



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výukové texty

pro předmět

*Měřicí technika*

(KKS/MT)

na téma

## Podklady k principu měření polohy a vzdálenosti

**Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Podklady k principu měření polohy a vzdálenosti

#### Poloha a vzdálenosti - obecné pojmy o měření (délky, úhly)

Dělení snímačů dle signálu:

- analogové – změna odporu, indukčnosti, kapacity, napětí aj.
- číslicové – poloha vyjádřena digitálním číslem (diskrétní, dvojhodnotové)

Podle způsobu měření:

- absolutní – poloha zakódovaná
- přírůstkové (inkrementální) – impulsy se sčítají (integrují) v čítači

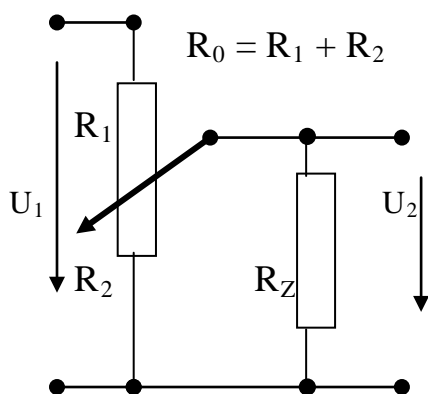
#### **Analogový princip:**

##### Odporové:

- potenciometry – lineární měří přímo vzdálenost
- rotační měří přímo úhel

##### Odporový materiál:

- kovový – dráha navinuta odporovým drátkem
- nekovový – dráha nalepena na podkladě (tištěný způsob)



V současnosti je  $R_Z \gg R_0$ , dělič se

počítá naprázdno

Přenos:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_0 + \frac{R_1 R_2}{R_{Z \rightarrow \infty}}}$$



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1 – Ukázka dvojitého rotačního (otočného) pocenciometru

Užití u méně náročných měření  $\delta > 1\%$  např. robotů a vysílačů měřených veličin (tlak, teplota). Přesnější měření je při napájení ss proudem. Při střídavém měření je přesnost ovlivněna indukčností nebo kapacitou odporové dráhy a přívodů.

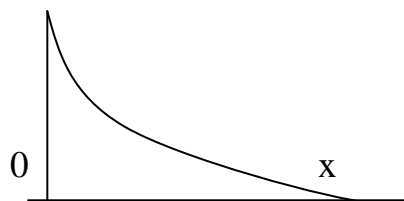
### Indukční snímače:

měřená veličina (vzdálenost) mění indukčnost cívky, magnetický obvod může být vzduchový, s jádrem, otevřený, uzavřený.

### Jednoduchý mezerový

závislost  $L$  na  $x$  je nelineární

$L$



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

napájení je střídavé,

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$I = \frac{U}{R + j\omega L}$$

