

# ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

CZ.1.07/1.1.24/01.0066

## SENZORY A SNÍMAČE

Ing. Pavel Vylegala

Střední škola elektrotechnická, Ostrava, Na Jízdárně 30, příspěvková organizace

2014



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**POKYNY KE STUDIU:****ČAS KE STUDIU**

Čas potřebný k prostudování látky. Čas je pouze orientační a slouží jako hrubé vodítko pro rozvržení studia kapitoly.

**CÍL**

Cíle, kterých lze dosáhnout prostudováním kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.

**POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ**

Pojmy, které si je potřeba zapamatovat.

**VÝKLAD**

Teoretický výklad studované látky, zavedení nových pojmů a jejich vysvětlení.

**ŘEŠENÉ PŘÍKLADY**

Podrobný postup při řešení příkladů.

**SHRNUTÍ POJMŮ**

Zopakování hlavních pojmů.

**OTÁZKY**

Několik teoretických otázek pro ověření zvládnutí kapitoly.

**PRAKTICKÉ ÚLOHY**

Několik praktických příkladů pro ověření zvládnutí kapitoly.

## OBSAH:

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
1.1. Rozdělení snímačů .....	5
1.1.1. <i>Rozdělení snímačů dle druhu měřené veličiny</i> .....	6
1.1.2. <i>Rozdělení snímačů dle principu činnosti</i> .....	6
1.1.3. <i>Rozdělení snímačů dle průběhu výstupního signálu</i> .....	7
1.1.4. <i>Rozdělení snímačů dle způsobu odměřování výstupního signálu</i> .....	7
1.1.5. <i>Rozdělení snímačů dle styku s měřeným objektem</i> .....	7
1.2. Požadavky kladené na snímače .....	7
1.3. Vlastnosti snímačů .....	8
<b>2. PRINCIPY SNÍMAČŮ</b> .....	<b>10</b>
2.1. Odporové snímače .....	10
2.1.1. <i>Odporové snímače spojitě</i> .....	10
2.1.2. <i>Odporové snímače nespojitě</i> .....	12
2.2. Kapacitní snímače .....	14
2.2.1. <i>Vyhodnocovací obvody</i> .....	17
2.2.2. <i>Použití</i> .....	19
2.3. Indukčnostní snímače .....	20
2.3.1. <i>Indukčnostní snímače s uzavřeným magnetickým obvodem</i> .....	21
2.3.2. <i>Indukčnostní snímače s otevřeným magnetickým obvodem</i> .....	24
2.3.3. <i>Indukčnostní snímače s potlačeným magnetickým polem (s vířivými proudy)</i> .....	25
2.3.4. <i>Indukčnostní snímače bez feromagnetika</i> .....	26
2.4. Indukční snímače .....	28
2.5. Optické snímače .....	30
2.5.1. <i>Optické snímače pro spojitě měření polohy</i> .....	31
2.5.2. <i>Optické snímače pro nespojitě měření polohy</i> .....	32
2.5.3. <i>Optické vláknové snímače</i> .....	33
2.6. Ultrazvukové snímače .....	35
2.6.1. <i>Vysílač a přijímač zvlášť</i> .....	35

2.6.2.	<i>Vysílač/přijímač (ultrazvukový převodník)</i>	36
2.7.	Rádiový snímač	38
2.7.1.	<i>Vzorkování vysokofrekvenčních signálů</i>	39
2.8.	Gyroskopy	40
2.8.1.	<i>Cardanův závěs</i>	40
2.8.2.	<i>Matematický popis</i>	41
2.8.3.	<i>Mechanický gyroskop</i>	42
2.8.4.	<i>Jaderný gyroskop</i>	42
2.8.5.	<i>MEMS gyroskop</i>	42
2.8.6.	<i>Využití Gyroskopů</i>	43
2.9.	Akcelerometry	44
2.9.1.	<i>Absolutní snímače</i>	45
2.9.2.	<i>Relativní snímače</i>	46
2.10.	Infračervené snímače	49
2.10.1.	<i>Infračervená závora</i>	49
2.10.2.	<i>Reflexní senzory</i>	50
2.10.3.	<i>PIR čidla</i>	51
2.10.4.	<i>PIR optika</i>	51
2.10.5.	<i>PIR element</i>	51
2.10.6.	<i>Zesilovač</i>	52
2.10.7.	<i>Komparátor</i>	52
<b>3.</b>	<b>SEZNAM ZDROJŮ</b>	<b>55</b>
3.1.	Použitá literatura	55
3.2.	Použité obrázky	55

## 1. ÚVOD



### ČAS KE STUDIU

45 minut.



### CÍL

Seznámit se s pojmy senzor a snímač, se základním rozdělením snímačů (senzorů), s požadavky na ně kladenými a s jejich obecnými vlastnostmi.



### POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Senzor = zdroj informace (signálu).

Snímač = zdroj informace (signálu), popř. zdroj signálu + obvod pro zpracování signálu.

Čidlo = zdroj informace (signálu).

Detektor = zdroj informace (signálu).

Veličina = je pojem používaný pro popis reality, tj. jevů, stavů a objektů. Veličina má svou jednotku a číselnou hodnotu.



### VÝKLAD

Pojmy senzor a snímač (popř. čidlo či detektor) mají obecně stejnou definici, jedná se o zdroj informací, ale někdy pod pojmem senzor rozumíme převodník jedné fyzikální veličiny na jinou (stejně tak čidlo, detektor, receptor), kdežto pod pojmem snímač se myslí senzor (čidlo) spolu s obvodem pro zpracování signálu. Dá se také říct, že se jedná o technické zařízení, které určitou fyzikální nebo chemickou veličinu převádí na signál.

Signál se přenáší sdělovacím kanálem a dále se zpracovává v měřicích nebo řídicích systémech. V dnešní době se nejčastěji používají snímače, které vytváří elektrický signál (změnu elektrické veličiny), neboť elektrický signál se nejlépe zpracovává.

### 1.1. Rozdělení snímačů

Snímače se dají rozdělit podle mnoha hledisek. Základním rozdělením je, ale rozdělení snímačů na snímače elektrických veličin (proudu, napětí, odporu, ...) a snímače veličin neelektrických (polohy, teploty, tlaku, vlhkosti, ...). V tomto textu se zaměříme jen na základní principy snímačů veličin neelektrických.

### 1.1.1. Rozdělení snímačů dle druhu měřené veličiny

Snímače dle druhu měřené veličiny můžeme rozdělit na snímače veličin elektrických (Elektrické napětí, elektrický proud, odpor, kapacita, indukčnost, ...) a snímače veličin neelektrických. Ty se dále dělí na snímače:

- Mechanické - poloha (délka), úhel natočení, výška hladiny, rychlost, zrychlení, hmotnost, tlak, síla, otáčky, ...
- Magnetické - magnetická indukce, intenzita magnetického pole, magnetický tok, magnetický odpor, ...
- Optické - zářivá energie, intenzita osvětlení, jas, ...
- Tepelné - teplo, teplota, tepelná vodivost, tepelná kapacita, ...
- Akustické - hlučnost, akustický tlak, ...
- Nukleární - intenzita záření, ...
- Chemické - koncentrace látky, pH, ...
- Biologické - energetický obsah, teplota, mozková aktivita, ...
- Pneumatické×hydraulické - tlak, průtok, ...

Nejpoužívanějšími snímači jsou snímače polohy, neboť většina ostatních snímačů převádí snímání dané veličiny na polohu (např. membránový snímač tlaku převádí měřený tlak na průhyb membrány a ten se měří snímačem polohy, nebo plovákový snímač výšky hladiny převádí měření výšky hladiny na měření polohy plováku, ...).

### 1.1.2. Rozdělení snímačů dle principu činnosti

Snímače dle principu činnosti rozdělujeme na snímače:

- Mechanické - snímáním se mění mechanické vlastnosti snímače.
- Odporové - mění se elektrický odpor snímače.
- Kapacitní - mění se kapacita snímače (kondenzátoru).
- Indukčnostní - mění se indukčnost snímače (cívky).
- Indukční - mění se velikost indukovaného napětí.
- Optické - mění se poloha světelného paprsku.
- Infračervené - snímá se změna frekvence nebo odraz infračerveného paprsku.
- Ultrazvukové - mění se čas dopadu ultrazvukového signálu.
- Radiové - mění se frekvence rádiového signálu.
- Magnetické - mění se magnetické vlastnosti snímače a tím například indučnost cívky nebo se změnou magnetických vlastností indukuje napětí.
- Termoelektrické - mění se velikost vytvářeného napětí.
- Piezoelektrické - mění se velikost vytvářeného napětí.
- Pneumatické - mění se tlak plynu ve snímači.

Podle principu činnosti můžeme také snímače rozdělit na aktivní, které vytváří signál (generátorické, zdrojové = indukční, termoelektrické, piezoelektrické, magnetické anizotropní, ...) a pasivní, které mění parametry veličiny (parametrické = odporové, kapacitní, indukčnostní, ...).

### 1.1.3. Rozdělení snímačů dle průběhu výstupního signálu

Snímače dle průběhu výstupního signálu můžeme rozdělit na snímače:

- Spojité × Nespojité - stálý signál × vzorky signálu.
- Lineární × Nelineární - změna výstupní veličiny snímače je přímo úměrná změně měřené veličiny × změna výstupní veličiny snímače má jinou závislost na změně měřené veličiny (kvadratickou, exponenciální, skokovou, ...)
- Analogové × Číslíkové (digitální) - výstupní veličina je přímo měřitelná (proud v Ampérech) × výstupní veličina je zakódována do dvojkového kódu.

### 1.1.4. Rozdělení snímačů dle způsobu odměřování výstupního signálu

Snímače dle způsobu odměřování výstupního signálu můžeme rozdělit na snímače:

- Absolutní - měří veličinu od nuly (počátku).
- Přírůstkové - měří změnu veličiny (zvětšení × zmenšení).
- Diferenční - mění rozdíl veličiny.

### 1.1.5. Rozdělení snímačů dle styku s měřeným objektem

Snímače dle styku s měřeným objektem můžeme rozdělit na snímače:

- Dotykové (kontaktní) - snímač je v přímém kontaktu s měřeným objektem, nebo je v měřeném prostoru.
- Bezdotykové (bezkontaktní) - snímač se nedotýká měřeného objektu.
- Invazní - snímač je uvnitř měřeného objektu.

## 1.2. Požadavky kladené na snímače

Dnes kromě základních požadavků kladených na většinu zařízení a tedy i na snímače, jako jsou bezpečnost provozu, dlouhá životnost nebo provozní spolehlivost jsou na snímače kladeny další spousty požadavků:

- Jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní veličině.
- Přesnost snímače.
- Reprodukovatelnost výsledků.

- Časová nezávislost parametrů snímače.
- Vhodný tvar statické charakteristiky, nejlépe lineární s velkou strmostí a minimálním prahem citlivosti
- Optimální dynamické parametry (časová konstanta, tvar frekvenční charakteristiky, šířka přenášeného frekvenčního pásma).
- Minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, tlak, vlhkost, chvění).
- Minimální signálové zatěžování měřeného objektu.
- Jednoduchá konstrukce a z toho plynoucí snadná údržba a dostupná cena. [1]
- Na dnešní inteligentní snímače pak klademe ještě další požadavky:
  - programovatelné zesílení,
  - filtrace a normalizace měřeného signálu,
  - možnost automatické korekce vlivu parazitních veličin,
  - možnost automatického potlačení šumu naměřených hodnot,
  - automatická kalibrace,
  - hlídání mezí
  - možnost přímého zapojení snímače pomocí vhodné (nejlépe digitální) komunikační sběrnice.

### 1.3. Vlastnosti snímačů

Každý snímač má spoustu svých specifických vlastností, ale jsou vlastnosti, které posuzujeme téměř u všech snímačů. Mezi ně patří třída přesnosti, rozlišovací schopnost, životnost, šum, nebo linearita. Vlastnosti snímačů posuzujeme jak ve statickém neboli ustáleném stavu (statickou charakteristikou), tak i při rychlých změnách měřené veličiny (dynamická charakteristika).

- Třída přesnosti - udává, o kolik procent může být zobrazovaná hodnota odlišná (větší či menší) od hodnoty skutečné.
- Rozlišovací schopnost - udává spolehlivě rozlišitelný přírůstek, jinak řečeno udává, o kolik se musí změnit měřená veličina, aby se rozpoznatelně změnila veličina výstupní.
- Životnost - je definována jako doba (popř. počet měření), po kterou jsou parametry a vlastnosti snímače v uváděných tolerancích.
- Šum - vzniká změnou vlastností, nebo parametrů snímače vlivem mechanických, chemických, tepelných i elektrických efektů (nečistoty, mastnoty, vlhkost, teplota, chvění, tlak, deformace, ...).
- Linearita - udává největší odchylku skutečné charakteristiky od vztažné (ideální) přímky a uvádí se v procentech.





## SHRNUTÍ POJMŮ

Senzor, snímač, detektor, čidlo, veličina, rozdělení snímačů, požadavky kladené na snímače, vlastnosti snímačů.



## OTÁZKY

Jak lze rozdělit snímače podle jejich činnosti?

Jaké existují výstupní signály?

Rozdělení snímačů podle měřené veličiny.

Rozdělení snímačů podle jejich styku s objektem.

Jak odměřujeme výstupní signál?

Jak definujeme senzor a jak snímač?

Co je to veličina?

Jaké znáte základní vlastnosti snímačů?

Jaké základní požadavky klademe na snímače?

## 2. PRINCIPY SNÍMAČŮ

V této kapitole budou popsány principy činnosti několika druhů snímačů, tedy způsoby jak měřená neelektrická veličina vyvolá změnu jiné, snadněji měřitelné, veličiny (nejčastěji veličiny elektrické).

### 2.1. Odporové snímače



ČAS KE STUDIU

90 minut.



CÍL

Seznámit se se základními vlastnostmi odporových snímačů.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Drátový potenciometr – jeho dráha je tvořená navinutým odporovým drátem.

Elektrická zatížitelnost – proud, který může zařízením protékat, aniž by došlo k jeho zničení.



VÝKLAD

#### 2.1.1. Odporové snímače spojitě

Základem spojitých odporových snímačů polohy jsou odporové potenciometry, jejichž běžec posouvající se po odporové dráze je mechanicky spojen s předmětem, jehož polohu odměřujeme. Dráha je realizována na nosné izolační podložce, na které je buď navinutý smaltovaný drát (manganin, PtIr), po jehož vyleštěné části se pohybuje kontakt, nebo nekovový odporový element tvořený nejčastěji vodivým plastem CP (Conductive Plastic – vodivé plnidlo zalísované v termoplastu), jejichž předností je vysoká rozlišovací schopnost a velká životnost. Drátové potenciometry



Obr. 1 Drátový potenciometr

vykazují větší robustnost a elektrickou zatížitelnost. Výhody obou pak spojuje hybridní technologie, která je použita u některých druhů víceotáčkových potenciometrů. Jezdec se vyrábí ze speciálních slitin (PtIr, AgPd). U elektrolytických snímačů je sběrač vytvořen rtuťovým zkratem části odporové dráhy, odpadají problémy s přechodovým odporem, nevýhodou je větší přestavný moment. [2]

Vlastností odporových potenciometrů jsou dány *třídou přesnosti, rozlišovací schopností, linearitou, životností, teplotním koeficientem odporu a šumem.*

*Rozlišovací schopnost* udává spolehlivě rozlišitelný délkový (resp. úlohový) inkrement (přírůstek) odporu potenciometru. Nejvyšší rozlišení mají potenciometry vrstevové (až 0,01% rozsahu), u vinutých potenciometrů je rozlišení dáno skokovou změnou odporu při pohybu jezdce mezi sousedními závity, provedenými z kalibrovaného drátu s průměrem asi 0,03mm.[2]

*Linearita* udává největší odchylku vstupního napětí od vztažné přímky a uvádí se v procentech napájecího napětí. Otočné potenciometry s větším průměrem nebo víceotáčkové (vinutí je ve tvaru závitu) dosahují linearitu až 0,002 %, posuvné potenciometry dosahují linearitu v mezích 0,05-0,1%. U drátových potenciometrů se při střídavém napájení linearita zhoršuje, protože snímač se chová jako komplexní impedance složená z odporu, indukčnosti vinutí a kapacit mezi závity. Bez zhoršení vlastností je lze provozovat pro kmitočty v řádech kHz, víceotáčkové stovky Hz. Linearitu je možné zlepšit zapojením paralelních odporů na vyvedené odbočky vinutí.[2]

*Životnost* je definována jako počet přeběhů dráhy při zadaných provozních podmínkách a při dodržení provozních vlastností v příslušných mezích. Životnost vinutých potenciometrů je řádově  $10^6$ , hybridních  $10^7$  a vrstevových z vodivých plastů  $10^8$  přeběhů. Je ovlivněna kontaktní silou (asi 3 mN – 5 mN), krouticí moment se pohybuje v mezích 0,1 Ncm – 2 Ncm.

*Teplotní koeficient odporu* (jen pro drátové potenciometry) je dán největší poměrnou změnou odporu odpovídající stoupanutí teploty o  $1^{\circ}\text{C}$  v celém rozsahu provozních teplot. Vypočítá se proto ze vztahu:

$$\alpha_K = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \quad (\text{K}^{-1})$$

v němž  $R_1$  ( $\Omega$ ) je odpor vinutí při teplotě  $T_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $R_2$  ( $\Omega$ ) je odpor při teplotě  $T_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Z dovoleného oteplení (tj. maximálního rozptýleného výkonu  $P_M$ ) plyne i velikost

maximálního napájecího napětí 
$$U_{\text{MAX}} = \sqrt{P_M} \cdot R \quad (\text{V})$$

*Šum* potenciometru vzniká změnou přechodového odporu při pohybu jezdce po vinutí a je způsoben mechanickými i elektrickými efekty (nečistoty, vlhkost, nastavení na stálou polohu). U vinutých potenciometrů může být způsoben i odsakováním jezdce.

