

Automatizace a robotizace ve strojírenství

Přehled, principy a úloha senzorů v automatizaci

Vlastimil Hotař, ZS 2021

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

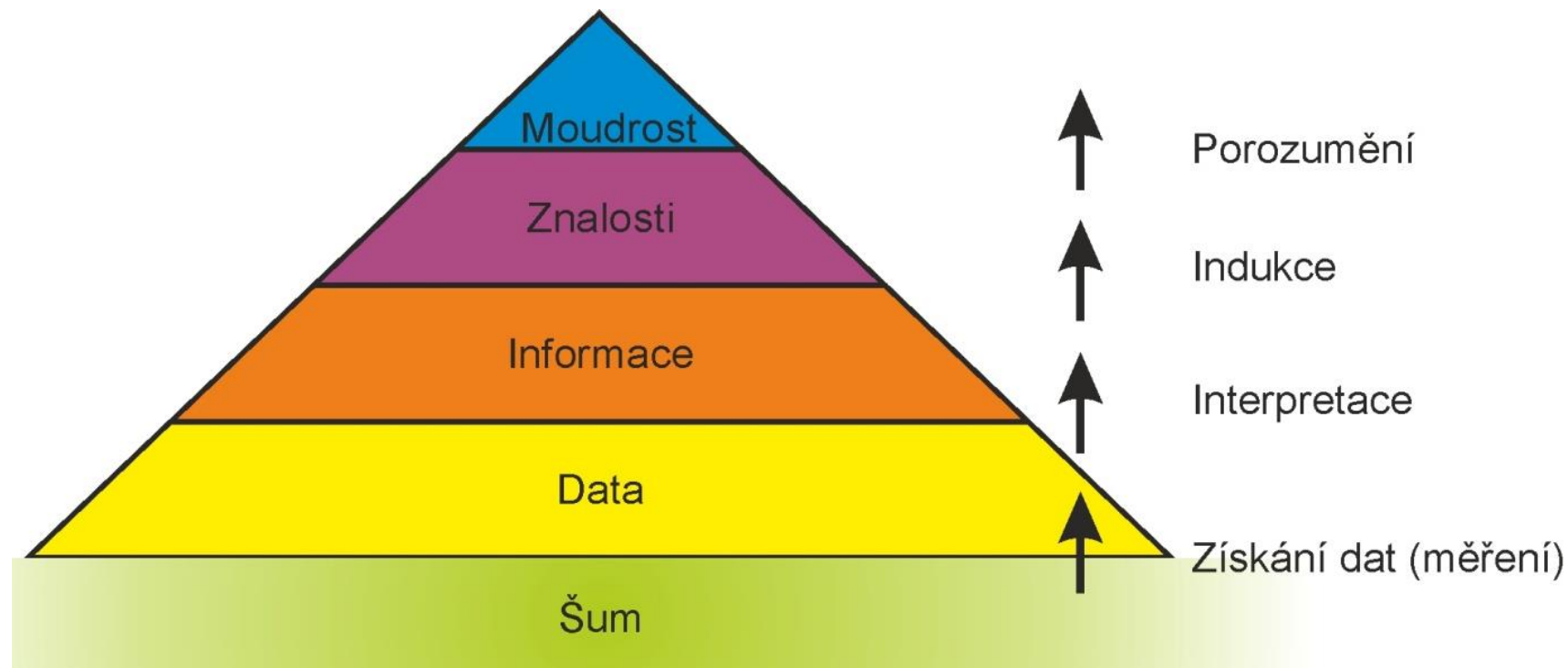
Senzory (snímače, čidla) jsou používány pro **získání signálu** (obecně v širší definici data), které jsou následně **interpretovány v informace** o stavu a průběhu činností v procesech.

Tyto informace slouží k:

- řízení,
- regulaci,
- sledování,
- kontrole,
- zajištění činnosti a
- bezpečnosti

stroje, zařízení, výrobní linky nebo procesu.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách



Znalostní pyramida rozšířená o šum a procesy vedoucí k posunu o úroveň výše

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Získaná data z měření jsou často ve formě **signálů odpovídajících fyzikálním veličinám**, např. měřeným hodnotám ve sledovaném či ovládaném zařízení.

Jednotky převádějící **měřené hodnoty na elektrické signály** jsou označovány jako **měřicí čidla**.

Tato čidla jsou součástí senzorů a jejich **výstupní signály jsou kalibrovány**, tedy například převedeny na stupnici používanou pro popis daných vlastností.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Senzor může poskytovat jako výstup **pouze analogový signál** (nejčastěji elektrický), ale pro stroje a zařízení není většinou dále čitelný nebo přenositelný na jiný stroj (zařízení) a nemůže být snadno dále sdílený.

Trendem dnešních snímačů je proto **převod analogového signálu na digitální** a následně na digitalizovaná data, která mohou být dále sdílena.

Senzory mohou být dále **připojeny do vyhodnocovací jednotky** nebo ji dokonce **mohou obsahovat** a získaná data interpretují na informace.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Vlastnosti senzorů jsou ovlivněny sledovanou veličinou:

- **elektrickou** (proud, napětí, výkon, atd.) nebo
- **neelektrickou** (silou, teplotou, intenzitou záření, atd.).

Senzory tak **detekují svoje vlastnosti** (změnu vlastností) a tyto vlastnosti jsou následně **převezeny do škály dané fyzikální veličiny pro kvantifikaci** (měření) vlastností sledovaného objektu.

Jak vyplývá z definice, **senzor detekuje své vlastnosti** (změnu svých vlastností) a musí proto být nějakým **fyzikálním principem propojen se sledovaným** (měřeným) objektem.

V praxi toto propojení je častým zdrojem chyb a šumu v měření. Příkladem může být termočlánek, který není v dokonalém kontaktu s měřeným objektem.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Senzory obsahují **měřící čidlo** s elektronickým obvodem pro prvotní zpracování signálu a převádějí elektrické, mechanické, teplotní, optické a chemické veličiny na **vhodné elektrické signály**. Tento převod bývá většinou **vícestupňový**.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Senzory jsou rozděleny podle toho, chová-li se výstup senzoru jako **zátěž s definovanými parametry** nebo jako **zdroj signálu**. Rozlišujeme senzory:

- **Aktivní** (též generátorové), působením měřené veličiny se **senzor chová jako zdroj energie** (nejčastěji elektrické). Příkladem mohou být senzory pracující na principu převodu termoelektrickém, fotoelektrickém, piezoelektrickém, indukčním elektrochemickém (resp. chemicko-elektrickém) atd.
- **Pasivní**, působením měřené veličiny se **mění některý z parametrů senzoru** (často elektrická veličina, např. indukčnost, kapacitu, odpor, impedanci, nebo optická veličina, např. změna barvy). Vlivem teploty se např. změní odpor fotorezistoru, vlivem akustického tlaku se mění kapacita kondenzátorového mikrofónu a vlivem tlaku se může změnit poloha železného jádra v cívce a tím její indukčnost. Pro další zpracování signálu pomocí elektronických obvodů je nutné veličinu dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj. K vyhodnocení elektrických vlastností pasivních senzorů je vždy zapotřebí **zdroj elektrické energie**.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Dalším možným rozdělením senzorů je podle **druhu snímané veličiny**, nejčastějšími veličinami ve výrobních procesech jsou:

- tlak, síla, zrychlení,
- poloha, hladina,
- teplota, množství odebraného tepla,
- otáčky, úhel,
- průtok, prošlé množství,
- ionizující záření,
- elektrické napětí, proud, odpor, vodivost,
- viskozita,
- hustota,
- pH,
- redox potenciál,
- vlhkost,
- a další.

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Senzory lze dále dělit podle fyzického propojení s měřeným objektem/prostředím na:

- **Kontaktní**, které jsou v přímém mechanickém kontaktu s měřeným objektem (např. termočlánek, kladkové snímače polohy, ...).
- **Bezkontaktní**, kde mechanický kontakt s měřeným objektem není, ale je třeba zajistit podmínky pro přechod měřeného fyzikálního pole od objektu k senzoru (např. pyrometr, triangulační snímače polohy, ...).

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Rozdělení senzorů je možné také **podle výstupního signálu** na:

Analogové:

- jednohodnotové,
- dvouhodnotové (logické – ANO/NE),
- spojitě.

Digitální:

- dvouhodnotové – binární (logické),
- více úrovněvé (kvantované na určitý počet hladin, hodnotové parametry senzoru jsou uváděny v bitech).

Přehled, principy a úloha senzorů v automatických linkách

Dělení senzorů může být také **podle vstupní veličiny** - druhu měřené veličiny:

- geometrických veličin (měření polohy, posunutí, atd.),
- mechanických veličin (měření rychlosti, akcelerace, síly, tlaku, průtoku, mechanického napětí),
- teplotních veličin (teplota, tepelný tok, atd.),
- elektrických a magnetických veličin,
- intenzity vyzařování (elektromagnetické, radiační veličiny ve viditelném, infračerveném a jiném spektru, zvukové, atd.),
- chemických veličin (koncentrace iontů, atd.),
- biologických veličin (koncentrace enzymů, atd.).

Funkce a charakteristiky senzorů

Senzory mají obecně tyto parametry, které je třeba znát při jejich výběru:

- rozlišení, měřicí rozsah, přesnost,
- citlivost, stabilita, linearita, doba odezvy, hystereze,
- selektivita,
- výstupní formát dat, případně formát vstupu pro ovládání senzoru,
- stav okolního prostředí pro správnou funkci senzoru,
- vliv okolního prostředí na fungování senzoru a vliv senzoru na okolní prostředí,
- životnost, hranice přetížení a zničení,
- spolehlivost,
- velikost, hmotnost,
- komfort obsluhy,
- zajištění servisu,
- cena,
- další.

Funkce a charakteristiky senzorů

Senzory jsou často používány pro **řízení** technologických a výrobních operací.

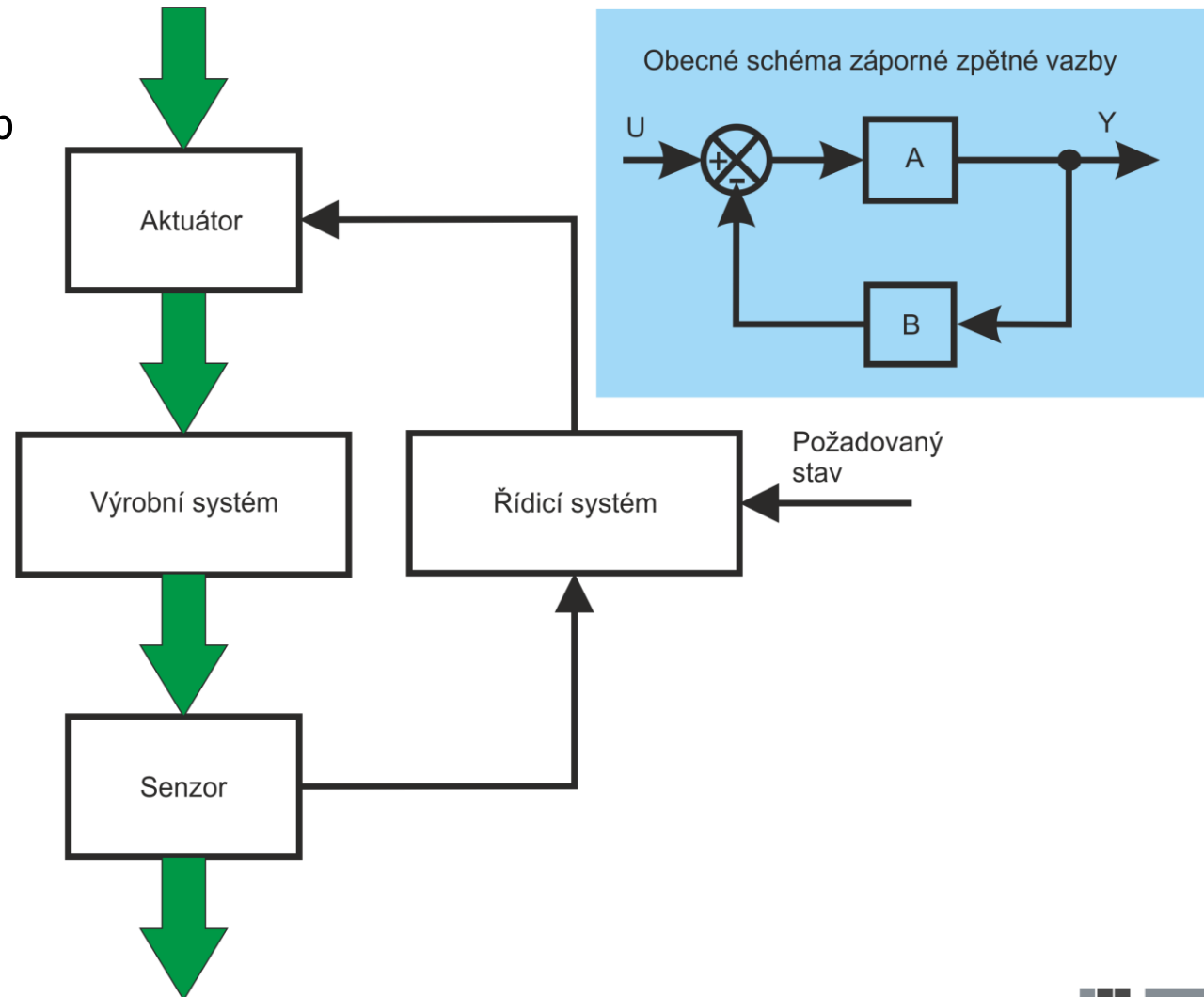
Vedle informací o stavu systému jsou často používány **v regulační technice** pro udržení stálých parametrů systémů.

K tomuto účelu je používána **zpětná vazba**, která v případě výskytu výchyly od ustáleného stavu dokáže působit proti této výchyli a potlačit ji.

Zpětná vazba je **nedílnou součástí** automatů, robotů a obecně strojů a zařízení v průmyslové praxi.

Funkce a charakteristiky senzorů

Zpětnovazební princip
řízení výrobního
procesu, záporná
zpětná vazba



Funkce a charakteristiky senzorů

Senzory používané v robotech jsou zaměřeny především na **zjištění stavu uvnitř robotu a vně**.

Často také používají zpětné vazby **při interakci s objekty** ve svém okolí.

Funkce a charakteristiky senzorů

Snímače tak mohou být rozděleny na:

- **Snímače vnitřní informace**, slouží ke sledování činnosti samotného robotu a poskytují data pro získání následné informace o:
 - poloze, posunutí, natočení,
 - rychlosti, síle, momentu,
 - funkčních parametrech pohonu.
- **Snímače vnější informace**, slouží k zachycení a monitorování stavu okolí robotu a interakci robotu s tímto okolím, poskytují data pro získání následné informace o:
 - poloze robotu v daném prostoru se souřadným systémem,
 - poloze efektoru vůči objektu v prostoru,
 - tvaru, rozměrech, poloze a charakteru objektů v prostoru kolem robotu.

Senzory polohy a posunutí

Senzory umožňují **stanovení polohy** sledovaného objektu v prostoru **vzhledem k referenčnímu bodu** nebo v daném souřadnicovém systému.

Informace o poloze (posunutí) je důležitá při následném **uchopení, obrábění, změně stavu daného objektu**, atd.

Rozdělení podle použitých fyzikálních veličin na senzory:

- Elektrické:
 - kontaktní,
 - indukční,
 - kapacitní,
 - magnetické,
 - odporové,
 - lankové.
- Ultrazvukové.
- Tekutinové.
- Optoelektrické.

Senzory polohy a posunutí

Možné rozdělit na:

- **dvoupolohové** (dvouhodnotové, objekt před snímačem přítomen/nepřítomen) nebo
- **spojité.**

Senzory pro spojitě snímání polohy pro servomotory

U PR, servisních robotů, manipulátorů a obecně v automatizaci se často uplatňuje **dráhové řízení**, které vyžaduje **spojitě snímání polohy**.

To je nutné pro **zajištění skutečných hodnot** polohy v polohových zpětných vazbách.

Tyto senzory je možné dělit podle několika hledisek.

Senzory pro spojitě snímání polohy pro servomotory

1. Podle charakteru měřené veličiny:

- rotační,
- posuvné (lineární).

