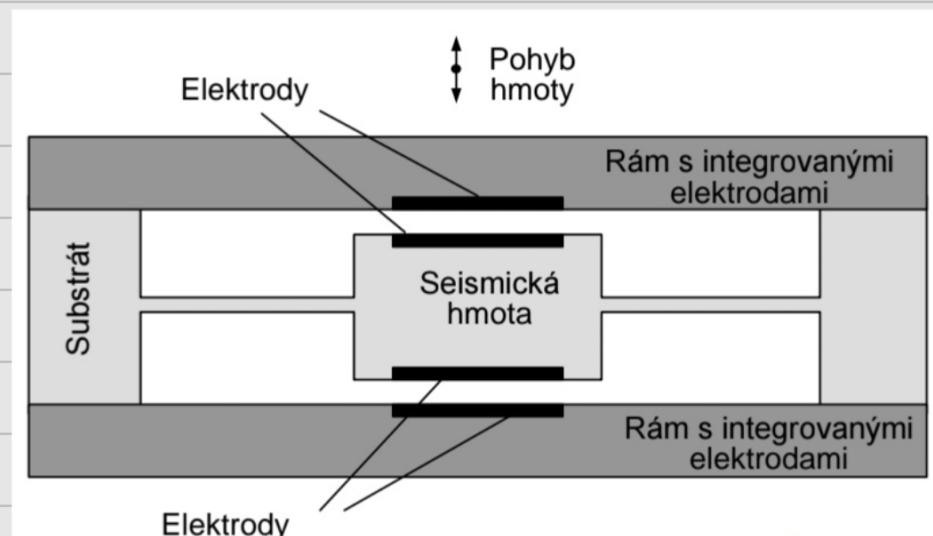
- měření polohy seismické hmoty vůči pouzdru senzoru (piezoelektrické napětí)



↳ funguje pouze na dynamickej deje

## Akcelerometr s principem kapacitním:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.



dve kapacity

=> diferenciální zapojení

změna vzdálenosti desek

=> změna kapacit

(jedna roste, druhá klesá)

- umí jak statické tak dynamické deje

- nejpoužívanější

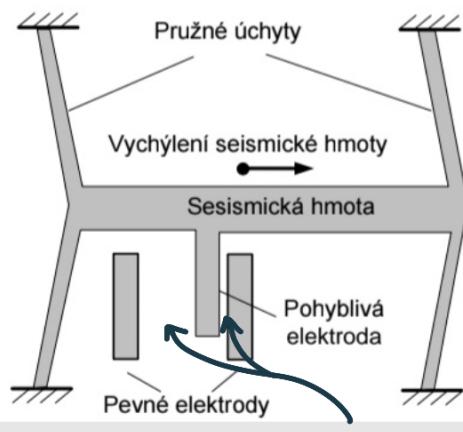
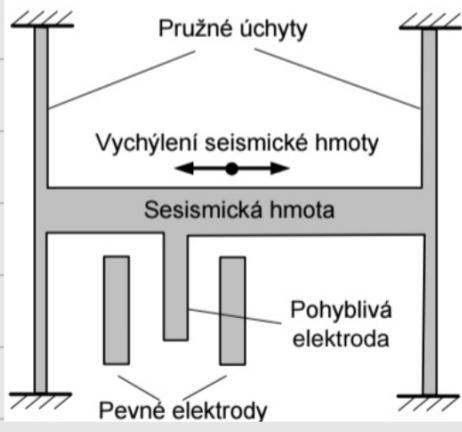
## Akcelerometr s principem kapacitním s hřebenovým uspořádáním

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.

- paralelní spojení

- seismická hmota připojena k pohyblivým elektrodám

↳ při akceleraci dojde k pohybu oproti pevným elektrodám



Změna kapacity

## Senzory s indukčností:

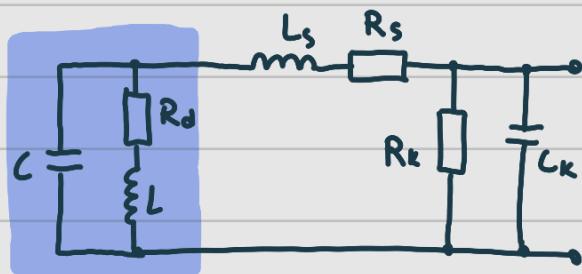
Napište základní rovnici pro výpočet indukčnosti  $L$  a k ní napište diferenciální rovnici pro určení změny indukčnosti. Nakreslete nařadní elektrické zapojení senzoru s  $L$  s připojením k vyhodnocovacímu obvodu. Z nařadního elektrického obvodu odvodíte nerovnici pro určení rozmezí pracovních frekvencí

- základní rovnice:

$$L = f(S, l, N, \mu)$$

- diferenciální rovnice:

$$dL = \frac{\partial L}{\partial S} dS + \frac{\partial L}{\partial l} dl + \frac{\partial L}{\partial N} dN + \frac{\partial L}{\partial \mu} d\mu$$



$S$  ... průřez jádra

$l$  ... délka zařítu

$N$  ... počet zařítu

$\mu$  ... permeabilita

$$\underbrace{R_d, R_s, \omega L}_{\text{seriově}} \ll \omega L \ll \underbrace{\frac{1}{\omega C}, \frac{1}{\omega C_k}, R_k}_{\text{paralelně}}$$

## Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní):

Nakreslete princip činnosti, napište na kterých parametrech je indukčnost  $L$  závislá

- změna impedance  $\rightarrow$  změna indukčnosti

- měříme impedance  $\rightarrow$  z ní vypočítáme indukčnost  $X_L = 2\pi f L$

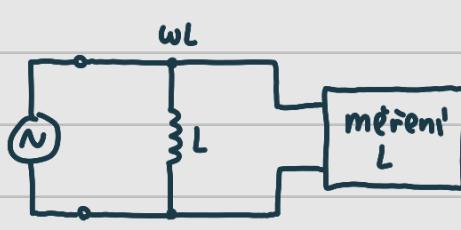
$$L = f(S, l, N, \mu)$$

$S$  ... průřez jádra

$l$  ... délka zařítu

$N$  ... počet zařítu

$\mu$  ... permeabilita

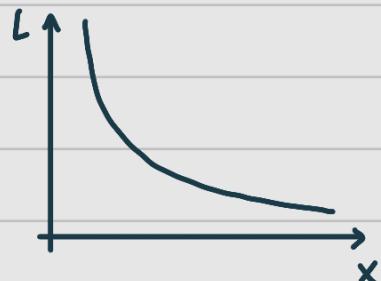
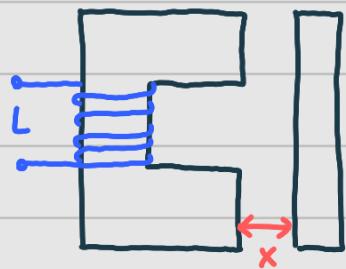


Indukčnostní (induktanční) s malou vzduchovou mezery:

Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu indukčnosti se změnou vzduchové mezery.

- změna vzduchové mezery - směr X

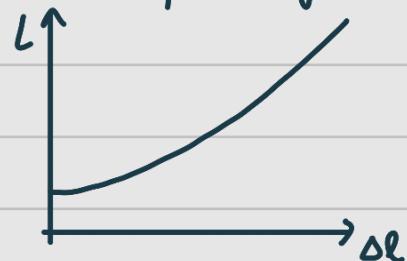
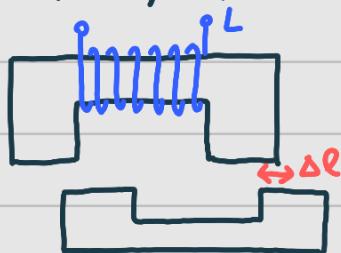
(vzdálenost mezi jádrem a pohyblivým trímenem)



Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s posunutím jádra:

Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku  $L$  jako funkci posunu jádra.

- změna plochy (průřezu) na základě posunu jádra



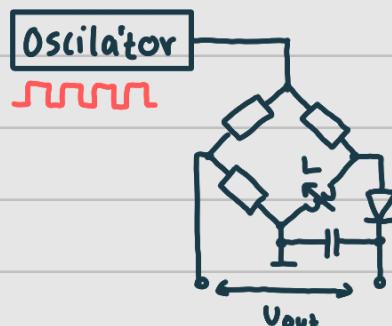
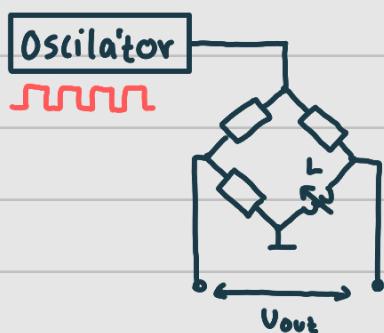
Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní):

Nakreslete můstkovou zapojení pro vyhodnocování signálů (výstupem je střídavý signál, stejnosměrný signál, zapojení se synchronním detektorem).

- výstup je:

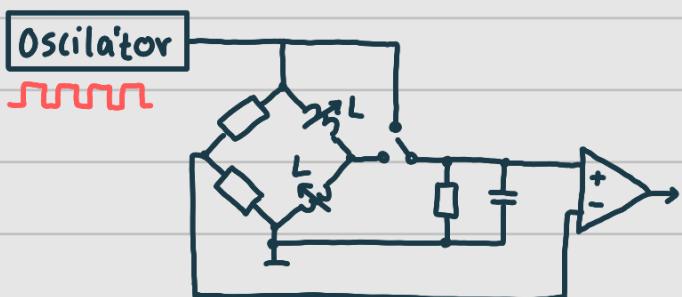
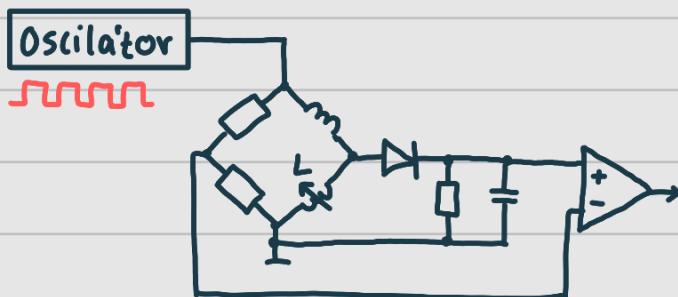
(a) střidavečné napětí

(b) stejnosměrné napětí



(c) stejnosměrné zosílene napětí

(d) synchronní detektor



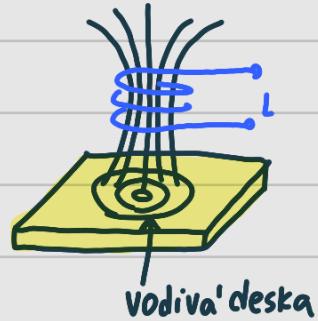
Indukční (induktanční) senzor (pasivní) s potlačeným magnetickým polem:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.