## 2.1.2. Odporové snímače nespojitě

Odporové snímače polohy nespojitě převádějí změnu polohy sledovaného objektu na skokovou změnu odporu způsobenou přepínáním kontaktů, takže jejich výstupní signál je logického typu (zapnuto – vypnuto). Podle mechanismu ovládání kontaktů se dělí na:

- a) *mechanické*
- b) *magnetické*

Mechanicky ovládané snímače jsou příkladem dotykových snímačů, u nichž mechanickým pohybem dochází ke skokové změně odporu přepínáním kontaktů (planžetové pružinky, rtuťové spínače apod.). Mechanické spínače se používají k měření polohy pohybujících se částí různých technických zařízení, kde jsou součástí tzv. koncových spínačů, další aplikace jsou uvedeny v popisu snímání tlaku, hladiny a teploty. Magneticky ovládané snímače tvoří skupinu tří prvků, kterými jsou jazýčkové relé, Wiegandův snímač a Hallova sonda.

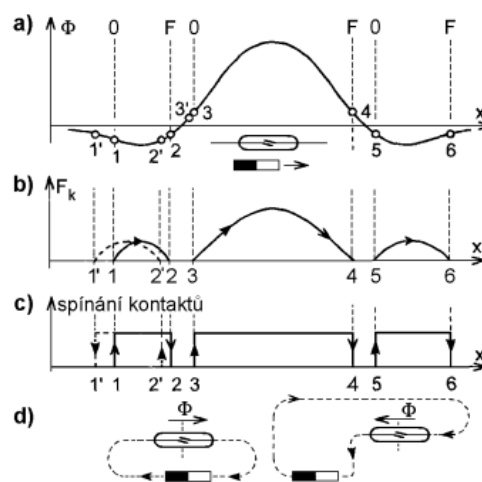
Princip jazýčkového relé spočívá ve využití silových účinků magnetického pole permanentního magnetu na jazýčky z magneticky měkkého materiálu, zatavené do skleněné trubičky, plněné inertním plynem. Magnetický tok  $\Phi$  vyvolaný permanentním magnetem prochází přes jazýčky a vyvolává sílu  $F_M$  danou vztahem:

$$F_M = \frac{\varphi^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot S}$$

v němž  $\mu_0$  je permeabilita vakua,  $S$  je překrývající se plocha jazýčků,  $\Phi$  je magnetický tok. Proti ní působí direktivní síla  $F_D$  daná tuhostí jazýčků  $k$  a změnou jejich polohy  $\delta - \delta_0$  dle vztahu:

$$F_D = k \cdot \frac{\delta - \delta_0}{2}$$

Na kontakty působí síla  $F_K = F_M - F_D$ . Průběhy magnet. toku  $\Phi$ , síly na kontakty  $F_K$  a stavu sepnutí při ovládání magnetem rovnoběžným s osou snímače jsou znázorněny na Obr. 3. Z průběhu síly  $F_K$  vyplývá, že může dojít v závislosti na poloze magnetu k vícenásobnému sepnutí kontaktů, kterému se předchází vhodnou volbou jejich vzdálenosti od magnetu.

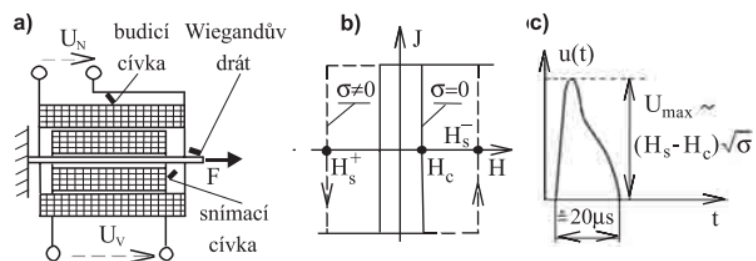


Obr. 2 Princip funkce jazýčkového relé:  
 a) Průběh magnetického toku  $\Phi$   
 b) Průběh síly kontaktu  $F_K$   
 c) opakované spínání kontaktů  
 d) změna směru toku  $\Phi$

Funkce Wiegandova snímače je založena na tzv. Barkhausenovu jevu, podle něhož magnetizace feromagnetických látek (natáčení magnetických domén) při jejich pomalé přemagnetizaci neprobíhá spojitě, ale po skocích. Jestliže bude magnetovanou látku obklopotvat cívka, bude nespojitěmu překlápění domén odpovídat indukování napěťových impulzů nezávisle na rychlosti změn intenzity magnetického pole. Zvýraznění tohoto jevu je

dosaženo působením mechanického napětí na tzv. Wiegandův drát skládající se z jádra z anizotropní slitiny Vicalloy ( $\text{Fe}_{38}\text{Co}_{52}\text{V}_{10}$ ) a pláště z materiálu s vysokou koerivitivitou. Tímto uspořádáním s mechanickým namáháním silou  $F$  znázorněným na Obr. 3a je dosaženo

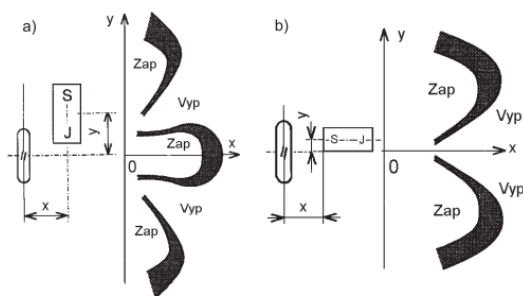
toho, že se drát chová jako jediná doména. Z Obr. 3b je patrný vliv změny mechanického napětí drátu při daném buzení na změnu magnetické polarizace  $J$ , na Obr. 3c je odpovídající proudový



Obr. 3 Princip Wiegandovy sondy: a) uspořádání b) hysterezní křivky c) napěťový impuls

impulz indukovaný ve snímací

cívce. Snímač pracuje tak, že při pomalém zvyšování protékajícího proudu budicí cívkou dojde při dosažení spínací intenzity magnetického pole  $H$ , ke skokové přemagnetizaci z jedné polarity spontánní magnetické polarizace do druhé. Tím se ve snímací cívce indukují napěťový impuls.



Obr. 4 Závislost zóny spínání na poloze os magnetu a relé: a) rovnoběžně b) kolmo



## SHRNUTÍ POJMŮ

Třída přesnosti, rozlišovací schopnost, linearita, životnost, teplotní koeficient, šum, drátový potenciometr, hybridní potenciometr, jazýčkové relé, Wiegandův snímač, Hallůva sonda.



## OTÁZKY

Jaké jsou nevýhody drátového potenciometru?

Na čem závisí životnost potenciometru?

Jak u potenciometru vzniká šum?

Jak dělíme nespojitě odporové snímače podle mechanismu ovládání kontaktů?

Jak funguje Wiegandův snímač?

## 2.2. Kapacitní snímače



ČAS KE STUDIU

90 minut



CÍL

Seznámit se s fungováním kapacitních snímačů a vyhodnocením jejich změn.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Permitivita = veličina vyjadřující vliv látky na elektrické pole.

Elektroda = přes ní proud přichází nebo odchází do jiného prostředí.

Svod = zpravidla nežádoucí, elektrotechnický jev, při němž mezi izolovanými elektrickými vodiči nebo mezi vodičem a zemí vzniká slabý elektrický proud.



VÝKLAD

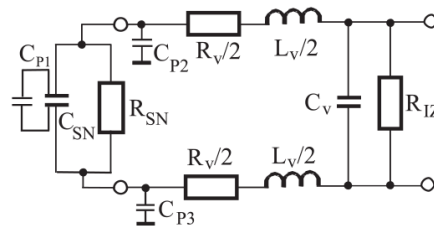
Nespojité kapacitní snímače polohy pracují na principu vyhodnocování kmitů oscilačního RC obvodu. Vniknutím předmětu (vodivého i nevodivého) do elektrostatického pole kondenzátoru se mění kapacita oscilačního obvodu a

tím amplituda jeho kmitů. Jejím dvouhodnotovým vyhodnocením se získá logický signál o přítomnosti předmětu v aktivní zóně snímače. Výhodou proti indukčním snímačům tohoto typu je větší spínací vzdálenost. Elektricky ji lze zmenšením citlivosti zmenšit, čímž se dosáhne toho, že snímač určité předměty neindikuje. Nevýhodou je vliv vlhkosti aktivní plochy, který může způsobit i nežádoucí sepnutí, takže snímače vyžadují kompenzaci vlhkosti.

Metoda využívá převod měřené veličiny na změnu parametru určující kapacitu kondenzátoru. Ta je dána geometrií elektrod a permitivitou  $\epsilon$  prostoru, v němž se uzavírá elektrické pole.

V případě rovinného deskového kondenzátoru platí pro kapacitu vztah:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$



Obr. 5 Náhradní schéma obvodu kapacitního snímače

Z něhož vyplývá, že pro vyhodnocení změn kapacity  $C$  kondenzátoru lze využít změnu vzdálenosti elektrod  $d$ , změnu účinné plochy překrytí elektrod  $S$  nebo změnu poměrné permitivity dielektrika  $\epsilon_r$ , permitivita vakua je označena  $\epsilon_0$ . Přehled principů kapacitních snímačů polohy, funkčních vztahů a jim odpovídajících charakteristik je znázorněn v tabulce č. 1. Náhradní schéma obvodu s kapacitním snímačem je na Obr. 5. Obsahuje kromě vlastní kapacity snímače  $C_{SN}$  paralelní odpor  $R_{SN}$ , reprezentující svod kondenzátoru, a dále parametry vedení, tj. odpor  $R_V$ , indukčnost  $L_V$ , izolační odpor  $R_{IZ}$  a kapacitu  $C_V$ . Aby nedocházelo k ovlivňování signálu snímače změnou parametru vedení (teplota, vlhkost, délka), musí pro impedanci platit nerovnosti:

$$R_V, \omega \cdot L_V \ll \frac{1}{\omega \cdot C_{SN}} \ll R_{IZ}, \frac{1}{\omega \cdot C_V}$$

Kapacita snímačů bývá řádově jednotky až stovky pF, takže je srovnatelná s kapacitou kabelu  $C_V$ . Jeho vliv je proto třeba maximálně potlačit jednak pro zvětšení citlivosti  $\Delta C / C_{SN}$  (zvětšuje neproměnnou kapacitu), jednak pro omezení vlivu jeho změn  $\Delta C_K$ , které představují parazitní signál. Při požití síťového kmitočtu dosahuje reaktance snímače ( $X_C = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot f \cdot C = 1/2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-10} = 3 \cdot 10^7$ ) hodnoty řádově až desítky M $\Omega$ , takže by bylo nutné použít citlivé vyhodnocovací obvody. Napájecí napětí se proto volí s frekvencí řádově alespoň jednotky kHz, jejichž amplituda je omezena průrazem mezi elektrodami (do 5V/ $\mu\text{m}$ ), případný zkratový proud se omezuje sériovou impedancí.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Typ snímače	Schéma	Funkční vztah	Charakteristika
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d(x)}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \cong \frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$	
deskový diferenční s proměnnou mezerou		$C_1 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \cong \frac{C}{d} \left(1 + 2 \cdot \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right)$ $C_2 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$	
deskový s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou		$C = \frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_1(x) + \frac{d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}}; \quad N = \frac{\varepsilon_2 \cdot (d_1 + d_2)}{\varepsilon_2 \cdot d_1 + \varepsilon_1 \cdot d_2};$ $\frac{\Delta C}{C} = - \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{N} - \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2}}$	
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}$	
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \cdot \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \cong \frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d}\right)$	
		$C = \varepsilon \cdot \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \cong \frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 \cdot S}{d_1 + d_2} \left[1 + \frac{l(x)}{l_{\max}} \cdot \frac{1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}{\frac{d_1 + \varepsilon_1}{d_2 + \varepsilon_2}}\right]$	
válcový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{2\pi \cdot l(x)}{\ln \frac{D_1}{D_2}}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \cong \frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \cdot \frac{S(\alpha)}{d}$	

Tab. 1 Principy, funkční vztahy a charakteristiky kapacitních snímačů polohy

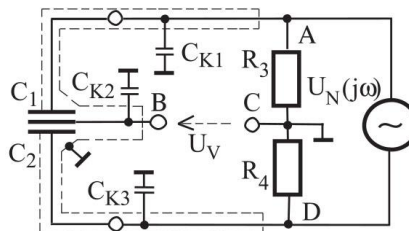


### 2.2.1. Vyhodnocovací obvody

Jako vyhodnocovací obvody kapacitních snímačů polohy se nejčastěji používají:

- Můstkové obvody
- Zpětnovazební obvody
- Rezonanční obvody

Všechny jsou popsány níže.



Obr. 6 Můstek pro kapacitní snímač polohy

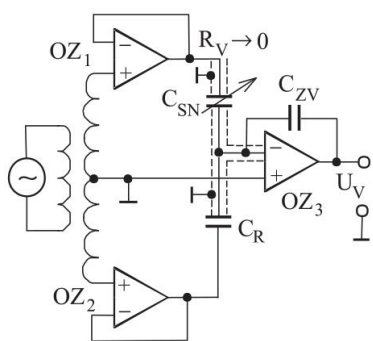
#### Můstkové obvody

Můstková zapojení se užívají především pro diferenční snímače. Princip zapojení deskového diferenčního snímače je na Obr. 6. Pro kapacitu  $C_1$ ,  $C_2$  snímače platí:

$$C_1 = C_0 + \Delta C, \quad C_2 = C_0 - \Delta C$$

Výstupní napětí  $U_V$  v měřící diagonále BC (mezi svorkami BC) při  $R_3 = R_4 = R$  dané rozdílem napětí dvou děličů bude dáno výrazem:

$$\begin{aligned} U_V(j\omega) &= U_N \cdot \left[ \frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{\frac{1}{j\omega C_2}}{\frac{1}{j\omega C_2} + \frac{1}{j\omega C_1}} \right] = U_N \cdot \left[ \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}} \right] = U_N \cdot \left[ \frac{1}{2} - \frac{\frac{1}{C_2}}{\frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}} \right] \\ &= U_N \cdot \left[ \frac{1}{2} - \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right] = U_N \cdot \left[ \frac{1}{2} - \frac{C + \Delta C}{2C} \right] = \frac{U_N}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C} = \frac{U_N}{2} \cdot \frac{\varepsilon \cdot S}{\frac{\varepsilon \cdot S}{d}} \\ &= \frac{U_N}{2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta d}{d}} \approx \frac{U_N}{2} \cdot \left( 1 + \frac{\Delta d}{d} \right) \end{aligned}$$



Z výsledku plyne, že výstupní napětí je při malých změnách polohy společné elektrody ( $\Delta d/d \ll 1$ ) její lineární funkcí, což je graficky vyjádřeno charakteristikou ve 2. řádku **Chyba!**

**Nenalezen zdroj odkazů..**

Vzhledem k tomu, že se uplatňují všechny parazitní kapacity  $C_p$ , jsou pro diferenční snímače vhodnější automaticky vyvažované transformátorové můstky, u nichž lze ve vyváženém stavu parazitní kapacitu  $C_p$  potlačit. Princip zapojení můstku se zesilovačem s kapacitní zpětnou vazbou je uveden na Obr. 7. Snímač se napájí z ideálního zdroje napětí ( $R_i = 0$ ) realizovaného napětěovými sledovači OZ<sub>1</sub>, OZ<sub>2</sub>, jejichž výstupní napětí se nemění ani při změnách parazitní kapacity přívodu. Proudový indikátor nerovnováhy OZ<sub>3</sub> s kapacitní zpětnou vazbou, je převodník proudu – napětí na jehož vstupu je nulové napětí (virtuální zem).

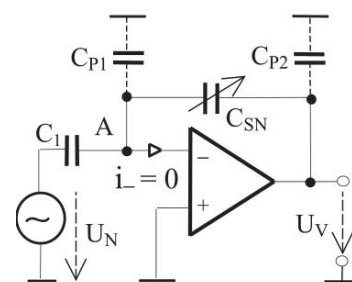
Obr. 7 Transformátorový můstek

## Zpětnovazební obvody

Lineární závislost výstupního napětí kapacitního snímače polohy na vzdálenosti elektrod  $U_v = f(\Delta d)$  lze získat jeho zapojením do zpětné vazby integračního zesilovače Obr. 8. Při zanedbaném vstupním proudu OZ ( $i \approx 0$ ) lze pro uzel A ( $u_A \approx 0$ ) podle Kirchhoffovy věty psát:

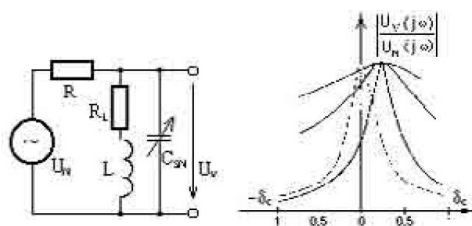
$$\frac{u_N - u_A}{\frac{1}{j\omega \cdot C_1}} = \frac{u_N - u_A}{\frac{1}{j\omega \cdot C_{SN}}} \Rightarrow u_V(t) = -\frac{u_N(t) \cdot C_1}{C_{SN}} = -\frac{C_1}{\varepsilon \cdot S} \cdot u_M \cdot \sin \omega t = -K \cdot d \cdot \sin \omega t$$

Podle tohoto vztahu je výstupem obvodu na Obr. 8 amplitudově modulované střídavé napětí, jehož obálka sleduje časový průběh proměnné mezery  $d$ , tj. pro amplitudu  $A$  výstupního signálu platí  $A = f(d)$ . Protože kapacita mezi dvěma plochami je dána vzájemně vázaným nábojem a rozdílem jejich potenciálů  $C = Q / \Delta U$ , potlačuje zapojení vliv parazitních kapacit přívodů snímače k invertujícímu vstupu  $C_{P1}$  (virtuální nula) a napět'ovému výstupu operačního zesilovače ( $C_{P2}$ ).



