

# Zpětnovazební prvky a čidla odměřování.

Princip a funkce fotoelektrických snímačů.

Radomír Mendřický – Elektrické pohony a servomechanismy

14. 4. 2014

## Obsah prezentace

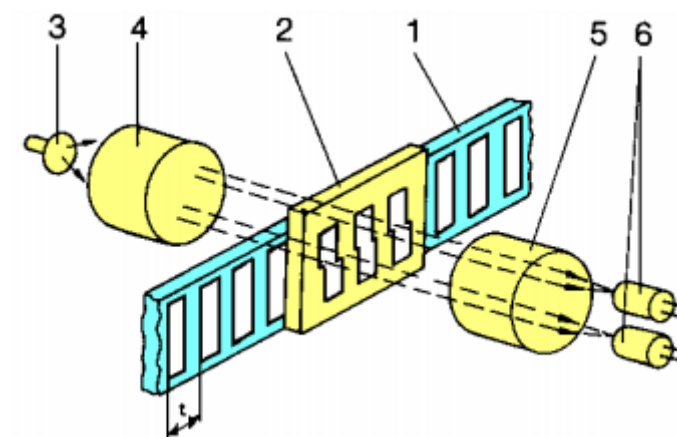
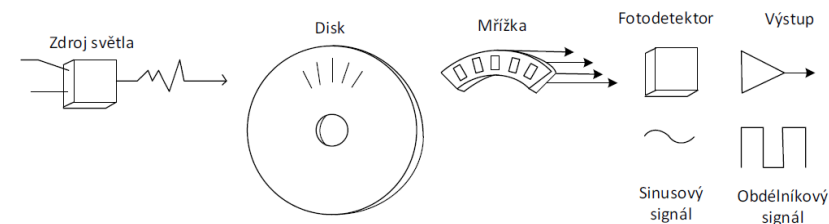
- Úvod
- Princip a funkce fotoelektrických snímačů
  - Inkrementální přímé
  - Inkrementální rotační
  - Absolutní přímé
  - Absolutní rotační
  - Interferenční způsob vyhodnocení
  - Interferenční vyhodnocení laserovým paprskem
  - Technické parametry



# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální přímé

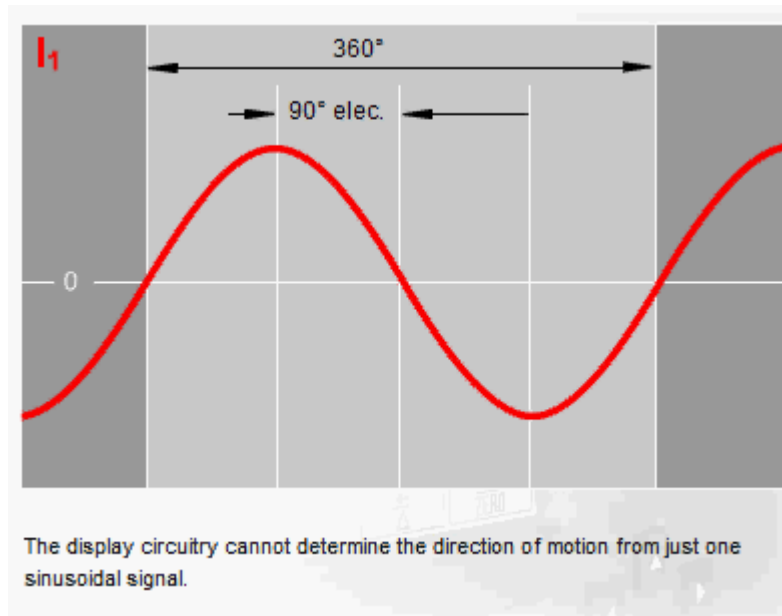
- Hlavními prvky snímače je zdroj světla (3), pevné skleněné pravítko (1), pohyblivý jezdec (2) a fotocitlivé prvky (6).
- Na pravítku i jezdcí jsou světlá a tmavá místa ve formě rysek.
- Skleněné pravítko je připevněno k pevné části stroje. Délka pravítka musí odpovídat rozsahu měření.
- Jezdec je připevněn k pohyblivé části stroje a pohybuje se společně se zdrojem a fotosnímačem.
- Následkem překrývání světlých a tmavých polí při vzájemném pohybu jezdce a pravítka se mění intenzita světla dopadajícího na fotosnímač, ve kterém vznikají impulsy, které se dále zpracovávají v řídicím systému.
- Pro rozlišení smyslu pohybu se používají na jezdcí dvě stopy rysek vzájemně posunuté o čtvrtinu rozteče. Snímání probíhá ve dvou fotosnímačích, a tím se získávají dva signály. Podle toho, zda se jeden vůči druhému předbíhá nebo zpožďuje, je možné určit smysl pohybu.



*Přímý inkrementální fotoelektrický snímač polohy*

# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální přímé



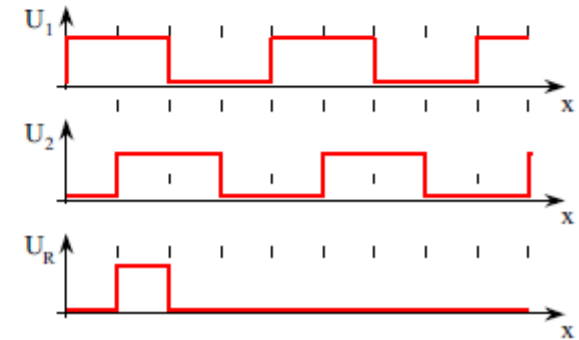
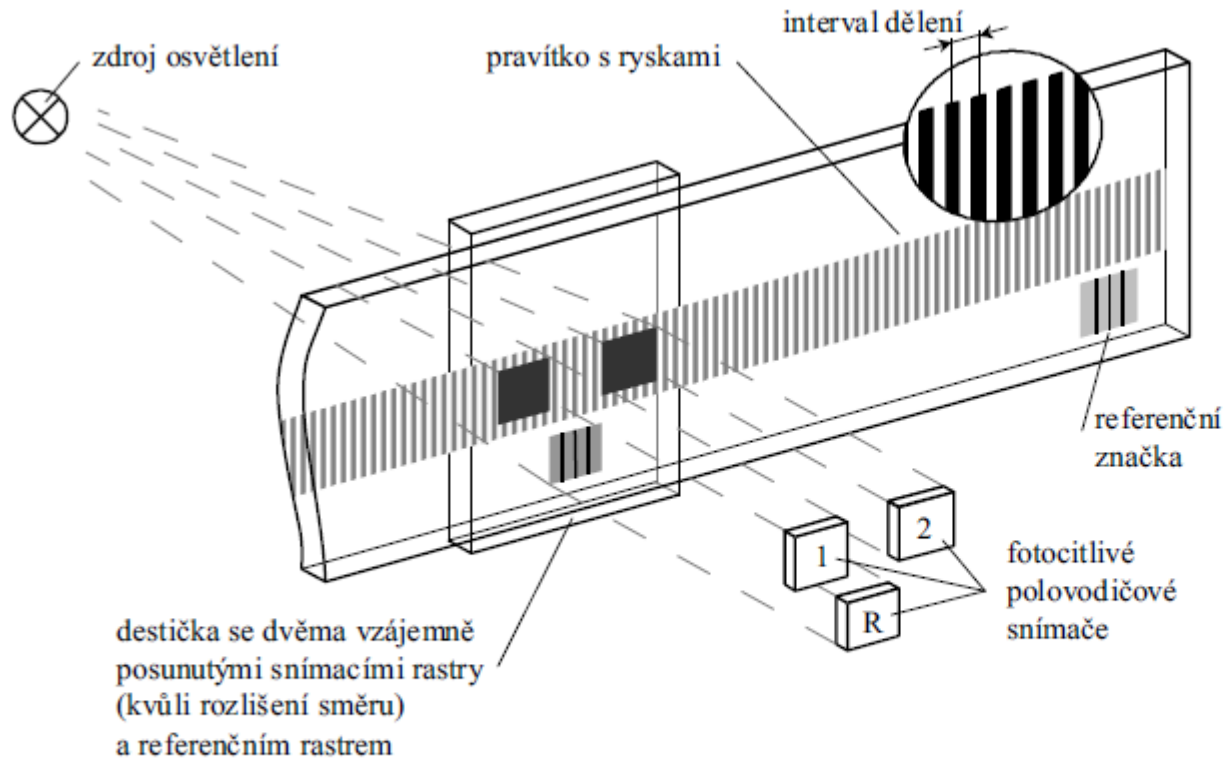
- Pro rozlišení smyslu pohybu nedostačuje jeden signál .....