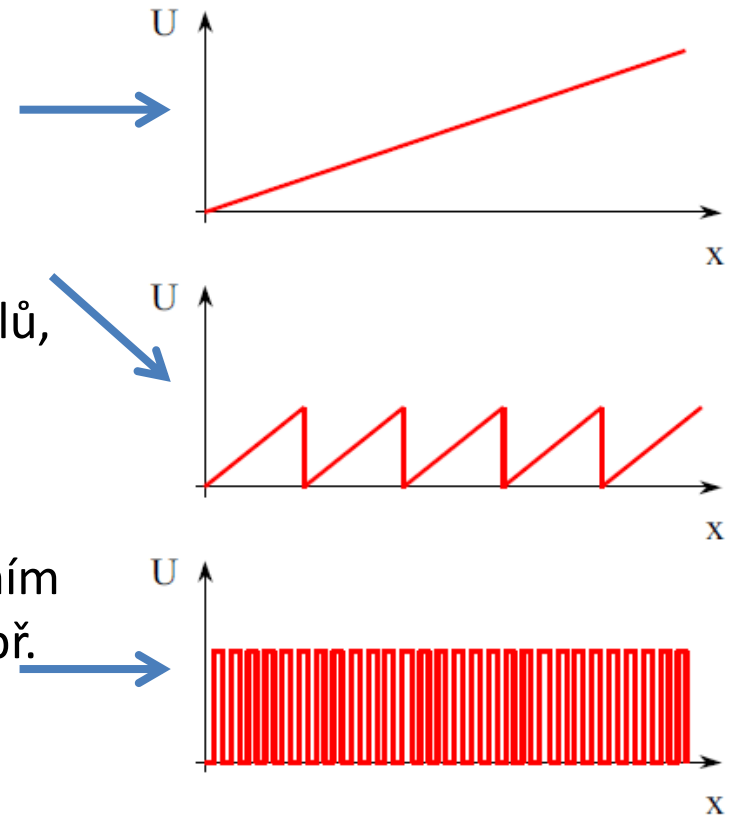
2. Podle místa odměřování:

- přímé – snímač umístěn přímo na hřídeli motoru,
- nepřímé – snímač umístěn na pohybové ose za převodovkou.

Senzory pro spojitě snímání polohy pro servomotory

3. Podle charakteru měřené hodnoty:

- **absolutní** – každé poloze v celém měřicím rozsahu je jednoznačně přiřazen signál,
- **cyklicky absolutní** – čidlo je absolutní v rozsahu určitého intervalu (např. jedné otáčky), navíc se musí sčítat počet intervalů,
- **vícetupňové absolutní** – několik spřažených cyklicky absolutních čidel s různým intervalem,
- **inkrementální** – dráha se odměřuje sčítáním elementárních přírůstků (inkrementů, např. 0,01 mm), kde každému inkrementu, odpovídá impuls (nejčastěji elektrický) určitého znaménka podle směru pohybu.



Senzory pro spojitě snímání polohy pro servomotory

4. Podle fyzikálního principu:

- ***odporové snímání*** – snímání pomocí potenciometrů současným požadavkům většinou nevyhovuje z důvodu opotřebení potenciometrů, přechodových odporů, skokové změny napětí při přechodu ze závitů na závit u drátkových potenciometrů, ...
- ***induktivní princip*** – z hlediska aplikace v automatizační technice jde především o resolvery a indukčiny,
- ***fotoelektrický princip*** – u PR robotů jsou v současné době nejčastěji používány inkrementální optická čidla polohy, pro speciální aplikace i absolutní fotoelektrická čidla (odměřovací a kontrolní roboty).

Kontaktní mechanické senzory

Kontaktní senzory jsou nejčastěji **založeny na sepnutí elektrického obvodu** na základě mechanického kontaktu se sledovaným objektem (výrobek, část robotu nebo výrobního zařízení, prvky technologické scény, ...).

Řešeny jsou nejčastěji jako **jednopolové přepínače**.

Hystereze je u nich zajištěna mechanickým uspořádáním a pružinou, která může být uvnitř anebo vnější přes páčku nebo kladku.

Kontaktní mechanické senzory

Snímače se liší:

- provedením,
- velikostí,
- spínacím proudem,
- stupněm krytí IP (tj. odolnosti proti prašnosti a vlhkosti) a
- způsobem mechanického přenosu ovládací síly na kontakt.

Jejich **výhodou** je jednoduchost a cena.

Nevýhodou je :

- omezená životnost z hlediska počtu sepnutí,
- závislost funkční spolehlivosti na nastavení snímače proti dorazu a kvality této mechanické vazby.

Kontaktní mechanické senzory



Koncový Spínač Panasonic AM1303F 250 V/AC 10 A, zdroj:
<https://www3.panasonic.biz>

Indukční senzory

Průmyslové indukční senzory přiblížení umožňují **bezkontaktně** detekovat, příp. **měřit**, přiblížení **elektricky vodivých předmětů** na vzdálenosti až **desítek mm**.

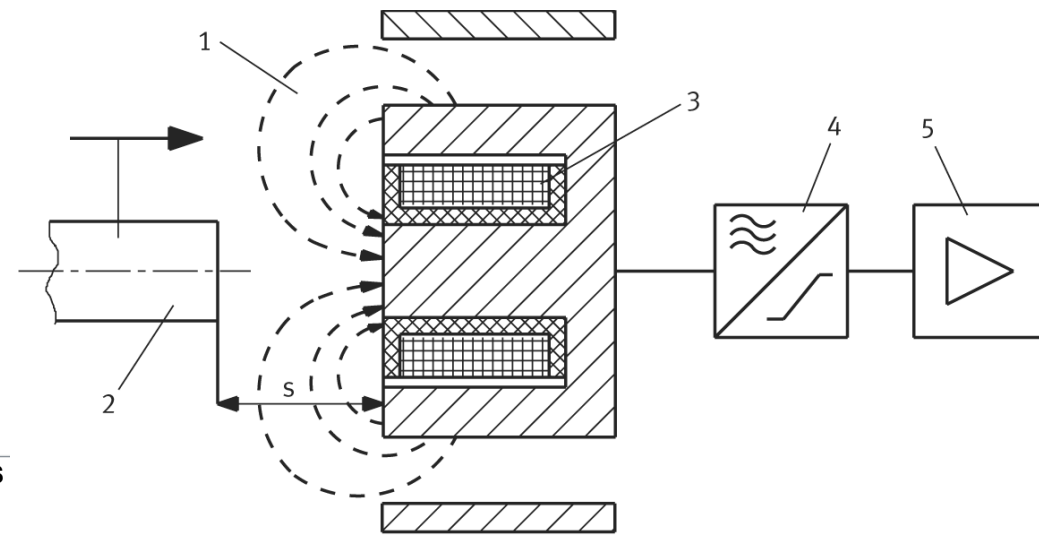
Hlavní výhodou je: možnost bezchybně dlouhodobě pracovat **v prašném nebo jinak znečištěném průmyslovém prostředí** (olej, voda, vlhkost, elektromagnetické rušení, teplota).

Indukční senzory

Fungují na základě fyzikálního principu **změny indukčnosti cívky** při **změně magnetické vodivosti** jejího obvodu a následné **změny kvality rezonančního obvodu**.

Vysokofrekvenční střídavý proud, generovaný oscilátorem (4), protéká cívkou (3) a vytváří magnetické pole (1), které vystupuje z otevřené strany hrníčku, což je aktivní plocha senzoru.

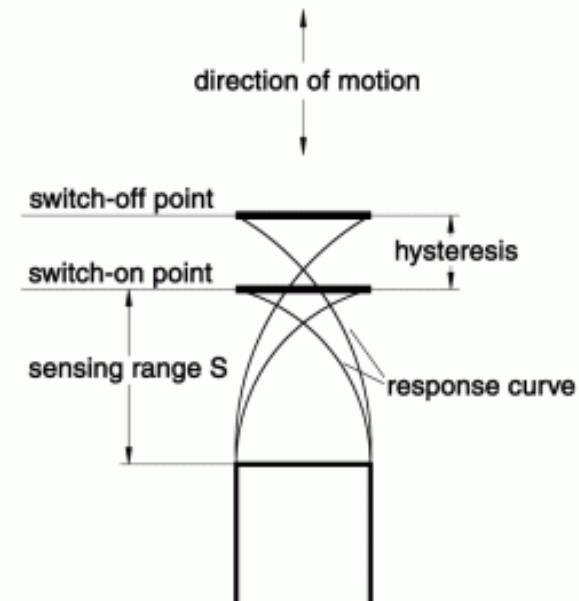
Přiblížením kovového materiálu (2) dojde k ovlivnění magnetického pole a tím i indukčnosti cívky.



Indukční senzory

Jestliže se nachází v blízkosti této aktivní plochy nějaký předmět z **elektricky vodivého materiálu** (tlumící clonka), dojde k deformaci magnetického pole.

V clonce (konstrukční ocel) se **indukují vířivé proudy**. Ty způsobí změnu magnetického pole, které působí vlivem vzájemné indukčnosti zpátky na cívku tak, že změní svoji **impedanci**.



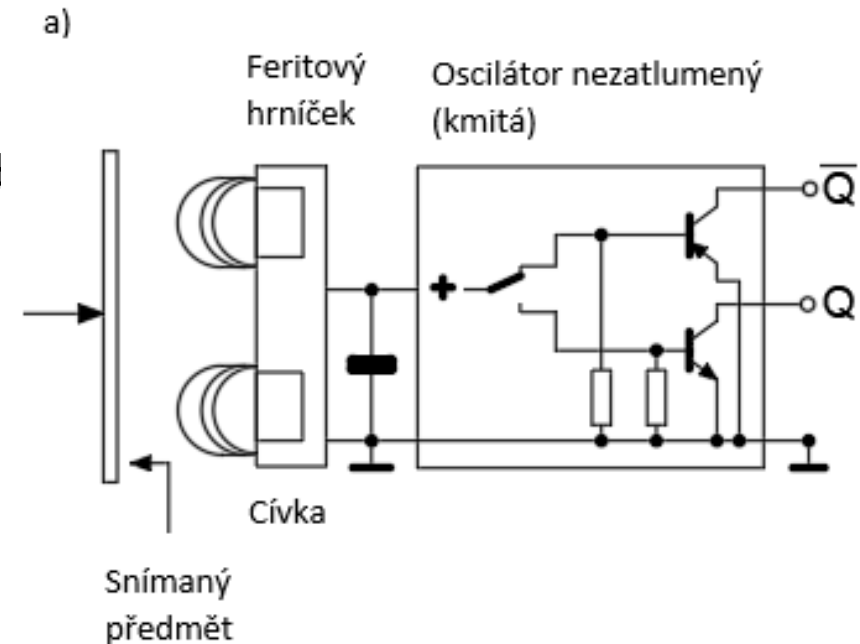
Indukční senzory

Změna se projeví **útlumem kmitů oscilátoru** a 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 kmitů.

Podle toho o jaký druh spínače jde (spínací nebo rozpínací), se výstup spojí nebo rozpojí při přiblížení kovového materiálu do aktivní zóny snímač.



Indukční senzory



Příklad indukčních senzorů firmy SICK, zdroj:

<https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/indukcni-snimace/c/g190731>

Kapacitní senzory

Kapacitní senzory přiblížení umožňují stejně jako snímače indukční **bezkontaktně detekovat**, příp. **měřit**, přiblížení předmětů na vzdálenost až několika desítek mm.

Jejich hlavní výhodou je možnost detekovat **prakticky libovolný materiál** a montážní provedení bude obvykle shodné s indukčními snímači.

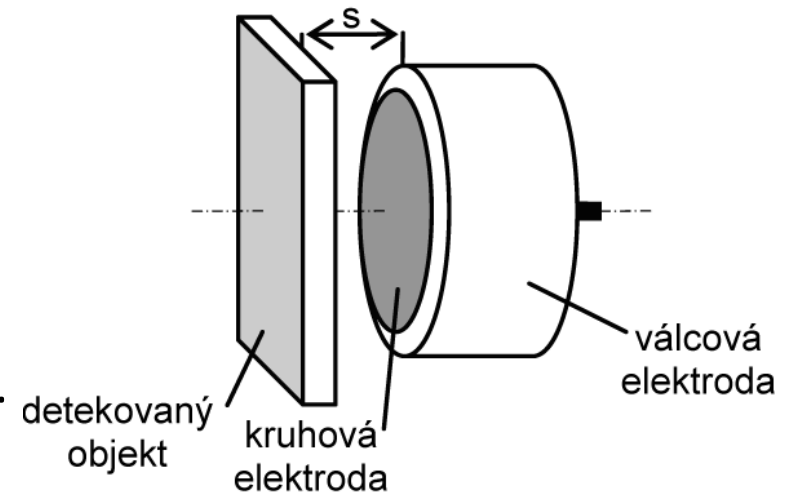
Kapacitní snímače obsahují, podobně jako indukční senzory, **oscilátor**, který zde však **nepracuje nepřetržitě**.

Kapacitní senzory

Hlavním aktivním prvkem kapacitního senzoru je **kotoučová elektroda** uvnitř válcového pouzdra, které působí i jako stínění.

Vytvářejí tak **kondenzátor**, který má základní kapacitu, která se pak dále mění se změnou dielektrika - přiblížením detekovaného objektu.

Jestliže se k senzoru blíží objekt, změní se dielektrická konstanta kondenzátoru a **obvod oscilátoru začne kmitat**. Díky tomu pracuje kapacitní senzor právě opačně než indukční přibližovací spínač, u kterého jsou vibrace přiblížením cílového objektu tlumeny.



Kapacitní senzory

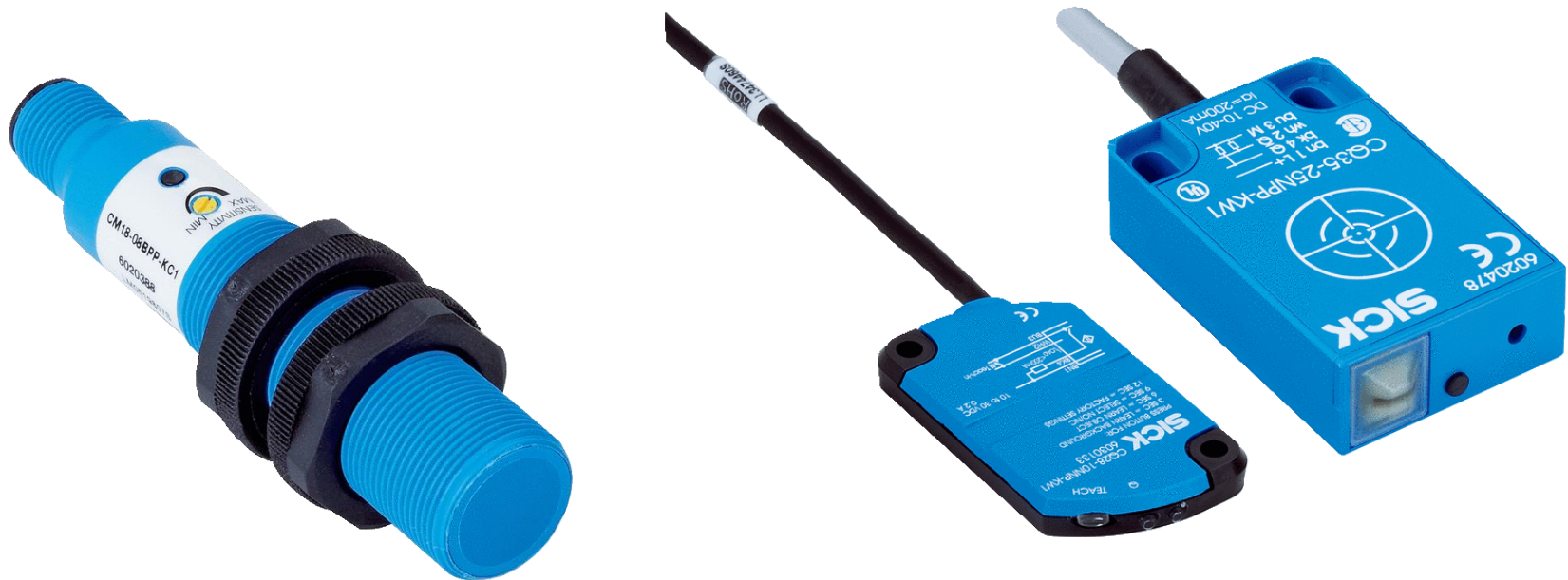
Kapacitní snímač je pak doplněn **rezistorem**, s kterým je součástí oscilátoru.

Ten je tedy **rozdáčován** právě změnou kapacity aktivního senzoru.

Výstupní napěťový signál oscilátoru je **usměrněn a filtrován** pro získání stejnosměrné složky. Ta je poté **porovnávána v komparátoru s referencí** a logický výstup již řídí výstupní výkonový spínací stupeň.

Kapacitní senzory

Tento typ senzorů je obecně **méně odolný** proti vlhkosti a prašnosti než indukční.



Magnetické senzory

Základní průmyslové senzory polohy, přesněji přiblížení.

Jsou obecně používány k **bezdotykové detekci poloh** v řídicí technice.

Oproti indukčním sensorům **mají delší spínací vzdálenosti** při stejných nebo i menších rozměrech.