- potlačené magnetické pole - vnitřní proudy
- střídavé magnetické pole indukuje vnitřní proudy

↳ ty vytvářejí vlastní magnetické pole  
(opacná fáze než budíci)

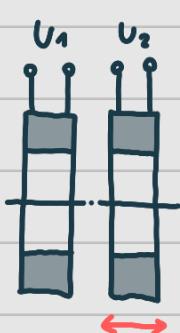
- výsledné pole: vektorový součin obou polí:
  - ↳ původní pole se zeslabí
  - ↳ měni se impedance cívky



Indukční (induktanční) senzor (pasivní), vzájemná indukčnost:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru.

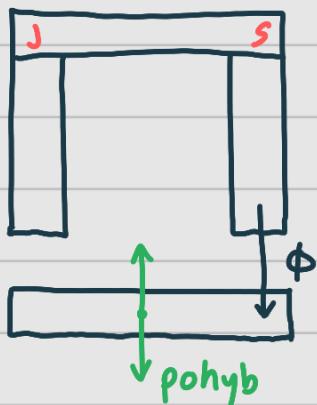
Princip:



- vzájemná indukčnost ( $L_1, L_2$ ) nastavena bez jádra tak, aby oscilátor kmital
- zasunutí jádra  $\Rightarrow$  změni se vzájemná indukčnost  
Varba, oscilátor přestane kmitat
- Vyhodnocení: změna amplitudy na výstupu

Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektromagneticky (aktivní):

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru, napište rovnici indukčního zákona pro cívku s N závity, nakreslete princip (z jednodušený obvod) pro využití výstupního signálu.



- kov se pohybuje k senzoru
- magnetické pole senzoru indukuje el. proud v kovu, ten ovlivní magnetické pole

- indukční zákon pro čírku s  $N$  závity:

$$M = -N \underbrace{\frac{d\Phi}{dt}}$$

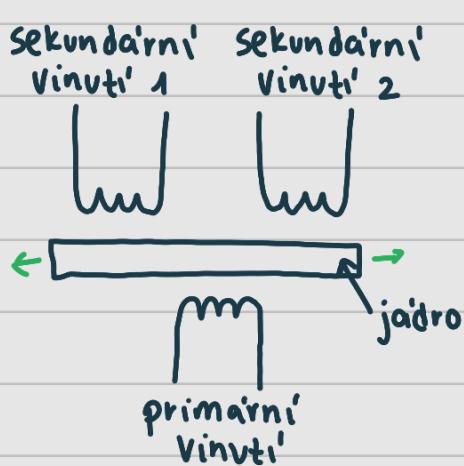
změna magnetického indukčního toku

- vyhodnocování výstupního signálu:



## Transformátorový senzor polohy (LVDT):

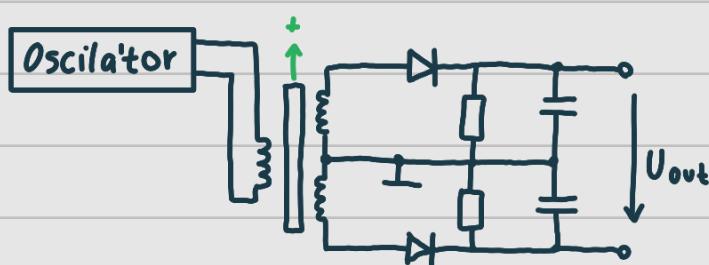
Nakreslete princip činnosti:



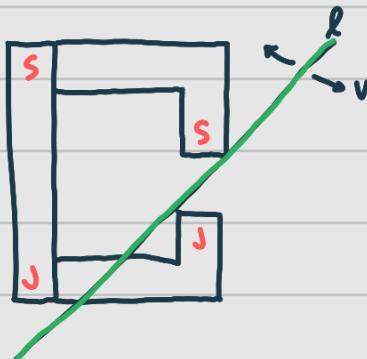
- LVDT: lineární proměnný diferenciální
- jádro je uprostřed  $\Rightarrow$  nulové napětí
- posunutí jádra  $\Rightarrow$  změní se velikost napětí

## Transformátorový senzor polohy (LVDT):

Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování informace z LVDT senzoru.



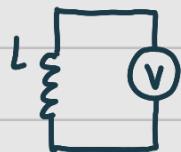
Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektrodynamický (aktivní):  
 Nakreslete princip činnosti senzoru, napište magnetoinduktivní rovnici pro výstupní napětí, nakreslete zjednodušený obvod pro vyhodnocování výstupního signálu.



- Vodič se pohybuje  $\Rightarrow$  vznikne elektrické napětí v senzoru
- napětí v senzoru se převede na el. signál
- použití: měření rychlosti, detekce pohybu

- magnetoinduktivní rovnice:

- Vyhodnocení signálu:



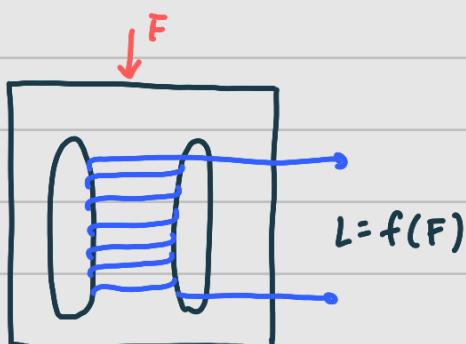
$$M = B v l$$

magnetická indukce  $B$   
 rychlosť vodiče  $v$   
 dĺžka vodiče  $l$

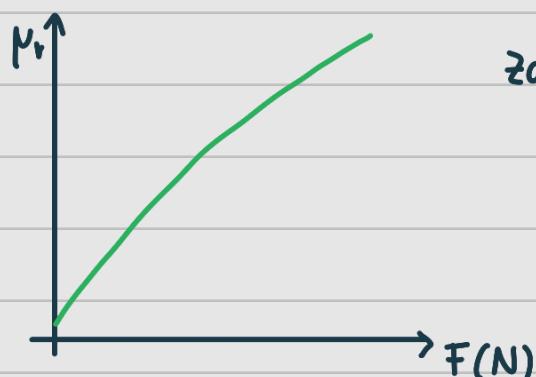
Magnetoelastický senzor:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti. Nakreslete příklad závislosti permeability, resp. indukčnosti na působící sile (mechanickém namáhání).

Nakreslete příklad konstrukce magnetoelastických (listkových) tenzometrů.



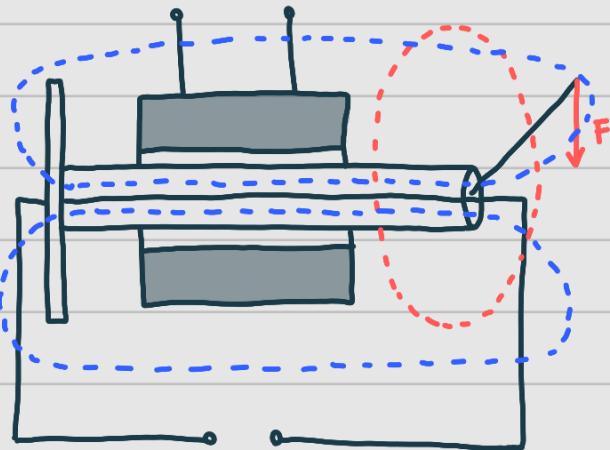
- působičí síla  $\rightarrow$  změna permeability ( $\mu_r$ )
- změna  $\mu_r \rightarrow$  změna vlastnosti jádra



závislost permeability na působící síle

## Magnetosktrikční senzor:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.

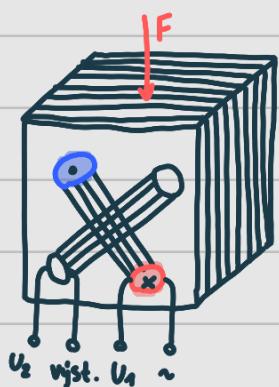


- inverzní Niedemanův jev

- tyč je v kruhovém magnetickém poli;
- tyč se deformuje
  - ↳ objeví se okolo ní napětí (výstupní signál)

## Magnetoanizotropní senzor:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.



- magnetoanizotropie

- = deformace magnetického pole při mechanickém namáhání

- senzor vyroben z plechů

- ↳ u nich 4 otvory

- ↳ primární a sekundární vinutí

- bez zatížení → primární vinutí nezasahuje do sekundárního

- se zatížením → magnetická anizotropie

- zvýší se vazba mezi primárním a sekundárním vinutím

- na výstupu napětí

# MAGNETICKÉ MIKROSENZORY

## MAGNETOGALVANICKÉ

- Hallovy sondy (SOS, CMOS)
- magnetoodpor
- magnetodioda
- Magnetorezistor
- nosičové doménové CMOS

## AKUSTICKÉ

- SAW  
magnetoelastické

## KVANTOVÉ

- SQUID

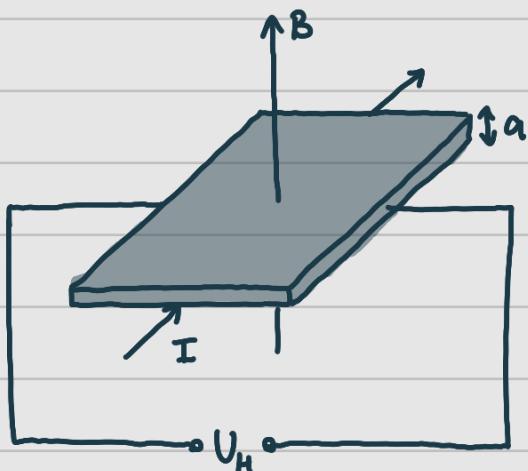
=> princip

=> typ senzoru

Senzor magnetického pole s Hallovým jevem:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti Hallova senzoru.

Napište základní rovnici pro výpočet Hallova napětí!