Animace:

<http://content.heidenhain.de/presentation/basics/en/index/N10A17/N10AAF.html>

# Fotoelektrické snímače

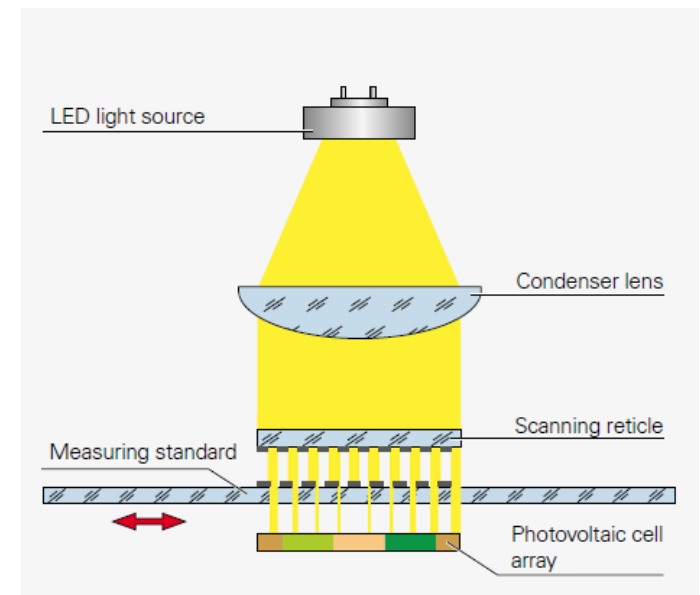
## Inkrementální přímé



# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální přímé

- Průsvitné a neprůsvitné proužky na jezdcí a pravítku jsou vytvořeny fotochemickou cestou
- Z důvodu nalezení referenční polohy má systém kromě dvou hlavních stop ještě třetí, tzv. referenční
- Světelný zdroj je společný pro všechny tři kanály (1, 2, R). Při posuvu vzniká za zesilovačem střídavý signál blízký sinusovce
- Kanál R slouží k odvození signálu o pozici referenční značky.
- Zmenšováním rozteče rysek je omezeno ohybem světla na přibližně  $7 \mu\text{m}$
- Další zvýšení rozlišení až o dva řády je možné zpracováním harmonických signálů  $U_1$  a  $U_2$  interpolátory
- Nejdokonalejší systémy dosahují rozlišení  $0,05 \mu\text{m}$  pro posuv a  $0,00005^\circ$  pro úhlové posuvy

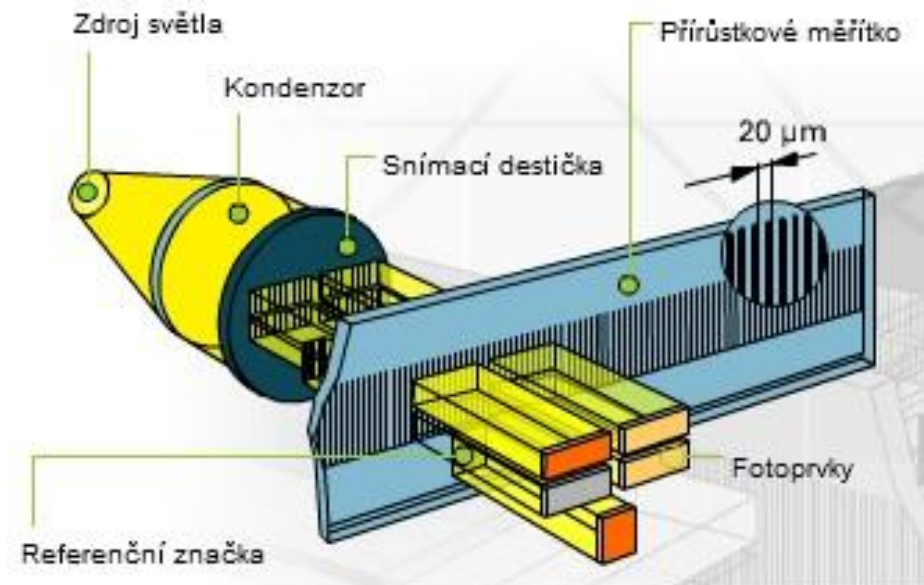


*Princip inkrementálního fotoelektrického snímače polohy*

# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální přímé

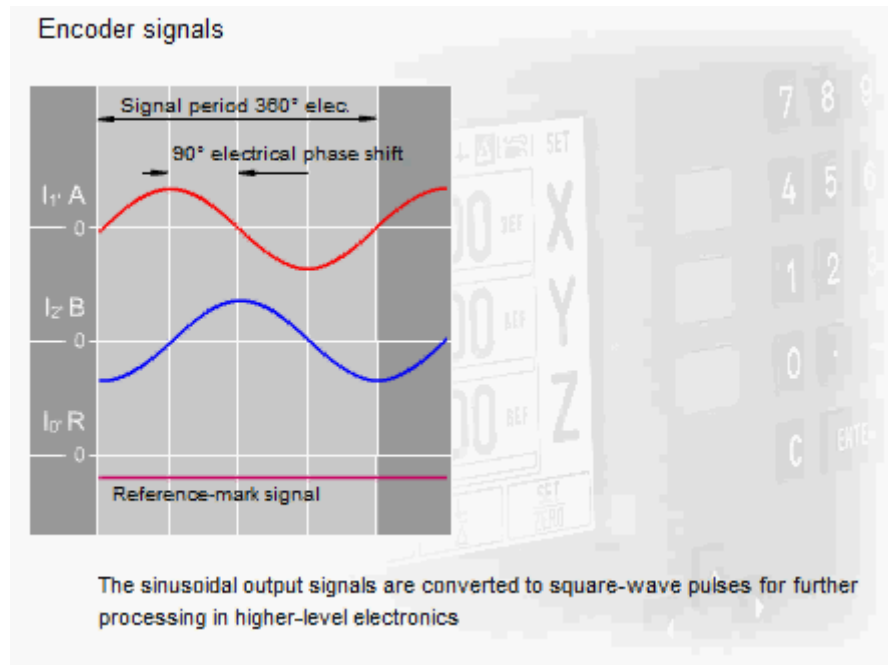
- Pro měřítka s periodou dělení 100 až 20  $\mu\text{m}$  je používán také princip vyhodnocení se čtyřmi mřížkami vzájemně posunutými o  $90^\circ$
- Paralelní světelný svazek přenáší snímací políčko na skleněné měřítko. Dělení snímacího políčka je stejné, jako je na měřítku
- Relativní pohyb měřítka vůči snímací mřížce vede k modulaci světlo – tma (princip vrhání stínu), která je snímána fotočlánky
- Při pohybu skleněného měřítka před snímací mřížkou se mění intenzita světelného paprsku sinusově. Následující elektronika z toho vytváří čítací impulzy
- Řídicí systém vypočítává ujetou dráhu sčítáním nebo odčítáním těchto impulzů



*Princip inkrementálního fotoelektrického snímače polohy*

# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální přímé



- Pro další zvýšení rozlišení (jemnější měřící krok) může být základní signál (perioda) rozdělen interpolační elektronikou na více hladin ...