Další výhodou je, že magnetická pole **prochází všemi nemagnetickými materiály**, a tak mohou tyto senzory rozpoznávat magnety, které jsou umístěny např. za stěnami z barevných kovů, austenitické nerezové oceli, hliníku, umělých hmot nebo dřeva.

Magnetické senzory

Pod obecným označením "magnetický senzor" se skrývá hned několik možných provedení vykazující zcela odlišný systém funkce a tím i odlišné některé provozní vlastnosti:

- Magneto-mechanický (historický) Reedův senzor
- Senzory s nasycovaným jádrem cívky = magnetoindukční
- Senzory s Hallovou sondou
- Magnetorezistivní sondy

Častá je aplikace senzorů pro detekci polohy válce v pneumatických obvodech.

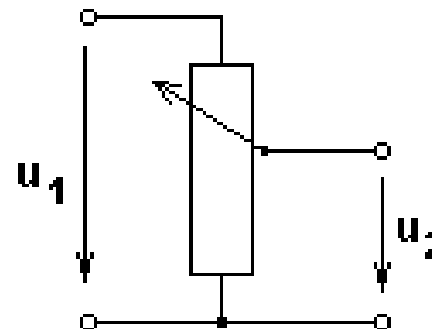
Odporové senzory

Odporové senzory pracují na **principu proměnného odporu**, kde se jezdec pohybuje po odporové dráze, po které je poháněn mechanickou veličinou (jedná se tak o potenciometr).

Napětí odebírané z jezdce proti jednomu z konců potenciometru je tak **závislé na poloze jezdce**.

Odporová dráha může být tvořena:

- navinutým drátem na izolantu,
- kovovou vrstvou,
- cermetem (kov+keramika),
- elektrolytem,
- vrstvou z jakostního vodivého plastu (praktická přesnost až 0,01 mm a rychlost posuvu až 10 m.s⁻¹).



Odporové senzory



Příklad odporového senzoru firmy Megatron, zdroj:
<https://www.megatron.cz/linearni-snimace-polohy>

Resolvery

Resolver (fázový rozkladač) – rotační polohový transformátor měřící úhel natočení, který je cyklicky absolutní v rozsahu jedné otáčky.

Resolver má vinutí na rotoru a dvě vinutí na statoru:

- Statorová vinutí (U_1 a U_2) jsou vzájemně prostorově pootočena o 90° .
- Rotorové vynutí je napájeno ze zdroje sinusového napětí (U_v) s frekvencí řádů jednotek kHz.

<https://www.youtube.com/watch?v=7PKJ52b1Qvs>

Resolvery

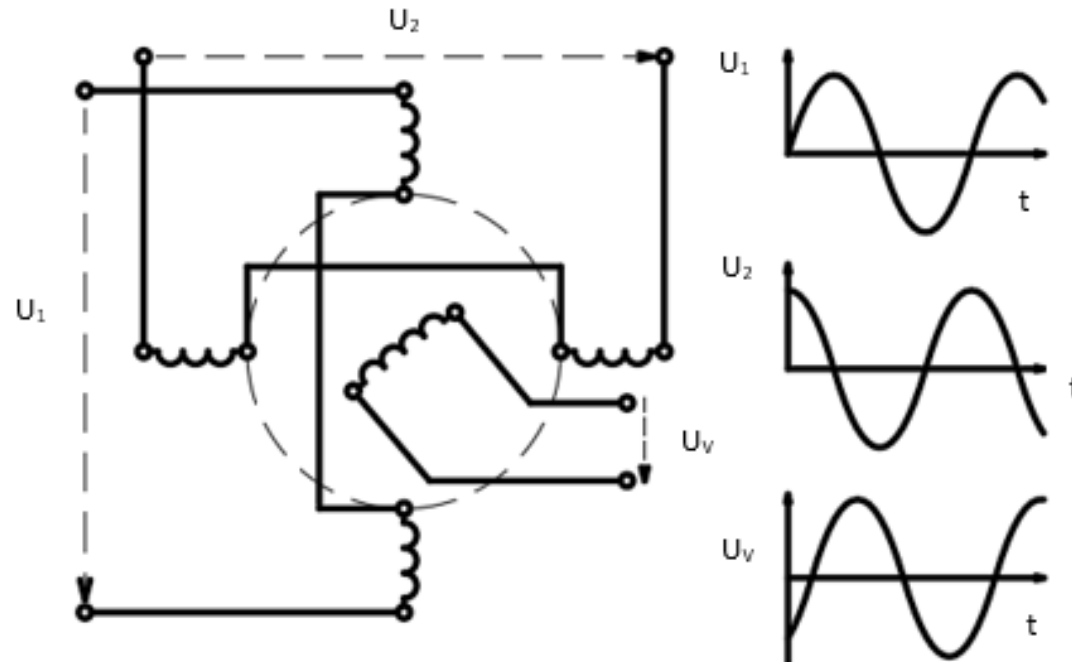


Schéma zapojení resorveru

Resolvery

Se změnou úhlu natočení rotoru vůči statoru (φ) se sinusově mění i jejich vzájemná indukčnost, a tedy i velikost indukovaných napětí z rotoru do obou statorových vinutí.

- je-li do jednoho ze statorových vinutí indukováno napětí s maximální efektivní hodnotou (je-li tedy vzájemná indukčnost mezi tímto vinutím a rotorovým vinutím maximální),
- je indukované napětí ve druhém statorovém vinutí nulové díky nulové vzájemné indukčnosti mezi tímto vinutím a rotorovým vinutím.

Vyhodnocování úhlu natočení resolveru se realizuje na principu **vzorkování výstupních napětí resolveru**, které je synchronizováno s budícím signálem resolveru.

Resolvery

Vzorkované hodnoty závisí pouze na velikosti vzájemné **indukčnosti statoru** vůči rotoru, tj. **na úhlu natočení**.

Používáno je především bezkartáčové provedení resolverů, které má:

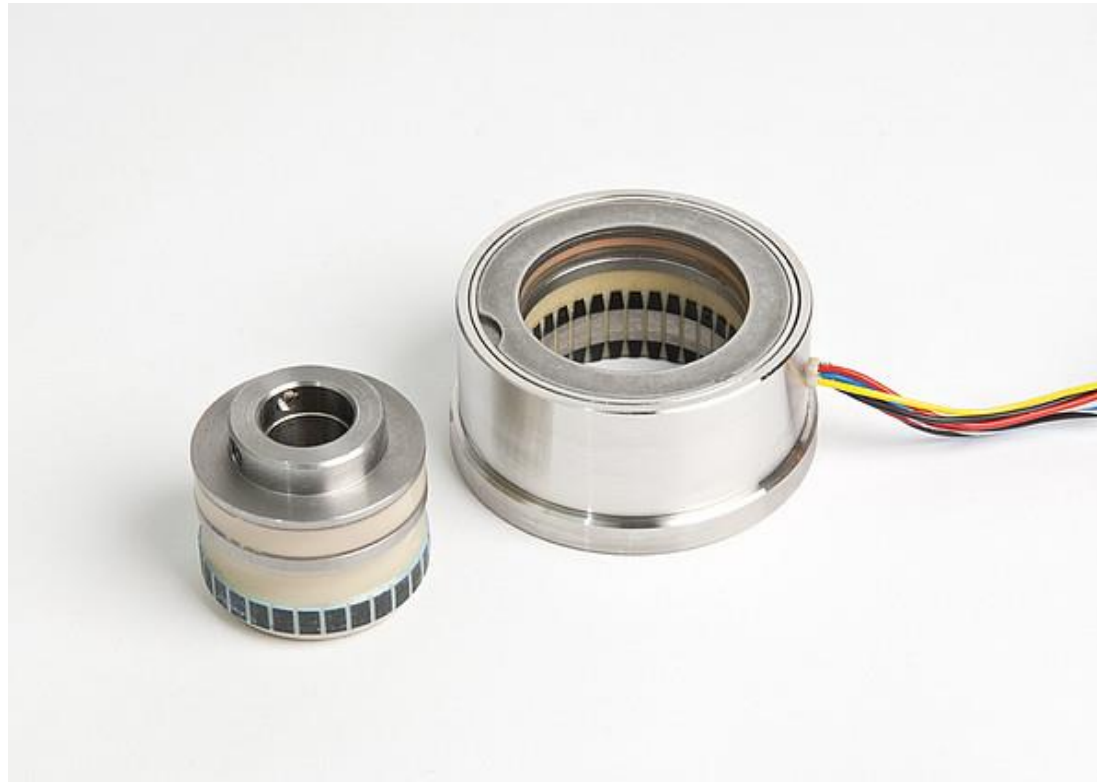
- vysokou spolehlivost spolu s cyklicky absolutním snímáním (je eliminováno riziko ztráty impulzu),
- jednoduchou vazbu na výpočetní techniku,
- samotný resorver neobsahuje žádnou elektroniku.

(Napětí U_v je pak získáváno přes rotační transformátor.)

Resolver je výhodný pro:

- aplikace v elektrických servopohonech s BLDC motory (slouží k odměřování polohy rotoru pro elektronickou komutaci)
- **pro přesné snímání polohy (s chybou menší než $\pm 5'$)** a úhlové rychlosti (snímání otáček).

Resolvery



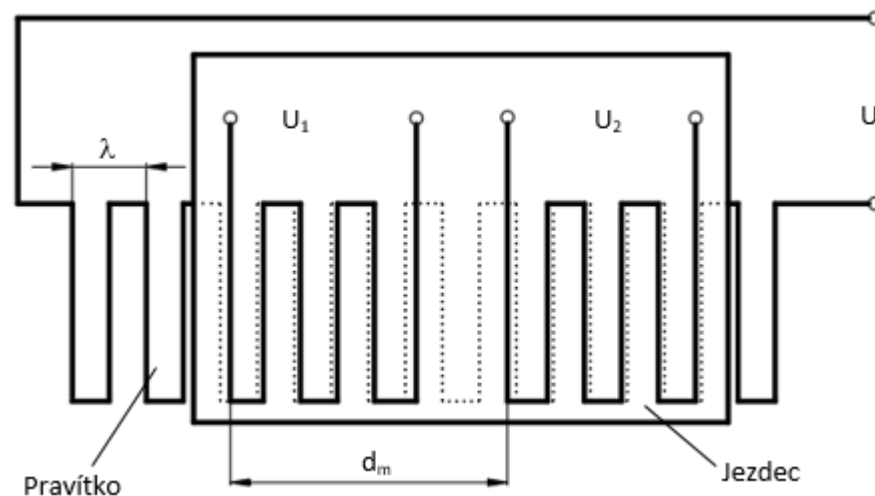
Ukázka reálného resolveru firmy LTN servotechnik GmbH

Induktosyny

Pracují na stejném principu jako resolvery, liší se moderní konstrukcí vinutí, možnostmi kruhového i lineárního provedení a vyšší přesností odměřování.

Opět se jedná o **polohový transformátor**, v tomto **případě plošné konstrukce**.

Induktosyny se skládají z pevné části (pravítka) a pohyblivé snímací části (jezdce).



Induktosyny

Jezdec obsahuje dvě vinutí, která jsou vzájemně posunuta o $\frac{1}{4}$ jednotkové rozteče – jde o obdobu posunutí cívek statoru resolveru o 90° .

Pro vzdálenost počátečních meandrů obou cívek platí:

$$d_m = \lambda \left(n_\zeta + \frac{1}{4} \right)$$

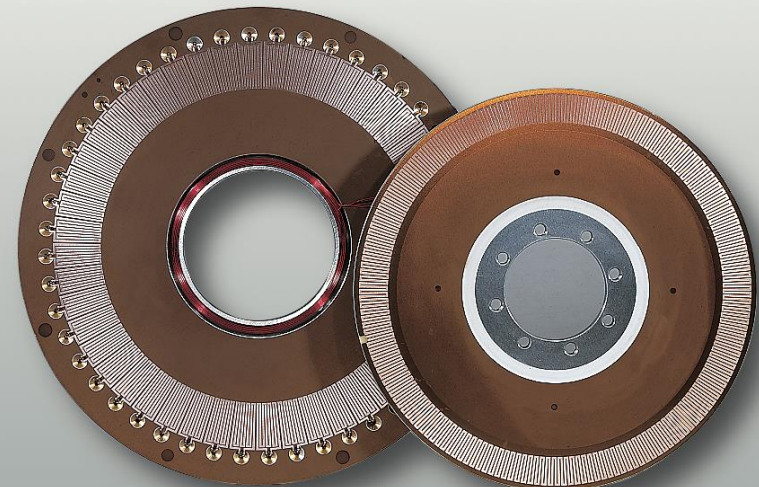
kde λ je jednotkový krok a
 n_ζ je libovolné celé číslo 0, 1, 2, ...

Induktosyny

Rotační induktosyny se skládají z dvojice soustředného uložení kotoučů, kdy na jednom kotouči je dvojice vinutí s posunutím vinutí o $\frac{1}{4}$ rozteče.

Výhodou je oproti posuvnému provedení možnost většího počtu meandrů na straně napájení v rozsahu celého obvodu kruhu, neboť snímač není ovlivňován teplotními dilatacemi.

Oproti resolverům je možné dosáhnout vyšších **přesností, a to i pod 1'.**



Lankové senzory

Lankové senzory měří lineární pohyb použitím **vysoce flexibilního ocelového lanka**.

Lineární pohyb vzniklý pohybem měřeného objektu je převáděn na **pohyb rotační navíjení na bubínek** a následně pak **potenciometrem nebo endkodérem** převeden na výstupní signál.

Jednoznačnou výhodou lankových senzorů je, že **lanko může být odkloněno přes vratnou kladku**.

Tato vlastnost rozlišuje lankové senzory od ostatních měřících principů, které normálně měří pouze v jedné ose.

Používají se běžně k **měření vzdáleností od 50 do 50.000 mm**.

Lankové senzory



Příklad lankových senzorů firmy Micro-Epsilon, zdroj: <https://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/draw-wire-sensor/>

Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory vzdálenosti jsou založeny na **principu time-of-flight**, tedy na měření času za který se vyslaný signál vrátí zpět do vysílače.

Jako vysílače a přijímače ultrazvuku se nejčastěji používají:

- piezoelektrické měniče,
- magnetostrikční měniče (méně často).

Piezoelektrický měnič se využívá:

- v první fázi jako **vysílač** ultrazvukových impulzů
- v druhé fázi pak jako **detektor** přijímané odražené ultrazvukové vlny.

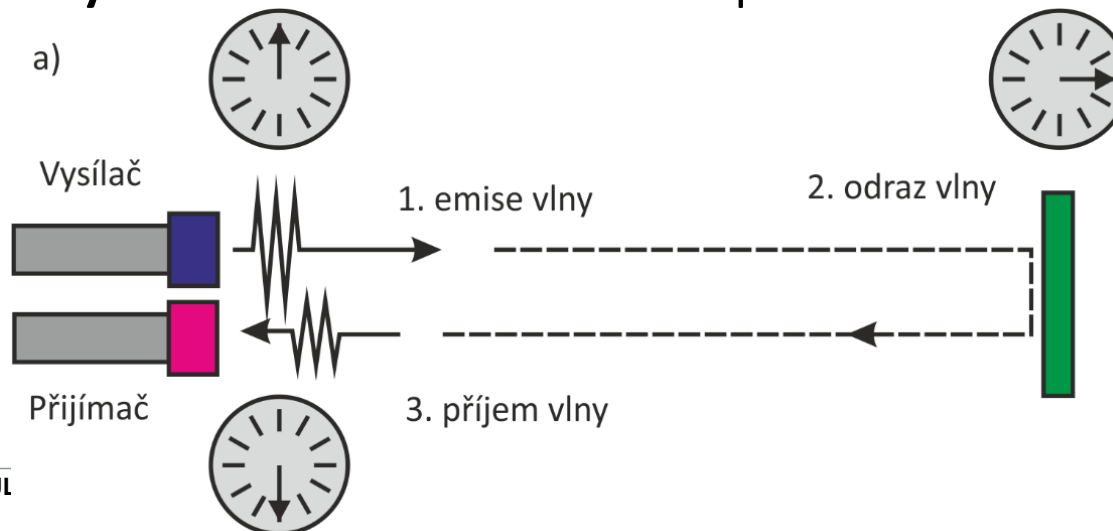
Pracuje se s ultrazvukem s frekvencí od **20 do 60 kHz**.

Ultrazvukové senzory

Ultrazvukový vysílač je na krátkou dobu vybuzen kmitočtem, ideálně jen po dobu několika pulzů tohoto kmitočtu.

Vzniklý ultrazvukový pulz se následně **odráží od všech předmětů v okolí**, které mají hustotu větší než vzduch, a jako **část emitovaných pulzů se vrací zpět do přijímače**.