Obr. 8 Zapojení kapacitního snímače do zpětné vazby integračního zesilovače

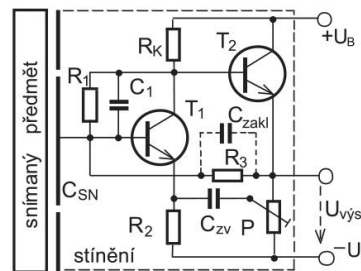
## Rezonanční obvody



Obr. 10 Zapojení a charakteristiky rezonančního obvodu

Rezonanční obvody se používají především při vyhodnocování malých změn kapacity snímače  $\Delta C_{SN}$ , a to dvojitým způsobem. Změnu kapacity lze určit měřením výstupního napětí  $U_V(j\omega)$  oscilačního obvodu řízeného změnou impedance  $Z(j\omega)$  nebo

měřením frekvence oscilačního obvodu. Princip první metody, tj.  $Z(j\omega) = f(\Delta C_{SN})$  se realizuje obvodem dle Obr. 10. Oscilační obvod je naladěný na bok rezonanční křivky tak, že v klidovém stavu je na jeho výstupu poloviční rezonanční napětí. Změnou kapacity snímače  $C_{SN}$ , charakterizovanou parametrem  $\delta_c = \Delta C_{SN} / C_{SN}$  se mění napětí oscilačního obvodu, takže výstupní napětí  $U_V$  měřené vF voltmetrem může být značeno přímo v hodnotách kapacity. Volbou šířky rezonanční křivky lze volit pracovní oblast snímače s vyhovující citlivostí a linearitou. Princip vyhodnocování změny frekvence  $\omega = f(C + \Delta C)$  lze realizovat oscilátorovými obvody typu RC resp. LC. V zapojení dle Obr. 9 kapacita snímače  $C_{SN}$  určuje frekvenci oscilátoru. Signál této frekvence se odebrává na emitorovém odporu a vyhodnocuje se číslicově čítačem nebo frekvenčním diskriminátorem naladěným na střední frekvenci, jeho výstupem je stejnosměrné napětí s lineární charakteristikou v širokém rozmezí frekvencí, Při nespojitém vyhodnocení (tj. při identifikaci předmětu) je místo diskriminátoru použit komparátor.



Obr. 9 Oscilační obvod LC

## 2.2.2. Použití

Kapacitní snímače jsou konstrukčně jednoduché, snadno montovatelné, citlivé a vzhledem k vysokým kmitočetům napájecích napětí dostatečně rychlé. Kromě měření polohy a s tím souvisejících měření např. tloušťky materiálu se používají k měření zrychlení v proti nárazovém automobilovém systému „air-bag“, síly, tlaku, hladiny, vlhkosti, vodivosti kapalin a dalších veličin.



### SHRNUTÍ POJMŮ

Virtuální zem, můstek, zpětnovazební odvod, rezonanční obvod, permitivita.



### OTÁZKY

Jaký princip využívá kapacitní snímač?

Na čem závisí kapacita kondenzátoru?

Jaké existují vyhodnocovací obvody kapacitních snímačů, popiš jejich funkci.

Kde se dají použít kapacitní snímače?

### 2.3. Indukčnostní snímače



ČAS KE STUDIU

3 hodiny



CÍL

Seznámit se s principem indukčnostních snímačů.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ:

Vířivé proudy = elektrický proud vznikající v plošných a objemových vodičích.

Magnetický tok = tok magnetické indukce procházející určitou jednoduše souvislou plochou.

Feromagnetismus = jev, kterým materiál může vykazovat spontánní magnetizaci.

Permeabilita = vliv určitého materiálu nebo prostředí na výsledné účinky působícího magnetického pole.



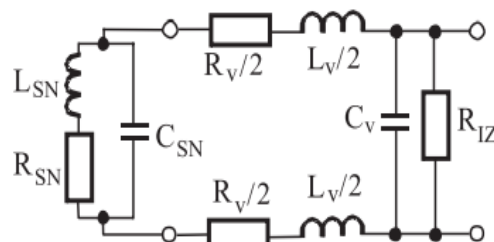
VÝKLAD

Princip indukčnostních snímačů polohy spočívá v převodu polohy na změnu vlastní indukčnosti  $L$  cívky (tlumivkové snímače), případně vzájemné indukčnosti  $M$  dvou cívek (transformátorové snímače). Rozdělení indukčnostních snímačů podle uspořádání magnetického obvodu se provádí do čtyř skupin:

- a) snímače s uzavřeným magnetickým obvodem
- b) snímače s otevřeným magnetickým obvodem
- c) snímače s potlačeným magnetickým polem (s aplikací vířivých proudů)
- d) snímače bez feromagnetika

Snímací prvky mohou být v provedení jednoduchém nebo diferenciálním s výstupním signálem spojitým nebo nespojitým. Měřicí element indukčnostních snímačů polohy může působit na vstupu do cívky nebo na jádro. Elektrické náhradní schéma obvodu s indukčnostním snímačem je nakresleno na Obr. 11. Kromě indukčnosti  $L_{SN}$  představuje vinutí snímače odpor  $R_{SN}$  a kapacitu  $C_{SN}$  mezi závity (lze ji zanedbat). Odpor vedle činné složky má

složky reprezentující vířivé proudy a ztráty magnetickou hysterezi jádra. Při běžných kmitočtech 5 - 50kHz platí  $\omega L \sim R \approx 10R$ , takže údaj indukčního snímače je závislý na kmitočtu. Pro dynamická měření je třeba, aby kmitočet napájecího napětí byl zhruba desetinásobkem kmitočtu změny měřené veličiny, s jeho růstem se zhoršuje činitel jakosti  $Q$ , tj. zmenšuje se citlivost, takže není vhodné příliš ho zvyšovat. S měřícím obvodem je snímač spojen vedením s odporem  $R_V$ , indukčností  $L_V$ , kapacitou mezi vodiči  $C_V$  a izolačním odporem  $R_{IZ}$ . Pro minimalizaci vlivu změn parametrů vedení na výstupní signál snímače musí být jeho reaktance  $X_L = \omega L_{SN}$  navržena tak, aby platilo:



Obr. 11 Náhradní schéma obvodu indukčního snímače

$$R_V, \omega L_V \ll \omega L_{SN} \ll R_{IZ}, \frac{1}{\omega C_V}$$

### 2.3.1. Indukční snímače s uzavřeným magnetickým obvodem

#### Tlumivkové snímače polohy

Vlastní indukčnost cívek tlumivkových snímačů je staticky definovaná výrazem:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N \cdot F_M}{I \cdot Z_M} = \frac{N^2}{Z_M}$$

v němž byl použit Hopkinsonův zákon, podle něhož pro magnetický tok  $\Phi$  platí:

$$\Phi = \frac{F_M}{Z_M} = \frac{N \cdot I}{Z_M}$$

Komplexní magnetická impedance  $Z_m$  je daná součtem činné a jalové složky magnetického odporu, tj. lze ji psát ve tvaru:

$$Z_M = R_M + jX_M$$

Impedanci  $Z$  snímače získáme dle náhradního schématu, na obrázku výše, ze vztahu:

$$Z = R_{SN} + j\omega L$$

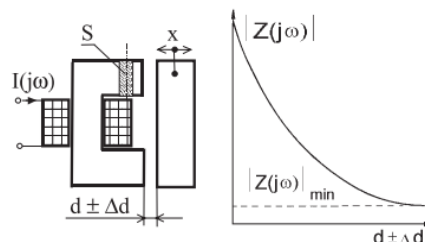
Impedanci indukčního snímače můžeme ovlivňovat proměnnou délkou siločáry ve vzduchové mezeře nebo v magnetiku, proměnnou plochou magnetického obvodu  $S$ , nebo proměnnou permeabilitou.

#### Snímače s proměnnou délkou vzduchové mezery

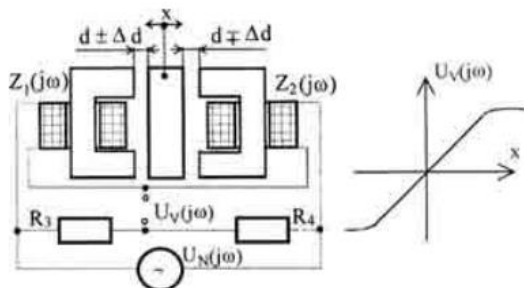
Pro indukčnost  $L$  snímače podle obrázku plyne přibližný vztah:

$$L = \frac{N^2}{R_M} = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot S}{2 \cdot d}$$

Závislost  $L$  na délce vzduchové mezery  $d$  je hyperbolická, snímač se používá pouze v oblasti malých vzduchových mezer, pro které je převodní charakteristika přibližně lineární.



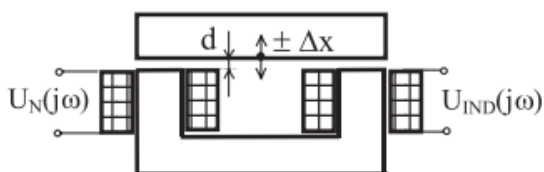
Obr. 12 Indukčnostní snímač s proměnnou délkou vzduchové mezery



Obr. 13 Diferenční indukčnostní snímač s proměnnou délkou vzduchové mezery

Diferenčním uspořádáním snímače obrázku 16, v němž změny  $\Delta d$  vyvolají změny  $\Delta L$  opačných znamének se v můstkovém zapojení dosáhne dvojnásobná citlivost a zmenšení nelinearity.

### Transformátorové snímače polohy



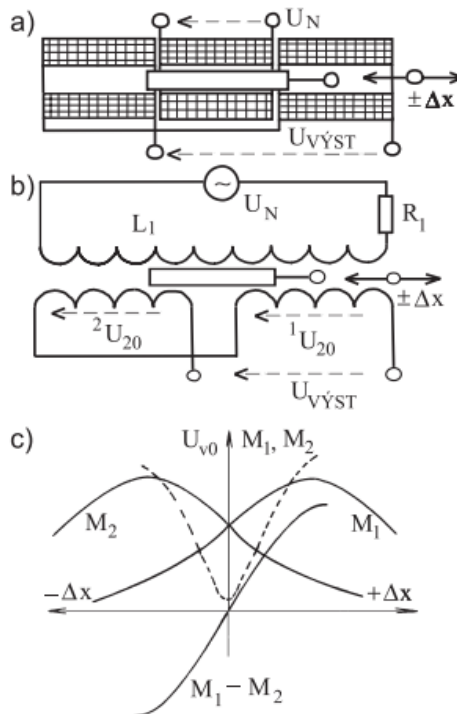
Obr. 13 Princip transformátorového snímače polohy obepnutou druhou cívku a proud, jehož průchodem první cívku se generuje magnetický tok.

Vyhodnocovací změny vzájemné indukčnosti využívají transformátorové snímače polohy, jejichž princip lze znázornit Obr. 13. Jedno vinutí je napájeno střídavým napětím, ve druhém se vlivem změny magnetického odporu  $R_M$  a tím toku  $\Phi$  a vzájemné indukčnosti  $M$  mění indukované napětí, tj.  $U_{IND} = f(\Phi)$ . Nejčastějším uspořádáním transformátorového snímače je otevřený magnetický obvod s posuvným jádrem a diferenčně zapojenými sekundárními vinutími viz Obr. 14a.

Magnetická vazba mezi primárním a sekundárními vinutími je závislá na poloze jádra spojeného se zařízením, jehož poloha se odměřuje. Při odvození vztahu mezi výstupním napětím naprázdno  $U_{V0}$  a posuvem odměřovaného prvku s jádrem, určujícím vzájemné indukčnosti  $M_1, M_2$  vyjdeme z Ohmova zákona pro vstupní obvod

$$U_S = I_1 (R_1 + j\omega L_1)$$

Vzájemná indukčnost  $M$  dvou cívek je staticky definována analogickým způsobem jako vlastní indukčnost  $L$ , tj. podílem části magnetického toku  $\Phi$  vytvořeného jednou cívku procházejícího plochou



Obr. 14 Transformátorový snímač: a) princip b) zapojení c) charakteristika

Napětí naprázdno sekundárních vinutí lze vyjádřit pomocí vzájemných indukčností  $M_1$ ,  $M_2$  vztahy:  $U_2 = j \cdot \omega \cdot M_1 \cdot I_1$   $U_2'' = j \cdot \omega \cdot M_2 \cdot I_1$

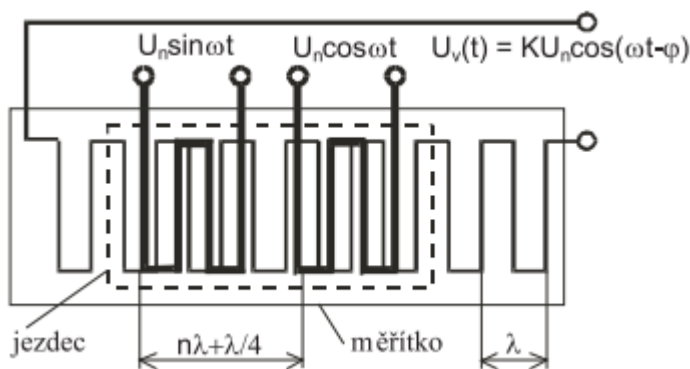
Při měření větších změn polohy se používají transformátorové snímače polohy pracující na principu měření fázového posunu dvou elektrických signálů, pro posuv *induktosyn*, pro úhel otočení dvoufázový *resolver* (příp. trojfázový *selsyn*). Jejich společný princip vychází z toho, že mechanický posunutá (resp. pootočená) primární vinutí jsou napájena navzájem posunutými napětími. Fázový posuv indukovaného sekundárního napětí proti jednomu z primárních napětí je měřítkem

mechanického posuvu s ním spojeného předmětu. *Induktosyn* Obr. 15 se skládá z jezdce, spojeného s odměřovaným předmětem,

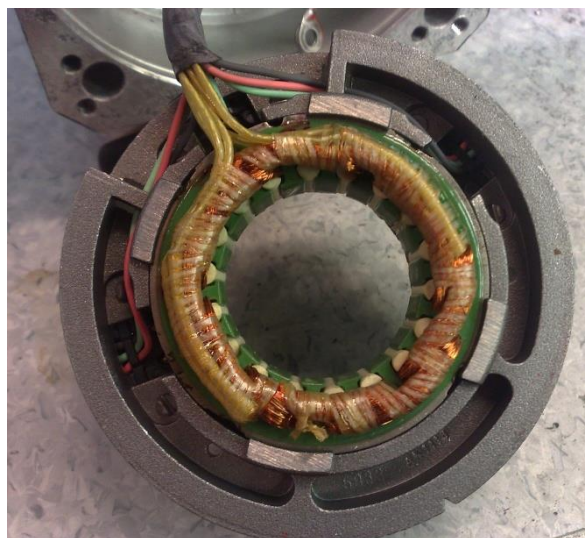
a pohybujícím se nad pevným měřítkem. Jezdec má dvě meandrovité vinutí navzájem proti sobě posunuta o 1,25 násobek délky jednoho meandru  $\lambda$ . Geometrickým uspořádáním je dáno, že průběh činitele vazby vinutí jezdce a měřítka je v rozsahu jednoho meandru přibližně sinusový. Je to tím, že při překrývání meandrů je indukované napětí maximální, při posuvu o  $\lambda/4$  je nulové (sousední úseky jezdce protékane proudy indukují v měřítku napětí opačné fáze) a při posuvu o  $\lambda/2$  se vinutí znovu překrývají, ale indukuje se napětí, které má vzhledem ke stavu předcházejícímu o  $\lambda/2$  opačnou fázi. Vzduchová mezera asi 0,1 mm musí být konstantní. Vinutí jsou vyrobena metodou tištěných spojů na podkladových deskách ze skla, keramiky nebo magnetické oceli s izolační vrstvou. Přivedeme-li na jezdce dvě sinusová napětí vzájemně posunuta o  $\pi/2$  (1/4 periody), indukuje se

v sekundárním vinutí součet dvou napětí, pro která při sinusové vazbě platí:

meandru  $\lambda$ . Geometrickým uspořádáním je dáno, že průběh činitele vazby vinutí jezdce a měřítka je v rozsahu jednoho meandru přibližně sinusový. Je to tím, že při překrývání meandrů je indukované napětí maximální, při posuvu o  $\lambda/4$  je nulové (sousední úseky jezdce protékane proudy indukují v měřítku napětí opačné fáze) a při posuvu o  $\lambda/2$  se vinutí znovu překrývají, ale indukuje se napětí, které má vzhledem ke stavu předcházejícímu o  $\lambda/2$  opačnou fázi. Vzduchová mezera asi 0,1 mm musí být konstantní. Vinutí jsou vyrobena metodou tištěných spojů na podkladových deskách ze skla, keramiky nebo magnetické oceli s izolační vrstvou. Přivedeme-li na jezdce dvě sinusová napětí vzájemně posunuta o  $\pi/2$  (1/4 periody), indukuje se



Obr. 15 Induktosyn



Obr. 14 Ukázka vinutí resolveru

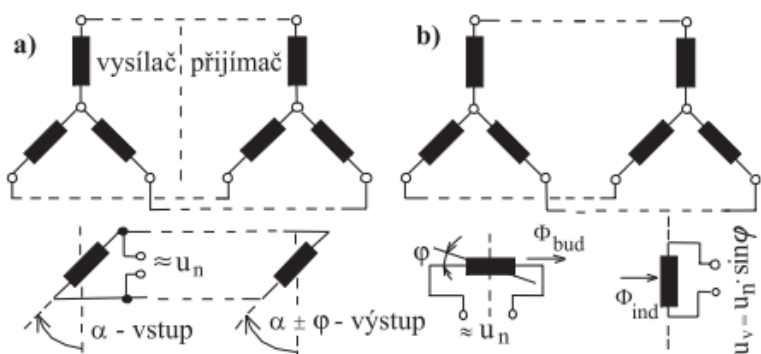
v sekundárním vinutí součet dvou napětí, pro která při sinusové vazbě platí:

$$U_V = U_{N1} \sin \varphi + U_{N2} \sin \left( \varphi - \frac{\pi}{2} \right) = A \cdot \sin \omega \cdot t \cdot \sin \varphi + A \cdot \cos \omega \cdot t \cdot \cos \varphi = A \cdot \cos(\omega \cdot t - \varphi)$$

Výstupní napětí má stejnou amplitudu  $A$  a frekvenci  $\omega$  jako vstupní, měřítkem posuvu jezdce vzhledem k pravítku je fázové zpoždění  $\varphi$  obou napětí. Přiřadíme-li délce kroku úhel  $2\pi$ , je vyhodnocení dráhového posuvu  $\Delta x$  převedeno na vyhodnocení fázového posuvu  $\varphi$  obvodem

synchronního detektoru. Při kroku meandru  $\lambda = 2\text{mm}$  a přesností odměřování  $1\mu\text{m}$  je nutné úhlové rozlišení  $10,8''$ , jak plyne z úměry  $\Delta x/\varphi = \lambda/2\pi$ . Protože  $\varphi$  nezávisí na amplitudě a kmitočtu, je vhodné měřit délku intervalu průchody nulovými napětími. Požívají se proto systémy s nesinusovým (trojúhelníkovým) napájením, indukované napětí v měřítku je dáno superpozicí dvou obdélníkových napětí a fázový posun se vyhodnocuje podle posunu náběžné hrany indukovaného napětí vůči jednomu primárnímu napětí.