Animace:

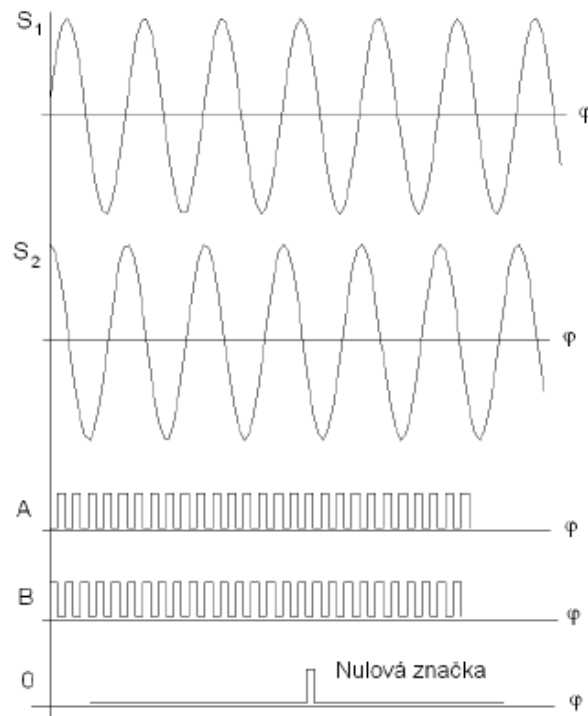
<http://content.heidenhain.de/presentation/basics/en/index/N10A17/N10B0B.html>



# Fotoelektrické snímače

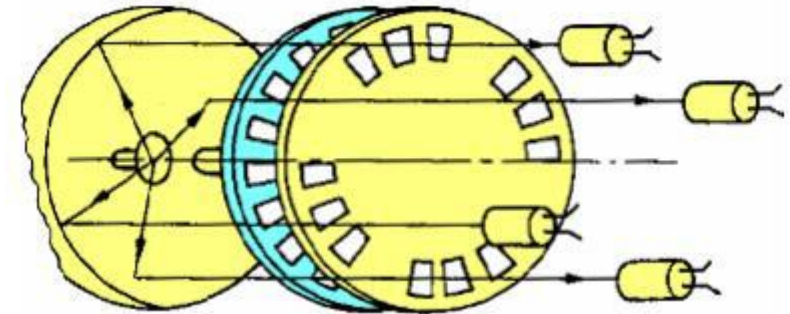
## Inkrementální rotační

- Měřítka je zde ve tvaru skleněného kotouče s velkým množstvím světlých a tmavých polí.
- Princip je stejný jako u lineárního měřítka.



- Př.: Má-li otočný kotouč 250 rysek, získá se při čtyřnásobném elektrickém zvětšení celkem 1000 impulsů. Při stoupání vodícího šroubu 10 mm se získá setinový inkrement 0,01 mm.

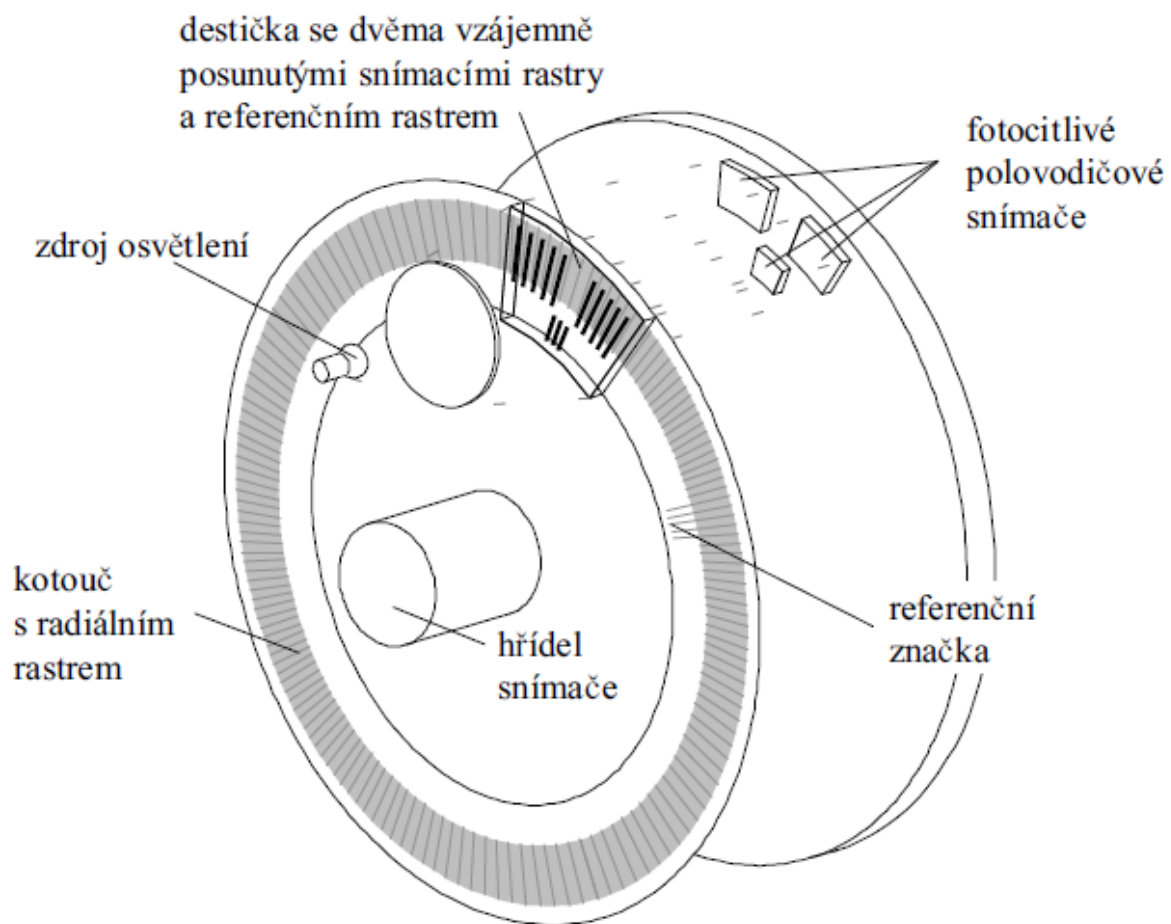
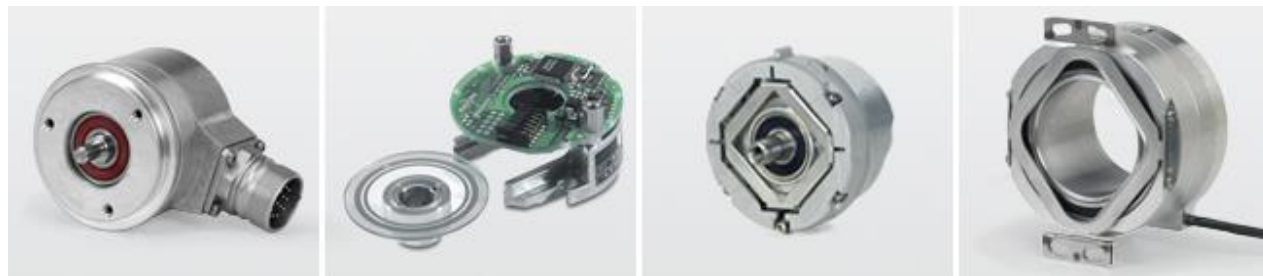
*Princip analogové interpolace s faktorem 5*