protože je značně velká napájecí frekvence je impedance cívky

$$X_L = \omega L$$

větší než odpor R, proto se při zjednodušení může R zanedbat

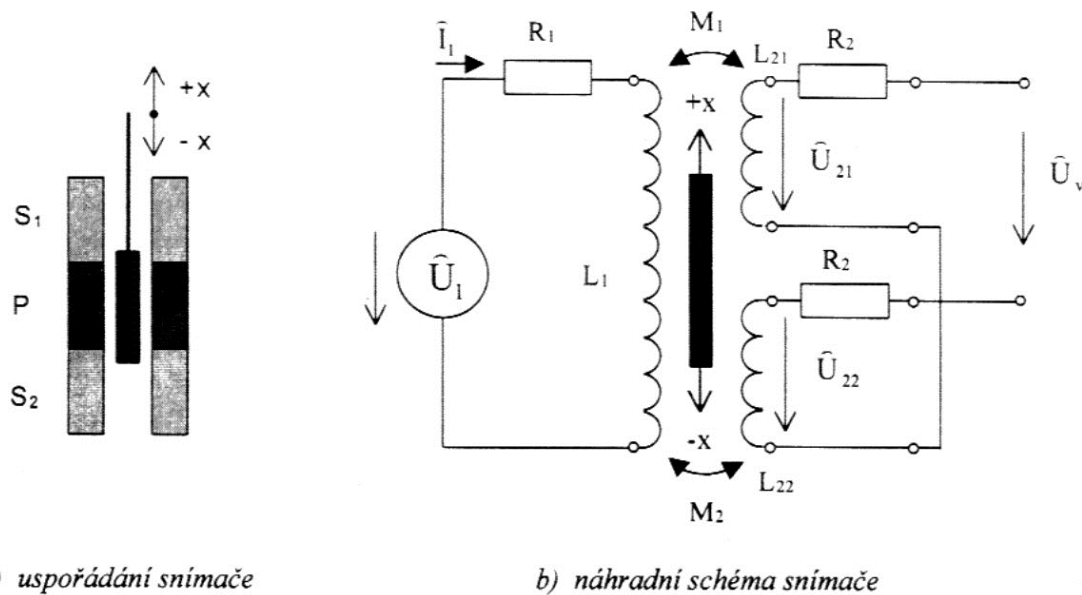
| Typ snímače            | Schéma | Závislost   | Charakteristika | Rozsah    |
|------------------------|--------|---|-----------------|-----------|
| Jednoduchý mezerový    |        | $L = \frac{\mu_0 S N^2}{2x}$  |                 | do 0,1 mm |
| Diferenciální mezerový |        | $\frac{\Delta L}{L} = \frac{2 \frac{x}{\delta_0}}{1 - \left(\frac{x}{\delta_0}\right)^2}$ |                 | do 1 mm   |
| Jednoduchý plošný      |        | $L = \frac{\mu_0 S N^2 x}{2\delta_0 b}$   |                 | do 10 mm  |
| Jednoduchý jádrový     |        | $L = L_0(1 + x \operatorname{tg} \alpha)$   |                 | do 1 mm   |
| Diferenciální jádrový  |        | $\frac{\Delta L}{L} = 2x \operatorname{tg} \alpha$  |                 | do 10 mm  |

Obr. 2 – Příklady typů principů indukčních snímačů [8]

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Transformátorový snímač – diferenciální obr. 4 lineární průběh ve větším rozsahu.

Často se používá v kontaktním uspořádání (jádru spojené s měřeným objektem).



Obr. 4 – Příklad transformátorového diferenciálního snímače [8]

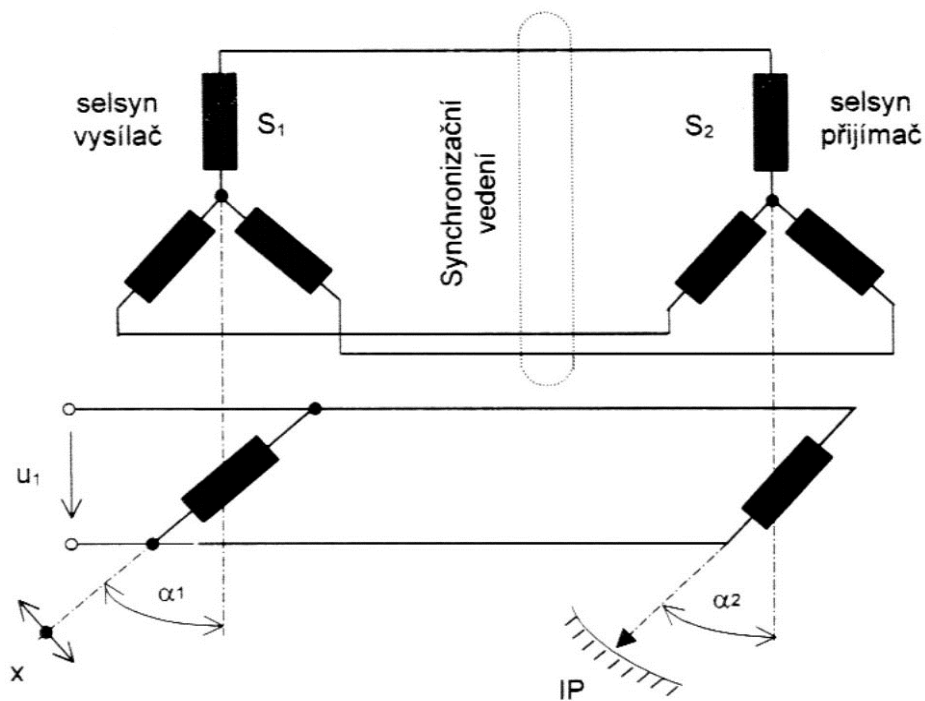
### Selsyny:

slouží k měření polohy (úhlu natočení)

- rotační transformátor

zapojení obr. 5 snímač polohy neboli „elektrická osa (hřídel)“.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



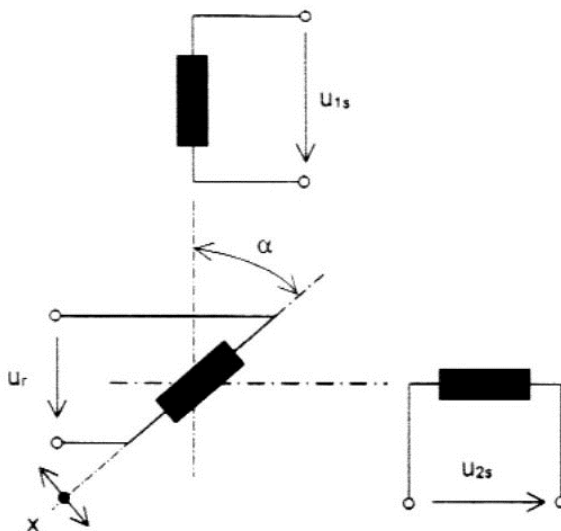
Obr. 5 – Příklad snímače polohy se dvěma selsyny [8]



Obr. 6 – Příklad praktického zapojení dvou selsynů

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rozkladač Obr. 7 (resolver)



Obr. 7 – Příklad snímače polohy revolveru [8]

Dvě statorová svinutí – prostorově umístěné o  $90^\circ$  v rotoru jedno jednofázové svinutí.

Stator se napájí  $\sin$  a  $\cos$ .

Častěji se používá zapojení obráceně: do rotoru se napájí a ze statoru se odebírají dvě napětí:

$$U_{1s} = U_M \sin \omega t \sin \alpha$$

$$U_{2s} = U_M \sin \omega t \cos \alpha$$

Užití pro měření polohy – jednotka selsynů



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Induktosyn

– v podstatě selsyn bez „železa“

meandr - stator, pravítka 1 vinutí, stoupání 2 mm

- rotor, jezdec 2 vinutí posunuta o  $\pm 90^\circ$

už se nepoužívají – roboty, obráběcí stroje

Pro velký síťový šum a špatné rozlišení ve vyšší přesnosti se již nevyužívají nebo využívají jen v malé míře.

### Snímače na principu vířivých proudů (indukční)

Přibližující se těleso (el. vodivé) zatlumí cívku a její L klesne – oscilace se utlumí a komparátor sepne výstup – relé - pro měření malých vzdáleností. Vyrábějí se zejména jako dvojhodnotové (bezkontaktní) narážky, též i analogové zpracování signálu.

### Indukční snímač se skratovacím kroužkem

Cívka je navinuta na železném jádru a kroužek posuvem ovlivňuje indukčnost cívky.

Kroužek je z vodivého materiálu ( Cu, Al ) a vířivé proudy působí proti budícím a nepustí magnetické pole dál. Indukčnost cívky dosti lineárně závislá na vzdálenosti kroužku od cívky. Vyrábí se v mnoha variantách – diferenciální, pro měření úhlů aj.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Galvanomagnetické (magnetostatické) snímače

Tyto snímače zpracovávají Hallův jev a v druhém případě Gausův jev.