Pro vyhodnocení úhlu natočení se využívají resolversy a selsyny, pracující na principu

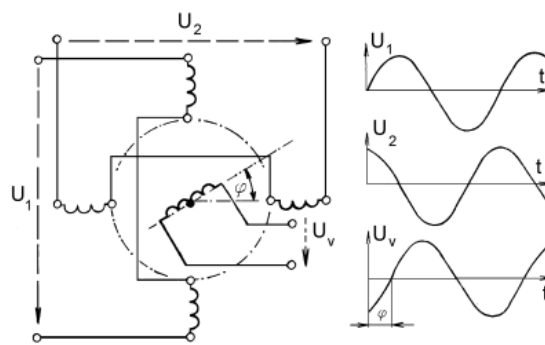


polohového transformátoru. Skládají se z dvoufázového (resp. třífázového) statoru s vinutími pootočenými o  $90^\circ$  (resp.  $120^\circ$ ) a jednofázového rotoru s vyvedeným vinutím. Fázový posun  $\varphi$  výstupního napětí resolveru je roven úhlu natočení pohyblivého vinutí

Obr. 16 Selsyn: a) přímý přenos úhlu b) nepřímý přenos úhlu

rotoru. Selsyny Obr. 16 jsou konstruovány jako vícefázové motory a používají se ve dvou variantách zapojení.

Vysílač a přijímač dálkově přenáší výchylku z vysílacího místa na indikátor. Trojfázové statory obou selsynů (vysílače a přijímače) jsou propojeny a rotory jsou napájeny ze společného napájecího zdroje. Jestliže se rotorem vysílače natočí o určitý úhel, indukují se v jeho statoru napětí generující magnetické pole ve statoru přijímače. Rotor přijímače se natočí o stejný úhel, jako rotor vysílače, v nezatíženém stavu



Obr. 17 Resolver

s přesností  $\pm 1^\circ$ . S růstem zatížení roste vzájemné pootočení obou rotorů až do hodnoty tzv. zvratu, při němž dojde k přerušení přenosu úhlové výchylky.

### 2.3.2. Indukční snímače s otevřeným magnetickým obvodem

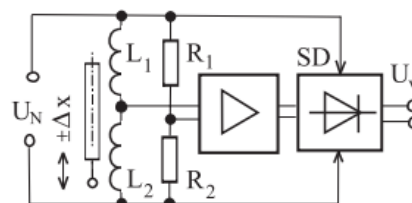
Princip činnosti spočívá ve změně indukčnosti cívky v závislosti na poloze feromagnetického jádra spojeného s odměřovaným předmětem. Snímač se zpravidla realizuje v diferenčním uspořádání s průběhem intenzity podél osy cívky v závislosti na poloze jádra. Pro poměrnou změnu indukčnosti  $\Delta L/L_0$  platí rovnice:



$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{l_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \cdot \frac{1}{\mu_r - 1}}$$

Pro maximum citlivosti je proto třeba, aby oba podíly  $l/l_0$  a  $r/r_0$  byly minimální (tj. blížily se jedné) a permeabilita jádra byla maximální. Zásadní výhodou je možnost použití snímače pro měření velkých změn polohy, nevýhodou je menší citlivost, nároky na přesné provedení cívek a větší počet závitů, z čehož vyplývá větší parazitní kapacita.

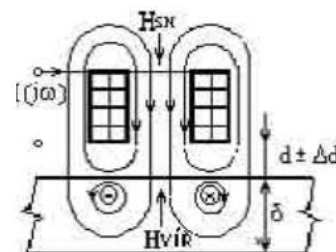
Vyhodnocení se realizuje můstkem zapojeným dle Obr. 18, diagonální napětí je demodulováno synchronním demodulátorem SD s nosným napětím odvozeným z napájecího napětí můstku.



Obr. 18 Zapojení diferenčního indukčního snímače s otevřeným magnetickým obvodem

### 2.3.3. Indukčnostní snímače s potlačeným magnetickým polem (s vířivými proudy)

Princip snímačů je znázorněn na Obr. 19. Vložení elektricky vodivého a magneticky nevodivého (diamagnetického) materiálu do vysokofrekvenčního magnetického pole snímače s intenzitou  $H_{SN}$  se v něm indukují vířivé proudy budící magnetické pole s intenzitou  $H_{VÍŘ}$ . Její směr je podle Lenzova zákona opačný než směr intenzity pole budící cívky, z čehož plyne označení termínem potlačené magnetické pole. Budící cívka je součástí LC oscilátoru, po jehož připojení napětí začne LC obvod kmitat a vznikne vysokofrekvenční elektromagnetické pole soustředěné feritovým jádrem přes aktivní plochu do osy snímače. Při přiblížení elektricky vodivého předmětu k čelu cívky se elektromagnetickým polem vířivých proudů zmenší tok  $\Phi$  a tím indukčnost budící cívky a kmitání LC obvodu utlumí.



Obr. 19 Indukčnostní snímač s potlačeným magnetickým polem

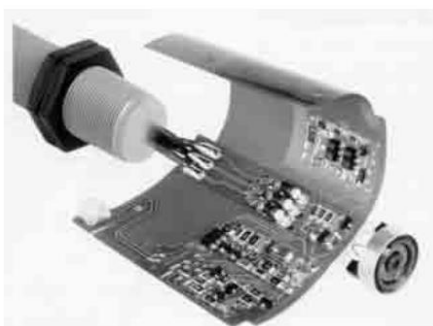
Výstupní signál rozladovaného oscilátoru je přiveden na vstup komparátoru porovnávajícího prahovou hodnotu napětí s hodnotou na svém vstupu a v případě přítomnosti předmětu přepoklopí výstupní klopný obvod. Využívají se zpravidla pro dvoupolohovou indikaci (detektor přiblížení - proximity switch), vzhledem ke změně indukčnosti je lze použít i pro spojitá měření vzdálenosti v rozsahu asi do 50mm s výstupním signálem  $0 \div 20\text{mA}$ , získaným zapojením snímače do můstku. Jejich použití je např. pro měření nevystředěnosti rotujících součástí, zjišťování koroze pod ochrannými povlaky nebo rozlišování kovů a slitin (mincovní automaty).

#### Parametry snímačů s potlačeným magnetickým polem

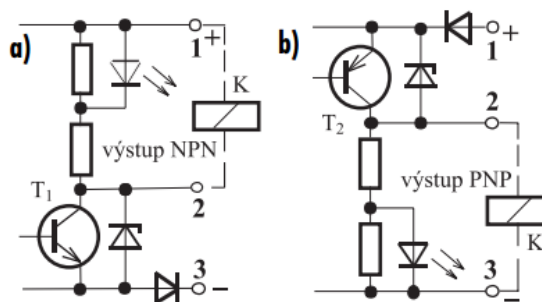
Nominální spínací vzdálenost  $S_N$  je hlavním technickým parametrem definujícím axiální vzdálenost předmětu od aktivní plochy snímače, při níž snímač změní stav výstupu.

Skutečná (resp. použitelná) spínací vzdálenost  $S_R$  je zjišťována při teplotě  $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  a napájecím napětí v celém rozsahu a odrážejí výrobní tolerance materiálů, resp. změny pracovních podmínek.

Hystereze  $H$  je rozdíl mezi polohou spínacího bodu při přibližování a oddalování standardizovaného měřicího předmětu od aktivní plochy snímače.



Obr. 21 Provedení ind. snímače polohy s potlačeným magnetickým polem



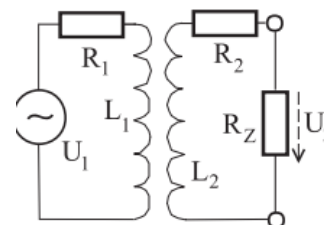
Obr. 21 Zapojení relé na výstup ind. snímače: a) společný + b) společný -

### 2.3.4. Indukčnostní snímače bez feromagnetika

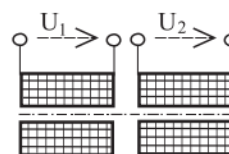
Snímač je tvořen alespoň dvěma, při diferenčním uspořádání třemi cívkami, umožňujícími vzájemný pohyb. Jeho indukčnost je založena na transformátorovém principu, tj. indukovaném napětí magnetickou vazbou dvou obvodů. Protože neobsahuje žádnou feromagnetickou část, odpadají parazitní vlivy spojené s feromagnetikem.

Vyhodnocovací obvody indukčnostních snímačů polohy

- a) Střídavé můstky
- b) Transformátorové můstky
- c) Rezonanční obvody



Obr. 22 Náhradní schéma obvodu dvou cívek



Obr. 23 Princip indukčnostního snímače bez feromagnetika



## SHRNUTÍ POJMŮ

Hopkinsonův zákon, rezonanční obvody, selsyn, nominální spínací vzdálenost, diamagnetický materiál, magnetický tok, permeabilita, parazitní kapacita.



## OTÁZKY

Jak dělíme snímače podle uspořádání magnetického obvodu?

Jaké jsou hlavní parametry snímačů s potlačeným magnetickým polem?

Co se obvykle připojuje na výstup těchto snímačů?

Jak funguje selsyn?

Jakými obvody se vyhodnocuje signál z indukčních snímačů?

## 2.4. Indukční snímače



ČAS KE STUDIU

15 minut



CÍL

Seznámit se s funkcí indukčních snímačů.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ:

Inkrementální = přírůstková.

Klopný obvod = může nabývat dva odlišné napěťové stavy, přičemž ke změně z jednoho stavu do druhého dochází skokově.

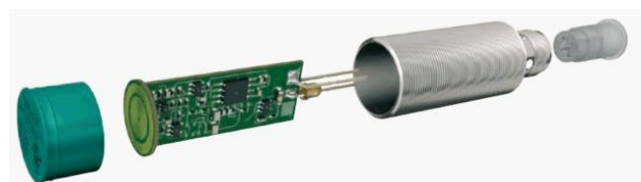
Oscilátor = je zařízení, schopné kmitavého pohybu, při němž se hodnoty určitých parametrů (napětí, frekvence) periodicky opakují.



VÝKLAD

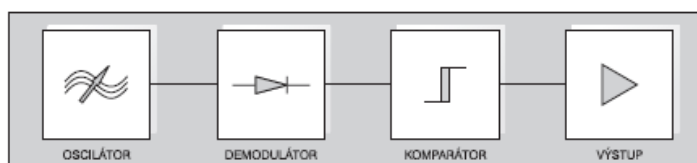
První indukční snímač byl vyroben v r. 1958. Jeho využití bylo zpočátku omezeno jen na chemický průmysl. V tomto odvětví vznikaly při mechanickém spínání dva problémy: jednak se zde obtížně dodržovaly malé spínací proudy a jednak docházelo k nadměrné oxidaci mechanických kontaktů, které bylo nutné často čistit a vyměňovat. Začátkem 60. let dvacátého století byla však značně oceňována téměř neomezená životnost indukčních snímačů i v ostatních průmyslových odvětvích a systémech průmyslové automatizace.

Indukční snímač obecně slouží pro vyhodnocování přítomnosti kovového materiálu.



Obr. 24 Indukční snímač

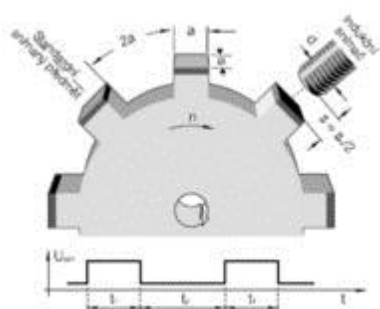
Základ snímače tvoří oscilátor pracující na principu změny činitele jakosti jádra Q při přiblížení kovového materiálu. Tato změna se projeví útlumem kmitů oscilátoru a



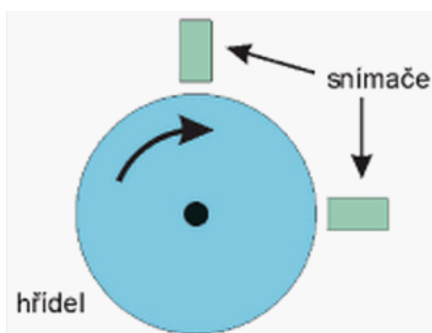
Obr. 25 Blokové schéma indukčního snímače

oscilátor přestane kmitat. Vysazení kmitů oscilátoru vyhodnotí prahový detektor, který řídí klopný obvod ovládající výkonový koncový stupeň. Odstraněním kovového materiálu z aktivní spínací zóny oscilátor obnoví kmitání. Podle toho o jaký druh spínače jde, spínací nebo rozpínací, se výstup spojí nebo rozpojí při přiblížení kovového materiálu do aktivní zóny snímače.

Je možné jejich využití jako inkrementálních snímačů otáček (Obr. 28) nebo sledování tvaru nebo vzdálenosti objektu. Netradiční využití funkce indukčního snímače je aplikace, ve které byl tento snímač použit k ověření správnosti mince v prodejním automatu. Je-li zajištěna jednoznačná poloha mince před aktivní plochou snímače, musí být výstupní proud pro mince



Obr. 28 Inkrementální snímání otáček



Obr. 29 Měření házivosti - excentricity

stejně velikosti a ze stejného materiálu rovněž stejný. Rozdíl ve velikosti mince nebo v jejím materiálu se projeví změnou výstupního proudu.



## SHRNUTÍ POJMŮ

Osciloskop, klopný obvod, cívka, feromagnetikum.



## OTÁZKY

Kde se dá využít indukční snímač?

Jak fungují indukční snímače?

## 2.5. Optické snímače



ČAS KE STUDIU

90 minut



CÍL

Seznámit se s problematikou optických snímačů.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Vlnová délka = délka vlny jednoho kmitu.

Interference = vzájemné ovlivňování, prolínání, střetání jevů.

Světelný tok = množství světelné energie přenesené za jednotku času.



VÝKLAD

Užití principů optiky umožňuje konstrukci miniaturních snímačů polohy s vysokou rozlišovací schopností limitovanou jevy při ohybu světla, tj. řádově v jednotkách  $\mu\text{m}$ . Vedle miniaturizace jsou její základní předností necitlivost vůči elektromagnetickému rušení a galvanické oddělení měřeného objektu a měřícího obvodu. Při přenosu informace optickými vlákny je možné použití v hořlavých a výbušných prostředích. Zdrojem záření jsou luminiscenční nebo laserové polovodičové diody, snímací prvky fotodiody, fototranzistory, CCD snímače. Využívají se tři konstrukční principy – vyhodnocování změny polohy zdroje, zastínění světelného toku mezi zdrojem a detektorem nebo interference zdrojového a odraženého paprsku. Optické snímače polohy dělíme způsobem standardně užívaným při klasifikaci snímačů do dvou skupin:

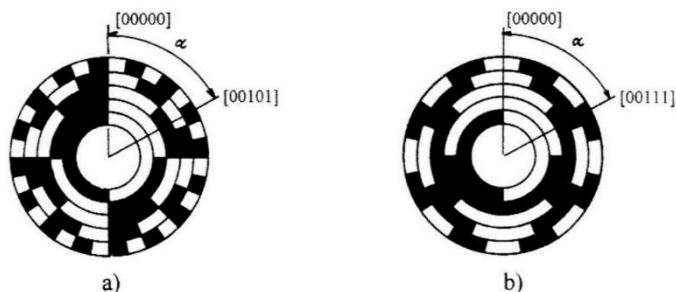
- a) Snímače pro spojité měření polohy (absolutní nebo inkrementální)
- b) Snímače pro nespojitě vyhodnocování (indikaci) polohy

Zvláštní skupinu tvoří optické vláknové snímače

## 2.5.1. Optické snímače pro spojitě měření polohy

### Absolutní snímače

Výstupem *absolutních* snímačů je signál s úplnou informací o poloze tím, že ji definuje vzhledem k referenčnímu bodu. Konstrukční realizací je kódový obrazec (pravítko pro přímočarý pohyb nebo kotouč pro rotační pohyb) se systémem průhledných a neprůhledných ploch. Jimi prochází



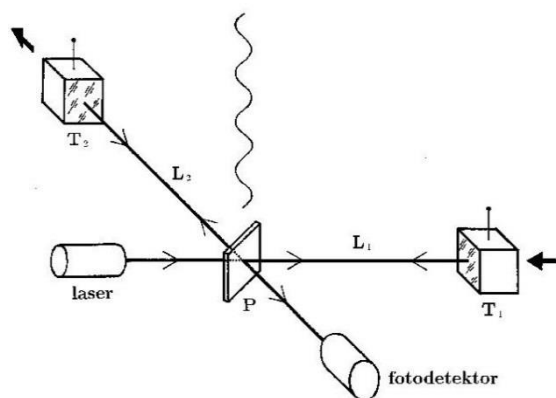
Obr. 30 Kódové kotoučky a) binární kód b) Grayův kód

světelný tok dopadající na soustavu geometricky přesně uspořádaných snímačů, které vytvoří digitální informaci o absolutní poloze měřeného předmětu. Pro představu lze uvést, že kódový kotouč o průměru 10 cm může mít i 17 stop, tj.  $2^{17} = 131072$  rozlišitelných poloh. Na rozdíl od inkrementálních snímačů zde nedochází k akumulaci případných chybových signálů.