- destičkou prochází proud
- při vložení do magnetického pole se na boji přestupí na jednu stranu
- vznikne napětí (Hallovo)
- to změříme a z něj vypočítáme magnetickou indukci

$U_H$  Hallovo napětí

$B$  magnetická indukce

$I$  proud čipem

$a$  tloušťka destičky

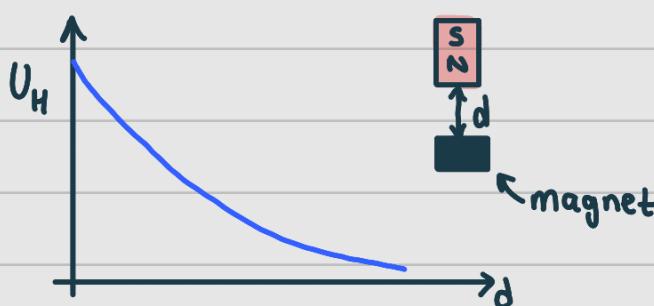
$R_H$  Hallova konstanta

$$U_H = \frac{R_H}{a} \vec{B} \times \vec{I}$$

Měření vzdálenosti a posuvu s Hallovým senzorem:

Nakreslete a vysvětlete princip měření vzdálenosti a posuvu.

Vzdálenost:

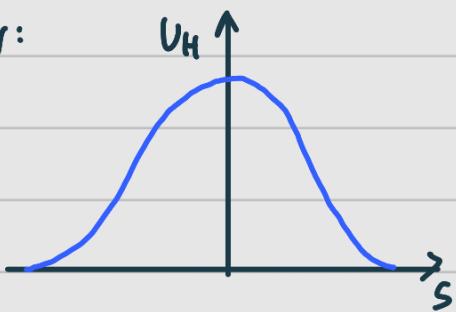


změříme průběh

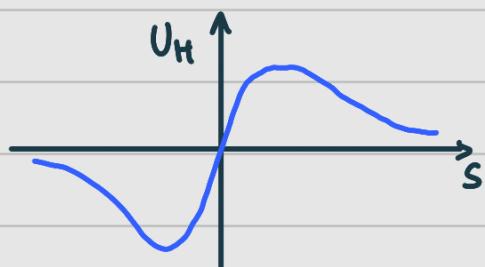
napětí při změně

vzdálenosti od magnetu  
(cca lineární)

posuv:



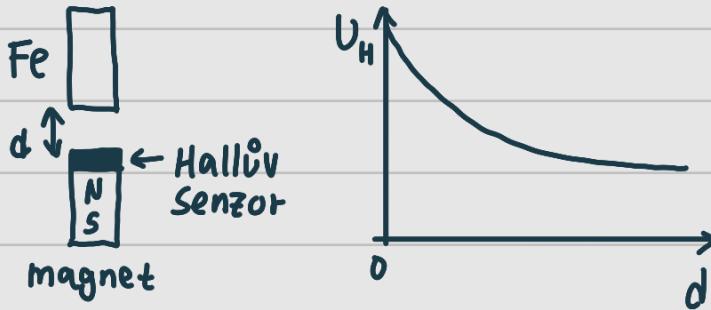
hyperbola (3. řád)



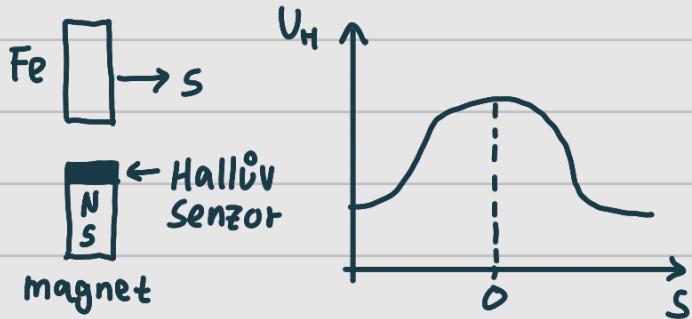
Měření vzdálenosti s Hallovým senzorem v režimu s feromagnetikem.

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti Hallova senzoru v režimu využití feromagnetika pro měření vzdálenosti.

- přiblžení feromagnetika

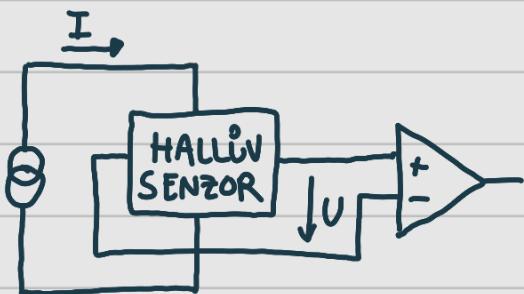


- posuv feromagnetika



Vyhodnocování signálu z Hallova senzoru.

Nakreslete zjednodušeně princip zapojení senzoru pro vyhodnocování signálu (vyhodnocovací obvod) a vysvětlete jeho činnost

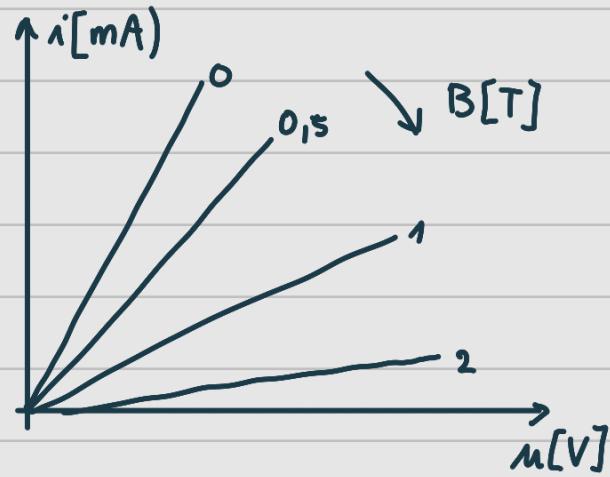
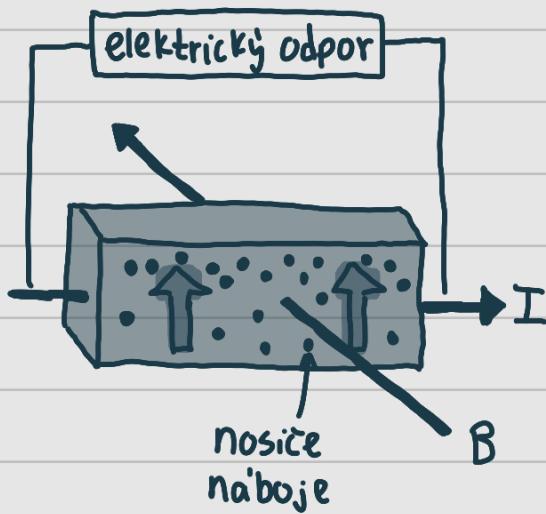


Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem.

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti magnetoodporového senzoru.

Nakreslete jednoduché zapojení magnetoodporového senzoru do elektronického obvodu pro vyhodnocování magnetické indukce  $B$

- tenka magnetická vrstva
- elektricky vodive magnetické materiály
  - ↳ „magnetoodporový jev“
  - ↳ vektor magnetizace vytráží směr, kterým teče proud
  - ↳ působení vnějšího mag. pole  $\Rightarrow$  stocení proudové cesty  
 $\Rightarrow$  změna odporu
- Lorentzova síla „zvětšuje“ proudovou cestu  
 $\Rightarrow$  zvýšení odporu

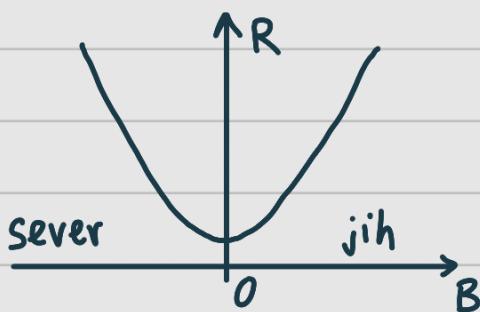


Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem.

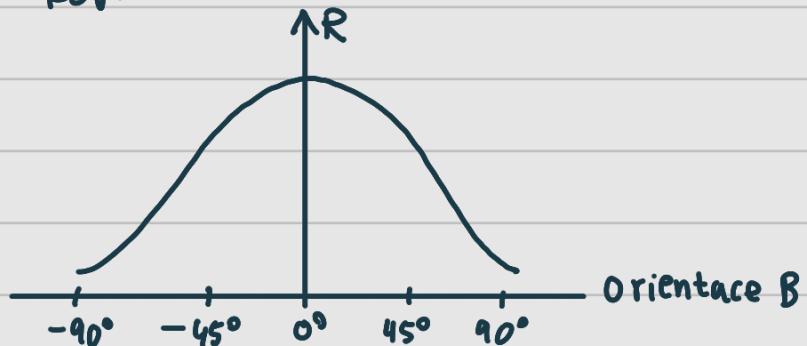
Nakreslete převodní charakteristiky  $R=f(B)$  pro kovový a polovodičový typ senzoru.

- polovodič: při přítomnosti  $B$  se zvyšuje elektrický odpor ( $Ni, Fe$ )
- Kov: při přítomnosti  $B$  se snižuje elektrický odpor ( $Si+NiSb, InSb$ )

- polovodič:

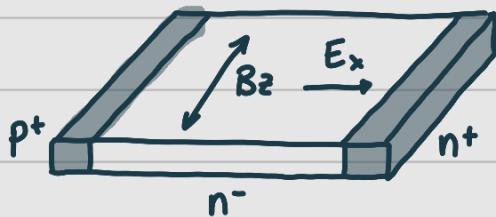


- kov:



Magnetodioda: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti zjednodušené struktury Magnetodiody.

- na jedné straně vodivost  $N$ , na druhé  $P$
- mezi těmito konci existuje rozdíl rekombinací

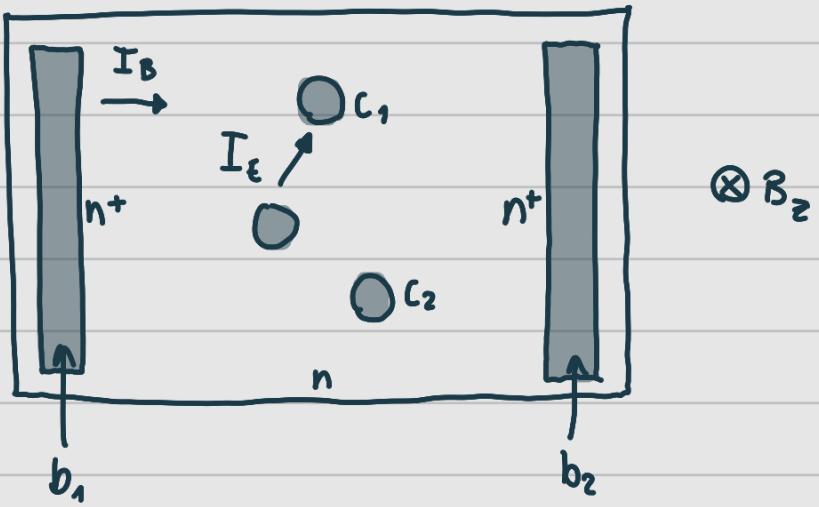


- nevýhody: Obtížná realizace rekombinace  
nelineární citlivost  
velká teplotní závislost

Magnetorezistor: Nakreslete zjednodušeně základní strukturu bipolárního laterálního magnetotranzistoru, vysvětlete stručně jeho činnost a význam jednotlivých veličin v nákresu.