Čas, který uplyne mezi vysláním a příjmem, se **přepočítá na vzdálenost s pomocí známé rychlosti šíření zvuku** v daném prostředí.



Ultrazvukové senzory

Rychlost šíření zvukových vln ve vzduchu se liší v závislosti na:

- teplotě prostředí,
- tlaku,
- vlhkosti
- nadmořské výšce.

Při pokojové teplotě (20 °C) může být jako výchozí hodnota používána konstanta 343 m.s⁻¹.



Ultrazvukové senzory

U těchto typů senzorů je **upřednostňován kolmý kontakt** s povrchem, kdy impulzy nejsou vychýleny a putují zpět, přímo k přijímači. Pro mechanické vlnění platí stejné zákony odrazu a lomu jako pro elektromagnetické záření.

Pokud se úhel dopadu na povrch **zvětší, sníží** se podíl energie pulzů odražených zpět do přijímače.

Při dosažení **limitní hodnoty úhlu**, již signál není zachycen.

Ultrazvukové senzory jsou vhodné i pro snímání vzdálenosti od objektů z transparentních nebo lesklých materiálů.

Tekutinové senzory

Tekutinové senzory pro odměřování vzdálenosti fungují na základě **změny tlaku v trysce** nad měřeným objektem.

Podstatou funkce je převod tlaku na délkovou veličinu. Převodník je napájen vzduchem o tlaku 0,6 až 1 MPa, obvykle z běžného dílenského rozvodu vzduchu.

Pomocí přesného redukčního ventilu je tlak stabilizován na 150 kPa a vzduch následně proudí stavitelnou tryskou do vlastního vzduchového měřidla.

Mezi tryskou a vzduchovým měřidlem je paralelně vřazen **snímač převádějící tlak na elektrický signál**, který je následně pomocí A/D převodníku převeden a vyhodnocován měřícím programem v počítači.

Tekutinové senzory

Charakteristika tlak – vzdálenost trysky od měřeného povrchu je **v rozsahu 0,1 mm lineární**.

Přesnost měření je obvykle **1 % z měřeného rozsahu nebo 0,001mm**.

Vzduchová měřidla jsou poměrová, obvykle se před měřením kalibrují pomocí 2 etalonů, pomocí kterých se vytvoří **převodní charakteristika**.

Nejmenší rozsah měření není u pneumatických měřidel prakticky omezen, reálně se však vzduchová měřidla používají pro měření v řádu mikrometrů. Problematictější bývá měření v pásmu větších rozsahů, kdy při měření v **rozsahu větším než 0,3 mm dochází ke zhoršení linearity**.

Optické senzory

Principu detekce optického (nejčastěji viditelného, případně blízkého infračerveného nebo ultrafialového) elektromagnetického záření funguje celá škála senzorů různého provedení, využití a přesností.

Rozdělit optické senzory lze následujícím způsobem:

- optoelektrické senzory (světelné závory),
- inkrementální fotoelektrické senzory polohy,
- triangulační snímače vzdálenosti,
- konfokální chromatické snímače,
- snímače obrazu (samostatná přednáška),
- atd.

Optické senzory – Optoelektrické senzory

Tyto senzory bezdotykově indikují celou řadu **kovových i nekovových materiálů, včetně skla, keramiky, papíru, kapalin.**

Lze je také aplikovat i na **třídění materiálů** s různým indexem lomu, respektive s různou pohltivostí světla.

Jejich největší výhodou je **velký snímací rozsah**, který v případě optických závor s laserovými diodami může přesahovat i 45 m.

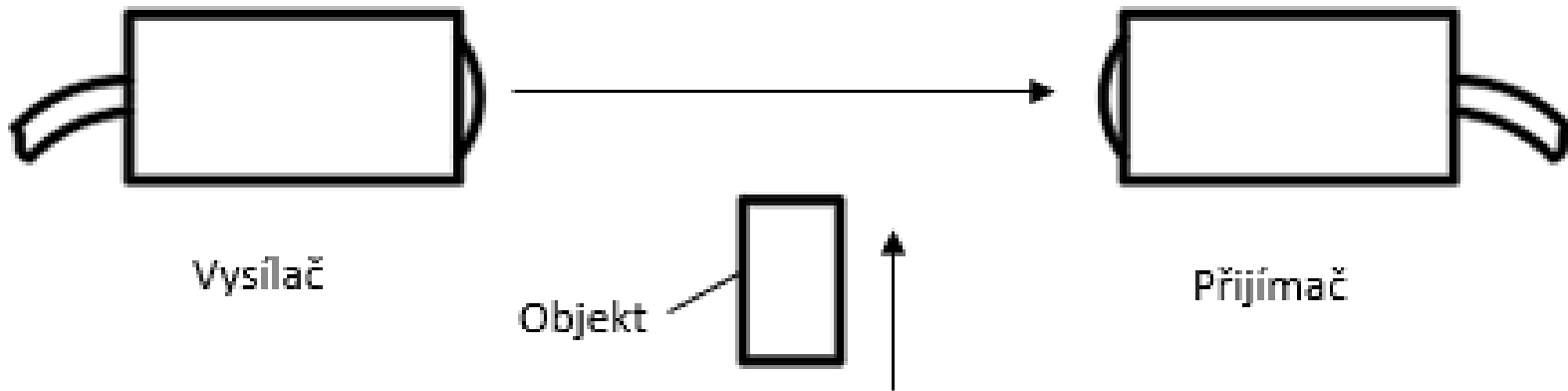
Podle konstrukce je možné se setkat se třemi typy.

Všechny typy optoelektrických snímačů jsou založeny na **emisi infračerveného záblesku fotodiodou**, který následně dopadá na **fototranzistor**.

Optické senzory – Optoelektrické senzory

Jednocestná světelná závora (optoelektrické senzory separátní) má oddělený zdroj světla (vysílače) a snímač světla (přijímač).

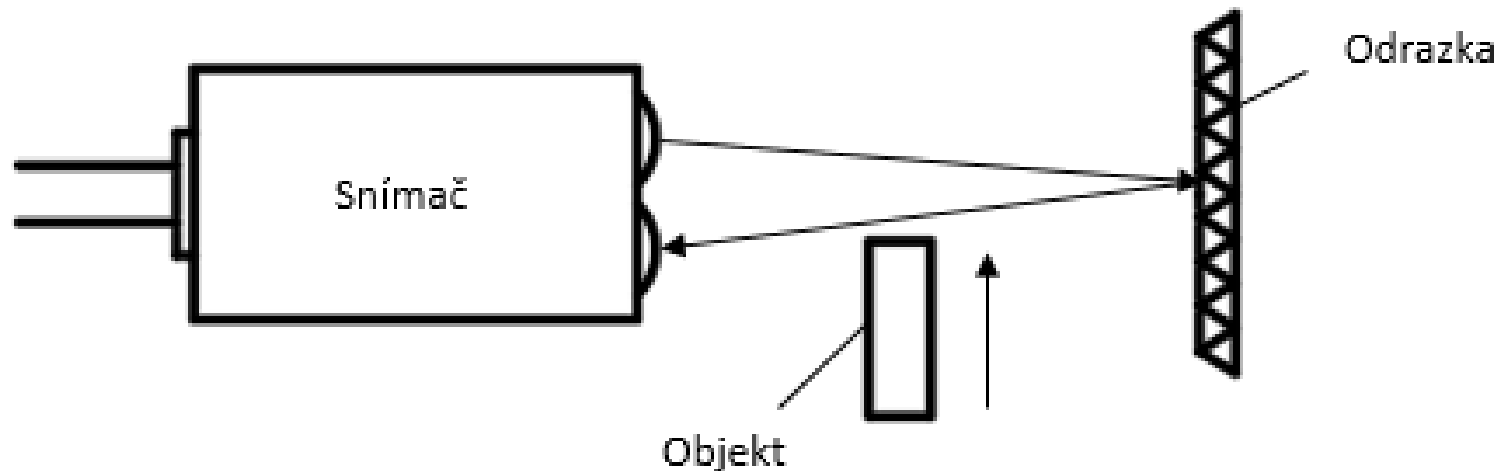
Indikátor je objekt vložený do dráhy světelného paprsku a způsobuje jeho přerušení.



Optické senzory – Optoelektrické senzory

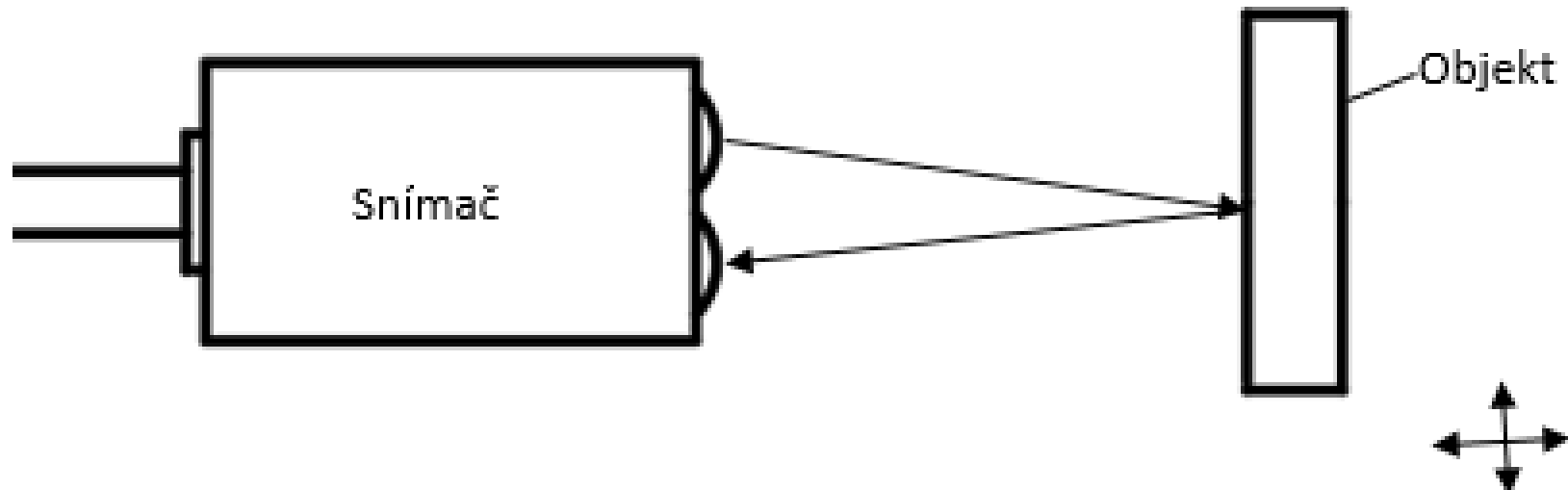
Reflexní světelná závora (retroreflexní) má zdroj světla i přijímač instalován v jednom pouzdře, ze kterého je vysílán paprsek, odrážející se od odrazky a vyhodnocován přijímačem.

Pokud je paprsek přerušen objektem vloženým do dráhy, je tato změna registrována.



Optické senzory – Optoelektrické senzory

Reflexní světelný senzor (difuzní) je založen na odrazu paprsku emitovaného z vysílače přímo od indikovaného objektu, který je vyhodnocen přijímačem.



Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy

Inkrementální (přírůstková) čidla polohy se velmi často aplikují u **servořízených robotů a CNC obráběcích strojů**.

Převážně se aplikuje **fotoelektrický princip snímání**, jehož hlavní výhodou je možnost přímého zpracování číslíkové informace.

Vyrábějí se snímače pro:

- lineární odměřování i
- snímače rotační.

https://www.youtube.com/watch?v=zzHcsJDV3_o

<https://www.youtube.com/watch?v=-Qk--Sjgq78>

Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy

Základní částí je **měřítko** (jezdec) nebo **kotouč** (rotor) opatřený světlými a tmavými proužky v pravidelných roztečích $\Delta s = \lambda$ (tzv. jednotkový krok), přičemž každá poloha je dána určitým počtem jednotlivých kroků (dráhových přírůstků) z polohy předcházející.

Tento způsob je tedy **přírůstkový – inkrementální**.

Při měření polohy ukazuje čítač hodnotu vztaženou ke **zvolenému počátku**, takže při pohybu v jednom směru jsou **impulzy čítačem přičítány**, v opačném směru **odčítány**.

Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy

Elektrické impulzy jsou generovány **optoelektrickým prvkem** podle toho, zda mezi zdrojem světla a optickým prvkem (např. **fototranzistorem nebo fotodiodou**) je **průsvitný či neprůsvitný proužek clonky** (měřítka nebo kotouče).

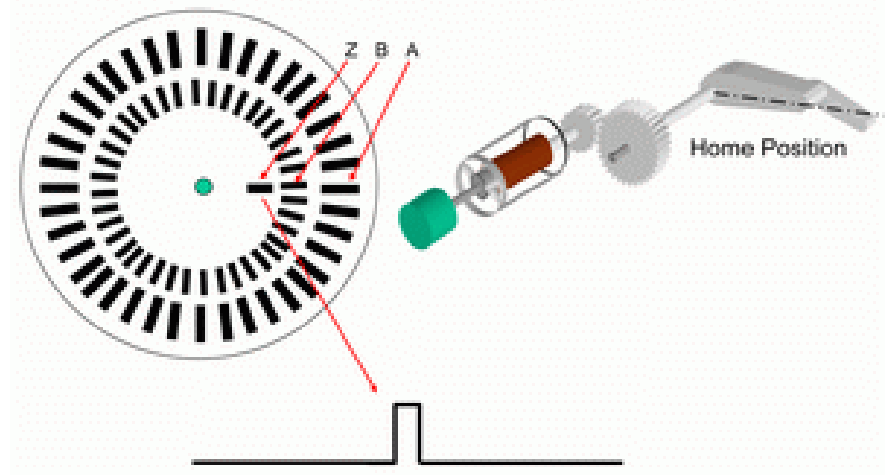
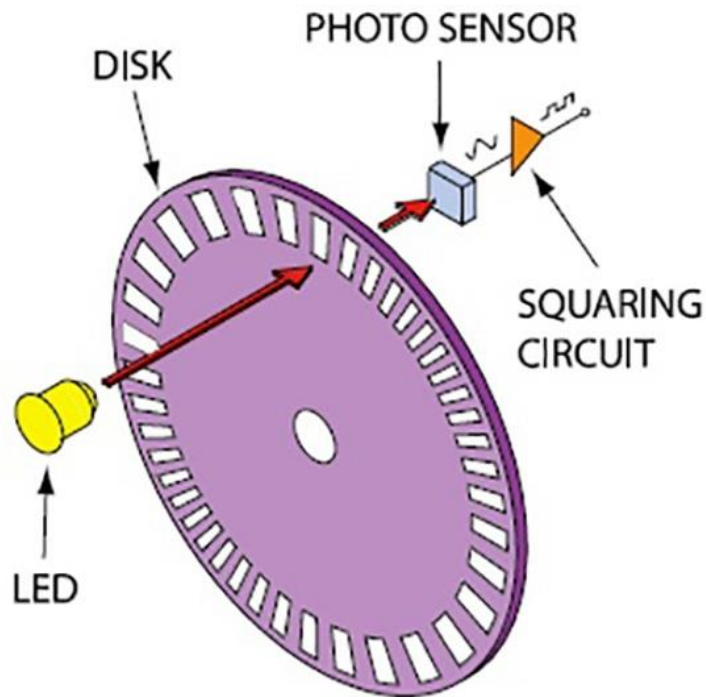
Při pohybu clonky, který je odvozen od pohybu dílu nebo součástky, dochází ke **střídavému průchodu světla přes průsvitné proužky**.

Dochází k postupnému osvitu a následnému zastínění světlocitlivé plošky **fototranzistoru**, který v rytmu změny mění svůj **vnitřní odpor**.

Tyto změny se projevují jako **změny proudu tranzistorem i změnou napětí mezi jeho kolektorem a emitorem**.

Proto při průchodu **jednoho pruhu** před paprskem záření vznikne **jeden elektrický impulz**.

Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy



Princip rotačního inkrementálního senzoru polohy

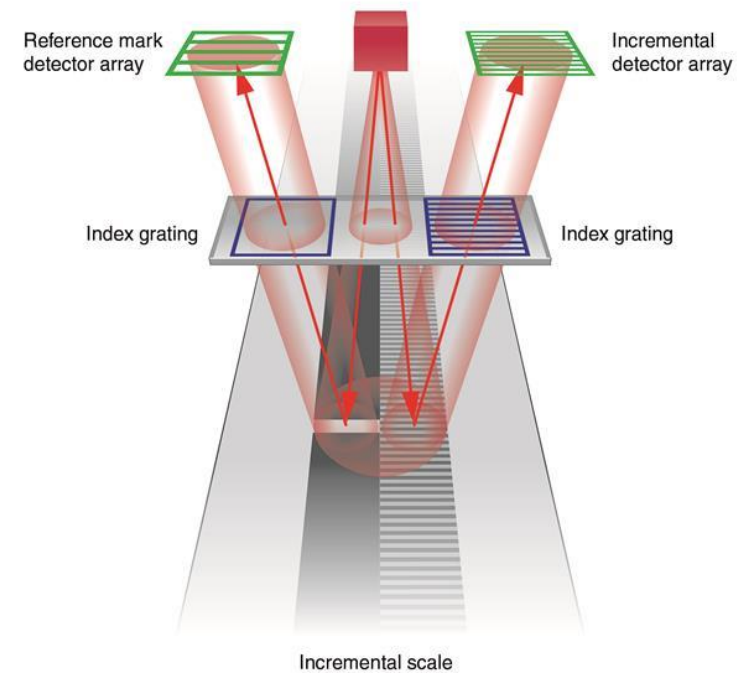
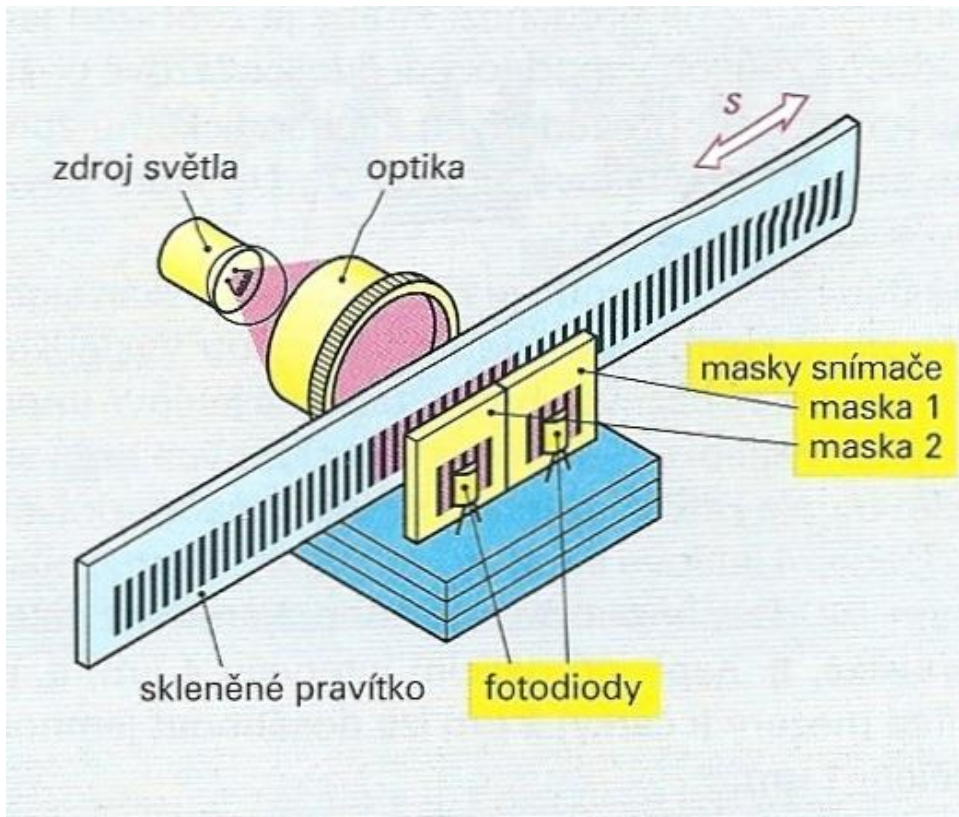
Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy

Detekce **směru otáčení** vyžaduje použití **dvou snímačů**, které jsou vůči sobě posunuty.

Pro počítání **počtu otáček** lze použít **další snímač s jedním okénkem na disku**.

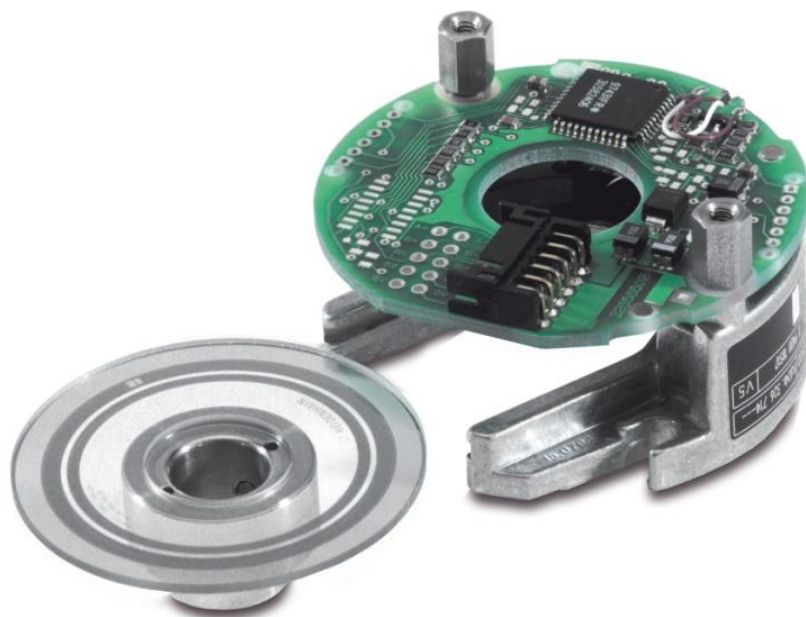
Pro **zvýšení přesnosti až o dva řády** se používá tzv. **nonius**, který se skládá z pohyblivé stupnice (kódového kotouče) a statické stupnice (snímací mřížky).

Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy



Princip lineárního inkrementálního senzoru polohy

Optické senzory – Inkrementální fotoelektrické senzory polohy



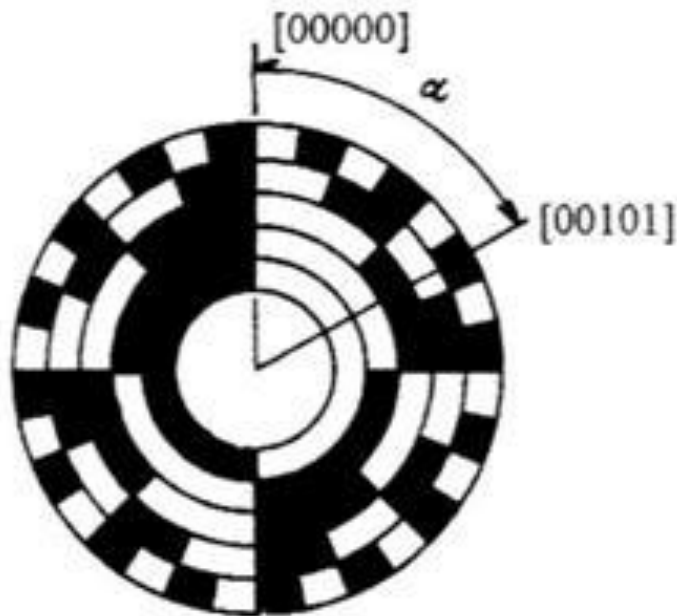
Skutečné provedení inkrementálního senzoru polohy

Optické senzory – Absolutní fotoelektrické senzory polohy

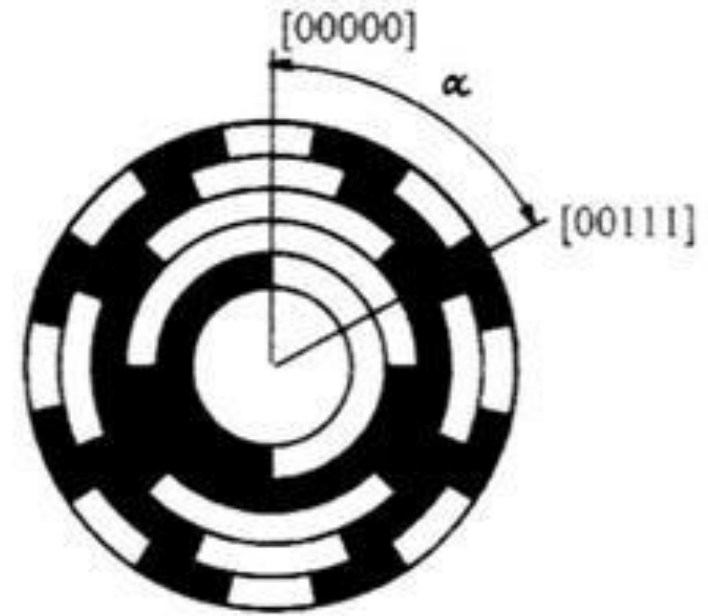
Princip, provedení i vzhled absolutních rotačních senzorů polohy je **podobný** inkrementálním snímačům.

Rozdíl spočívá zejména v tom, že kotouč spojený se hřídelí má **jiné dělení** – je uspořádán do **několika sousých mezikruží**, která jsou dělena na průhledné a neprůhledné proužky podle použitého kódu (obvykle jsou kódy binární a zejména Grayův).

Optické senzory – Absolutní fotoelektrické senzory polohy



a)



b)

Kódové kotouče pro absolutní odměřování polohy v 5 bitovém provedení: (a) binární kód, (b) Grayův kód

Optické senzory – Absolutní fotoelektrické senzory polohy

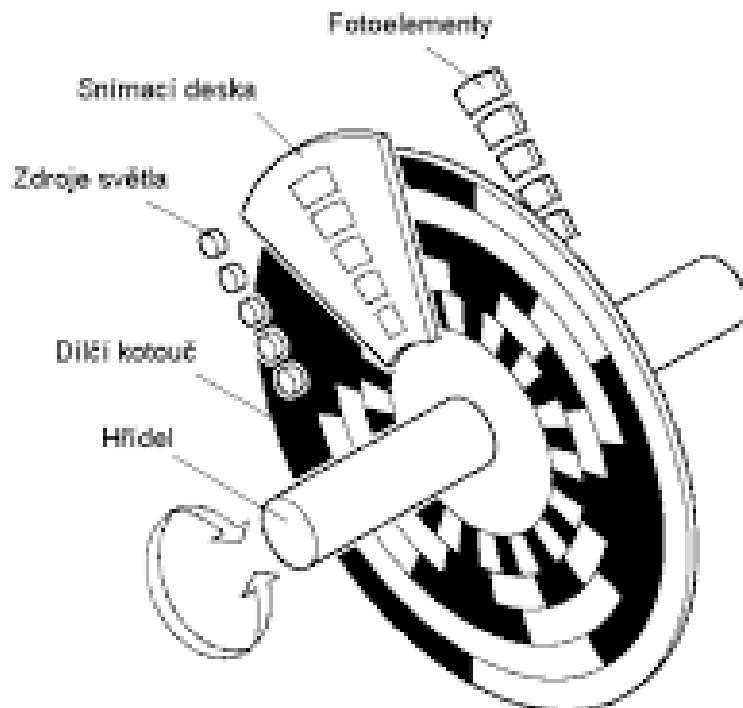
Senzor má pro každé kódové mezikruží **jeden optický snímač** (IR diodu a fototranzistor/fotodiodu).

Počet těchto snímačů určuje **řád binárního čísla** a tedy i přesnost odečítaného úhlu.

Optosnímače jsou umístěny **v řadě radiálně**.

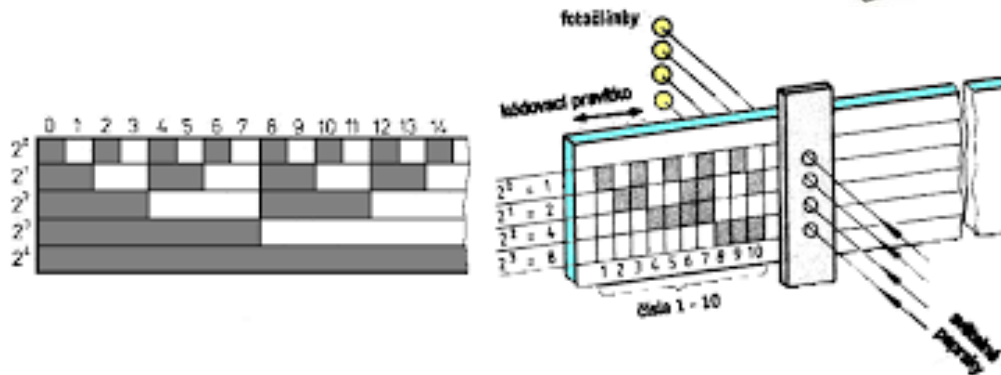
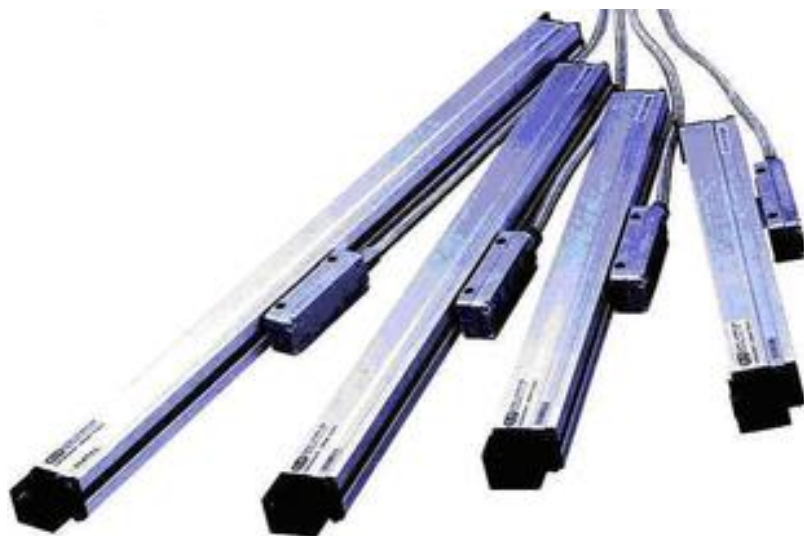
Grayův kód bývá užíván **častěji**, neboť jeho struktura zajišťuje při pootočení v ose (resp. posunutí v řadě) snímačů **změnu vždy jen jedno bitu odečítání**, a lze tedy snadněji odhalit chybu odečtu.

Optické senzory – Absolutní fotoelektrické senzory polohy



EM58 • EM58S • EMC59

Optické senzory – Absolutní fotoelektrické senzory polohy

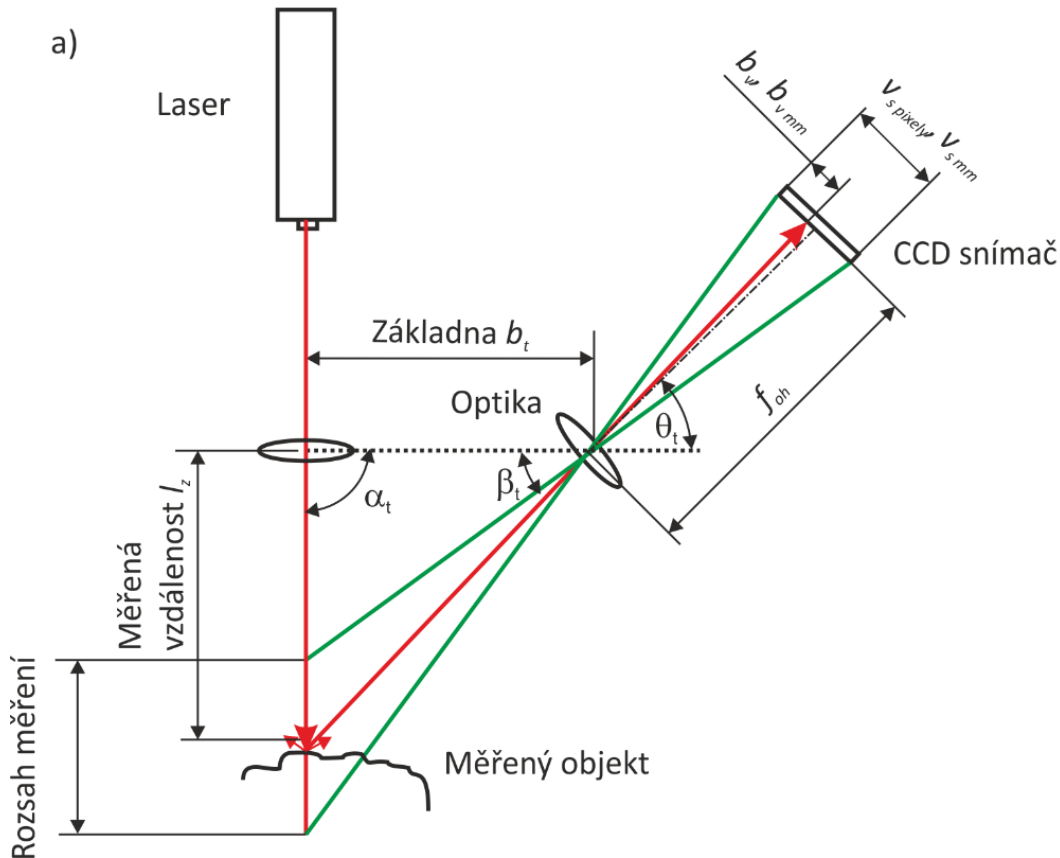


Optické senzory – Triangulační snímače vzdálenosti

Triangulační senzory vzdálenosti (někdy nazývané optické reflexní senzory) využívají **principu 1D triangulace** pomocí bodového laserového triangulačního snímače.