### Inkrementální snímače

Výstupem *inkrementálních* snímačů je sled impulsů inkrementujících obsah čítače.

Laserový interferometrický snímač (Obr. 31) pracuje na principu skládání dvou vln – měrné a referenční. Svazek rovnoběžných paprsků dopadá pod úhlem  $45^\circ$  na polopropustnou plochu,

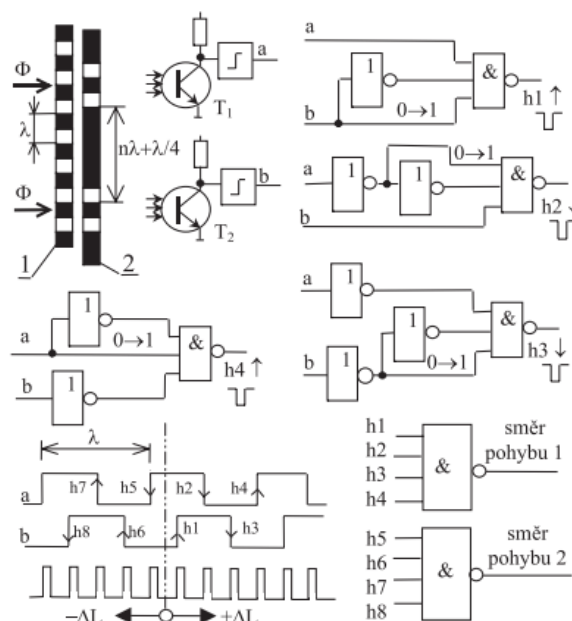


Obr. 31 Interferometrický snímač polohy

od níž se část paprsků odráží k pevnému zrcadlu a část postupuje k pohyblivému zrcadlu spojenému s měřeným objektem. Odražené paprsky se na polopropustné ploše sčítají a vytvářejí interferenční kroužky tak, že při posunu o vlnovou délku záření  $\lambda$  se objeví na výstupu dva impulsy. Citlivost snímačů je tedy proto impuls/ $0,5\lambda$ . Úpravou optických vlastností záření se docílí rozlišení směru pohybu.

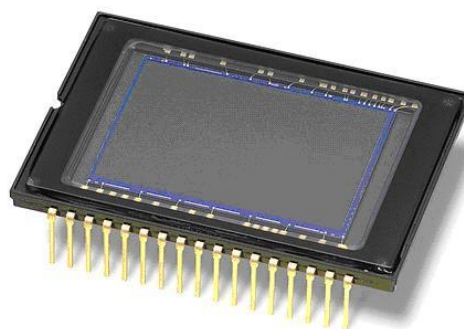
Inkrementální snímač se stíněním světelného toku je znázorněn na Obr. 322. Světelný tok  $\Phi$  procházející otvory posuvného pravítka a pevné masky dopadá na dvojici fototranzistorů. Při pohybu pravítka dochází ke změnám dopadajícího toku měnícího kolektorové napětí, které po vytvarování generuje dvě posloupnosti pulzů posunutých o  $1/4$  periody. To je dáno posuvem dvou systémů otvorů masky o  $\lambda/4$  vzhledem k otvorům v pravítku. Kombinace náběžných a sestupných hran rozděluje rozteče  $\lambda$  na čtyři části (tzv. čtyřkvadrantová interpolace – počet elektrických impulsů je čtyřnásobkem počtu posunutých proužků), tím se zvyšuje čtyřnásobně citlivost.

Protože inkrementální měřicí systém nedává informaci o absolutní poloze (nemá začátek), musí být doplněna třetím kanálem s referenční značkou pro počátek měření. Z toho plyne nevýhoda snímače spočívající v tom, že změna obsahu čítače rušivými signály je korigovatelná až po dosažení referenční značky. Zvětšování citlivosti zmenšováním rozteče  $\lambda$  je omezeno ohybem světla a proto se provádí antiparalelním zapojením dvou fotodiod místo fototranzistoru. Jejich výstupní signál blízký funkci  $\sin\Phi$  se interpoluje, a tak lze rozlišit posuvy až  $0,05\mu\text{m}$  nebo pootočení o  $0,0005$  stupně.



Obr. 322 Inkrementální fotoelektrický snímač polohy

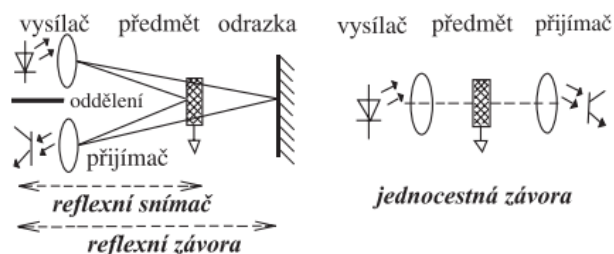
Zvláštním typem snímačů jsou optoelektronické CCD snímače (Obr. 33) založené na aplikaci nábojově vázaných struktur, které jsou schopné vyhodnocovat souřadnice osvětlených bodů buď jako řádkový, nebo jako plošný senzor. Snímač může obsahovat až 15000 fotocitlivých bodů s rozměry  $100 \times 100$  až  $7 \times 7 \mu\text{m}$ . Čtecí frekvence se pohybuje v rozmezí  $2 \div 20 \text{MHz}$ . Plošné snímače umožňují znázornit i dvourozměrné obrazy.



Obr. 313 CCD snímač polohy

### 2.5.2. Optické snímače pro nespojité měření polohy

Tyto snímače generují binární signál o výskytu indikovaného prvku v určité poloze. Principálně je rozdělujeme do dvou tříd Obr. 34, a to snímače průchozí (jednocestné) a reflexní. V obou případech se může jednat o závoru, záclonu nebo světelnou mříž. Jednoduchá závor je jednorozměrná. Seřazením několika závor nad sebou a logickým propojením získáme optickou mříž, hlídající celou plochu mezi vysílací a přijímací stranou. Optickou mříž lze provést i tak, že se záření jednoho vysílače vede po odrazu do soustavy zrcadel různými drahami, v tom případě mluvíme o světelné zácloně. Reflexní provedení má ve srovnání



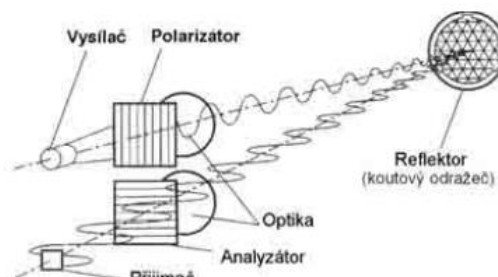
Obr. 34 Reflexní a průchozí optický snímač polohy

reflexní provedení má ve srovnání s jednocestnou závorou výhodu, že není citlivý na změnu vzdálenosti mezi předmětem a snímačem. Reflexní provedení má ve srovnání s jednocestnou závorou výhodu, že není citlivý na změnu vzdálenosti mezi předmětem a snímačem.



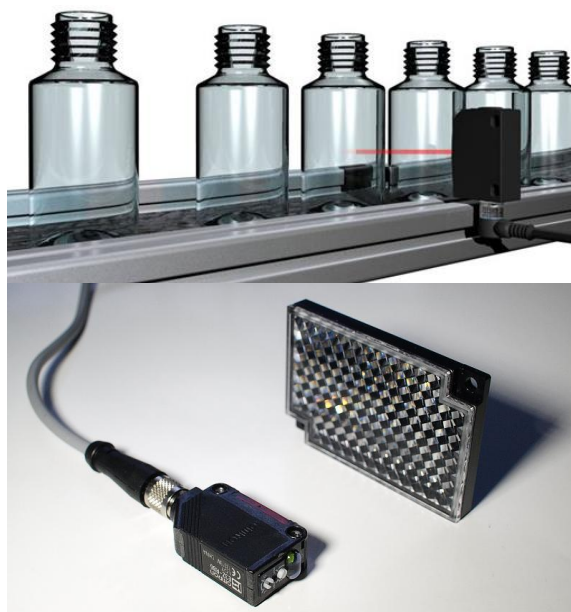
s průchozím menší světelnou účinností, je náchylnější ke znečištění (např. orosení), prostorově a montážně je ale vzhledem ke své jednostrannosti výhodnější (odpadá obousměrná zástavba). Zdroj i přijímač světla jsou konstrukčně spojeny do jedné jednotky. Na opačné straně sledovaného prostoru je zrcadlo (reflektor), nebo je paprsek odražen od reflektující plochy objektu.

Protože použití obyčejného planárního zrcadla by mohlo způsobit potíže při provozních změnách jeho polohy, používá se speciálních trojzrcátek, složených ze tří navzájem kolmých rovin (roh krychle – jako u motorových vozidel), která zaručí zpětný odraz i při značném odklonu zrcadla od kolmé roviny. Aby nedošlo k nežádoucímu odrazu



Obr. 35 Reflexní závora s polarizací světelného paprsku

od snímané plochy, které sice přeruší světelný paprsek dopadající na reflektor, ale vzhledem k vlastnostem svého povrchu odrazí tolik světla, že ho elektronika přijímací části vyhodnotí jako nepřítomnost předmětu, používají se polarizační filtry propouštějící světlo pouze v určité rovině. Reflektor musí mít schopnost při odrazu rovinu dopadajícího světla o 90° otočit, takže filtry vysílače a přijímače se musí navzájem proti sobě o 90° přesadit. Rušení cizím světlem se potlačuje tím, že vysílač pracuje střídavě a fotozesilovač se naladí na jeho frekvenci. Průchozí snímače se využívají pro počítání předmětů, zavírání dveří výtahů, reflexní snímače v hygienických zařízeních, snímačích čarového kódu, plnění nádob, či otevírání dveří.



Obr. 36 Reflexní snímač polohy

### 2.5.3. Optické vláknové snímače

Vznikly na základě vývoje a aplikací optických vláken užívaných pro přenos dat. Jejich princip vychází z důsledku Snellova zákona pro lom paprsků při dopadu na rozhraní dvou prostředí, na němž se část záření odráží zpět do původního prostředí a část prochází do nového prostředí. Totální odraz paprsků nastává, jestliže jejich úhel dopadu dosáhne kritickou hodnotu  $\phi_k$ , pro kterou platí  $\sin \phi_k = n_2/n_1$ . Protože je podíl  $n_2/n_1 < 1$ , může totální odraz nastat pouze na rozhraní materiálů hustší řidší (tj. např. sklo-vzduch). Dělení optických vláknových snímačů se provádí do dvou základních skupin:

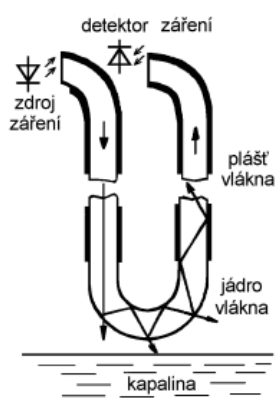
a) *Vlastní*

b) *Nevlastní*

*Vlastní* (interní) snímače – měřená veličina působí přímo na přenosové vlastnosti vlákna (útlum, fáze, index lomu).

*Nevlastní* (externí) snímače – vyžadují vnější čidlo, vlákno pouze přenáší signály, např. snímač polohy clonící světelný tok přiváděný optickými vlákny k optoelektrickému snímači.

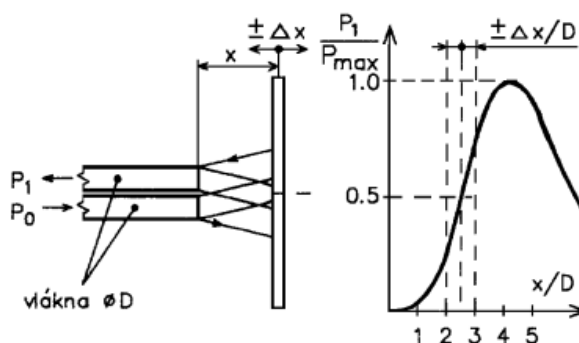
Základní příklad užití OVS znázorňuje reflexní snímač polohy na Obr. 37, v němž P0 (P1) znamenají vysílaný (přijímaný) zářivý tok. Obr. 38 ukazuje příklad použití



Obr. 38 OVS výšky hladiny nebo složení

vláknových světlovodů pro měření výšky hladiny. Měřená veličina (tj. výška

hladiny) působí na vlákno a mění jeho optické vlastnosti tak, že v části vlákna, které je zbaveno pláště a ponořeno do kapaliny, dochází v důsledku změny indexu lomu mezi vláknem a kapalinou k vyzařování světelné energie do kapaliny. Tím nastane na výstupu vlákna pokles intenzity záření.



Obr. 37 Reflexní OVS polohy

Podle způsobu modulace světla rozlišujeme snímače s modulací amplitudovou (tj. intenzitní), fázovou, polarizační, vlnové délky, a časového šíření impulsů.



## ZOPAKOVÁNÍ HLAVNÍCH POJMŮ

Vlnová délka, světelný tok, CCD snímač, fotodetektor, kódové kotoučky, reflektor.



## OTÁZKY

Jak funguje absolutní snímač polohy?

Co je to CCD snímač?

K čemu se používá reflexní a k čemu průchozí snímač?

Jaké je základní dělení optických vláknových snímačů?

## 2.6. Ultrazvukové snímače



ČAS KE STUDIU

50 minut



CÍL

Seznámení s fungováním ultrazvukových snímačů jejich způsobu provedení a použitím.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Piezeoelektrický jev = je schopnost krystalu (monokrystalického křemene) generovat elektrické napětí při jeho deformování, nebo je deformován elektrickým napětím.

Ultrazvuk = je zvuk, jehož frekvence je nad hranicí slyšitelnosti lidského ucha, cca 20 kHz.

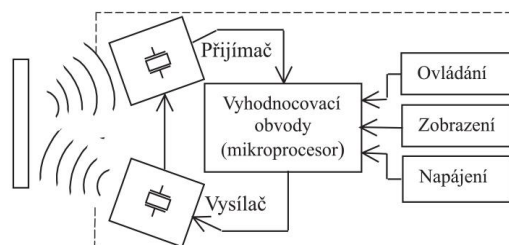
Magnetostrikční měnič = využívá vlastností feromagnetických látek deformovat se v magnetickém poli. Síla deformující materiál je přímo úměrná proudu.

Piezeoelektrický měnič = využívá Piezeoelektrický jev, přitom přeměňuje mechanické kmity na elektrické a naopak.



VÝKLAD

Ultrazvukové snímače polohy pracují na principu měření doby, za kterou přijímač detekuje ozvěnu ultrazvukových pulzů generovaných vysílačem a odražených od zaměřovaného objektu. Jejich rozvoj začíná za I. světové války v důsledku potřeby prostorové lokalizace neviditelných podmořských cílů.



Obr. 39 Blokové schéma ultrazvukového snímače polohy

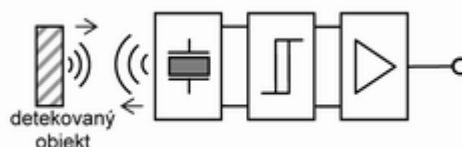
### 2.6.1. Vysílač a přijímač zvlášť

Dva základní funkční bloky jsou vysílač ultrazvuku - magnetostrikční měnič pro nízké frekvence (délková změna feromagnetika v magnetickém poli) nebo piezeoelektrický měnič pro vysoké frekvence (inverzní piezeoelektrický jev) a přijímač ultrazvuku převádějící

odražené mechanické kmity na elektrické. Blokové schéma dle Obr. 39 dále obsahuje vyhodnocovací obvody, realizované v současnosti na bázi mikroprocesorů (ATMEL 2051), ovládací a zobrazovací prvky.