*Nepřímý inkrementální fotoelektrický snímač polohy*

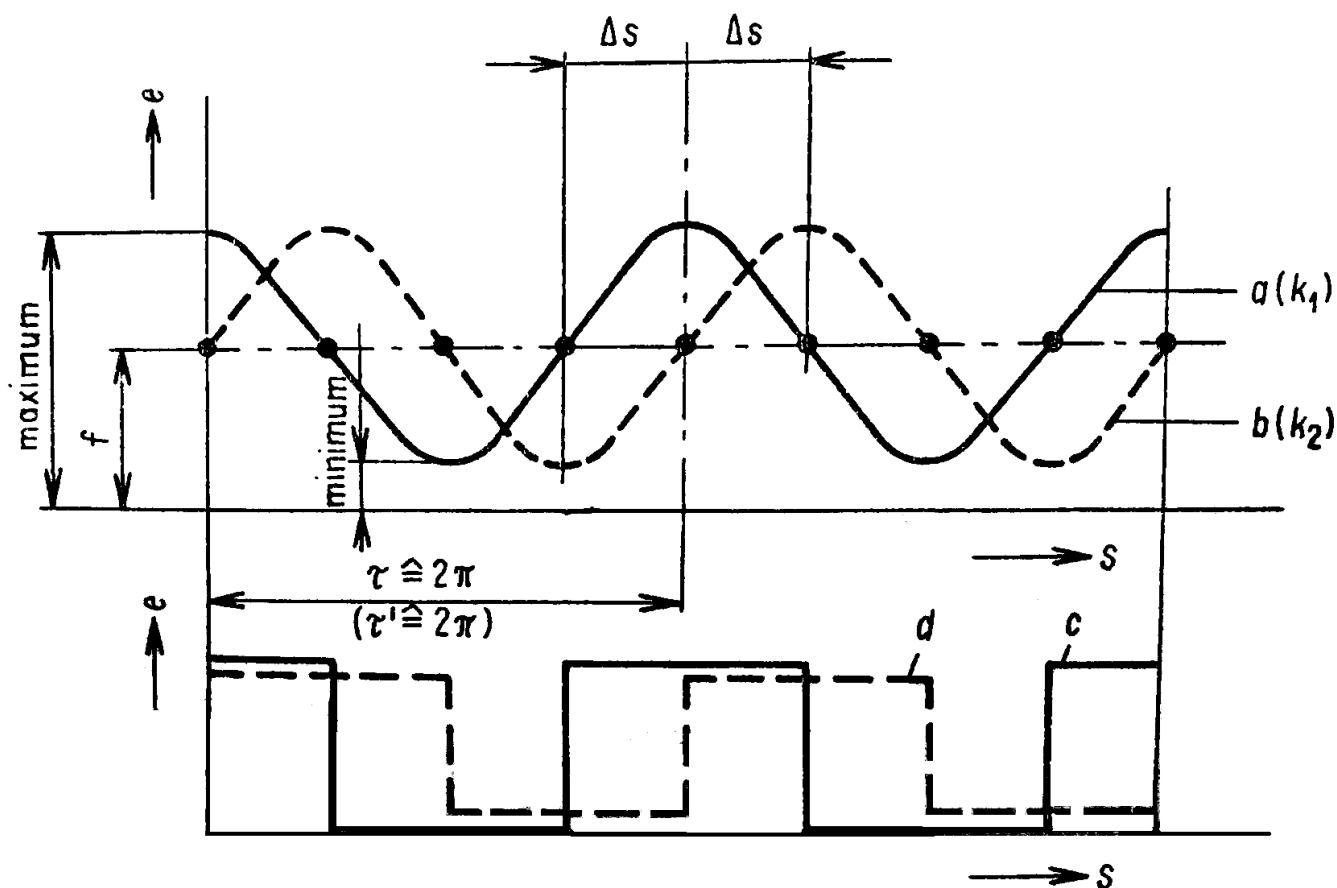
# Fotoelektrické snímače

## Inkrementální rotační



# Fotoelektrické snímače

## Schématický průběh signálu ze dvou fotodiod

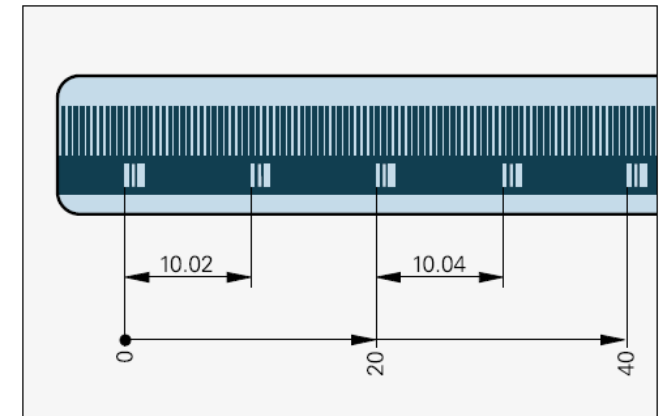


$\Delta s$  rozteč  
 $s$  čas  
 $f$  napětí  
 $\tau$  dělení  
 $a(k_1), b(k_2)$   
 sinusový průběh napětí  
 $c, d$   
 obdélníkový průběh napětí

# Fotoelektrické snímače

## Referenční značky

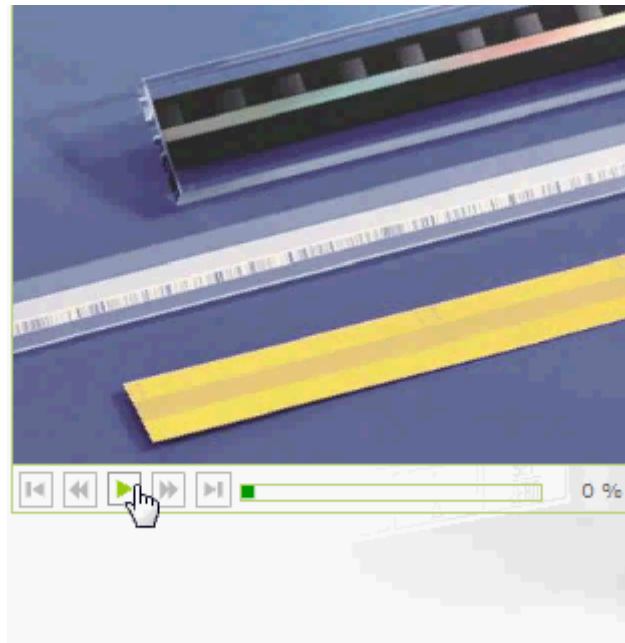
- U přírůstkových odměřovacích zařízení je pro absolutní vztah nutná referenční značka.
- Tato značka určuje na lineárním odměřovacím zařízení určitou pozici v ose.
- Než se může vytvořit absolutní vztah nebo než se znovu najde poslední zvolený vztažný bod, tak se musí přejet referenční značka.
- **Nepravé absolutní snímače** používají převážně buď vnitřní paměť s vlastní napájecí baterií, nebo referenční značky s kódovanou roztečí. Nevýhodou uspořádání s vnitřní pamětí je to, že pokud při vypnutém napájení dojde k pohybu, snímač ho nezaznamená. Kódované referenční značky mají drobnou nevýhodu v tom, že pro získání údaje o absolutní poloze je nutné vykonat pohyb 20 až 50 mm resp. 10 až 20 stupňů.