Patří mezi **nejpoužívanější snímače** v průmyslové praxi pro **spojité odměřování vzdálenosti**.

Optické senzory – Triangulační snímače vzdálenosti



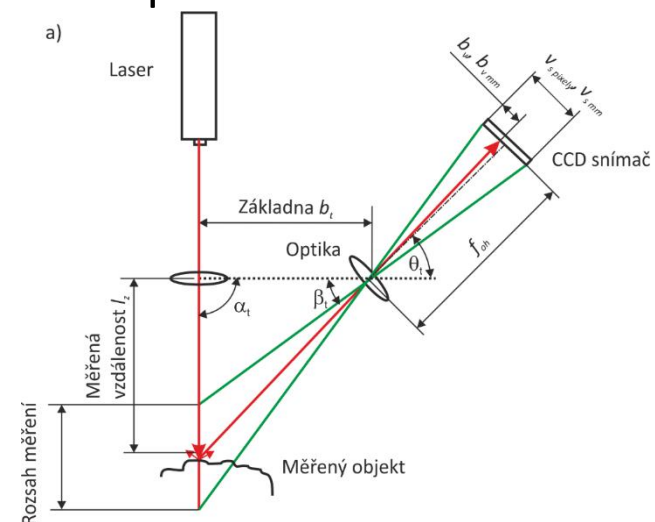
Triangulační trojúhelník u 1D triangulace pro laserový snímač

Optické senzory – Triangulační snímače vzdálenosti

Zdroj světla (bodový laserový paprsek) spolu se snímačem a osvětleným bodem na zkoumaném objektu tvoří takzvaný **triangulační trojúhelník**.

Spojnice mezi světelným zdrojem a snímačem je **základnou**, která je také nazývána **triangulační bází** b_t .

Na straně světelného zdroje je úhel svíraný triangulační bází konstantní (α_t), kdežto na straně snímače je úhel určen proměnnou pozicí osvětleného bodu na CCD snímači (β_t).



Optické senzory – Triangulační snímače vzdálenosti

Z velikostí úhlů lze na základě znalosti triangulační báze spočítat měřenou vzdálenost bodu na povrchu objektu l_z [mm] (na základě pravidla součtu vnitřních úhlů, sinusové věty a goniometrických funkcí):

$$l_z = \frac{b_t \cdot \sin \beta_t \cdot \sin \alpha_t}{\sin(180^\circ - (\alpha_t + \beta_t))}$$

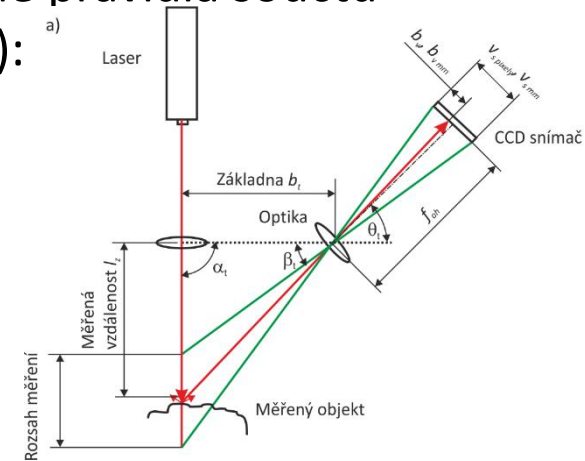
kde úhel β_t je vypočten podle:

$$\beta_t = \theta_t + \arctg \left(\frac{\frac{v_s \text{ mm}}{2} - b_v \text{ mm}}{f_{oh}} \right)$$

f_{oh} je ohnisková vzdálenost objektivu v mm, $v_s \text{ mm}$ je šířka snímače v mm, $b_v \text{ mm}$ vzdálenost projekce bodu na čipu v mm, kterou lze spočítat podle vzorce:

$$b_v \text{ mm} = \frac{v_s \text{ mm}}{v_s \text{ pixely}} \cdot b_v$$

Kde $v_s \text{ pixel}$ je šířka čipu v pixelech a b_v je vzdálenost projekce bodu na snímku v pixelech v ose v .



Optické senzory – Triangulační snímače vzdálenosti

Jedná se o **nejběžnější a nejdostupnější** zařízení s využitím triangulace.

Snímače mají **přesnost uváděnou v řádech μm** (většinou v desítkách μm pro běžné rozsahy), vysokou **frekvenci snímání v řádech kHz** a širokou škálu rozsahů (od milimetrů po metry).

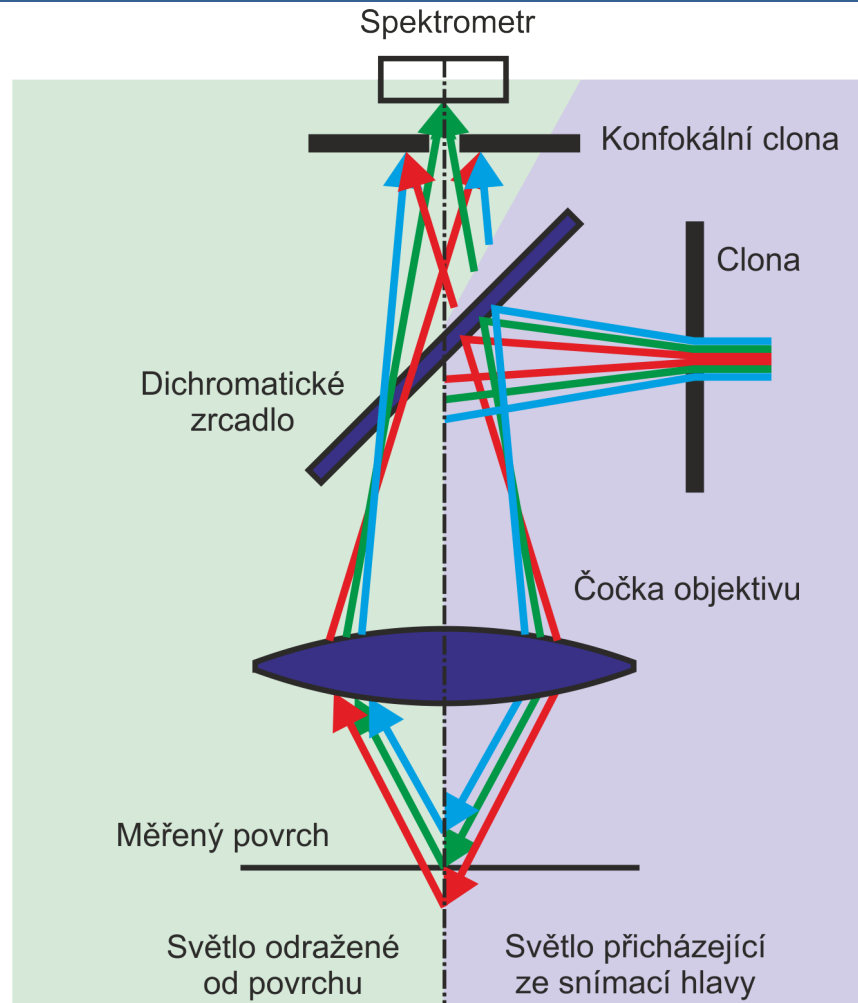
Využívána je také **2D a 3D triangulace pro získání 3D virtuálního modelu**.

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Konfokální chromatické senzory jsou **bodové bezkontaktními senzory** používané pro **spojité odměřování vzdálenosti**, které používají pokročilou optiku.

Konfokální senzory využívají **bílého světla**, které obsahuje všechny vlnové délky obsažené ve VIS spektru elektromagnetického záření.

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory



Princip konfokálního snímače



Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Bílé světlo je ve snímači **rozloženo na jednotlivé vlnové délky** – monochromatické složky, které jsou díky soustavě optiky zaostřeny na různé vzdálenosti.

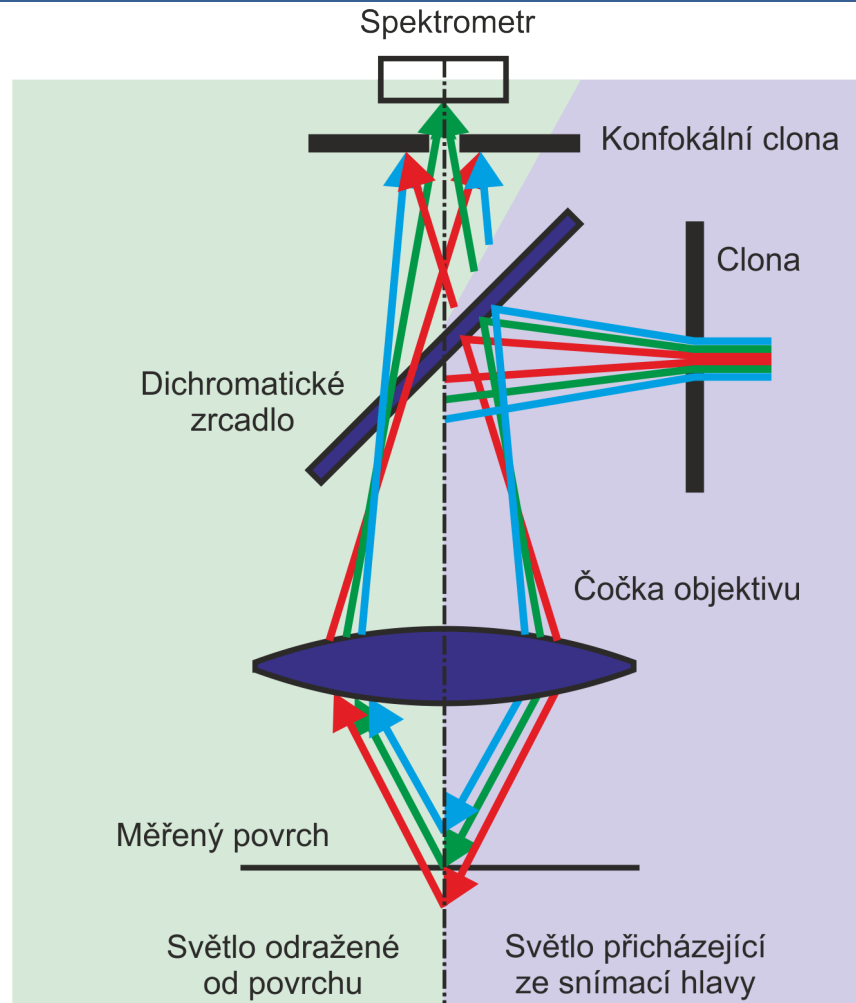
Monochromatická složka, **zaostřená** právě na měřený povrch (tzv. fokální bod čočky), je reprezentována bodem a dává **ostrý obraz**, který se od povrchu odráží.

Od povrchu se odráží i další složky rozloženého světla, ale **odraz není ostrý**.

Světlo **odražené od povrchu** se pak vrací zpět přes systém optiky.

Konfokální (bodová) **clona zamezí průchodu neostrého odraženého světla**, tedy světla z jiné než měřené roviny.

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory



Princip konfokálního snímače

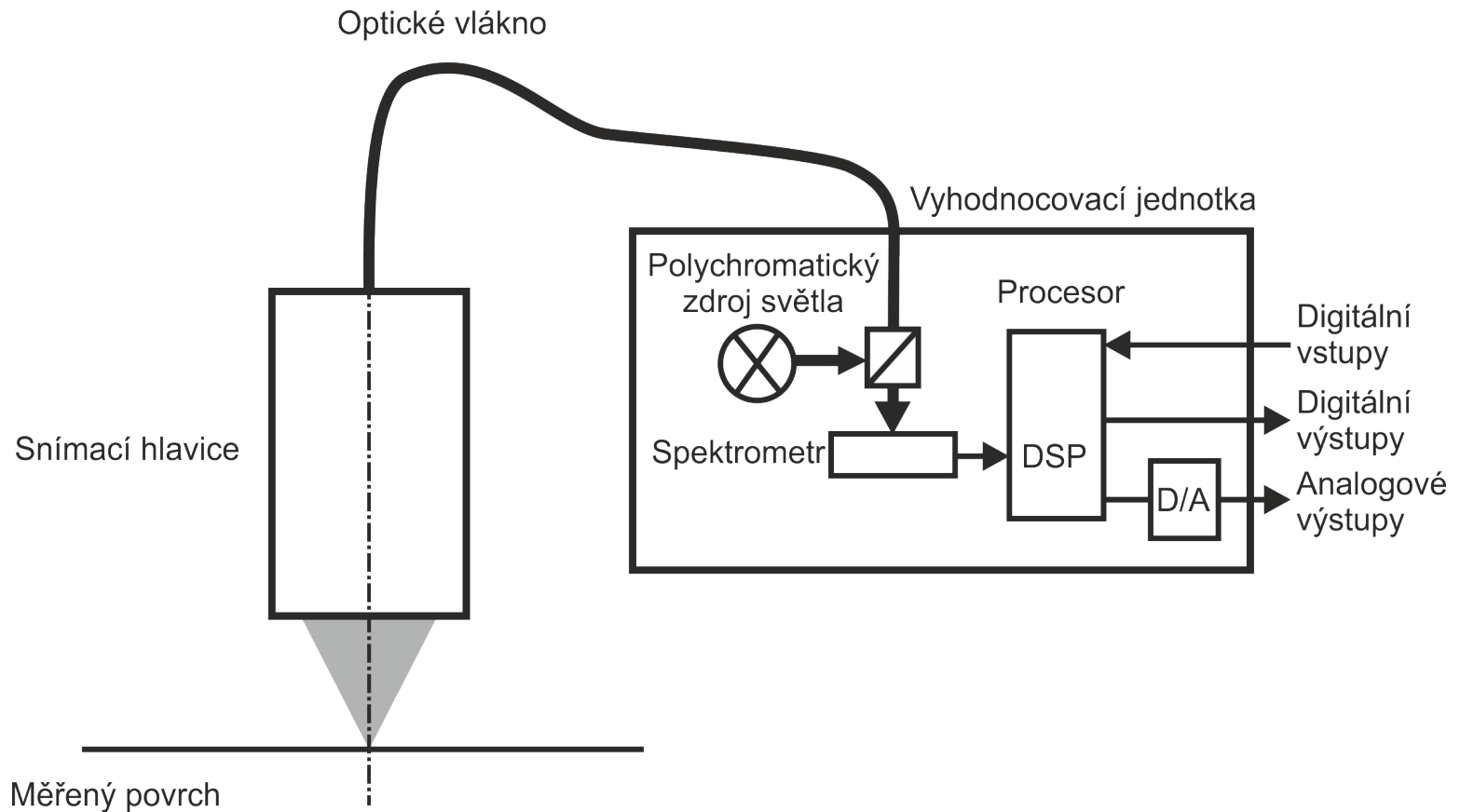


Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Na elektrooptický **detektor** (spektrometr) pak **dopadá pouze ostrý odraz** od povrchu v dané vzdálenosti.

Detektor vyhodnotí vlnovou délku a na základě jejího přepočtu v řídicí jednotce dojde ke **stanovení vzdálenosti**.

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory



Uspořádání konfokálního snímače

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Samotný snímač je nejčastěji **rozdělen na dvě části:**

- **snímací hlavici** a
- **vyhodnocovací jednotku**, tzv. kontroler.

Tyto části jsou spojeny světlovodným vláknem.

Vyhodnocovací jednotka **generuje světelný paprsek** a následně je v ní pomocí spektrometru **vyhodnocena vlnová délka světla** vracejícího se zpět ze snímací hlavy prošlého konfokální clonou.

V současné době se také začínají objevovat **kompaktní systémy, vícebodové snímače a také liniové.**

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Výhody konfokálních snímačů:

- **vysoká přesnost** uváděná v řádu nm, pro větší rozsahy se přesnost snižuje, reálně pod jednotky μm , což pro většinu průmyslových aplikací postačuje,
- **nepatrný konstantní měřicí bod**, který umožňuje měření velmi malých ploch,
- vysoce přesné měření na **lesklých površích (zrcadlech) a na skle**,
- **jednostranné měření tloušťky transparentních materiálů** (v případě dostatečné transparence materiálu a znalosti minimálně indexu lomu materiál/vzduch, ideálně i Abbého čísla),
- relativně **vysoká rychlost vzorkování** (běžné snímače mají frekvenci snímání do 25 kHz, špičkově do 70 kHz).