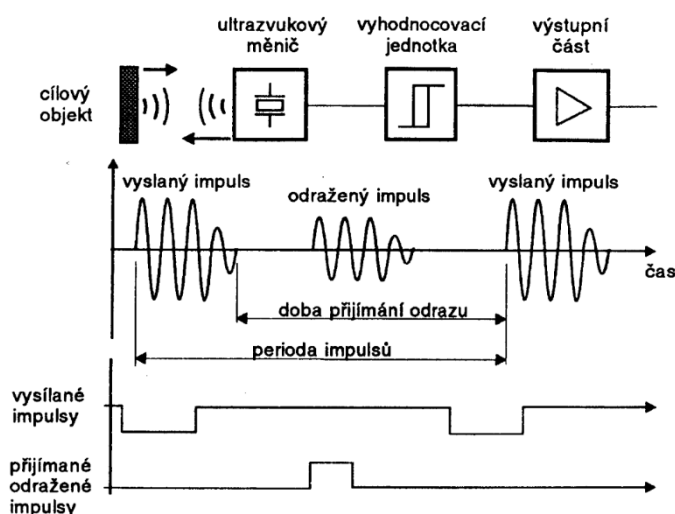
### 2.6.2. Vysílač/přijímač (ultrazvukový převodník)

Ultrazvukový převodník (vysílač/přijímač) vyšle krátký ultrazvukový pulz, tj. řádově 10 + 20 period UZ-signálu s kmitočtem daným rezonancí užitého ultrazvukového měniče (řádově desítky



Obr. 40 Ultrazvukový převodník (blokové schéma)

kHz) a současně začne odměřovat čas. Potom se přepne do přijímacího režimu a je vyhodnocován přijatý odražený ultrazvukový pulz, u kterého se nejdříve zjišťuje, zdali je opravdu možným odrazem vyslaného signálu. Jestliže ano, je z délky intervalu a rychlosti šíření zvuku v daném prostředí odvozena vzdálenost překážky. Z tohoto principu plyne, že přesnost je dána dvěma faktory. Jednak je to vliv prostředí na rychlost zvuku (vlhkost, teplota), jednak přesnost měření jasnosti (zřetelnosti) odezvy. Ultrazvukový snímač se dá využít při měření hladiny.



Obr. 41 Znárodnění činnosti ultrazvukových snímačů



Obr. 42 Ultrazvukový senzor hc-sr04



### SHRNUTÍ POJMŮ

Vysílač, přijímač, piezo měnič, magnetostrikční měnič, ultrazvukový převodník.



## OTÁZKY

Jak funguje ultrazvukový snímač?

Popište funkci ultrazvukového snímače s přijímačem a vysílačem zvlášť.

Popište funkci ultrazvukového převodníku.

## 2.7. Rádiový snímač



ČAS KE STUDIU

40 minut



CÍL

Seznámit se s rádiovými snímači.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Útlum = udává, kolik signálu se ztratí při přenosu na určitou vzdálenost.

Modulace = proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu.



VÝKLAD:

Vysokofrekvenční rádiové vlny (RF) se šíří všesměrově a s menším či větším útlumem pronikají nekovovými překážkami - mezi vysílačem a přijímačem tedy nemusí být přímá optická viditelnost. Jestliže je v jednom místě instalováno několik souprav vysílače a přijímače, je třeba zajistit, aby na povel od konkrétního vysílače reagoval pouze požadovaný přijímač. Proto je každému vysílači ve výrobě přidělen unikátní kód, který je při vysílání namodulován na nosnou frekvenci signálu. Základní podmínkou fungování systému je naprogramování každé dvojice vysílače - přijímače. Jestliže je potom RF signál vyslán, všechny přijímače v dosahu daného vysílače jej vyhodnotí a naprogramovaný povel vykoná ten z nich, jehož paměť obsahuje shodný kód. Systém může být využíván i tak, že několik vysílačů bude ovládat jeden přijímač (a každý může vyvolávat jinou funkci), nebo naopak několik přijímačů bude řízeno jedním vysílačem.

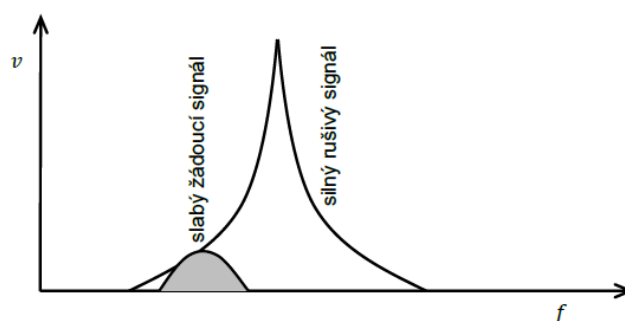
Nejjednodušší architekturou přijímače vůbec je přímozesilující přijímač, jenž zesiluje a demoduluje signál v RF pásmu. Toto řešení však s sebou přináší řadu komplikací a dosažitelné parametry jsou velmi omezeny. Výhodnější je směřováním přenést zpracováváný signál do nižších kmitočtových pásem (mezifrekvenci, IF), koncepce je známá jako superheterodyn. Hlavním úskalím superheterodynu jsou zrcadlové kmitočty, ty je třeba

dostatečně odfiltrovat již před směřováním v pásmu nosné frekvence. Dále jsou kladeny vysoké nároky na oddělení lokálního oscilátoru směšovače od vstupních obvodů. Prosakování signálu lokálního oscilátoru do signálu před směšovačem by způsobilo vznik nežádoucí stejnosměrné složky v základním pásmu a také by tento signál mohl být nechtěně vyzařován anténou.

### 2.7.1. Vzorkování vysokofrekvenčních signálů

Dobře známý je Nyquistův vzorkovací teorém. Základní podmínkou tohoto teorému je, že vzorkovací kmitočet musí být minimálně dvakrát vyšší, než je nejvyšší frekvenční složka vzorkovaného signálu. Pokud je tato podmínka porušena, dojde k aliasingu, resp. k přenesení vyšších frekvenčních složek do 1. Nyquistovy zóny. Vzhledem k tomu, že při Nyquistově vzorkování je v tomto pásmu kmitočtů očekáván nenulový signál, dojde k jeho nevratnému zkreslení aliasingovými složkami.

RF signál přicházející z antény je sám o sobě velice slabý a jeho úroveň tak může být srovnatelná s tepelným šumem, který jej doprovází. Pro dosažení dostatečné úrovně je nutné takový signál zesílit. Úroveň vlastních šumů přijímače by měla být co nejmenší (nízké šumové číslo).



Obr. 43 Maskování slabého signálu šumem



#### SHRNUTÍ POJMŮ

Vysílač, přijímač, zkreslení, šum, vzorkování, nosná vlna, oscilátor .



#### OTÁZKY

Jaká je charakteristická vlastnost přenosu rádiových vln?

Co je to Nyquistův teorém?

Jaký je význam termínu aliasing?

Jaké jsou nejčastější zdroje šumu?

## 2.8. Gyroskopy



ČAS KE STUDIU

1,5 hodiny



CÍL

Pochopení fungování gyroskopu a jeho využití pro určení polohy.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

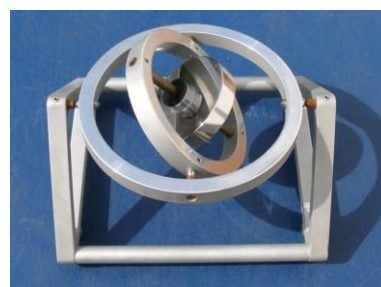
Moment setrvačnosti = vyjadřuje míru setrvačnosti tělesa při otáčivém pohybu. Její velikost závisí na rozložení hmoty v tělese vzhledem k ose otáčení. Body (části) tělesa s větší hmotností a umístěné dál od osy mají větší moment setrvačnosti.



VÝKLAD:

Gyroskop je jedna z nejběžnějších a nejznámějších hraček, ale jen málo lidí ví, že tato hračka byla původně vyvinuta vědci pro studium spinu a rotace Země. Studium pohybu gyroskopu vedlo k porozumění pohybů Země a k sestrojení mnoha

užitečných přístrojů – gyrokompas, zařízení pro letectví, autopilot, gyroskopická stabilizace a navigace lodí, letadel, vesmírných stanic a satelitů.



Obr. 44 Gyroskop

### 2.8.1. Cardanův závěs



Obr. 45 Cardanův závěs

Cardanův závěs [kar-] je způsob zavěšení nějakého tělesa tak, aby jeho poloha co nejméně závisela na pohybech podkladu a aby byla neustále svislou. Těleso visí na dvou diametrálně protilehlých bodech (nýtech) kruhu, který sám je zavěšen na jiných bodech, rovněž diametrálně protilehlých tak, že průměry obou párů závěsných bodů čili osy, kolem kterých těleso se točí, stojí na sobě kolmo. Těžisko tělesa leží přitom co možná nejhluběji pod průřezem obou os. Cardanova závěsu se užívá zejména na lodích k zavěšení kompasů a vůbec nástrojů, jež potřebují relativního



klidu, jako lamp atd. Přitom průměr jednoho páru bodů závěsných má směr lodi podélný, druhého páru směr příčný; má-li se pak zjednat klid i pro kymácení ve směrech jiných, je třeba kruh zavěsit do kruhu nového tak, aby průměr určený oběma nýty neměl žádný směr.

## 2.8.2. Matematický popis

Díky tomu, že má rotační setrvačnickou tendenci dostat se do místa, kde je moment setrvačnosti největší, je gyroskop také schopen určit svou orientaci v prostoru. Pro připomenutí si uveďme alespoň některé základní vztahy pro popis rotačního pohybu. Tím prvním je moment hybnosti, který je roven vektorovému součinu vzdálenosti od středu (polohový vektor  $\vec{r}$ ) a hybnosti ( $\vec{p}$ ):

$$L = \vec{r} \cdot \vec{p}$$

$L$ - moment hybnosti	[kg·m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$\vec{r}$ - polohový vektor	[m]
$\vec{p}$ - vektor hybnosti	[kg·m·s <sup>-1</sup> ]

Po derivaci dostáváme moment síly ( $\vec{F}$  je síla působící v bodě určeném polohovým vektorem  $\vec{r}$ ):

$$M = \vec{r} \cdot \vec{F}$$

$M$ - moment síly	[N·m]
$\vec{r}$ - polohový vektor	[m]
$\vec{F}$ - síla působící v bodě	[N]

Nesmíme zapomenout ani na moment setrvačnosti. Pro rotaci vzhledem k ose dokonale homogenní velmi tenké obruče bychom jej teoreticky mohli vypočítat jako skalární součin celkové hmotnosti rotujícího tělesa (označme  $M$ ) a druhé mocniny vzdálenosti hmoty od osy (označme  $R$ ):

$$J = M \cdot R^2$$

$J$ - moment setrvačnosti	[kg·m <sup>2</sup> ]
$M$ - celková hmotnost tělesa	[kg]
$R$ - vzdálenost od osy	[m]

Moment setrvačnosti však obecně závisí na rozložení hmoty, jedná se tedy o tenzor. Navíc musíme jednotlivé hodnoty přepočítat pro různá tělesa (pokud bychom například místo obruče použili válec, bude moment setrvačnosti poloviční). V praxi se také setkáváme často s případy, kdy osa momentu setrvačnosti neprotíná těžiště. V takovém případě musíme použít Steinerovu větu, která říká, že stačí pouze sečíst moment setrvačnosti vzhledem k ose procházející těžištěm (označme  $J_0$ ) a součin hmotnosti rotujícího tělesa ( $M$ ) a druhé mocniny nejkratší vzdálenosti jeho osy rotace od oné osy procházející těžištěm (označme  $\alpha$ ):

$$J = J_0 + M \cdot \alpha^2$$

$J$ - moment setrvačnosti	[kg·m <sup>2</sup> ]
$J_0$ - moment setrvačnosti procházející těžištěm	[kg·m <sup>2</sup> ]
$M$ - celková hmotnost tělesa	[kg]
$\alpha$ - nejkratší vzdálenost osy rotace od osy procházející těžištěm	[m]

### 2.8.3. Mechanický gyroskop



Obr. 46 Mechanický gyroskop

Gyroteodolit je přístroj k přímému určování azimutů zvolených směrů. Gyroskop je těleso tvaru kovového prstence, nebo kovové desky rychle rotující kolem osy na toto těleso kolmé. Není-li gyroskop ovlivněn vnějšími silami, udržuje jeho rotační osa v prostoru stálý směr. Pokud je setrvačnick umístěn na povrchu Země, je unášen spolu s rotující Zemí, a tím se obecně mění směr jeho rotační osy. Setrvačnick na to reaguje tak, že se snaží srovnat svou rotační osu s rotační osou Země. Stabilizovaný setrvačnick svou osou ukazuje k severu a vytyčuje tak jedno rameno azimutu. Gyroskop na rozdíl od kompasu nereaguje na blízkost železných předmětů a vysokého napětí.

### 2.8.4. Jaderný gyroskop

Využívá principu jaderného paramagnetismu látek (voda, organické roztoky, helium, páry rtuti). Atomy nebo molekuly těchto látek mají v základním stavu magnetický moment daný spiny (vlastní moment hybnosti) jader. Orientujeme-li magnetické momenty jader magnetickým polem a potom pole zrušíme, pak nepůsobí-li jiné magnetické pole, zachová si výsledný magnetický moment po jistou dobu svoji prostorovou orientaci, nezávisle na změny polohy zařízení obsahujícího látku. Hodnota výsledného magnetického momentu bude v důsledku relaxace postupně klesat. Proto se pro jaderné gyroskopy volí látky s velkými relaxačními časy.

### 2.8.5. MEMS gyroskop

Stejně jako v případě MEMS akcelerometrů obsahují MEMS gyroskopy mimo samotného snímače i celou škálu vyhodnocovacích, řídicích obvodů a logiky. Výstupní signál je pak analogový nebo digitální. Rotaci je možné typicky měřit vzhledem k jedné ze tří os z, y, x. Gyroskopy vyráběné jako integrované MEMS obvody pracující na principu Coriolisovy síly, umějí měřit pouze v jednom směru, a to je směr kolmý na plochu obvodu. Pro jiné směry je nutné



Obr. 47 MEMS čip

zajistit správné natočení a umístění součástky. Coriolisova síla je takzvaná virtuální síla, která působí na libovolný hmotný objekt, či předmět, který se pohybuje rychlostí  $v$  v soustavě, která rotuje kolem osy úhlovou rychlostí  $\omega$ . Coriolisova síla působí na každý hmotný objekt na zemi.

### 2.8.6. Využití Gyroskopů

- Detekce a měření rotačního pohybu.
- Stabilizační jízdní systémy automobilů.
- Zpřesňování pozice systémů GPS.
- Stabilizace obrazu a předmětů.
- Zjišťování změny polohy, detekce pohybu.
- Měření setrvačnosti.
- Měření náklonu.
- Detekce převrácení, např. automobilu.
- Navádění a řízení raket, letadel, robotů apod.



Obr. 48 Letecký zatáčkoměr se sklonoměrem



### SHRNUTÍ POJMŮ

Cardanův závěs, moment setrvačnosti, jaderný gyroskop, mechanický gyroskop, MEMS gyroskop (elektronický), Kvantový gyroskop, úhlová rychlost.



### OTÁZKY

Jak funguje gyroskop a co to je?

Jaké existují druhy gyroskopů?

Kde nachází gyroskop uplatnění?

## 2.9. Akcelerometry



ČAS KE STUDIU

2 hodiny



CÍL

Seznámit se s funkcí snímačů zrychlení.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Tuhost pružiny = fyzikální veličina, která je charakteristická pro každé stlačitelné těleso. Na rozdíl od modulu pružnosti se týká celého tělesa, nikoliv jen materiálu, jímž je tvořeno.

Úhlový kmitočet = změna dráhy v obloukové míře (radián - rad) za jednotku času.

Amplituda = maximální hodnota periodicky se měnící veličiny.



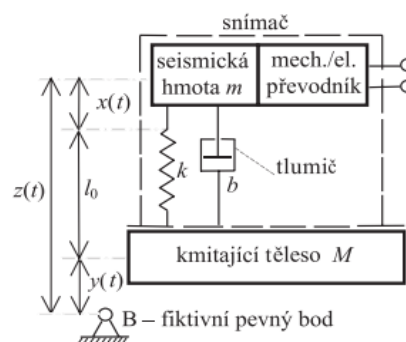
VÝKLAD

Činnost snímačů zrychlení je založena na vyhodnocování setrvačných účinků těles při urychlování nebo zpomalování jejich pohybu. Využívá se přitom Newtonův zákon, podle něhož pro zrychlení platí:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m}$$

Při známé hmotnosti tělesa  $m$  je síla  $F$  měřítkem zrychlení  $a$ . Rozlišujeme dvě základní skupiny snímačů kmitání (tj. polohy, rychlosti a zrychlení) – **absolutní** a **relativní**.

Obecný fyzikální model **snímače kmitání** je dle Obr. 49 tvořen hmotností snímače  $m$ , pružinou s tuhostí  $k$ , jejíž koncový bod má v klidovém stavu souřadnici  $l_0$  a tlumičem, vyvozujičím sílu úměrnou rychlosti pohybu s konstantou úměrnosti  $b$ . Pouzdro s těmito prvky je pevně spojeno s tělesem  $M$ , jehož kmity se stanovují. Předpokládejme, že kmitající těleso  $M$  koná vzhledem k fiktivnímu pevnému bodu harmonický kmitavý pohyb,



Obr. 49 Obecný model snímače kmitů

popsaný vztahem:

$$y = y_0 \cdot \sin \omega t$$

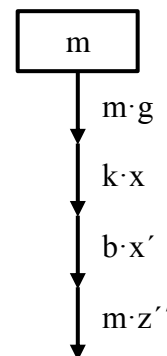
Jestliže polohu hmoty snímače  $m$  vzhledem k pevnému bodu [resp. kmitajícímu tělesu  $M$ ] označíme  $z(t)$  [resp.  $x(t)$ ], pak dle Obr. 49 platí:

$$x(t) = z(t) - y(t) - l_0$$

Po uvolnění hmoty  $m$  snímače a nahrazení účinků vazeb silami lze s použitím d'Alembertova principu (Obr. 50) napsat rovnici silové rovnováhy společnou pro absolutní i relativní snímač ve tvaru:

$$mg + kx + bx' + mz'' = 0$$

Jestliže v okolí kmitajícího tělesa *neexistuje relativně pevný vztažný bod*, vytvoří se za určitých dynamických podmínek (dále odvozených) nehybný bod uvnitř snímače (tzv. seismická hmota) a měří se parametry kmitání tělesa  $M$  vůči takto uměle vzniklému nehybnému bodu pomocí souřadnice  $x(t)$  tzv. **absolutním snímačem parametrů kmitání**.