*Referenční značky s kódovanou roztečí*

# Fotoelektrické snímače

## Referenční značky



Animace:

<http://content.heidenhain.de/presentation/basics/en/index/N10338/N10442/N10442.html>

# Fotoelektrické snímače

## Absolutní přímé

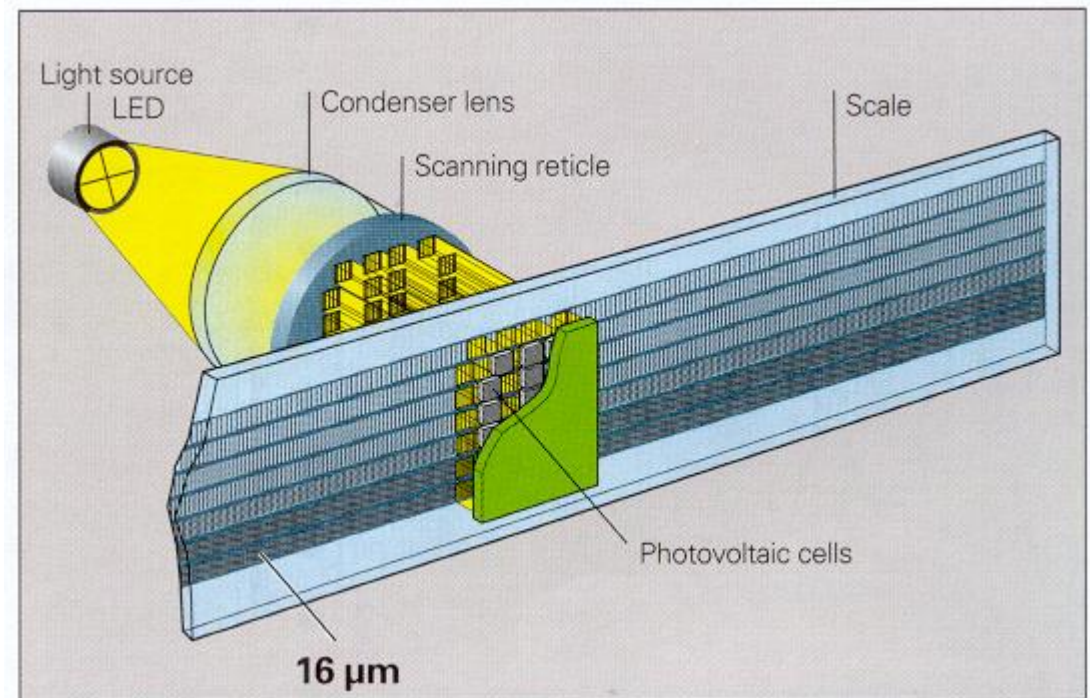
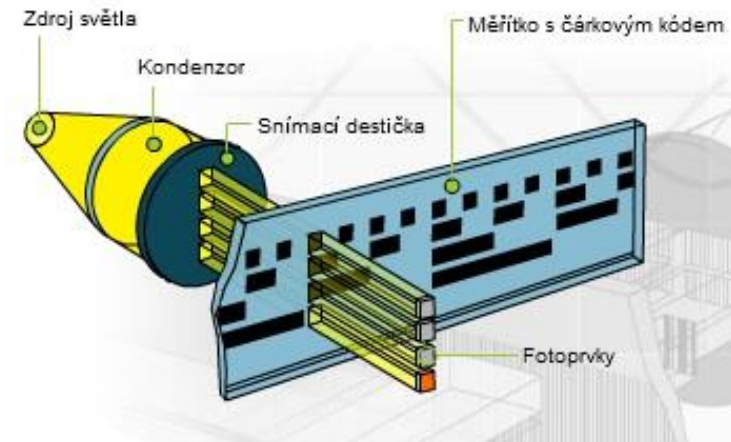
- Jako odměřovací element se používá měřítko s kódovanou stupnicí. Používá se binární nebo Grayův kód.
- Počet stop (řádků pod sebou) závisí na odměřované délce. Pro každou stopu je jeden snímač.
- Výhodou jsou spolehlivé výsledky (měřítko dává v libovolné poloze absolutní signál o absolutní vzdálenosti), nevýhodou je nákladnější výroba, hlavně pro větší zdvihy
- **Grayův kód** je navržen tak, aby eliminoval nežádoucí stavy způsobující nejednoznačnost (u binárního kódu dochází často ke změně na více bitových pozicích čítače současně a může tak dojít k odečtení chybné hodnoty při přechodu mezi dvěma sousedními polohami).

Binary Code						Gray Code									
hex	dec	n - bits					changes	n - bits					changes	hex	dec
		5	4	3	2	1		5	4	3	2	1			
17	23	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1C	28
18	24	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	14	20
19	25	1	1	1	0	1	2	1	1	1	0	1	1	15	21
1A	26	1	1	0	1	1	2	1	1	0	1	1	1	17	23
1B	27	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	16	22
1C	28	1	1	0	0	1	3	1	1	0	0	1	1	12	18
1D	29	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	13	19
1E	30	1	1	0	0	1	2	1	1	0	0	1	1	11	17
1F	31	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	10	16
00	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	1	00	0
01	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	01	1
02	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	1	0	1	03	3
03	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	02	2
04	4	0	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	1	06	6
05	5	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	07	7
06	6	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	05	5
07	7	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	04	4
08	8	0	1	0	0	0	4	0	1	1	0	0	1	0C	12
09	9	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0D	13
0A	10	0	1	0	1	0	2	0	1	1	0	1	1	0F	15
0B	11	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0E	14
0C	12	0	1	1	0	0	3	0	1	0	0	0	1	0C	12
0D	13	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0B	11
0E	14	0	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	1	09	9
0F	15	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	08	8
10	16	0	1	1	1	0	5	0	1	1	0	0	1	18	24
11	17	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	19	25
12	18	0	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0	1	1B	27
13	19	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1A	26
14	20	0	1	1	1	0	3	0	1	1	0	0	1	1E	30
15	21	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1F	31
16	22	0	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0	1	1D	29
17	23	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1C	28

# Fotoelektrické snímače

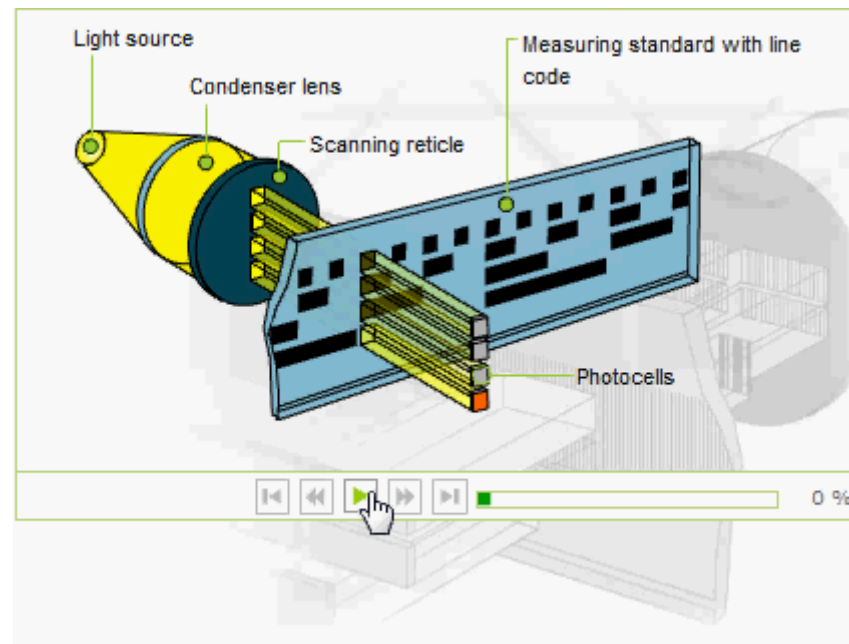
## Absolutní přímé

- Při pohybu skleněného měřítka před snímací mřížkou se získává pro každou polohu jednoznačná digitální hodnota.
- Právě absolutní snímače již nepoužívají čistě binární princip vyhodnocení (kdy by např. pro délku 1000 mm při základní rozteči rysek 16  $\mu\text{m}$  musel mít snímač 16 stop).
- Místo toho jsou kombinovány stopy s větší než dvojnásobnou roztečí rysek s elektronickou interpolací a díky tomu např. lineární snímač pro zdvih do 3040 mm má jenom sedm stop při rozlišitelnosti pod 100 nm .