Prostupuje-li mag. pole (B) kolmo tenkou polovodičovou destičkou (Si), která je protékána elektrickým polem I, vytvoří se kolmo k proudu napětí  $U_H$  (tzv. Hallovo). Toto napětí je úměrné velikosti pole.

Současně se zvyšuje odpor destičky podle parabolické závislosti  $R(B)$ . Tento jev se nazývá Gausův (magnetorezistor).

Při použití polovodičové destičky lze metodou tenkých vrstev vytvořit integrovaný obvod, jež bude zpracovávat tyto jevy ( $U_H$ ,  $R(B)$ ) podle požadavku měření. Často se tyto snímače vyrábí pro měření síly magnetického pole ve strojích (analogové), nebo jako komparační spínač, který indikuje jistou úroveň magnetického pole.

Užití:

- v automobilech pro řízení zapalování, měření otáček kol pro ABS aj..

### Kapacitní snímače

- využívá se změny kapacity obr. 8

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

- pro měření se používají všechny změny:

$\varepsilon$  – dielektrická konstanta – materiál

S – velikost plochy desek

d – změna vzdálenosti

Používají se diferenciální můstky ( $X_C$ ) nebo rezonanční obvody (f) změna C: desítky až stovky pF

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

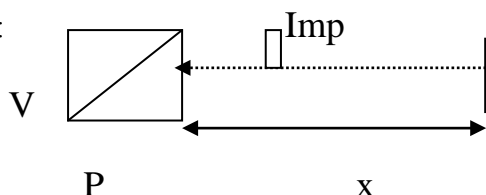
| Typ snímače  | Schéma | Závislost   | Charakteristika | Rozsah           |
|--|--------|---|-----------------|------------------|
| deskový<br>jednoduchý<br>s proměnnou<br>mezerou    |        | $C = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$<br>$\frac{\Delta C}{\Delta d} \cong -\frac{C}{d} \left[ 1 - \frac{\Delta d}{d} \right]$  |                 | do 1 mm          |
| deskový<br>diferenciální<br>s proměnnou<br>mezerou |        | $C_1 = \varepsilon \frac{S}{d_1(x)}$<br>$C_2 = \varepsilon \frac{S}{d_2(x)}$<br>$\frac{\Delta C}{\Delta d} \cong -\frac{C}{d} \left[ 1 + 2 \left( \frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$                 |                 | do 1 mm          |
| deskový<br>s proměnnou<br>plochou překrytí         |        | $C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}$<br>$\frac{\Delta C}{\Delta l(x)} \cong -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left( 1 + \frac{\Delta d}{d} \right)$   |                 | nad 1 mm         |
| diferenciální<br>s proměnnou<br>plochou překrytí   |        | $C_1 = \varepsilon \frac{S_1(\alpha)}{d}$<br>$C_2 = \varepsilon \frac{S_2(\alpha)}{d}$  |                 |                  |
| proměnná<br>permitivita                            |        | $C = \frac{S}{d} \left[ \varepsilon_1 + \frac{s}{l_{\max}} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \right]$   |                 | několik<br>metrů |
| válcový<br>s proměnnou<br>plochou překrytí         |        | $C = \varepsilon \frac{2\pi l(x)}{\ln \left( \frac{D_1}{D_2} \right)}$<br>$\frac{\Delta C}{\Delta l(x)} = \frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$ |                 |                  |

Obr. 8 – Příklad typů principů kapacitních snímačů [8]

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Ultrazvukové měřiče vzdáleností:

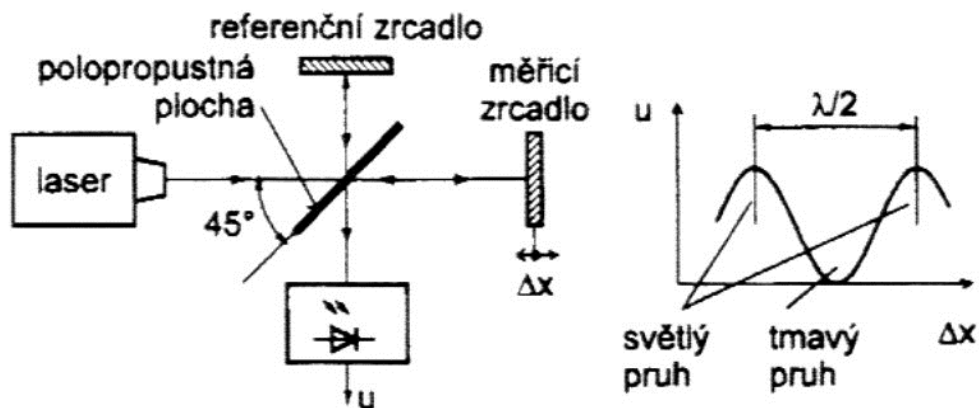
Princip činnosti:



Vyslaný impuls (několik desítek sinusových kmitů o frekvenci asi 100 kHz) se odrazí od přepážky a měří se doba jeho návratu  $t$ . Tato doba je lineárně závislá na vzdálenosti  $x$ .

### Laserové interferometry:

interference – skládání obr. 9



Obr. 9 – Příklad principu Michelsonova interferometru [8]

hrubá stupnice – počet  $\frac{\lambda}{2}$  se čítá v čítači ( $\frac{\lambda}{2} \sim 0,3 \mu\text{m}$ )

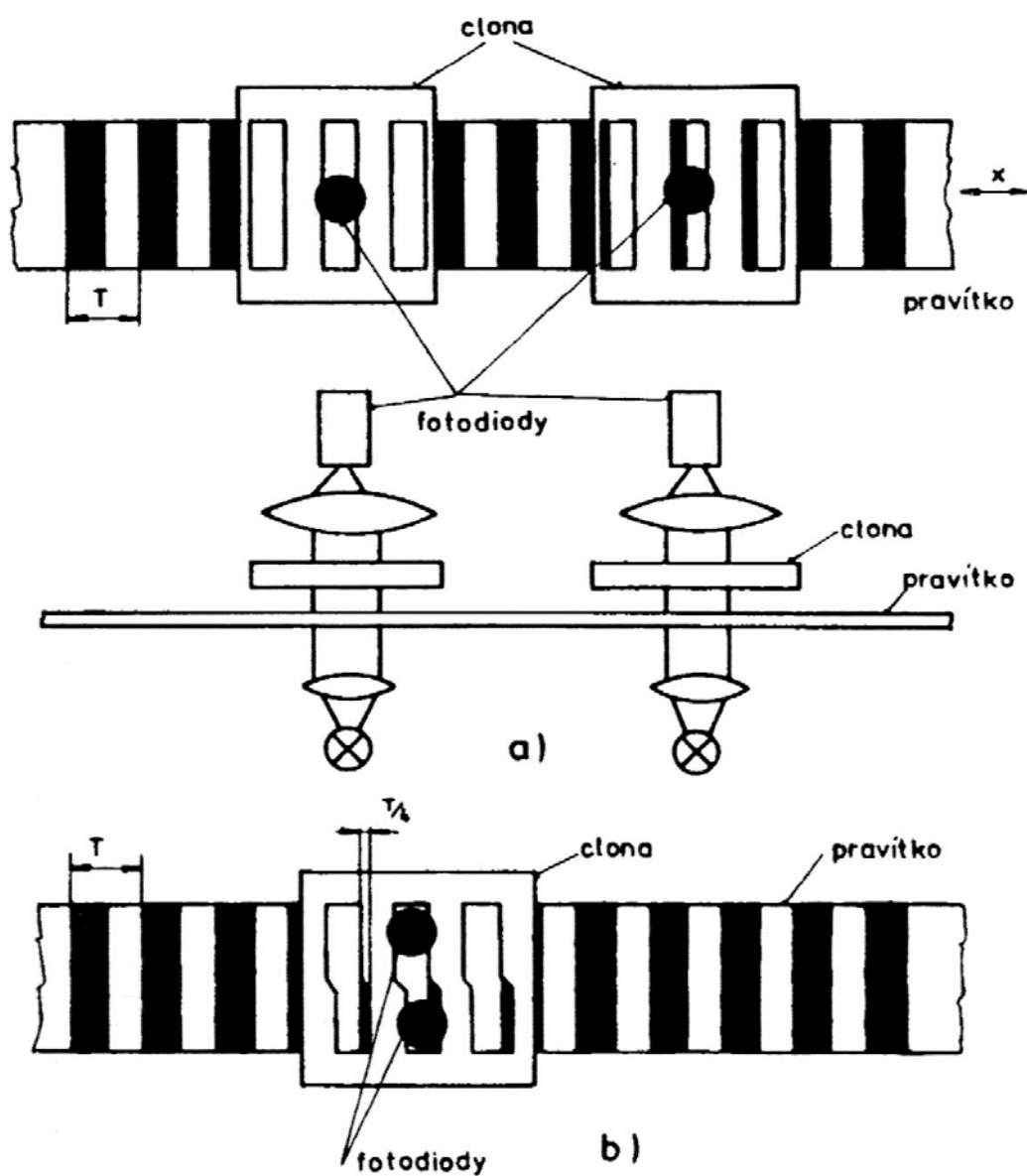
jemná interpolace – zjišťuje se poloha mezi dvěma světelnými maximy