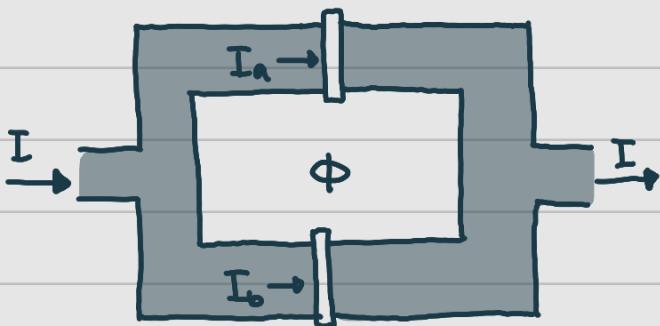
- $I_E$  emitorový proud (odchyluje se podlem magnetického pole)
- $C_1, C_2$  kolektory  $p^+$  typu  
 $\Rightarrow$  proudový rozdíl
- $b_1, b_2$  bázové kontakty (způsobi chování podobné Hallovu jevu)  
 $\Rightarrow$  Hallovo napětí

Proudový rozdíl + Hallovo napětí  
= rozdíl proudu



**SQUID:** Nakreslete zjednodušeně a vysvětlete princip činnosti struktury SQUID. Jaký nejménší magnetický pole může tato struktura měřit? Jaký plyny se používají k dosažení kryogenních teplot?

- SQUID: supravodivé kvantové interferenční zařízení
- měření velmi malých magnetických polí  $5 \cdot 10^{-18} T$
- smyčka se dvěma Josephsonovými přechody
  - ↳ proudy  $I_a + I_b \rightarrow$  při sčítání vzniká interference
  - ↳ fázový rozdíl  $I_a$  a  $I_b$  je přímo úměrný  $\Phi$ , který prochází smyčkou

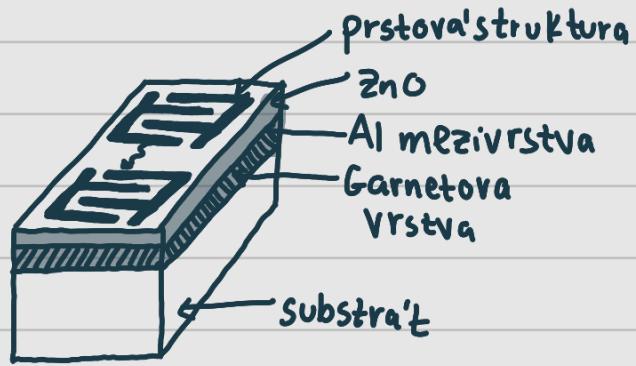


- chlazení: tekuté helium (nejpřesnější, drahe)
- N<sub>2</sub> (menší přesnost, levnější)

**SAW mikro senzor magnetického pole:** Nakreslete a zjednodušeně vysvětlete základní princip činnosti senzoru. Popište způsob vyhodnocování výstupního signálu.

- princip: působením  $B$  na tenkovou magnetickou vrstvu, kterou se síní akustická vlna
  - ↳ dochází k modulaci akustických parametrů

- digitální tvar výstupního signálu



Napište definice pro:

Množství tepla v tělese, rychlosť průtoku tepla tělesem, teplotní gradient (teplotná vodivost).

- množství tepla v tělese :  $Q = mcT$

- rychlosť průtoku tepla tělesem:  $\frac{dQ}{dT}$

- teplotní gradient :  $\frac{dT}{dx}$   
(teplotná vodivost)

$$\frac{dQ}{dT} = -kS \frac{dT}{dx}$$

- tepelný odpor:  $R_T = \frac{1}{k} \cdot \frac{\lambda}{S}$

Odporev kovové teplotní senzory (RTD):

Uveďte alespoň 2 typické materiály pro teplotní senzory, uveděte typický teplotní rozsah, napište základní rovnici pro approximaci průběhu odporu v malém rozmezí teplot.

- materiály: Wolfram

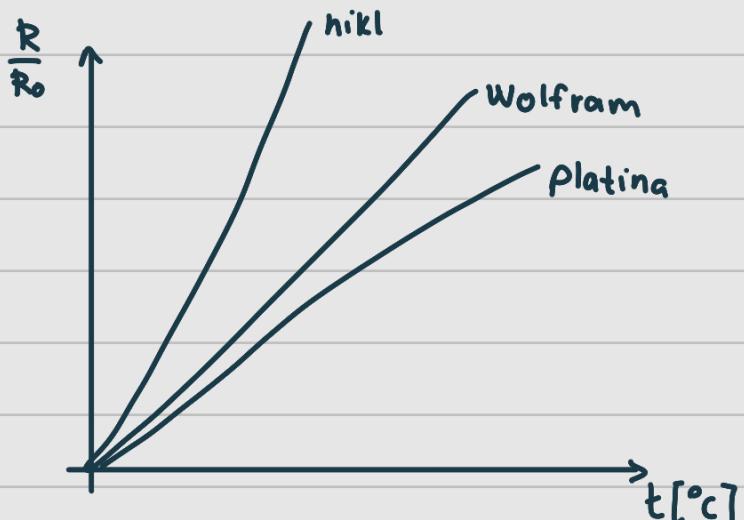
měď

nikl (-60°C - 120°C)

platina (-260°C - 360°C)

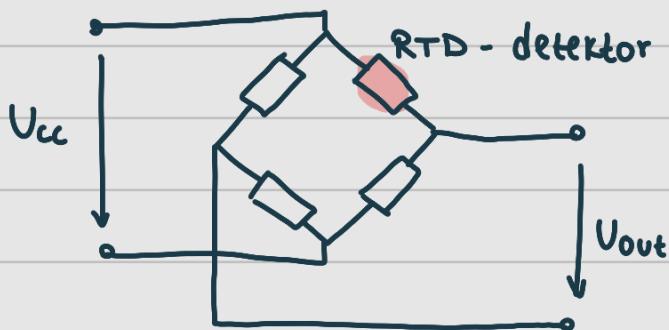
↳ Standard

$$R = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma (t - 100) t^3)$$



$t$  není lineární  $\rightarrow$  zjednodušíme rovnici na lineární

Vyhodnocování signálu z odporových kovových teplotních senzorů (RTD):  
Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování teploty.



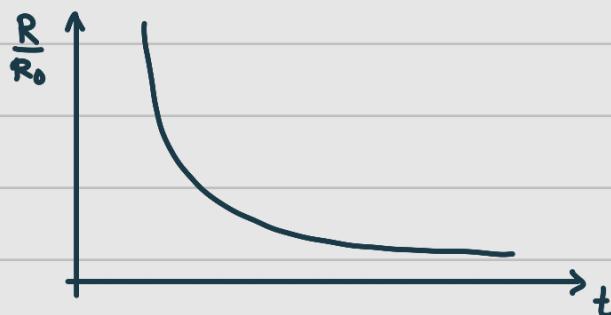
Použití čtyřvodičového vedení

Wheatstoneův můstek

Odpovídající teplotní senzory s termistory:

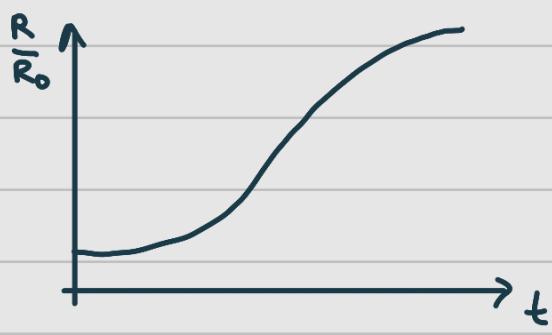
Napište rozdíl mezi termistory NTC, PTC, nakreslete typické převodní charakteristiky. Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování teploty.

- NTC: negativní teplotní koeficient

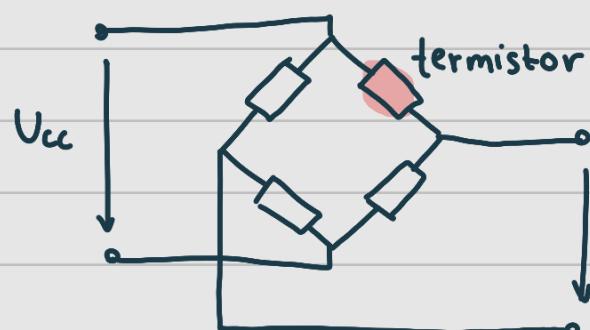


zvýšení teploty  
↓  
snížení odporu

- PTC: pozitivní teplotní koeficient



zvýšení teploty  
↓  
zvýšení odporu

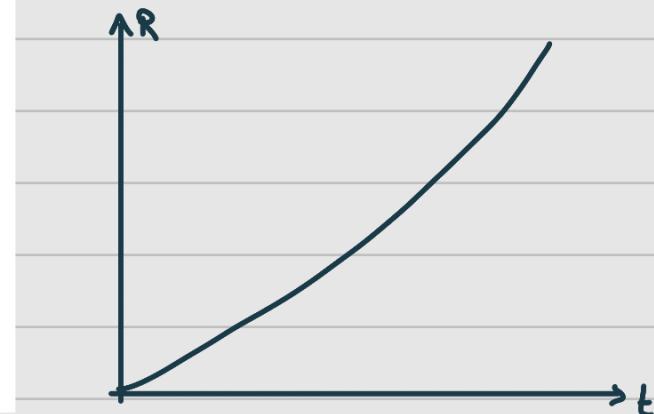
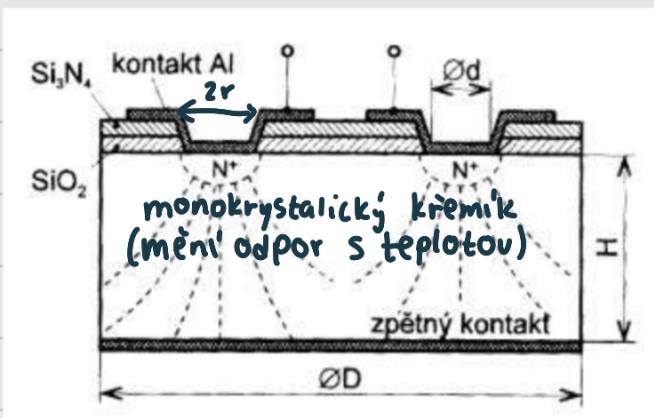


Wheatstoneův můstek

## Odpověd' polovodičové teplotní senzory monokrystalické:

Nakreslete a vysvětlete základní principy činnosti.