# Fotoelektrické snímače

## Absolutní přímé



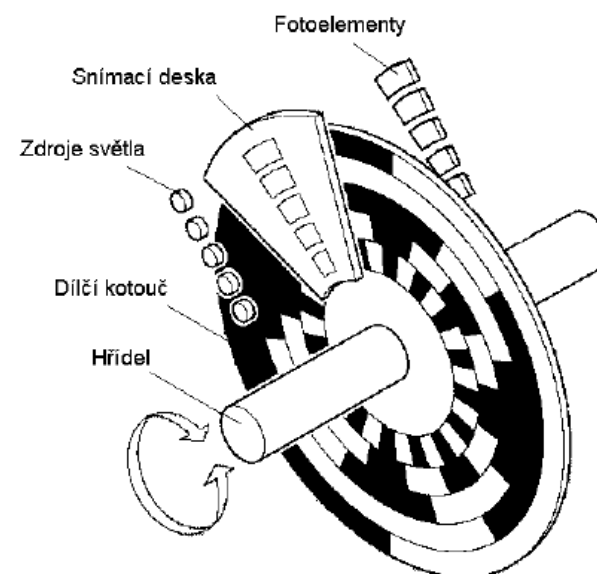
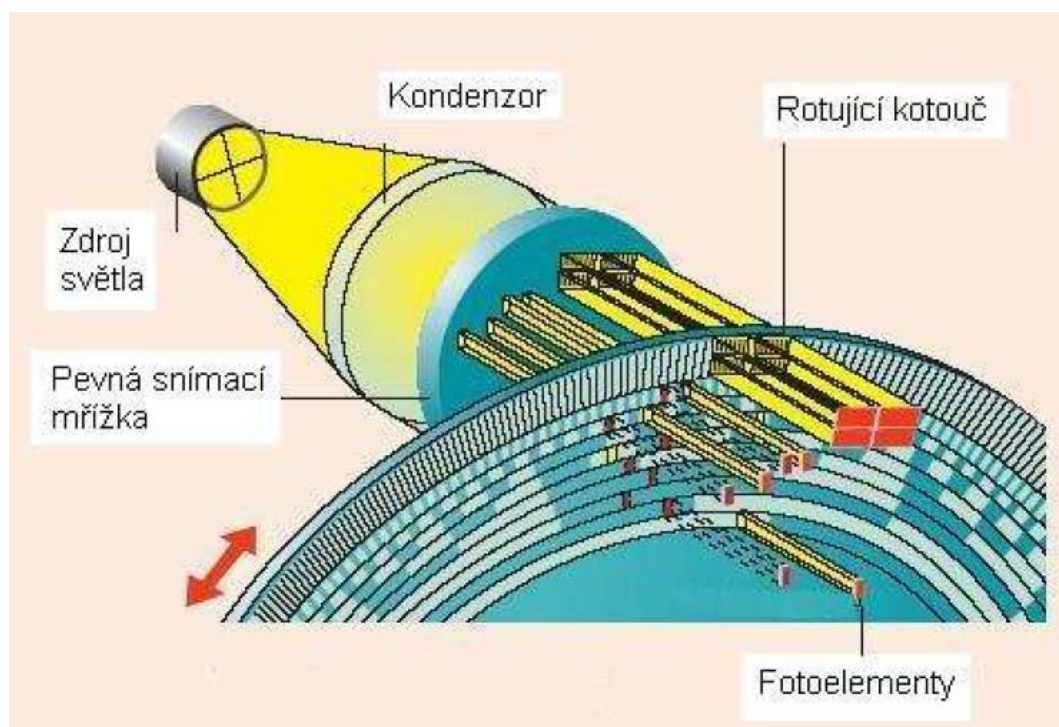
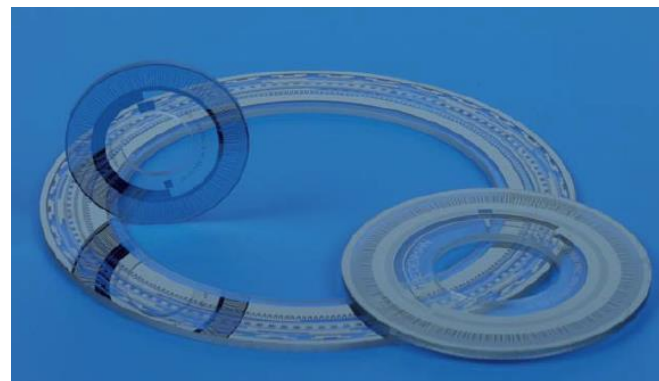
Animace:

<http://content.heidenhain.de/presentation/basics/en/index/N10338/N10395/N10395.html>



# Fotoelektrické snímače

## Absolutní rotační



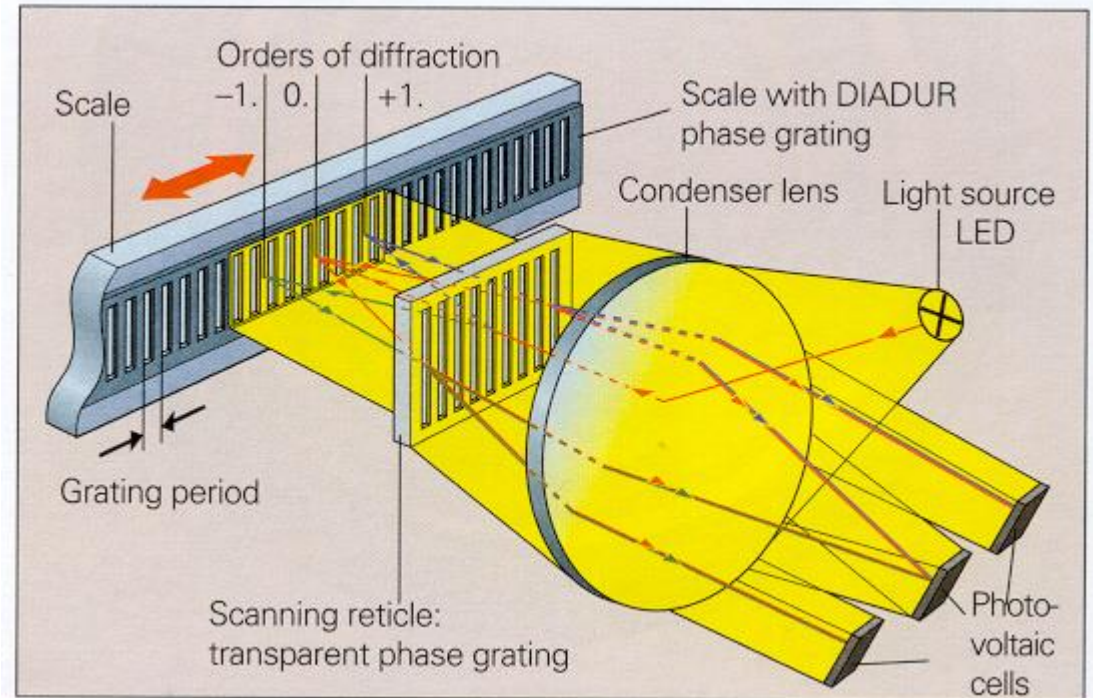
# Fotoelektrické snímače

## Interferenční způsob vyhodnocení

- Použití pokud se rozteč rysek blíží vlnové délce světla (typicky měřítka s dělením 8  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ ).
- Měřítka a vyhodnocovací mřížka (scanning reticle) jsou vyrobeny jako tzv. fázová difrakční mřížka (phase grating)