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Číslicový princip:

#### Číslicové snímače polohy

- značně rozvinutý princip pro snímání polohy os na obráběcích strojích



Obr. 10 – Příklady typů principů inkrementálních (přírůstkových) optoelektrických snímačů polohy [8]



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jsou nejčastěji na fotoelektrickém principu:

- inkrementální – přírůstkové – v čítači se integruje poloha
- absolutní – po dekodování poloha

konstrukční dělení:

- rotační
- lineární

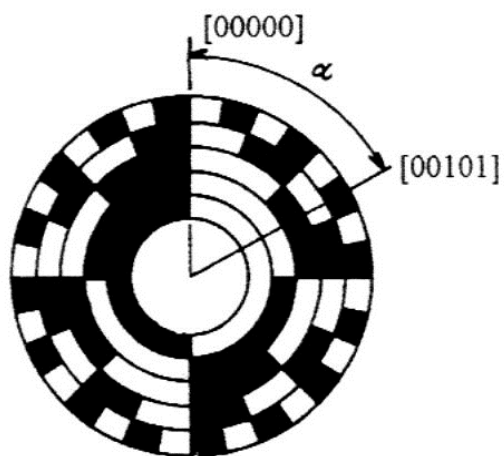
Vysvětlivky: dělení rysek 0,01 – 0,1 mm

mřížka – pravítko, kotouček

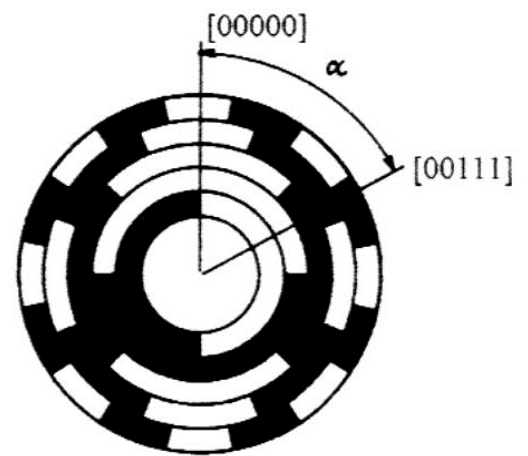
protimřížka (clonka) – důvod velké senzory (fototranzistory, fotodiody) vůči

jemnému dělení

Ze snímače vystupují dva signály  $I$  a  $I \pm 90$ . Důvod: takto lze rozpoznat, kterým směrem se pohybuje (otáčí) měřený objekt.