- Odpor v místě styku kovu s polovodičem
- Si → kladný teplotní součinitel
- s rostoucí teplotou klesá pohyblivost volných nosičů na boje



Odpor závisí na: rezistivitě  $\rho$   
poloměru kontaktu  $r$

měření: změna odporu polovodiče (odpor roste s teplotou)

## Teplotní senzory s p-n přechodem:

Napište základní rovnici popisující proud přechodem (Shockley rovnice).

Napište nebo odvodte rovnici pro závislost napětí na přechodu p-n na teplotě Nakreslete teplotní závislost saturacího proudu  $I_s = f(t)$ .

- Proud diodou (Shockleyho rovnice)

$$I = I_s \cdot \left( e^{\frac{nU}{kT}} - 1 \right) \Rightarrow U = \frac{1}{n} \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I}{I_s} \right)$$

teplotní závislost  
saturacího proudu:

$I_s$  - saturací proud

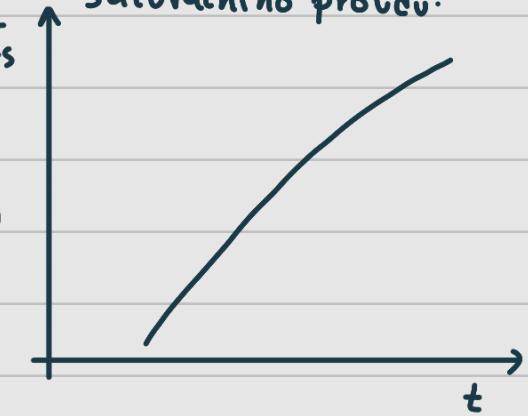
$U, I$  - napětí / proud v propustném směru

n - rekombinační koeficient (jak moc je dioda ideální)

T - absolutní teplota

k - Boltzmannova konstanta

q - elementární náboj



Citlivost teplotních senzorů s p-n přechodem:

Napište princip odvození citlivosti p-n přechodu.

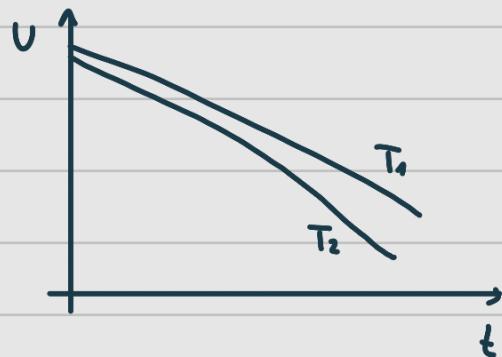
Napište typickou číselnou hodnotu citlivosti.

- citlivost:  $\beta = \frac{dU}{dT} = \frac{1}{nq} k \ln \left( \frac{I}{I_s} \right)$

- typická citlivost:  $\beta = -2,1 \text{ mV/K}$

Teplotní senzory s p-n přechodem:

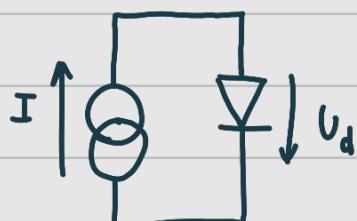
Nakreslete typický průběh teplotní závislosti napětí na přechod p-n  $U = f(t)$  pro dva různé proudy I přechodem.



Vyhodnocení informací z teplotního senzoru s p-n přechodem:

Nakreslete zjednodušené základní zapojení teploměru s přechodem p-n,

Vysvětlete, proč je nutné používat proudový zdroj pro napájení přechodu p-n, jak je tvoren proudový zdroj na našem obrázku?



- proudový zdroj: zajistuje konstantní proud
- dioda: p-n přechod ( $U_d$  závisí na teplotě)
- realizace proudového zdroje: rezistor s tranzistorem

↳ není nakreslene' na obrázku :)

## Termoelektrické teplotní senzory:

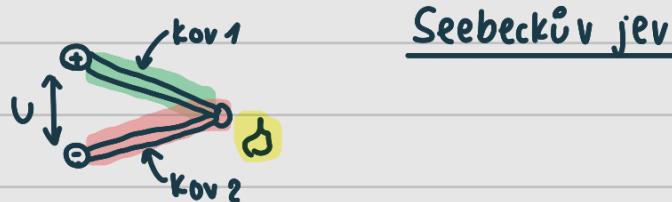
Nakreslete a vysvětlete základní princip činnosti termočlánku.

-princip: dva různé kovy

kovy se zahřívají různě → mají různou teplotu

obvodem začne protékat elektrický proud

rozpojení → naměříme elektromotorické napětí

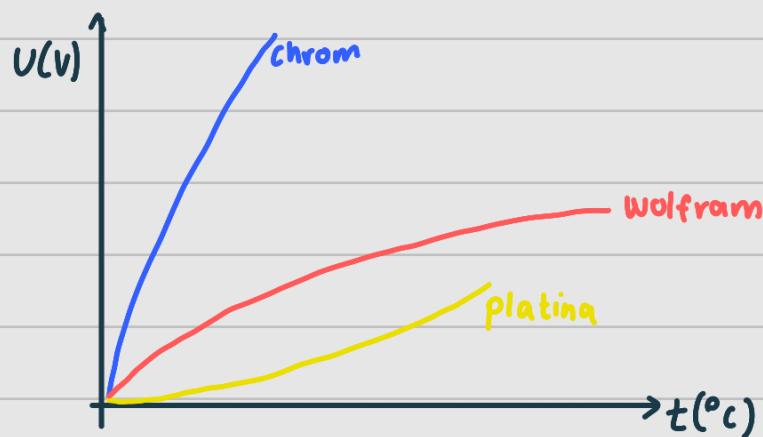


## Termoelektrické kovové teplotní senzory:

Uveďte 3 základní typy kovových termočlánků. Uveďte typické materiály.

Nakreslete 3 typické charakteristiky.

- typy: Chromel-Constantan • -  $t > 870^\circ\text{C}$
- Platinum-Rhodium • -  $t > 1540^\circ\text{C}$
- Wolfram-Rhodium • -  $t > 2760^\circ\text{C}$



## Termoelektrické teplotní senzory:

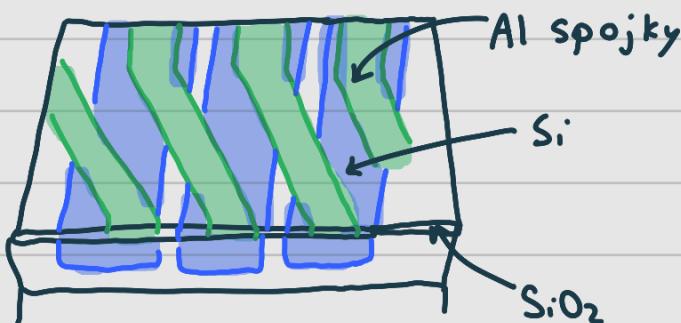
Nakreslete zjednodušený princip elektronického zapojení pro vyhodnocování signálu z termočlánku.



## Integrovaný termoelektrický článek:

Nakreslete strukturu jednoho článku. Nakreslete princip termoelektrické baterie. Jak je zabráněno šíření teploty na čipu.

- termoelektrická baterie



- zabránění šíření teploty:

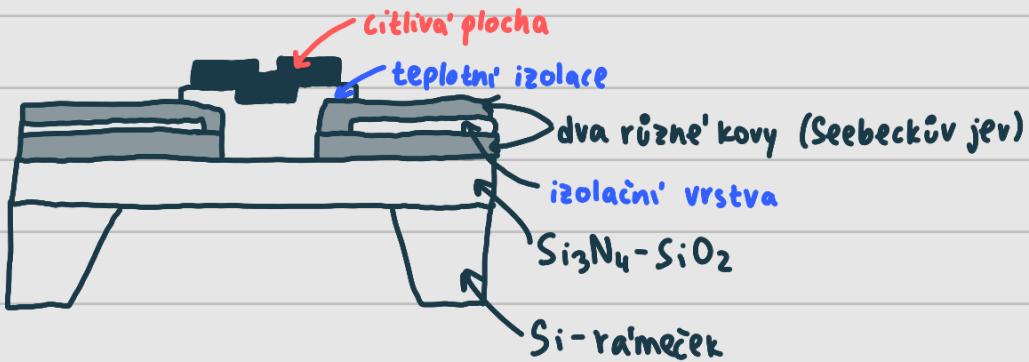
- tepelná izolace
- minimalizace tepelné vodivosti
- mechanické oddělení

- měření teploty na křemíkovém čipu
- lze měřit na různých místech čipu najednou

## Bezkontaktní senzory infracerveného záření s termoelektrickým článkem:

Nakreslete zjednodušenou strukturu jednoho článku. Nakreslete princip termoelektrické baterie. Jak je zabráněno šíření teploty na čipu.