Optické senzory – Konfokální chromatické senzory

Nevýhody konfokálních snímačů:

- maximální **rozsah měření je v současné době do 42 mm**, v případě měření tloušťky je možné se u běžného skla přiblížit s rozsahem až k 63 mm tloušťky skla,
- **nižší je laterální rozlišení**, které je u uvedených větších rozsahů v desítkách mikrometrů,
- přesnost snímačů je závislá na dodržení **správné pozice snímací hlavice** vůči měřenému povrchu, ideálně by měla být pozice v normále vůči povrchu, ale výrobci udávají možný maximální odklon, u větších rozsahů je to jen $\pm 2,5^\circ$ (rozsah měření 42 mm), u menších rozsahů i $\pm 45^\circ$ (rozsah měření 1 mm),
- **velké rozměry a hmotnost snímacích hlavic** (s větším rozsahem měření rozměry narůstají),
- **vysoká cena.**

Senzory náklonu

Inklinometry reagují na náklon, přičemž se využívá řada principů.

- Princip **fluidních článků** – kapalinový snímač je z velké části naplněný **elektrolytem** a na jeho stěnách jsou **elektrody**. V okamžiku, kdy se těleso a tedy i snímač nakloní, **změní se výška hladiny elektrolytu** nad elektrodami a tím pádem se zvýší či sníží vodivost mezi elektrodami. Na základě toho pak snímač dokáže vyhodnotit, jak veliký je sklon – a to s velkou přesností.
- Princip **magnetického kyvadla** – vychýlení je uvnitř snímáno dvěma **Hallovými senzory magnetického pole** (každý pro jednu polaritu náklonu). Přesněji řešeno kyvadlo je zde realizováno jako miniaturní **drážka ve tvaru „V“**, ve které se pohybuje **kulička z magnetického materiálu**.

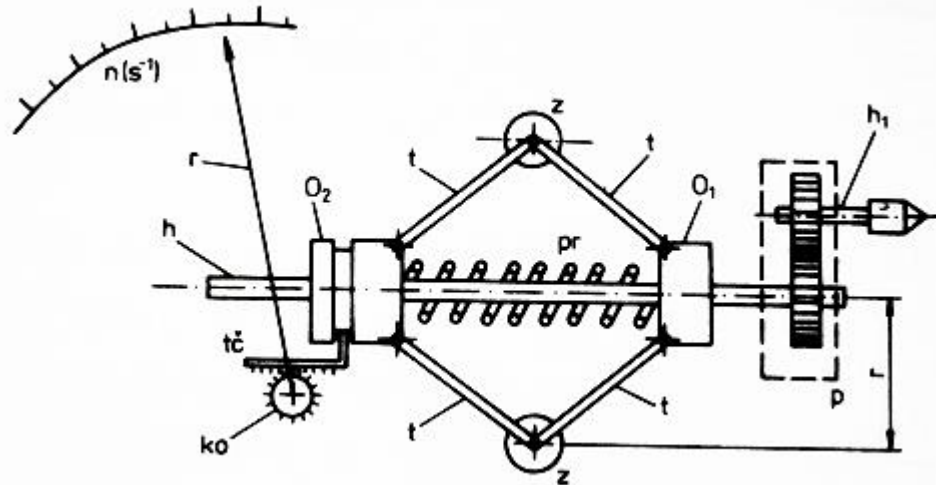
Senzory náklonu



Senzory otáček

Senzory otáček je možné dělit podle použitého principu na:

- **mechanické**, které založené na působení odstředivé síly (klasickým příkladem je Wattův odstředivý snímač),
- **indukční spojitě**, které jsou založené na působení elektromagnetické indukce (např. tachometrické dynamo, tachoalternátor, magnetický otáčkoměr),
- **impulzní**.



Senzory otáček - *Tachometrické dynamo a tachoalternátor*

Klasický indukční snímače otáček:

- **tachometrické dynamo** (tachodynamo) - generuje stejnosměrný proud,
- **tachoalternátor** - generuje střídavý proud.

Tachodynamo je precizně provedené dynamo nejčastěji s **permanentním buzením**, které má velký počet lamel kvůli malému zvlnění výstupního napětí. **Rychlost otáček je pak úměrná indukovanému elektrickému napětí** v cívce tachodynamu. Výstupní napětí má v širokém rozmezí otáček linearitu menší než 1 %. **Má komutátor**, pokud není je snímáno střídavé napětí.



Senzory otáček - Tachometrické dynamo a tachoalternátor

Tachoalternátor je provedením podobný tachodynamu, jen napětí není snímáno komutátorem, ale kroužky nebo jednoduchým vynutím. Získané napětí je úměrné otáčkám co do amplitudy i co do frekvence.

Svojí konstrukcí připomíná **jednofázový indukční motor**. Na statoru má dvě cívky prostorově natočené o 90° - **budící B**, napájenou střídavým napětím, a **snímací S**, ve které se indukuje výstupní střídavé napětí.

Senzory otáček - Impulzní senzory otáček

Impulzní senzory během otáček **sejmou jeden nebo více impulzů** získaných na základě různých principů:

- indukční,
- Hallovy,
- pneumatické,
- kapacitní,
- optické,
- stroboskopické.

Lze tak měřit:

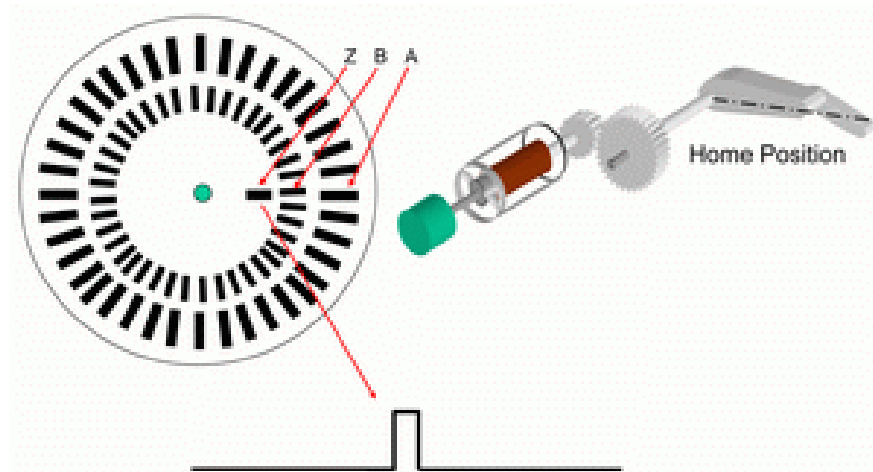
- **počet impulzů za jednotku času** nebo
- **čas mezi dvěma**, po sobě následujícími, impulzy.

Senzory otáček - Impulzní senzory otáček

V průmyslové automatizaci je možné se setkat se senzory otáček již uvedenými dříve.

Příkladem jsou: **inkrementální rotační fotoelektrické senzory.**

Využit lze i další snímače polohy pro detekci většinou „zubů“ umístěných na otáčející se hřídeli. Použitelné jsou snímače optoelektrické, indukční, pneumatické, Hallova sonda...



Senzory tlaku a síly

Měření tlaku kapalin, plynů a par je v průmyslové praxi velmi běžné.

Senzory tlaku a síly využívají stejných principů, které lze obecně rozdělit na snímače:

- kapalinové,
- deformační (využívající např. membrány, trubice, vlnovce, nosníků),
- odporový piezorezistivní (na křemíkové membráně),
- odporový se tenzometry,
- kapacitní,
- piezoelektrický,
- rezonanční,
- indukčnostní,
- optoelektrický.

Senzory tlaku a síly

Taktilní snímače jsou prvky, které jsou schopné snímat dotyk s objektem vnějšího prostředí a převádět ho na elektrický signál.

Snímače mohou být seskupeny do matice a pak jsou získávána rastrovaná (obrazová) data. Taktilní snímače mohou být založeny na několika fyzikálních principech a pak se dělí na zařízení:

- **s použitím elastomeru** (nejčastěji sycená pryž grafitem nebo železným prachem), elastomer mění svůj elektrický odpor v závislosti na působící síle, lze spojitě měřit velikost tlaku (v procentech), je však obtížný převod na absolutní hodnotu tlaku, mohou být také řešeny maticově, např. 16 400 (128 × 128) senzorů o rozměrech 2,5 × 2,5 mm na ploše 500 × 500 mm, 1 000 fps, rozlišení 8 bitů (256 úrovní zatížení),

Senzory tlaku a síly

- **s tenzometry**, což jsou většinou jen samostatné („bodové“) snímače, používány jsou drátěné, foliové a polovodičové snímače,
- **kapacitní**, která nejčastěji využívají změn společných ploch elektrod, deskových nebo častěji ve tvaru sousých válců, mezi elektrody je vložen pružný člen,
- **s piezoelektrickými materiály**, které využívají piezoelektrický jev, jsou konstrukčně velmi jednoduché, malé, ale mají velký vnitřní odpor, jsou vhodné pro snímání dynamických sil (vibrací),

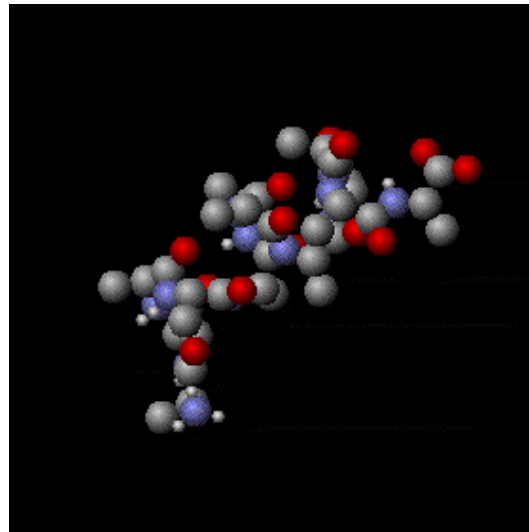
Senzory tlaku a síly

- ***s optickými vlákny***, v nichž vnější vlivy modulují procházející světlo (nejčastěji jeho amplitudu, dále také fázi, polarizaci nebo spektrální vlastnosti), zdrojem světla je laser, laserová dioda nebo LED, používá se nejčastěji změny amplitudy vyvolané např. mikroohybem, změnou vzájemné optické vazby, změnou tlumení, změnou přechodu a odrazu světla.

Užití taktilních snímačů je široké, od **detekce objektu** „hmatem“, přes **hmatové úchopné senzory**, **náhrady částí těla** až po **bezpečnostní a naváděcí prvky**.

Senzory teploty

Teplota souvisí s kinetickou energií částic látky.



Měření teploty:

- kontaktní a
- bezkontaktní.

Senzory teploty – kontaktní senzory teploty

Kontaktní senzory teploty mohou být **založeny na několika fyzikálních principech.**

Obecně rozeznáváme především tyto typy teploměrů:

- Kapalinové teploměry.
- Plynové teploměry.
- Teploměry tenzní.
- Bimetalové teploměry.
- Bimateriálové teploměry.
- **Odporové teploměry (elektrické).**
- **Termoelektrické teploměry (elektrické).**

Elektrické senzory pro měření teplot využívají přesné definice teplotní závislosti některé **elektrické veličiny na teplotě.**

Jsou díky svému elektrickému výstupu nejrozšířenějšími v automatizaci.

Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

Odporové teploměry využívají **závislost elektrického odporu vodiče (resp. polovodiče) na teplotě.**

Podle použitého principu měření teploty rozdělujeme dotykové snímače na:

- odporové kovové,
- odporové polovodičové,
- polovodičové s PN přechodem.

Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

U odporových kovových teploměrů atomy krystalové mřížky kovu s rostoucí teplotou zvyšují amplitudu svých kmitů a kladou tak větší odpor průchodu elektronů.

Změna elektrického odporu kovů v závislosti na teplotě

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha_R \cdot \Delta t$$

Kde α_R [K⁻¹] je teplotní součinitel odporu a R_0 odpor při teplotě 0 °C a Δt je změna teploty.

Pro kovové senzory teploty se většinou využívá **platina** pro její chemickou netečnost, časovou stálost, vysokou teplotu tavení a také pro možnost dosažení vysoké čistoty (pohybuje se v rozmezí 99,9 až 99,999%).

Kromě platiny se můžete setkat též s **niklem, mědí, molybdenem nebo některými slitinami.**

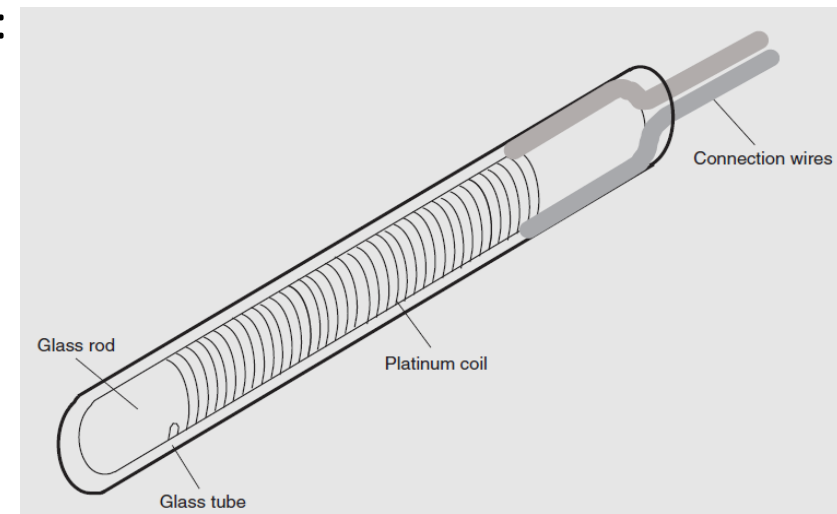
Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

Výhody odporových kovových teploměrů:

- široký teplotní rozsah,
- vysoká odolnost vůči elektrickému rušení,
- vysoká přesnost,
- dlouhá životnost,
- vynikající dlouhodobá stálost odporu.

Nevýhody odporových kovových teploměrů:

- citlivost na magnetické pole (především při nižších teplotách),
- citlivost na vibrace.



Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

V případě **odporových polovodičových teploměrů** je změna odporu způsobena teplotní závislostí koncentrace nosičů náboje.

U polovodičů je třeba k uvolnění elektronů dodat energii:

- elektromagnetického pole,
- elektromagnetickým zářením,
- nebo formou tepla.

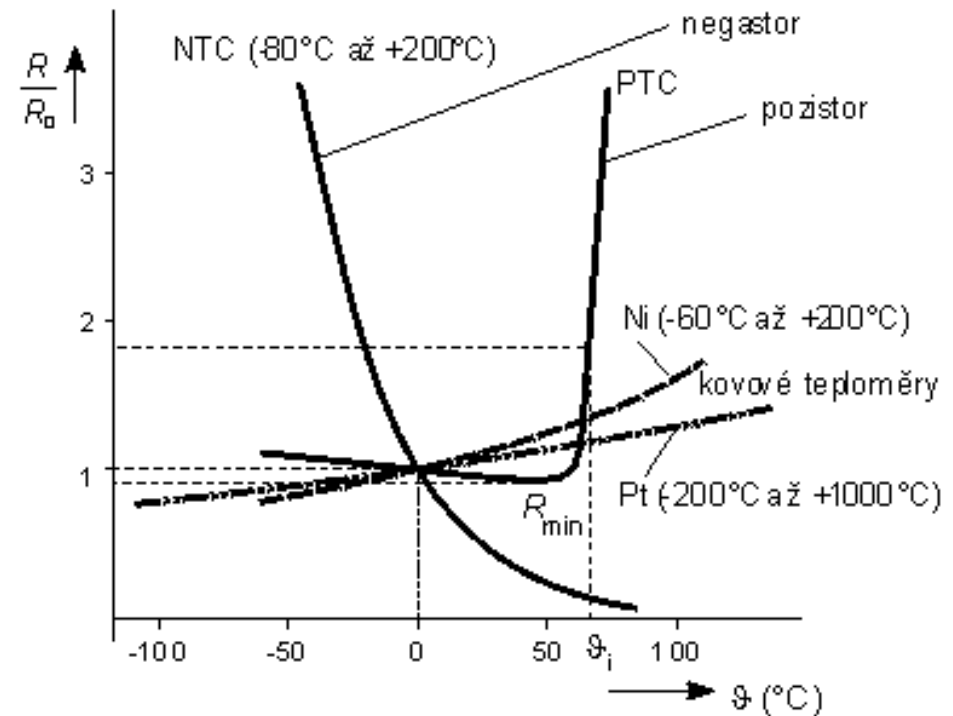
Čím je vyšší teplota, tím se zvětšuje koncentrace volných elektronů a elektrický odpor se zmenšuje.