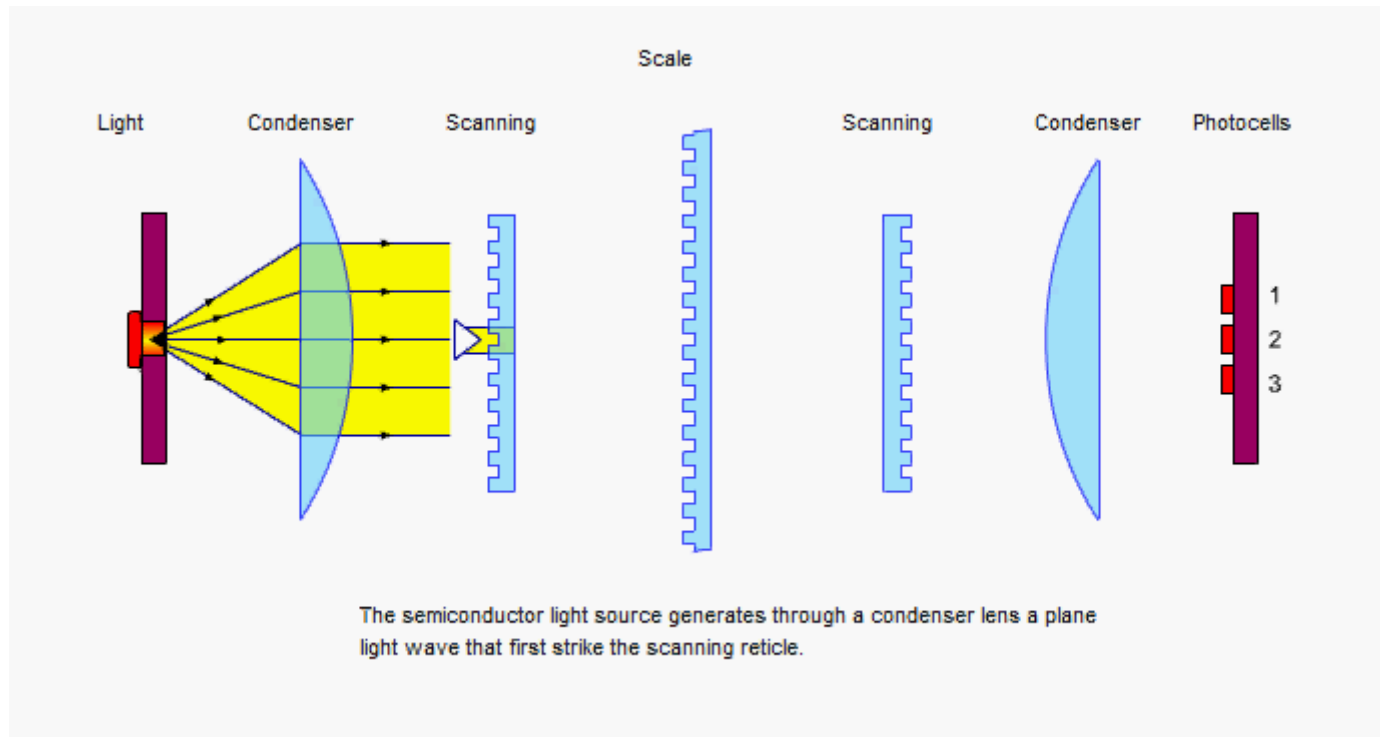
s prostorovou strukturou. Na vyhodnocovací mřížce a na měřítku dochází k ohybu světla a vznikají tři paprsky (difrakce 0. 1. a  $-1.$  řádu). U paprsků 1. a  $-1.$  řádu dochází k fázovému posuvu světelných vln, který je úměrný vzájemnému posunutí měřítka a vyhodnocovací mřížky. Na třech fotočláncích pak dochází k interferenci paprsků a vznikají tři harmonické signály vzájemně posunuté o  $120^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ ), které jsou posléze převedeny na standardní signály vzájemně posunuté o  $90^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ).

- Snímače tohoto druhu se v posledních letech používají poměrně často, protože rozteč rysek měřítek klesla až na hodnoty 2  $\mu\text{m}$ .



# Fotoelektrické snímače

## Interferenční způsob vyhodnocení



Animace:

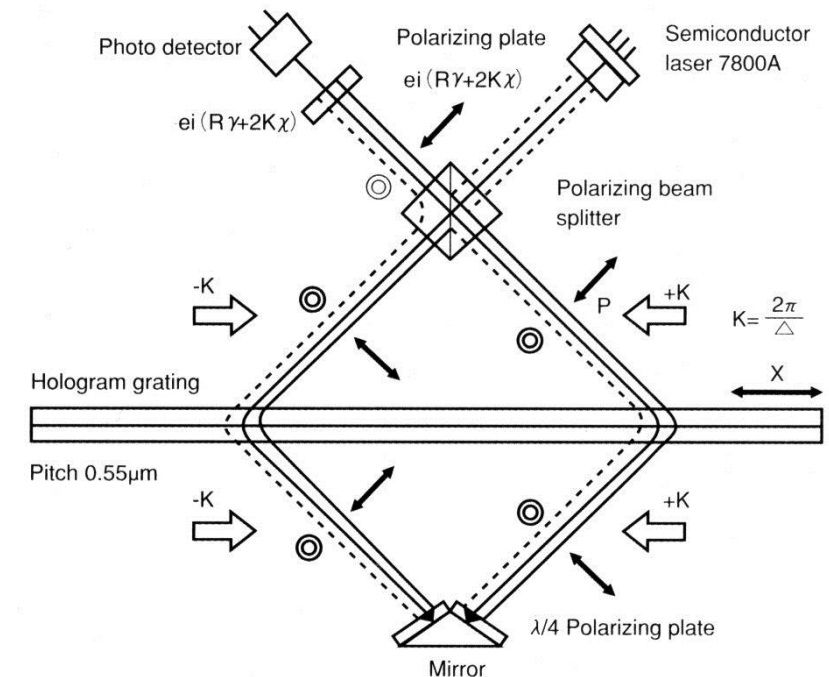
<http://content.heidenhain.de/presentation/basics/en/index/N105AF/N10890/N1090F.html>

# Fotoelektrické snímače

## Interferenční vyhodnocení laserovým paprskem

- Umožňuje dosáhnout ještě větší rozlišitelnost než u předchozího principu.
- Laserový paprsek vychází ze zdroje (polovodičový laser 7800A) a na polarizačním polopropustném zrcátku (beam splitter) je rozdělen na dvě části. Ty se po průchodu měřítkem s holografickou difrakční mřížkou ohýbají, po odrazu od zrcátka (mirror) znovu procházejí měřítkem a polopropustným zrcátkem a posléze dopadají na polarizační destičku. Vzájemný posuv měřítka a vyhodnocovací optiky mění fázi obou paprsků, které spolu interferují a vytvářejí tak interferenční proužky, z jejichž změn (světlo–tma) se vyhodnocuje vykonaný pohyb.
- Perioda takto vzniklého sinusového signálu je 137,9 nm. Po elektronické interpolaci lze docílit rozlišení až 0,28 nm.

### ● LASERSCALE detecting optics



# Fotoelektrické snímače

## Technické parametry

**Zakrytované snímače** vynikají pevným a jednoduchým připevněním. Tuhé hliníkové nebo ocelové pouzdro chrání vestavěné skleněné měřítko a snímací vozík před poškozením třískami, prachem a znečištěním chladicí kapalinou. Pouzdro měřítka je zpravidla možné připojit na zdroj čistého tlakového vzduchu, a tím se prakticky vyloučí vniknutí např. prachových částic.