- termoelektrická integrovaná struktura

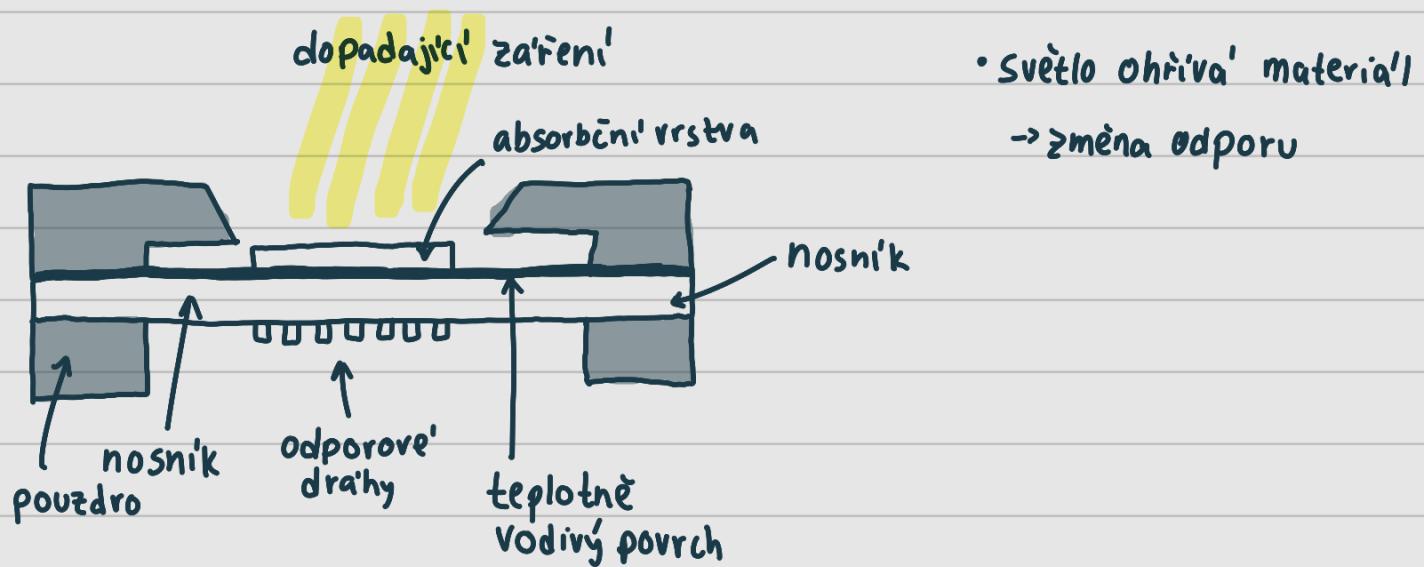


- zabránění šíření teploty na čipu: teplotní izolace  
izolační vrstva mezi kovy
- Cítivá plocha - absorbuje infracervené záření a přenáší ho přímo do článku

## MEMS bolometr:

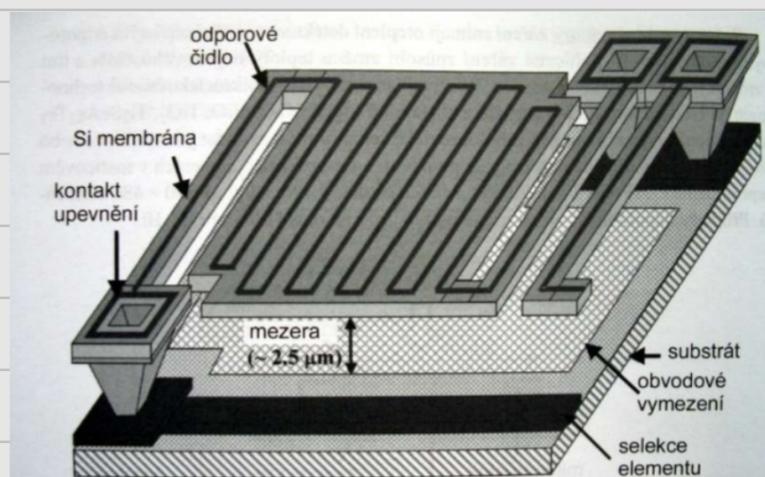
Nakreslete zjednodušeně strukturu jednoho MEMS bolometru na čipu.

Jak je zobrazeno síťení teploty po ploše čipu.



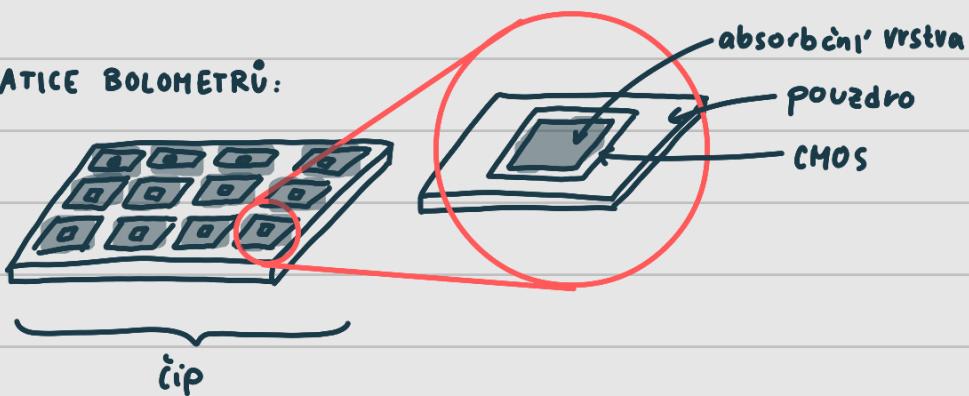
## MEMS bolometr:

Nakreslete zjednodušeně strukturu bolometrické matice na čipu



### JEDEN BOLOMETR:

#### MATICE BOLOMETRŮ:



## Teplotní senzor SAW:

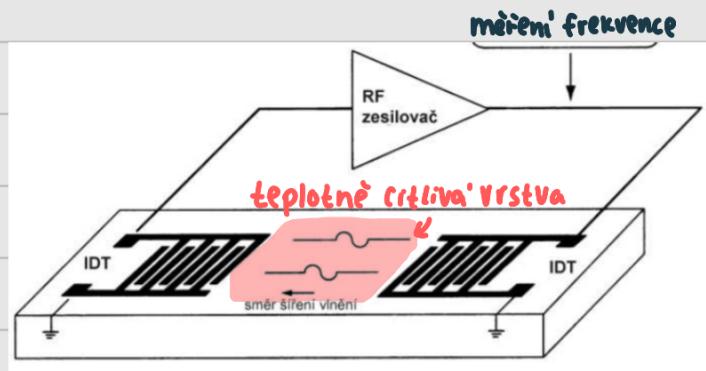
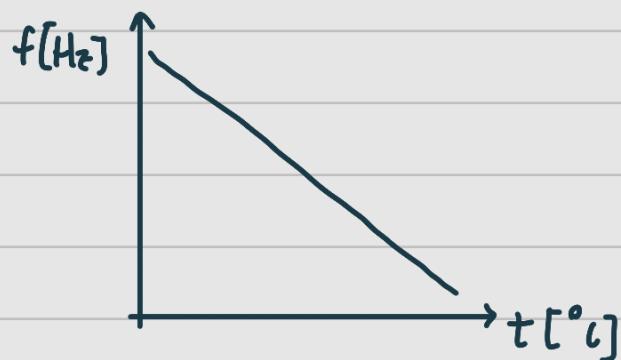
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti. Nakreslete a vysvětlete elektronicky vyhodnocovací obvod.

- princip: rychlosť sŕžen' povrchovej akustickej vlny

v materiálu je teplotně závislá'

↳ méri se změna frekvence

↳ stoupající teplota  $\Rightarrow$  klesající frekvence



## Teplotní senzory pro měření kryogenních teplot:

Napište alespoň 4 základní typy teplotních senzorů. Jaké nevýhody mají termočlánkové? Do jakých nejménších teplot je možné senzory použít?

- typy:

- termoelektrické články

(nevýhoda: termoelektrické napětí není stabilní a je malé)

- odporové senzory

- kapacitní teplotní senzory

- P-N přechod

- do teploty 0,01 K

Napište rovnici popisující:

rychlostní průtok, objemový průtok, hmotnostní průtok

- rychlostní průtok:  $V_a = \frac{\int v \, ds}{S}$  (průměrná rychlosť naprič trubicí)

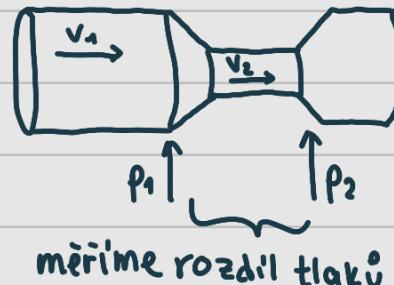
- objemový průtok:  $Q_v = v \cdot S = \frac{V}{t}$  [ $m^3/s$ ]

- hmotnostní průtok:  $Q_m = \frac{m}{t} = \frac{\rho \cdot V}{t}$  [ $kg/s$ ]

Průtokoměr založený na tlakovém gradientu:

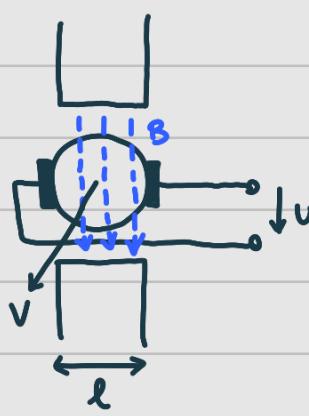
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.

- měření rozdílu tlaku
- Bernoulliho rovnice
- využití proudnicového odporu



Elektromagnetický (indukční) průtokový senzor:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, napište základní rovnici pro výpočet elektrické veličiny na výstupu senzoru v závislosti na rychlosti průtoku, základní požadavek (elektrický) na protékající médium.



- v případě průtoku tekutiny se vytvoří indukované napětí ( $M/V \rightarrow$  jestli je střídavé/stejnosměrné magnetické pole)  
↑ lepší je střídavé

- požadavek pro tekutinu: musí být vodivá  
 $\ell$  - průměr potrubí

$$M = B \cdot V \cdot \ell$$

B - magnetická indukce

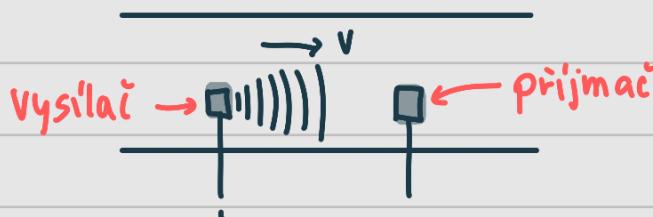
V - rychlosť proudenia

M - indukované napětí

## Ultrazvukový průtokový senzor:

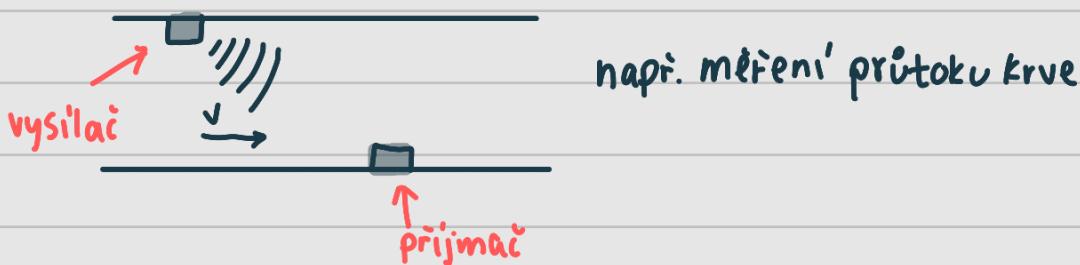
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti se senzory umístěnými v ose průtoku, se senzory umístěnými pod úhlem, nakreslete princip vyhodnocování průtoku rozdílem frekvencí nebo fazovým posuvem.