Obr. 50 Silové účinky působící na hmotu snímače

### 2.9.1. Absolutní snímače

Po dosažení za relativní polohu obou těles  $x(t)$  a neuvážování vlivu tlumení ( $b = 0$ ) lze tuto rovnici snadno převést do tvaru:

$$mz'' + kz = -mg + kl_0 + ky_0 \cdot \sin \omega t$$

Vyšetřovaná poloha  $z(t)$  hmoty snímače odpovídající konstantní a periodicky proměnné části výrazu na pravé straně rovnice je dána součtem odpovídajících dvou složek  $z = z_1 + z_2$ . Pro konstanty  $[-m \cdot g + k \cdot l_0]$  plyne pro neproměnnou složku polohy hmoty  $z_1(t)$  ( $z_1' = 0, \omega = 0$ ) řešení ve tvaru:

$$z_1(t) = \frac{-mg + kl_0}{k} = -\frac{m}{k} \cdot g + l_0 = -\frac{g}{\omega_0^2} + l_0$$

Parametr  $\omega_0$  je úhlový kmitočet tzv. vlastních netlumených ( $b = 0$ ) kmitů hmoty snímače  $m$ . Snadno se lze derivováním přesvědčit, že řešením rovnice bez pravé strany je funkce:

$$z = A \cdot \sin(\sqrt{k/m}t) = A \cdot \sin \omega_0 t.$$

Pro harmonicky se měnící polohu  $y(t)$  kmitajícího tělesa  $M$  vůči pevnému bodu  $B$  se lze derivací přesvědčit, že proměnná složka polohy hmoty  $z_2(t)$  je dána harmonickými kmity popsány výrazem:

$$z_2(t) = r \cdot \sin \omega t = y_0 \cdot \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \cdot \sin \omega t = y_0 \cdot \frac{1}{1 - \eta^2} \cdot \sin \omega t$$

Parametr  $\eta = (\omega/\omega_0)$  pro amplitudu nucených kmitů je **poměrný úhlový kmitočet**, tj. míra naladění frekvence  $\omega$  kmitů vnějších sil (budících kmity tělesa  $M$ ) vzhledem k frekvenci  $\omega_0$  vlastních kmitů hmoty snímače  $m$ . Při budící frekvenci  $\omega = \omega_0 = \sqrt{k/m}$  je amplituda kmitů hmoty  $m$  snímače podle výrazu  $z_2(t) = \infty$ , tj. teoreticky nekonečně velká. Tento jev se nazývá **rezonance**, frekvence  $\omega_0$  vlastních kmitů je mezi dělicí oblast užití snímače dvojnásobem. Z vypočteného výrazu totiž plynou následující dva závěry:

1. Jestliže měřené těleso  $M$  koná vzhledem k pevnému bodu  $B$  kmitavý pohyb s kmitočtem  $\omega \gg \omega_0$ , (tj.  $(\omega/\omega_0)^2 \gg 1$ ), je kmitání označováno jako nadrezonanční kmitání.

Takto se měří amplitudy kmitů pohybujících se hmot nemajících pevný vztažný bod (např. vozidla), kdy je tímto způsobem vztažný bod uměle vytvořen.

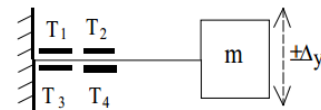
2. Jestliže měřené těleso  $M$  koná kmitavý pohyb s kmitočtem  $\omega \ll \omega_0$  (tj.  $(\omega/\omega_0)^2 \ll 1$ ), je označováno jako podrezonanční kmitání.

Znamená to, že v této podrezonanční oblasti získáme měřením relativního pohybu hmoty snímače  $m$  vzhledem ke kmitajícímu tělesu  $M$  hodnotu úměrnou zrychlení měřeného tělesa. Aby rozsah frekvencí měřeného zrychlení byl co největší (tj.  $\omega_0$  bylo maximální), musí být při malé tuhosti pružiny  $k$  jeho hmotnost  $m$  co nejmenší.

### 2.9.2. Relativní snímače

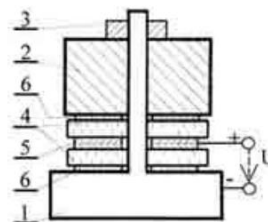
*Relativní snímače* pracují tak, že hmota  $m$ , reprezentující měřicí systém, musí být spojena s měřeným tělesem  $M$  pružinou velké tuhosti. Měřené kmity se přenášejí věrně ( $z \approx y$ ) hluboko pod rezonancí ( $\eta \ll 1$ ) při malém tlumení ( $B \rightarrow 0$ ). Pro amplitudu kmitů  $z(t)$  získáme při nulovém tlumení ( $B = 0$ ) vztah  $z(t) = y_0 / (1 - \eta^2)$ . Relativní snímače se proto používají při měření amplitud nízkofrekvenčních kmitů jedné části stroje vůči druhé (např. hřídel proti ložisku).

Z uvedeného rozboru plyne, že amplitudu zrychlení harmonického pohybu lze měřit **absolutními snímači** v **podrezonanční** oblasti dvojím způsobem, a to snímáním polohy nebo snímáním síly, tj. prostřednictvím elektromechanického měniče, jehož výstupní napětí bude úměrné působící síle. Ze silových snímačů se používají snímače tenzometrické (Obr. 53)

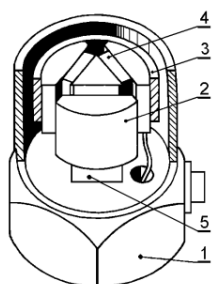


Obr. 53 Tenzometrický snímač zrychlení

a piezoelektrické s tlakovým nebo smykovým namáháním piezoelektrického krystalu (vzhledem k malé hmotnosti vysoká rezonanční frekvence). U základního tlakového provedení (Obr. 52) jsou sériově řazenými krystaly (pozice 4) orientovanými souhlasnými náboji k sobě indukované na povrchových vodivých vrstvách náboje snímané elektrodami (5 - jeden pól). Krystaly jsou na základně pouzdra (1) spojeného s kmitajícím tělesem stlačovány seismickou hmotou (2) staticky předepnutou maticí (3). Druhý pól (6) je spojen s pouzdrům. Konstrukce smykového snímače (Obr. 53) s trojicí krystalů (4) eliminuje příčnou citlivost tlakového snímače, tj.



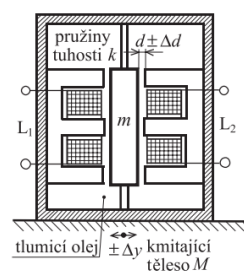
Obr. 52 Piezoelektrický tlakový snímač zrychlení



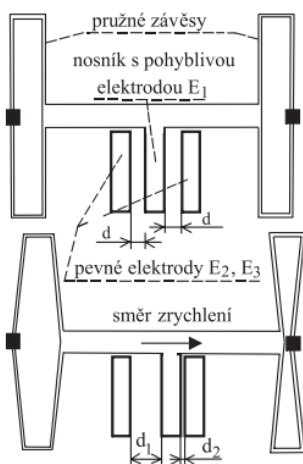
Obr. 53 Piezoele. smykový snímač zrychlení

Prstenec (3) svírá přes trojici vodivých segmentů (2) (společně tvoří seismickou hmotu a jeden pól snímače) krystaly (4) směrem k trojúhelníkovému trnu (5 – druhý pól snímače). Tím setrvačnou silou vyvolá smykové namáhání krystalů (má proti namáhání tlakovému větší nábojovou citlivost). Jako snímače zrychlení se užívají snímače indukční, elektrodynamické, indukčnostní (Obr. 54) nebo nově v proti nárazovém automobilovém systému „air-bag“ snímače kapacitní, jejichž princip je zřejmý z Obr. 56. Základem je destička polykrystalického křemíku ve tvaru dvou párů pružných tětív s tuhostí  $k$ , zakotvených na monokrystalickém křemíkovém substrátu a spojených společným

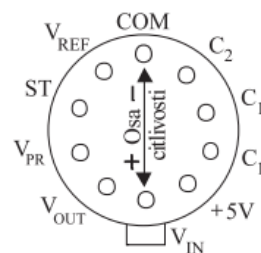
nosníkem s výstupkem. Ten představuje střední pohyblivou elektrodu  $E_1$  diferenciálního kondenzátoru s proměnnou vzduchovou mezerou. Pevné elektrody  $E_2$ ,  $E_3$  jsou spojeny s křemíkovým substrátem a napájeny shodnými pravouhlými impulzy s frekvencí 1 MHz navzájem posunutými o  $180^\circ$  (tj. invertovanými). Při čelním nárazu vozidla, se účinkem setrvačných sil deformují oba tětíkové závěsy, čímž se změnou polohy výstupku



Obr. 54 Indukčnostní snímač zrychlení



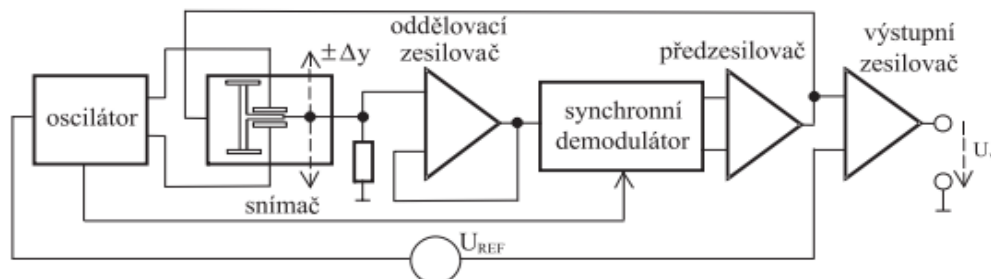
Obr. 56 Kapacitní snímač zrychlení



Obr. 55 Zapojení vývodu pouzdra snímačů zrychlení

deformují oba tětíkové závěsy, čímž se změnou polohy výstupku

změní obě kapacity. Pro zvýšení citlivosti má nosník tvar hřebínku s mnoha výstupky zasahujícími mezi páry pevných elektrod, představujícími paralelně spojené kondenzátory. Schéma zapojení vyhodnocovacího obvodu je nakresleno na Obr. 57. Výstupní napětí soustavy pohyblivých elektrod je demodulováno synchronním demodulátorem, výstup připojeného předzesilovače  $1,8V \pm 200$  (mV/g) je jednak zaveden zpětnou vazbou na pohyblivou elektrodu, čímž vyvodí elektrostatický silový účinek vyvažující působení měřeného zrychlení, jednak do výstupního oddělovacího zesilovače. Uživatelsky stavitelný měřicí rozsah zrychlení je v mezích  $\pm 1 \text{ g} \div \pm 5 \text{ g}$  s citlivostí v rozsazích 0,2 až 1 V/g. Snímač je umístěn v pouzdru s 10 vývody používaném pro tranzistory (TO 100) s vyznačeným směrem osy citlivosti dle Obr. 55. Napájecí napětí je 5 V, vstup ST (self-test) kompatibilní s CMOS a TTL je pro testování, externí kondenzátory filtrují šumy, signál VREF je napětíová interní reference. Snímač váží pouze 5 gramů a reprezentuje pronikání moderních elektrotechnologií do nových neelektrických aplikací.



Obr. 57 Blokové schéma zapojení kapacitního snímače zrychlení pro "air-bag"



## SHRNUTÍ POJMŮ

Rezonance, amplituda, absolutní snímač, relativní snímač, seismická hmota.



## OTÁZKY

K čemu se používá kapacitní snímač zrychlení?

Jak funguje relativní snímač zrychlení?

Jak funguje absolutní snímač zrychlení?

Jak se vypočte zrychlení dle Newtonova zákona?

Co je amplituda?

Co je úhlový kmitočet?



## 2.10. Infračervené snímače



ČAS KE STUDIU

40 minut



CÍL

Seznámení se s funkcí infračervených snímačů jejich provedením a použitím v praxi.



POJMY K ZAPAMATOVÁNÍ

Infračervené záření = je elektromagnetické záření s vlnovou délkou větší než viditelné světlo, ale menší než mikrovlnné záření. Má vlnovou délku mezi 760 nm a 1 mm.

Difuze = rozptyl.



VÝKLAD

Snímače s infračerveným spektrem záření patří mezi nejužívanější a bezesporu nejvíce rozšířené senzory.

Mezi nejběžněji používané infračervené senzory patří senzory proximity, zvané též difuzní. Princip těchto snímačů spočívá v přítomnosti nebo nepřítomnosti světla na přijímači. Tuto změnu způsobí buď přítomnost, nebo nepřítomnost objektu (snímaného předmětu) v ozařovacím poli snímače. Tato změna je zaznamenána na výstupu přepnutím výstupního členu (NPN/PNP nebo relé).

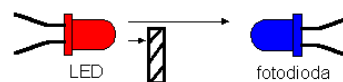
Difuzní senzor se skládá z vyhodnocovací a napájecí jednotky, vysílače a přijímače.

Minimálně však vždy z vysílače a přijímače, které jsou umístěny do jednoho celku. Způsob, jakým jsou vysílač a přijímač vedle sebe umístěny, závisí na jejich určeném zorném poli dosahu. Výsledná charakteristika je tudíž vždy u každého typu odlišná.

### 2.10.1. Infračervená závora

Mezi další velmi používané infračervené senzory patří řada tzv. snímačů v režimu závory. U těchto snímačů je nutné zdůraznit jejich výbornou detekci na dlouhé vzdálenosti.

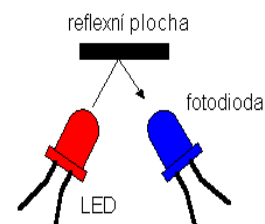
Dosahy senzorů v režimu závory jsou až do 50 m. Jedinou možnou nevýhodou těchto snímačů je jejich nutná montáž na obou stranách snímaného předmětu a s tím spojené nutné napájení těchto senzorů. V případech, kdy je nemožné oboustranné napájení, je ovšem možné použít snímače, které umožňují napájení vysílače lithiovým akumulátorem.



Obr. 58 Infračervená závora

### 2.10.2. Reflexní senzory

Princip spočívá v odrazu paprsku od odrazky. Dosah reflexních senzorů je přes 10 m. Snadno se instalují a mají trochu lepší odolnost proti znečištění než snímače difuzní.

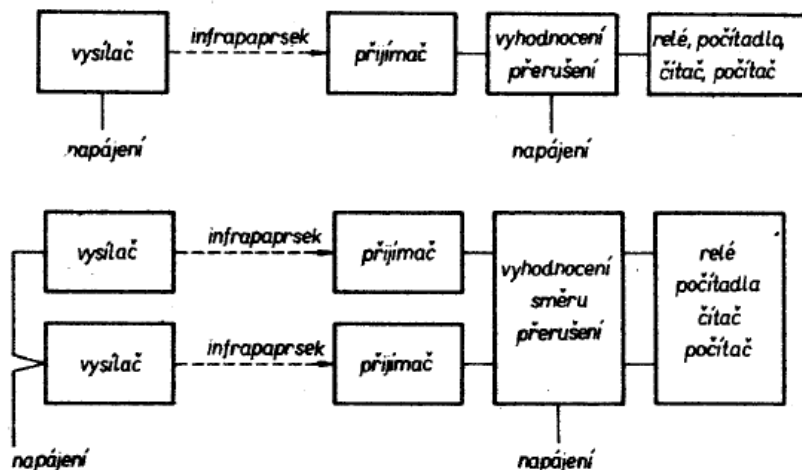


Obr. 59 Reflexní závora

Stejně jako u typů proximních jsou světelný zdroj a detektor v jednom celku. Rozdíl spočívá v tom, že odraz emitovaného světla je získán pomocí reflektoru - tedy odrazky. Detekce je založena na přerušení odraženého světelného svazku, ke kterému dojde, když objekt vnikne mezi vysílač a reflektor.

Při použití tzv. polarizačního filtru lze s těmito snímači detekovat i světlo vyzařujících nebo odrážejících se objektů. Je to umožněno tím, že reflektor posouvá fázový úhel světla o 90° a přijímač - fotocitlivý senzor - pak snímá pouze světlo odražené od odrazky. Mohou tedy být detekovány i objekty odrážející světlo, protože nemohou upravit světelné zařízení tak jako reflektor. Přesto, pokud je odrazový povrch objektu z "aktivního materiálu", může mít světelný svazek odražený tímto materiálem stejné vlastnosti jako z reflektoru. To je dáno schopnostmi molekul takového materiálu. Pro zamezení tohoto jevu se doporučuje vychýlit optickou osu (fotoelektrický senzor - reflektor) o 45° vzhledem ke snímanému povrchu.