Binární kód



Grayův kód

Obr. 11 – Příklad typů principů absolutních optoelektrických snímačů polohy [8]

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pro absolutní odměřování se užívá kódovací kotouček nebo pravítko. Poloha je v něm zakódovaná.

Používá se GRAYův kód – je samoopravný, protože při přesunu na sousední polohu (inkrement), nastává změna v kódu, **jen v jednom bitu**. Počet bitů je dán požadovanou

přesností  $\delta \approx \frac{1}{N}$  kde  $N = 2^I$ ,  $N$  = počet rozlišitelných hladin a  $I$  = počet bitů ve snímači. Zde bity nemají váhu.

Oproti binárnímu kódu nemůže změna nastat ve více bitech. Při náhodné ztrátě jednoho bitu počítač počká na další impuls, kde je poloha již správná.

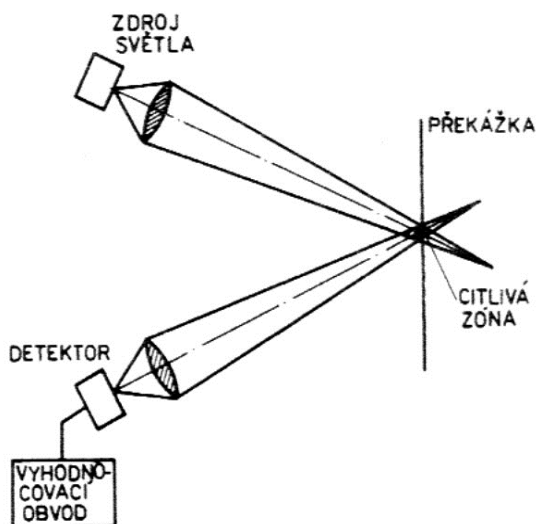
### Proximitní snímače:

proximita = blízkost (vzdálenost v blízkém okolí)

Reagují jen na určitou vzdálenost (vyhledávání předmětů v prostoru)

dělení: optické, ultrazvukové, laserové, indukční, kapacitní L a C

Využívají se již výše zmíněné principy avšak konstrukce a uspořádání odrazné plochy dovoluje interakci jen v omezeném prostoru.



Obr. 12 – Příklad proximity optoelektrického snímače polohy [8]



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Diskrétní snímače polohy:

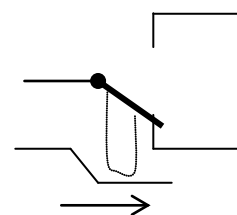
Mechanické kontaktní - předmět přepne spínač (mikrospínač).

Dva stavy „vede“ a „nevede“. Používají se v narážkových systémech, též jako doplňující (ochranný) princip – jiným způsobem (bezkontaktním).

Slitiny kontaktů: aby byly odolné vůči elektrickým obloukům

Pb –Ir, Ag – grafit, malý přechodový odpor

- pro velká napětí mžikový odskok (rychlé přerušení - žabka)



**Obr. 13 – Příklad diskrétního snímače polohy (mechanický spínač)**

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9
- [5] Balátě, J.: *Automatické řízení*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-148-9
- [6] Dvořák, R.: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, MM Průmyslové spektrum, speciální vydání, Praha, 2006, ISSN 1212-2572
- [7] Hrbáček, J.: *Komunikace mikrokontroléru s okolím 2*, BEN, Praha, 2002, ISBN 80-86056-73-2
- [8] JENČÍK, J., Volf, J. a kol.: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [9] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [10] Maixner, L.: *Mechatronika*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-251-1299-3
- [11] Martinásková, M., Šmejkal, L.: *PLC a automatizace 1*, BEN, Praha, 2002, ISBN 80-86056-58-9
- [12] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [13] Matoušek, D.: *Číslicová technika*, BEN, Praha, 2002, ISBN 80-7300-025-3
- [14] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [15] PFEIFER, V.,: *Automatické řízení výrobních strojů*, ZČU v Plzni, Plzeň 1997, ISBN 80-7082-329-1