### (a) Umístění v ose průtoku

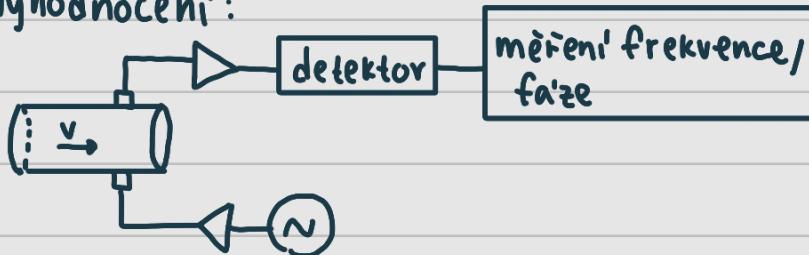


porovnání rozdílu frekvence nebo fáze mezi  
vysílačem a přijmačem

### (b) Umístění pod úhlem



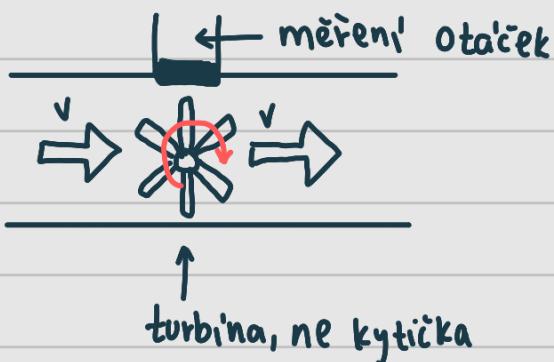
• Vyhodnocení:



## Rychlostní turbínkový průtokový senzor:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, napište princip vyhodnocování signálu (otaček turbinky), uveděte praktický příklad využití.

- Májí rotor s lopatkami
- proudění  $\Rightarrow$  rotor se otačí!
- rychlosť otaček úměrná rychlosti tekutiny

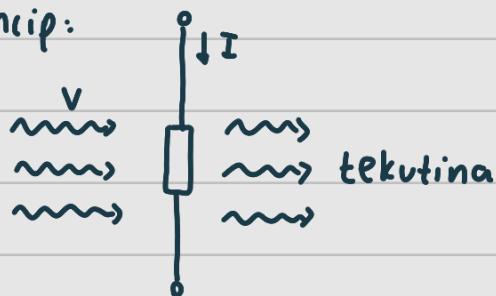


použiti:  
měření rychlosti větru

Anemometrické senzory průtoku (senzory s vyhřívanými odpory):

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, nakreslete princip vyhodnocování signálu (např. Wheatstoneov můstek), nakreslete princip teplotní kompenzace teploty proudícího média.

- princip:

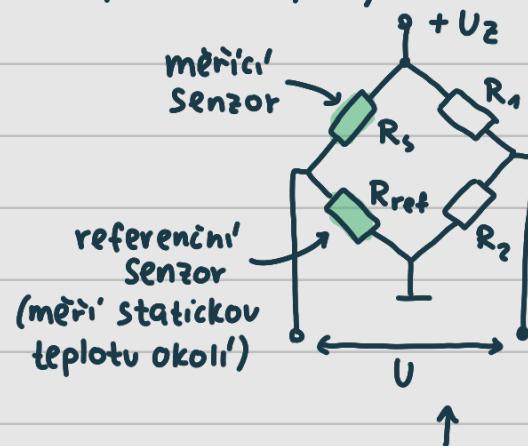


ohříváme drátek

vzduch ochlazuje drátek

my měříme, jak se mění odpor draťku

- kompenzace teploty:



kompenzace potřeba v

případě, že neměříme vzdušnou teplutinu o stejné teplotě

Anemometrické senzory průtoku (senzory s vyhřívanými odpory):

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti (bez detailů), senzor pro kompenzaci média, uvedte praktický příklad anemometru.

- příklad: měření rychlosti větru

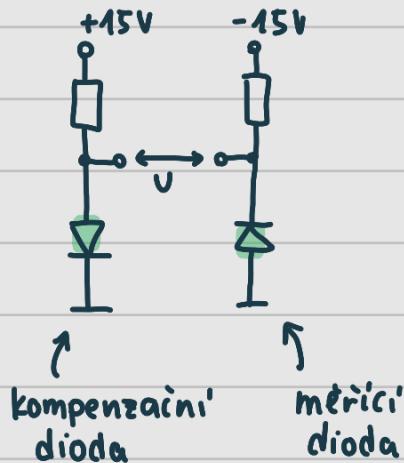
- ostatní odpovědi v předchozí otázce

Anemometrické senzory průtoku (senzory s vyhřívanými diodami):

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti (bez detailů), dioda pro kompenzaci teploty međia.

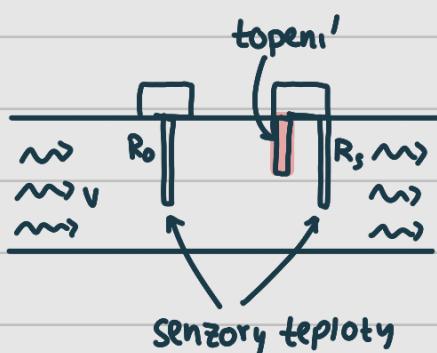
-princip: p-n přechod v diodě

při zvýšování teploty klesá napětí mezi anodou a katodou



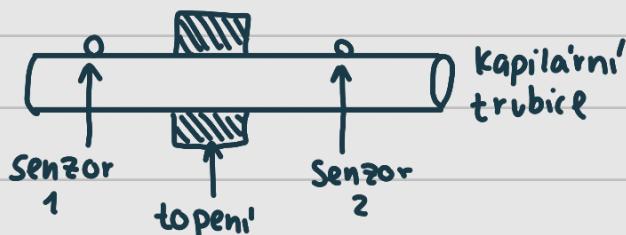
Kalorimetrický senzor průtoku s tepelnými žnačkami:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, modifikace s prvky umístěnými vně.



- První senzor měří teplotu međia
- topením ohřejeme međium
- druhý senzor měří teplotu ohřáteho međia (čím rychlejší proud, tím menší teplota)  
↳ nestihne se ohřát

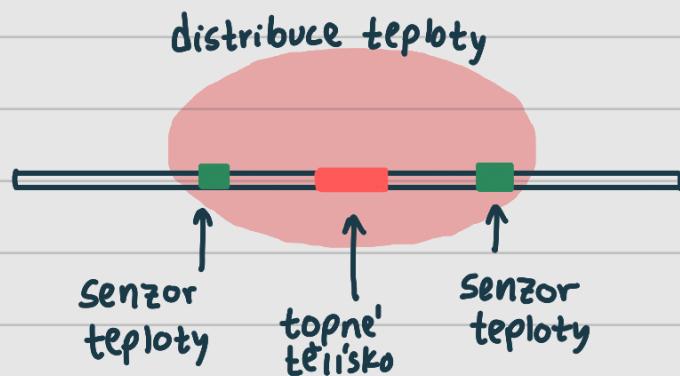
• senzory mohou být vně potrubí (prvky umístěné vně)



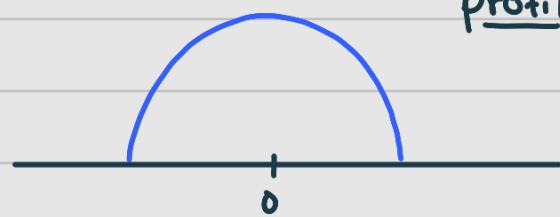
Senzor průtoku s tepelným profilem:

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, způsob vyhodnocování signálu.

tekuťina je v klidu:

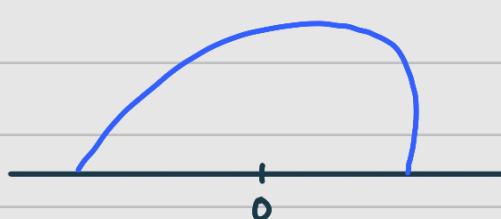
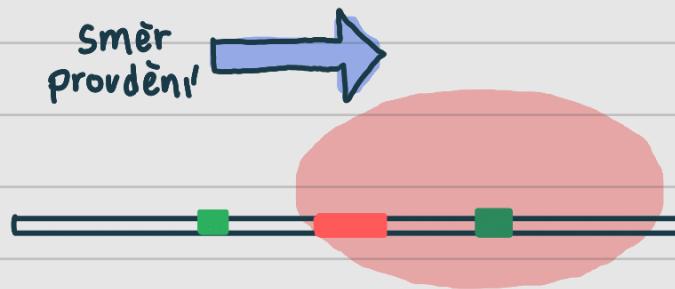


Vyhodnocování signálu: teplotní profil



(rozložení tepla v okolí topného těla)

tekuťina proudí:

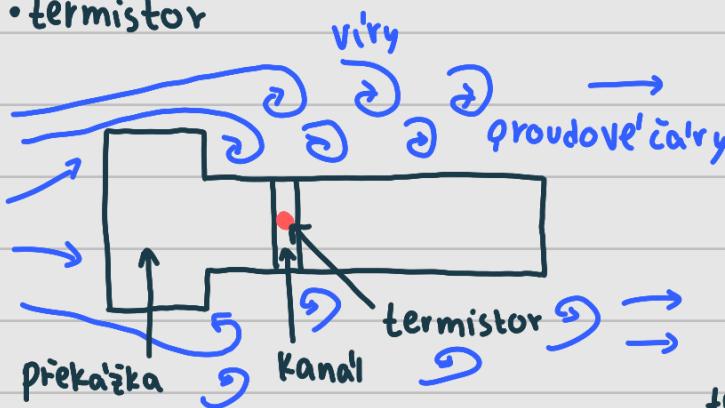


Senzor průtoku oscilační výrový:

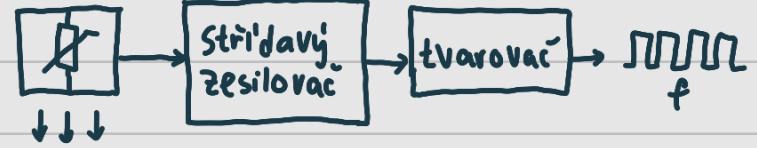
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, princip vyhodnocování signálu.