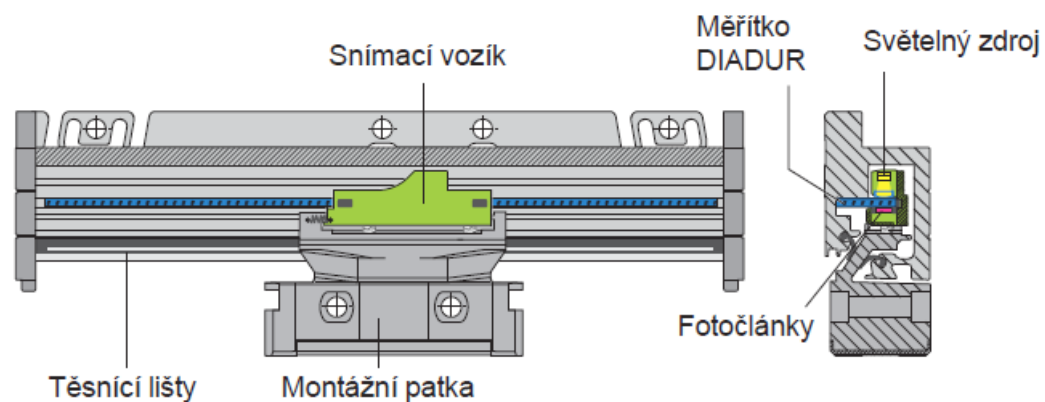


## Otevřené lineární snímače

- Třída přesnosti  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  až  $\pm 5 \mu\text{m}$
- Rozlišitelnost až  $0.001 \mu\text{m}$  (1nm)
- Měřící délka až 30 m
- Max. rychlost 60 až 480 m/min
- Max. zrychlení až  $200 \text{ m/s}^2$

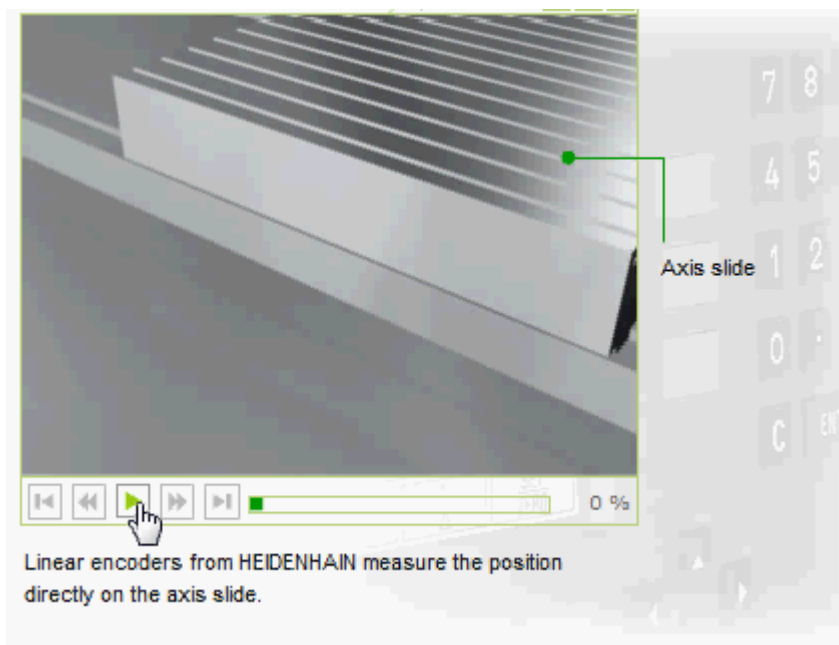
## Zakrytované lineární snímače

- Třída přesnosti  $\pm 2 \mu\text{m}$  až  $\pm 5 \mu\text{m}$
- Rozlišitelnost  $0.1 \mu\text{m}$  až  $0.004 \mu\text{m}$
- Měřící délka až 30 m
- Max. rychlost 60 až 120 m/min
- Max. zrychlení 50 až  $100 \text{ m/s}^2$



# Fotoelektrické snímače

## Mechanické provedení lineárního snímače

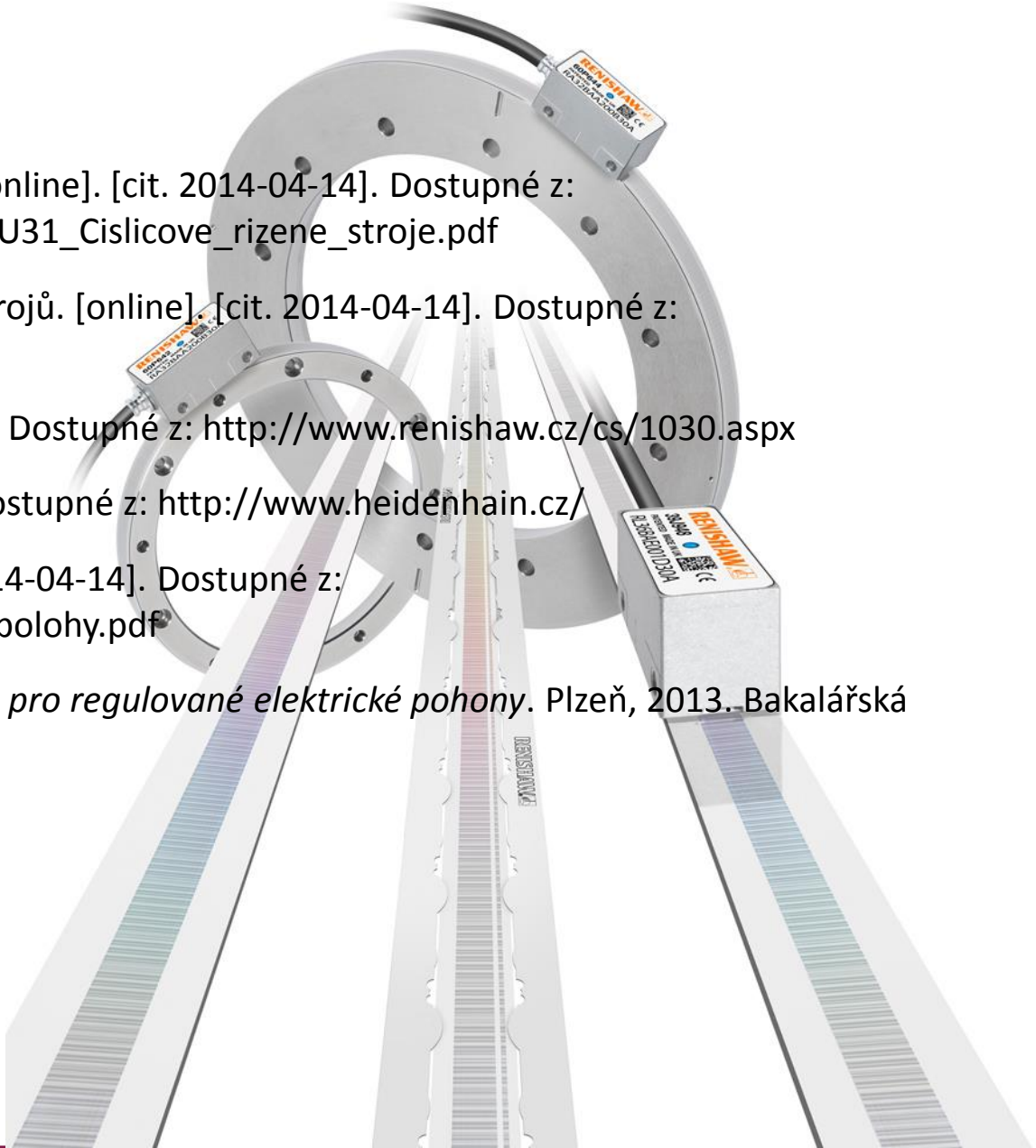


### Animace:

<http://content.heidenhain.de/presentation/LMG/en/index/N10070/N10070.html>

<http://content.heidenhain.de/presentation/LMG/en/index/N10070/N1010D.html>

# Literatura

- 
- [1] POLÁŠEK, Jaromír. Číslicově řízené stroje [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: [http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31\\_Cislicove\\_rizene\\_stroje.pdf](http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf)
- [2] KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů. [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/syscadcam>
- [3] Snímače polohy [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/1030.aspx>
- [4] HEIDENHAIN [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz/>
- [5] Snímače otáček a polohy [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: [http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace\\_polohy.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf)
- [6] MUŽÍKOVÁ, Martina. *Čidla otáček a polohy pro regulované elektrické pohony*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.