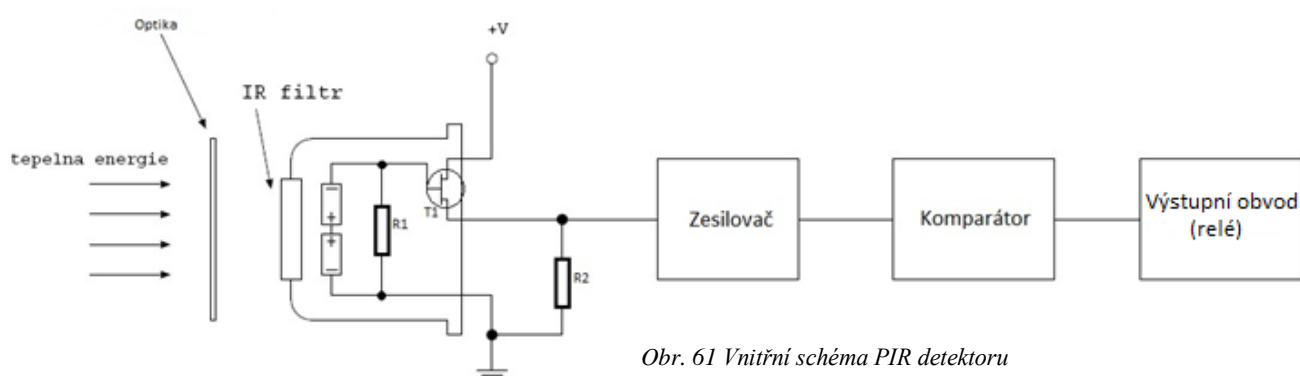
Uplatnění nachází v automatizaci výrobních linek, sériových přepravníků apod. Typickou aplikací je např. počítání výrobků na běžícím pásu, kontrola rozměrů výrobků či počítání otáček.



Obr. 60 Blokové schéma

### 2.10.3. PIR čidla

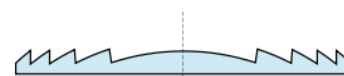
Zkratka PIR je z anglického názvu „passive infrared detector“ - pasivní infračervený detektor. Čidlo funguje na principu pyroelektrického jevu. Obecně lze pyroelektrický jev definovat jako schopnost materiálu generovat dočasný elektrický potenciál při změně jeho teploty. Elektromagnetické záření je kombinace příčného postupného vlnění magnetického a elektrického pole tedy elektromagnetického pole. Obě tyto složky jsou na sebe vzájemně kolmé. V případě PIR detektoru se pracuje s vlněním s vlnovou délkou kolem 10 $\mu$ m.



Obr. 61 Vnitřní schéma PIR detektoru

### 2.10.4. PIR optika

Úkolem optiky PIR detektorů je soustřeďovat infračervené záření vyzařující z povrchu objektů, které se nacházejí v detekčních zónách, do PIR elementu. Snímaný prostor je rozdělen na tzv. detekční zóny, jejichž počet je dán počtem segmentů zrcadla nebo čoček, popřípadě geometrií předsazené mřížky. V praxi se používají dva optické systémy - pomocí zrcadel nebo Fresnelovými čočkami.



Obr. 62 Fresnelova čočka

### 2.10.5. PIR element

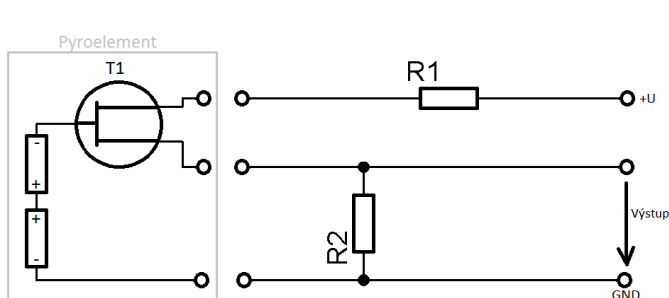
Pyroelement je základní funkční prvek PIR detektoru. Je to polovodičová součástka (ze sloučenin na bázi lithia a tantalu). Uvnitř jsou zapojeny dva měniče antisériově. V normálním stavu na oba dopadá záření se stejnou intenzitou. Pokud však na jeden dopadá záření intenzivněji, jejich napětí se již vzájemně nevyruší a na výstupu elementu se objeví malé napětí. Tato změna náboje je měřena citlivým FET tranzistorem, který je přímo vestavěný ve snímači. Pyroelektrický snímač je citlivý ve velkém vlnovém rozsahu a proto je před pyroelektrický snímač aplikován filtr záření, který propouští infračervené záření o vlnových délkách v rozsahu 8 až 14  $\mu$ m. Lidské tělo emituje do prostoru záření o vlnové délce 9,4  $\mu$ m.



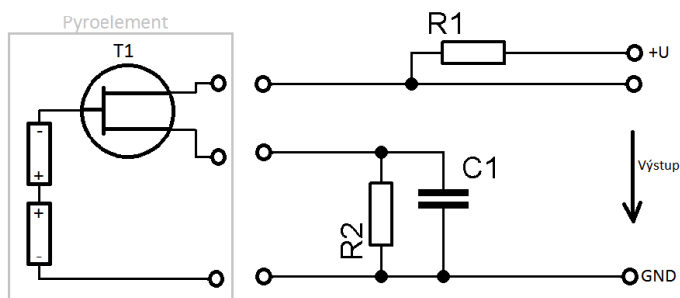
Obr. 63 Pyroelement

### 2.10.6. Zesilovač

Jelikož je výstupní napětí pyroelementu malé, je třeba jej patřičně zesílit kvůli vyhodnocování dalšími obvody. Jelikož je již v pyroelementu integrován FET tranzistor, stačí k jeho výstupu pouze vhodným způsobem připojit rezistory tak, aby byl zesilovač kompletní. U tohoto se používají dva druhy zesilovačů, buď zesilovač jako emitorový sledovač, nebo upravená verze, kdy odebíráme výstupní napětí z kolektoru.



Obr. 64 Zesilovač jako emitorový sledovač

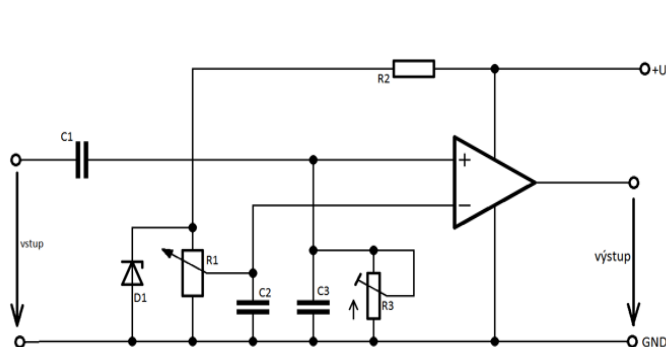


Obr. 65 Zesilovač s výstupním napětím na kolektoru

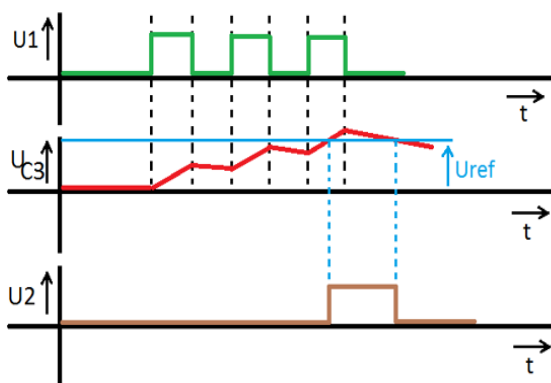
### 2.10.7. Komparátor

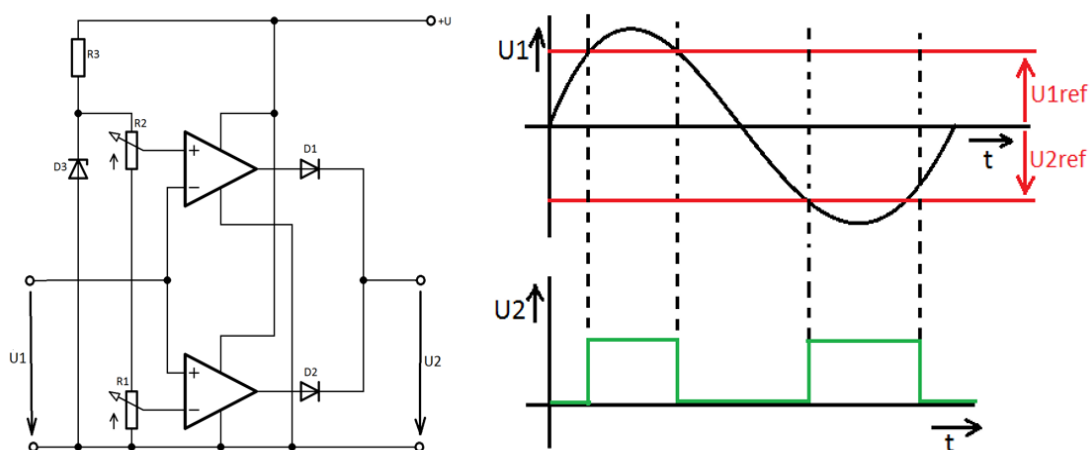
Komparátor porovnává napětí přivedená na vstupy + a -. Pokud je vyšší napětí na vstupu +, je na výstupu kladné saturační napětí operačního zesilovače, je-li vyšší napětí na vstupu -, je na výstupu záporné saturační napětí operačního zesilovače. U normálních operačních zesilovačů je saturační napětí výstupu řádově o jeden nebo několik voltů nižší než napětí napájecí. Na výstup komparátoru je obvykle připojeno relé.

Komparátor s nábojovou pumpou eliminuje falešné popluchy. Na jeho vstup totiž musí přijít několik obdélníkových impulsů za sebou, aby se nabil kondenzátor C3. Teprve potom se napětí dostane na vstup operačního zesilovače.

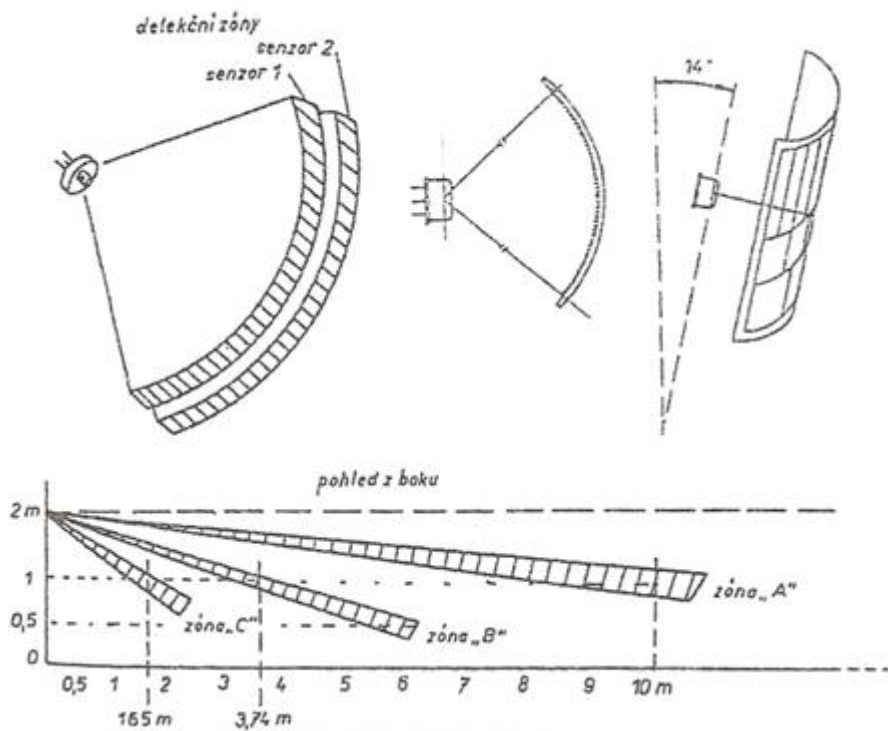


Obr. 66 Komparátor s nábojovou pumpou + průběhy napětí





Obr. 67 Dvojitý komparátor + průběhy napětí



Obr. 68 Detekční zóny PIR čidla



## SHRNUTÍ POJMŮ

Závora, difuze, senzor, reflexe, komparátor, zesilovač, optika, vlnová délka, pyroelement, obdélníkové impulsy, Fresnelova čočka.



## OTÁZKY

Co je to elektromagnetické vlnění?

Co je to pyroelement?

Jaké jsou možnosti využití infračervených senzorů?

Jak fungují infračervené senzory?

Jaké existují typy senzorů?

K čemu slouží komparátor?

Jaká optika se používá u PIR detektoru?

Co je obvykle připojeno na výstup komparátoru?

### 3. SEZNAM ZDROJŮ

#### 3.1. Použitá literatura

- [1] ZÁPLATA Filip, KASAL Miroslav, Architektury a základní vzorkovací techniky SDR 2012/Elektrorevue [Online]. [cit. 2014-01-02].  
Dostupné z <http://www.elektrorevue.cz/file.php?id=200001132-28456293f5>.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ. Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003, s. 25-50. ISBN 80-722-6248-3.
- [3] Neznámý autor. Wikipedia.com. Gyrokompas [Online]. [cit. 2013-12-17].  
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gyrokompas>.
- [4] Neznámý autor. Wikipedia.com. Gyroskop [Online]. [cit. 2013-10-13].  
Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Gyroskop>.
- [5] KADLEC Jiří. Infračervená závora. Amatérské rádio. - 1992. - A/6. - str. 284. [Článek] [cit. 2013-10-27].
- [6] KADLEC Jiří. Infračervená závora. Amatérské rádio. - 1992. - A/7. - str. 341. (pokračování) [Článek] [cit. 2013-10-29].
- [7] KADLEC Tomáš. Navigační subsystém kolejového robotického vozidla [Online] Digitální knihovna Univerzity Pardubice. [cit. 2013-10-29]. – Dostupné z [http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/48609/2/KadlecT\\_Naviga%C4%8Dn%C3%ADSubsyst%C3%A9m\\_LH\\_2012.pdf](http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/48609/2/KadlecT_Naviga%C4%8Dn%C3%ADSubsyst%C3%A9m_LH_2012.pdf).
- [8] KOLEKTIV AUTORŮ. Optické doplňky. Amatérské rádio. - 1992. - B/5. - stránky 172-173.[Článek] [cit. 2014-01-15].
- [9] MICHALEC, Libor. PIR detektor: skvělý sluha, ale zlý pán. [online]. [cit. 2014-01-23].  
Dostupné z: <http://www.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zly-pan.html>
- [10] BENEŠ, Petr. Inteligentní snímače. VUT Brno, 2009. [online]. [cit. 2014-01-23]  
Dostupné z: <http://www.roznovskastredni.cz/dwnl/pel2009/09/benes.pdf>

#### 3.2. Použité obrázky

- Obr. 1 - [http://www.conrad.de/medias/global/ce/4000\\_4999/4400/4490/4499/449939\\_RB\\_00\\_FB.EPS\\_250.jpg](http://www.conrad.de/medias/global/ce/4000_4999/4400/4490/4499/449939_RB_00_FB.EPS_250.jpg)
- Obr. 2 - Obr. 13 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 14 - [http://www.anderswallin.net/wp-content/uploads/2009/11/resolver\\_and\\_hallsensors.jpg](http://www.anderswallin.net/wp-content/uploads/2009/11/resolver_and_hallsensors.jpg)
- Obr. 16 - Obr. 23 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 24 - <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=4&id=10100>
- Obr. 25 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 28 - <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=3&id=10110>
- Obr. 29 - <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=2&id=10115>

- Obr. 30 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III  
**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.1** -  
<http://utf.mff.cuni.cz/~podolsky/GraVlny/scan/vlny5.jpg>
- Obr. 322 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 313 - <http://mobilizujeme.cz/wp-content/uploads/2012/01/ccd.jpg>
- Obr. 34 - Obr. 35 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 36 - <http://www.balluff.com/balluff/MIT/it/img/pictures/1353927884262.jpg>  
- [http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story\\_automat/9622/omron\\_r86\\_celek2.jpg](http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/9622/omron_r86_celek2.jpg)
- Obr. 37 - Obr. 41 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 42 - [http://www.santy.cz/data/product/23\\_89.jpg](http://www.santy.cz/data/product/23_89.jpg)
- Obr. 43 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 44 - <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kreisel.kardanisch.jpg>
- Obr. 45 - [http://www.rcwiki.net/uploads/201003/1267815160Klaef4hF\\_s.gif](http://www.rcwiki.net/uploads/201003/1267815160Klaef4hF_s.gif)
- Obr. 46 - <http://i13.photobucket.com/albums/a288/HH200/giroscopio.jpg>
- Obr. 47 - [http://automatizace.hw.cz/files/images/image/smallGyroscope\\_p2387sHigh.png](http://automatizace.hw.cz/files/images/image/smallGyroscope_p2387sHigh.png)
- Obr. 48 - [http://www.dovaaircraft-eshop.cz/fotky12510/fotos/\\_vyr\\_30BZW4B.jpg](http://www.dovaaircraft-eshop.cz/fotky12510/fotos/_vyr_30BZW4B.jpg)
- Obr. 49 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 50 - vlastní tvorba
- Obr. 49 - Obr. 57 - [2] - Kniha Automatizace a automatizační technika III
- Obr. 58 - Obr.59 - <http://www.mtbbus.cz/basic/infra2.htm>
- Obr. 60 - Amatérské rádio 1992 číslo A/6
- Obr. 61 - [http://automatizace.hw.cz/files/images/image/pir\\_struktura1.jpg](http://automatizace.hw.cz/files/images/image/pir_struktura1.jpg)
- Obr. 62 - [http://fyzika.jreichl.com/data/optika/31\\_zrcadla\\_cocky\\_soubory/cocka\\_fresnel.jpg](http://fyzika.jreichl.com/data/optika/31_zrcadla_cocky_soubory/cocka_fresnel.jpg)
- Obr -63 - <http://www.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zlypan.html>
- Obr. 64 - 67 - vlastní zdroj
- Obr. 68 - Amatérské rádio 1992 číslo 5





# ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

CZ.1.07/1.1.24/01.0066



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## SENZORY A SNÍMAČE

Ing. Pavel Vylegala