- do proudu se postaví překážka
- tekuťina vytvoří kolem překážky výry => jejich frekvence úměrná rychlosti tekuťiny

• termistor



tekutina  
↓↓↓

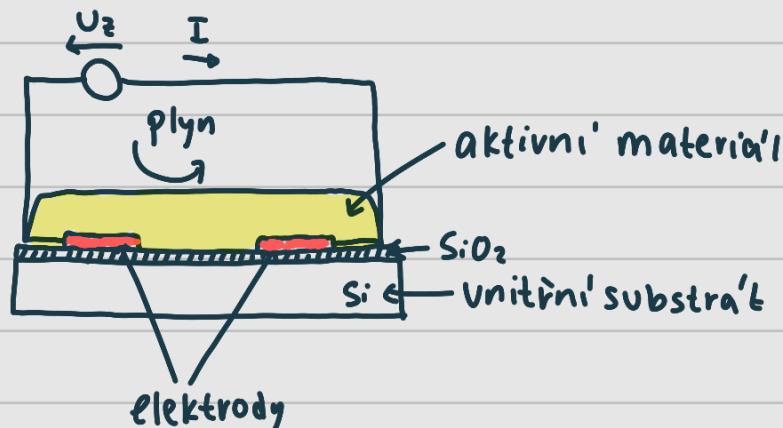


- Zpracování: Sonda se žhaveným odporovým senzorem

Chemicke' senzory se změnou vodivosti (chemoodpor):

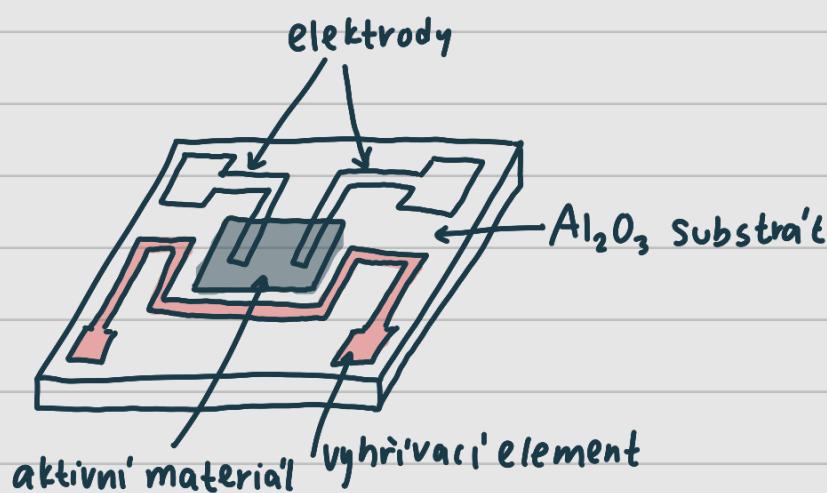
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, elektronické' zapojení pro využití informace.

- aktivní látku reaguje s plynem  $\Rightarrow$  změni' se odpor



Chemicke' senzory se změnou vodivosti - tenkovrstve':

Nakreslete a vysvětlete princip a konstrukci' uspořádání'.



- Vyhřívací element (Pt)  $\rightarrow$  závislost Odporu na teplotě

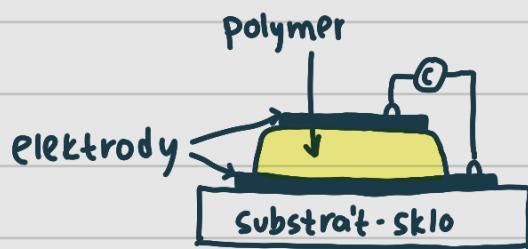
- kontrolní senzor teploty citlivé vrstvy

- udržuje statickou teplotu  $\rightarrow$  Odpor elektrod nebude ovlivňovat

- nic než plyn

## Chemokapacitory (Senzory se změnou kapacity):

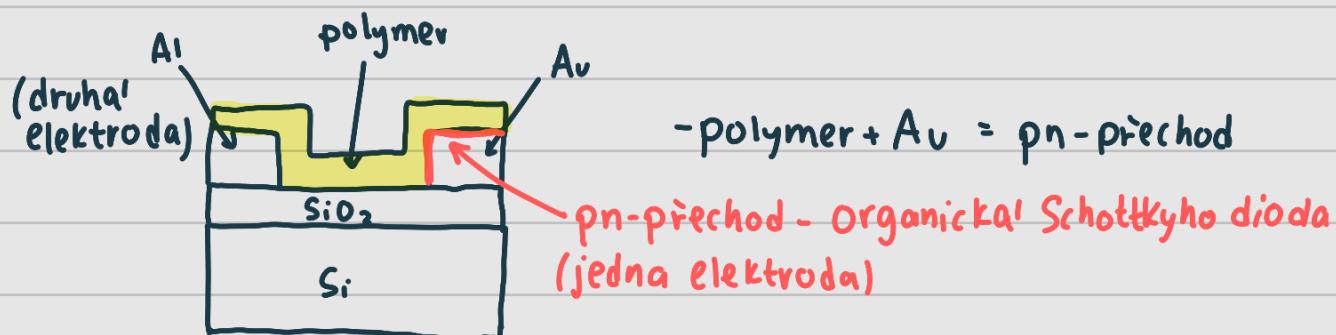
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.



- reakci' plynu s polymerem (dielektrikem) se mění kapacita (mezi diodami)

## Chemodioda:

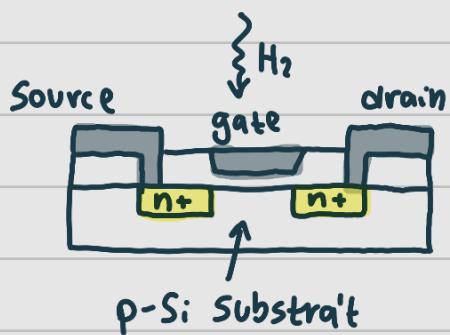
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.



- měření změny proudu diody  
↳ změna úměrná koncentraci plynu

## Chemotranzistor MOS:

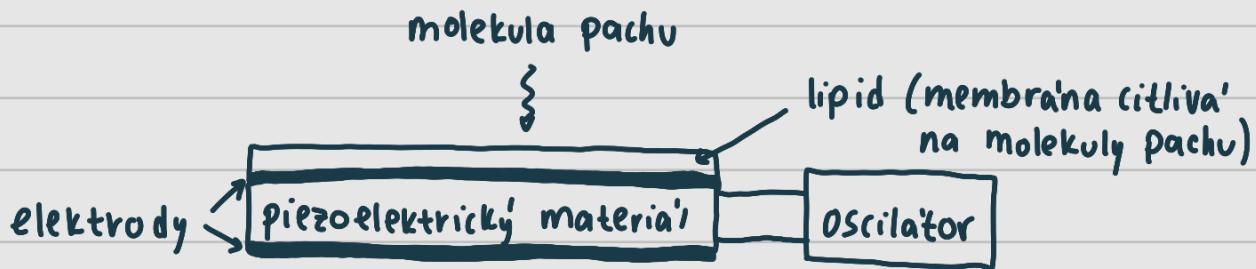
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, princip vyhodnocování informace, příklad struktury GASFET.



- vždy je Source, drain, gate na křemíkovém Substratu → v závislosti na plynu se mění  $I_D$  proud drainem

- GASFET: adsorbce H<sub>2</sub> z atmosféry
- katalytický rozklad na gate na jednotlivé vodíkové atomy

Gravimetrické senzory chemických látok - piezoelektrické hmotnostné:  
Nakreslete a vysvetlite princip činnosti.

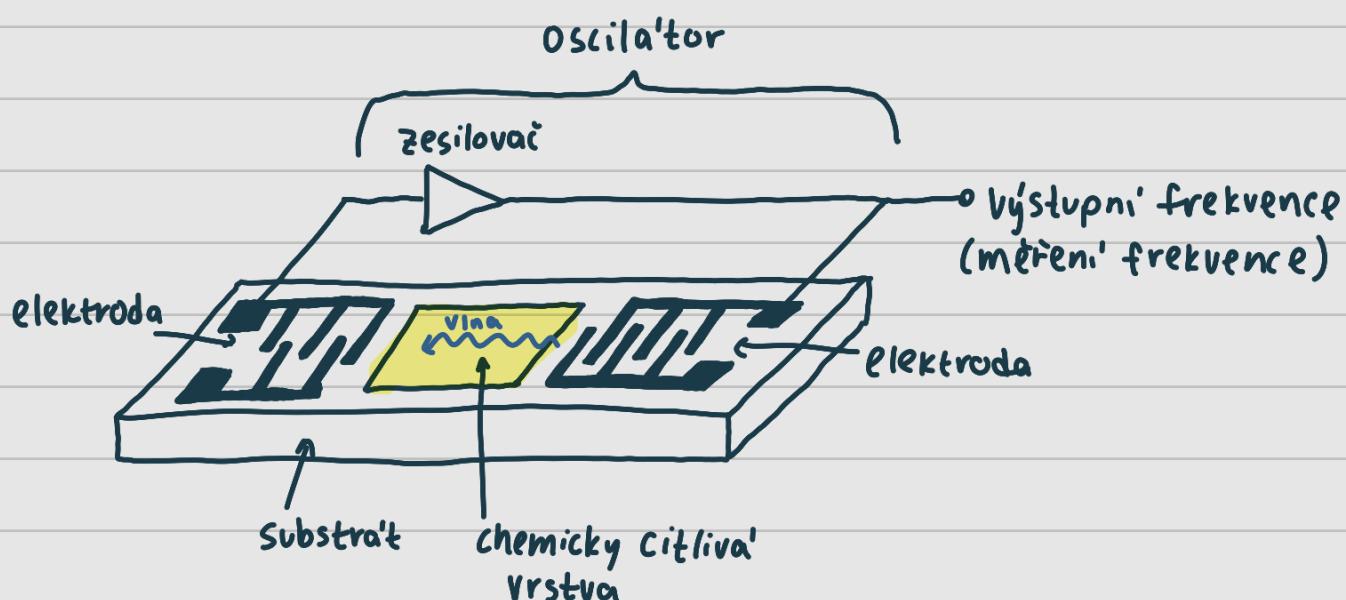


- zmena hmoty pri chemickej reakcii
- materiál citlivý na molekuly pachu
  - ↳ pri kontaktu s plynom zmene' hmotu ( $\Delta m$ )
  - ↳ pri zmene'  $\Delta m$  se frekvence oscila'toru zmene' o  $\Delta f$

Gravitometrické senzory chemických látok - SAW hmotnostní:

Nakreslete a vysvetlite princip činnosti.

- vrstva citlivá na plyn = polymer
- stejný princip ako predchozi, ale vyšší rozlíšení



- vlna - zmene' frekvencii v chemicky citlivom prostredí
  - zmieri' se zmene' frekvencie napeti' na elektroda'ch