Používají se především pro měření nízkých a středních teplot v rozmezí 4,2 K až 600 K (-268,95 °C až 326,85 °C).

Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

Rozdělení:

- termistory:
 - negastory (termistor NTC - Negative Temperatur Coefficient),
 - posistory (termistor PTC - Positive Temperatur Coefficient),
- monokrystalické Si snímače.



Kontaktní senzory teploty – Odporové teploměry

Mezi **polovodičové snímače s přechodem PN** můžeme zařadit diody a tranzistory.

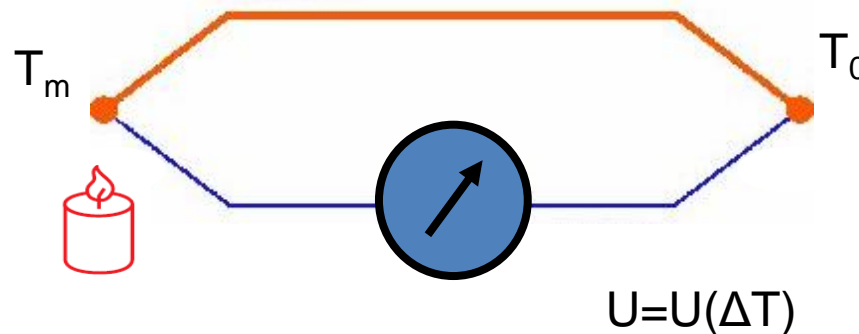
Používají se v rozsahu teplot 1 K až 400 K.

Snímače jsou založeny na teplotní závislosti PN přechodu.

Kontaktní senzory teploty – Termoelektrické teploměry

Princip: **Seebeckův jev** (1821).

Termoelektrický článek (termočlánek) – 2 vodiče z odlišných materiálů na obou koncích vzájemně vodivě spojeny - jeden spoj se nazývá měřící a druhý srovnávací → rozdíl teplot obou konců → termoelektrické napětí.

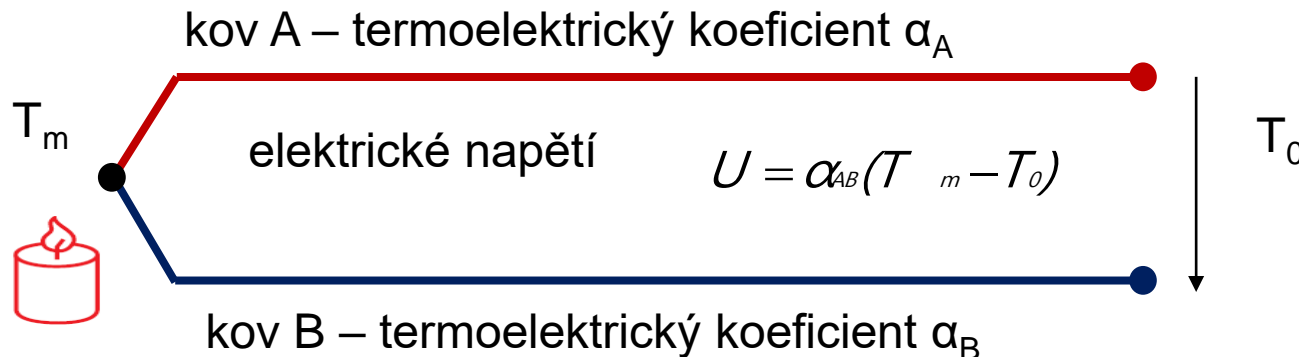


$$U = \alpha_{AB}(T_m - T_0)$$

Kontaktní senzory teploty – Termoelektrické teploměry

Rozdíl v součtu napětí v jednotlivých drátech z různých materiálů udává měřitelné napětí, které **je měřítkem teplotní difference mezi místem spojení obou drátů a koncovkami měřicího přístroje.**

Termoelektrické napětí tedy **závisí na teplotách spojů** a **nikoliv na rozložení teploty podél vodičů** (pokud jsou materiály vodičů homogenní).

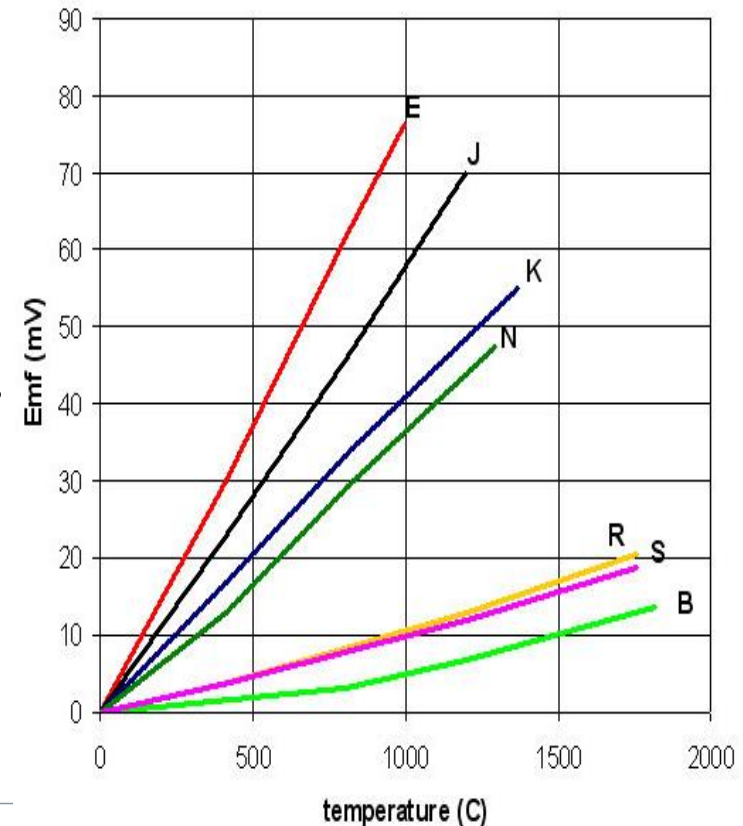


Kontaktní senzory teploty – Termoelektrické teploměry

Pro fungování termočlánku (detekci elektrického napětí) musí být splněny podmínky:

- rozdílné Seebeckovy koeficienty materiálů drátů,
- rozdílné teploty na obou koncích,
- pouze dva spoje.

Na základě druhu kombinovaných materiálů se stanoví reprodukovatelná závislost termoelektrického napětí na teplotní diferenci mezi vnesenou teplotou a referenčním bodem.



Kontaktní senzory teploty – Termoelektrické teploměry

Nejčastější typy termoelektrických teploměrů jsou :

Platina- Rhodium-Platina (Pt-RhPt) Typ S, Typ R: teplotní rozsah 0 až 1 300°C, nízký koeficient teplotního napětí, velmi přesný a reprodukovatelný, odolný proti oxidaci a korozi také při vyšších teplotách.

Nikl-Chrom-Nikl (NiCr-Ni) Typ K: teplotní rozsah -50 až 1 000°C, nízký koeficient teplotního napětí, relativně přesný a odolný, dostatečná linearita křivky napětí, od 600 stupňů zokujení oxidací.

Železo-Měď-Nikl (Fe-CuNi) Typ J: teplotní rozsah -200 až 700°C, (ne nad 760°C!), vysoký koeficient teplotního napětí, bez stálosti termoelektrických vlastností v čase, železo je silně náchylné ke korozi.

Kontaktní senzory teploty – Termoelektrické teploměry

Výhody použití termoelektrických teploměrů:

- schopné měřit teplotu v širokém rozsahu,
- velmi malé rozměry,
- rychlá odezva,
- malá hmotnost,
- ohebnost (u plášťových termočlánků),
- mechanická odolnost (drsné pracovní podmínky, rázy, otřesy, vibrace).

Nevýhody použití termoelektrických teploměrů:

- nelineární převodní charakteristika,
- velké výrobní tolerance (odchyly, nejistoty),
- ovlivňování přesnosti změnami přechodových odporů,
- potřeba kvalifikované obsluhy,
- obtížné měřit na pohybuících se objektech.

Bezkontaktní senzory teploty

Dnes velmi populární.

Při měření je nutno znát **co** a **jak** měříme.

Mnohem vyšší nároky na znalosti při **nastavení snímače, kalibraci a interpretaci** výsledků.

Pro bezkontaktní detekci teploty jsou **používány senzory** dvou provedení (rozděleno podle interakce fotonů s materiálem senzorů):

- tepelné,
- kvantové.

Provedení snímače:

- bodové (pyrometry),
- řadové (snímání teplotních polí, termografie),
- plošné (snímání teplotních polí, termografie).

Bezkontaktní senzory teploty

Výhody použití bezdotykového měření:

- zanedbatelný vliv měřicího zařízení na měřený objekt,
- možnost měření teploty na rotujících nebo pohybujících se objektech,
- měření teploty z bezpečné vzdálenosti (elektrická zařízení, hutní provozy, ...),
- možnost měření rychlých změn (při správném nastavení),
- u termografie lze měřit a počítačově vyhodnocovat celá teplotní pole.

Nevýhody použití bezdotykového měření jsou především **nejistoty** měření **způsobené**:

- neznalostí správné hodnoty emisivity povrchu tělesa,
- neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí mezi čidlem a objektem
- nepřesnou korekcí parazitního odraženého záření z okolního prostředí na měřený objekt.

Bezkontaktní senzory teploty - *Tepelné snímače*

Založeno na **absorpci fotonů, které způsobí oteplení citlivé části detektoru** a pohlcená energie se vyhodnocuje nepřímo.

Fungují tak na principu změny elektrických vlastností v závislosti na intenzitě dopadajícího infračerveného záření.

Snímače pak mohou být:

- termoelektrické, jedná o sériově řazené termoelektrické články, které jsou konstruovány jako tenké kovové pásy získané technologií tenkých vrstev,
- pyroelektrické, využívají pyroelektrického jevu, jsou založeny na spontánní polarizaci při změně teploty.

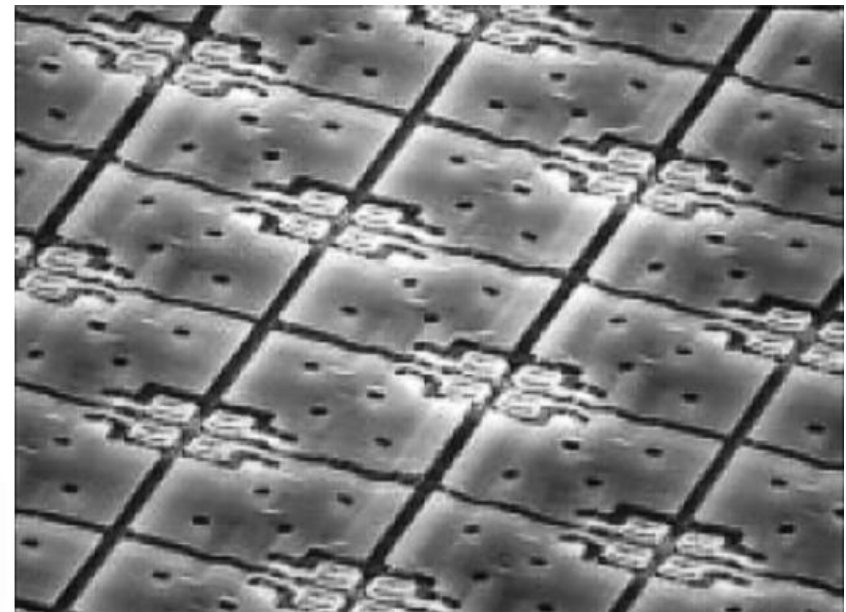
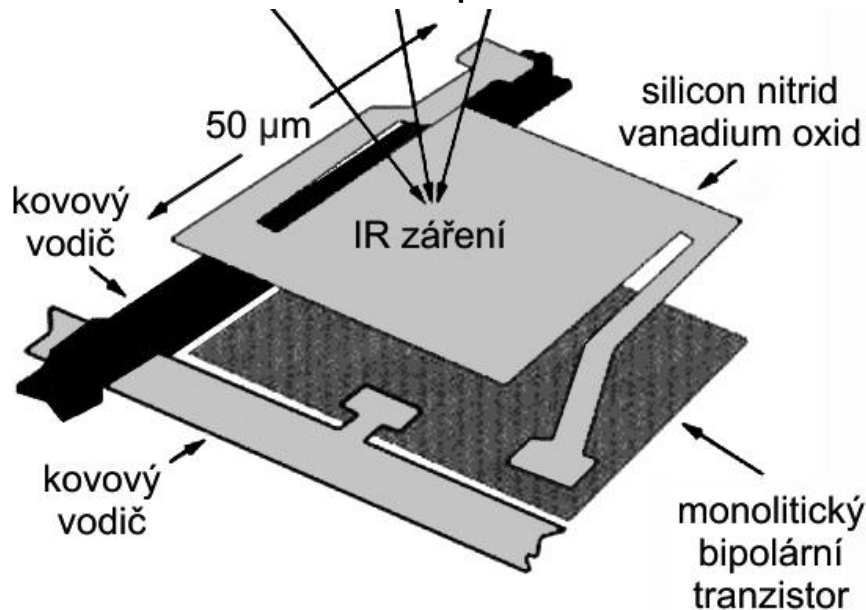
V obou případech je měřeno napětí. Pouze bodové snímače.

- bolometrické, založeny na změně elektrického odporu, pohlcené záření způsobí změnu teploty odporového čidla a tím i změnu jeho elektrického proudu. Intenzita dopadajícího záření může být tedy určena ze změny odporu bolometru.

Tepelné snímače – **Bolometrické snímače**

Aby byla změna teploty bolometru úměrná pouze absorbovanému infračervenému elektromagnetickému záření, musí být vlastní bolometr tepelně izolován od svého okolí.

Pro získání obrazových dat se používají tzv. mikrobolometry, které vytvářejí mikrobolometrické pole.



Tepelné snímače – Bolometrické snímače

Dnešní mikrobolometry jsou běžně složeny ze stovek tisíců bolometrů.

Nejčastějšími používanými materiály senzorů detekující IR záření v mikrobolometrech jsou **amorfní křemík** a **oxid vanadičný**.

Výhodou tohoto detektoru je, že **detektivita není závislá na vlnové délce**.

Tento typ snímačů je používán pro běžné průmyslové aplikace, a to především z důvodu jeho **nižší ceny** a také tyto **senzory nevyžadují chlazení** pro svoji funkci, čímž se **zjednodušuje** jejich použití a také se **snižuje jejich hmotnost**.

Kvantové snímače

Kvantové snímače jsou založeny na principu vnějšího nebo vnitřního fotoefektu.

V praxi se v současné době uplatňují především snímače polovodičové, tedy založené na vnitřním fotoefektu. Fungují tak na stejném principu snímače pro viditelné spektrum a mohou být také založeny buď na **fotovoltaickém** nebo **fotovodivostním** principu.

Fotovodivostní snímače mají v porovnání s fotovoltaickými snímači obvykle vyšší citlivost a větší odstup signálu od šumu, ale je nutné je obvykle chladit na velmi nízké teploty. Proto jsou častěji používány snímače na fotovoltaickém principu.

Kvantové snímače

Oproti bolometrům jsou **kvantové snímače citlivější**, ale mají schopnost detekovat záření pouze **v úzkém rozsahu vlnových délek** (snímače jsou úzkopásmové).

Pásmo citlivosti je odlišné v závislosti na jejich typu:

- PtSi pro pásmo 3 600 až 5000 nm,
- InSb pro pásmo 1 000 až 5 500 nm,
- QWIP (Quantum Infrared Photon Detector) založený na substrátu GaAs pro pásmo kolem 8 000 nm,
- HgCdZnTe pro pásmo 2 000 až 12 000 nm,
- InGaAs pro pásmo 900 až 1 700 nm,
- SiAs pro pásmo 5 000 až 28 000 nm.

Všechny uvedené typy jsou založeny na fotovoltaickém principu a mohou být bodové (použití u pyrometrů), řádkové nebo plošné (termovize) a ve většině případů je nutné je aktivně chladit.

Kvantové a tepelné snímače - porovnání

Porovnání kvantových a tepelných snímačů

Vlastnost	Kvantový snímač	Tepelný snímač
Spektrální citlivost	Omezená	Široká
Citlivost	Vysoká	Nízká
Časová konstanta	Velmi krátká (cca μs)	Střední (cca ms)
Nejčastější typ	PtSi a InSb, QWIP	Mikrobolometr
Pracovní teplota	Nízká (nutné chlazení)	Pokožová (lze chladit)
Cena	Vysoká	Nízká

Kvantové a tepelné snímače - porovnání



Další senzorika

Existuje celá škála senzorů.

V této části jsou uvedeny jen heslovitě s případným komentářem významu k automatizaci.

Další senzorka

Zvukové senzory (zpravidla mikrofony) detekují mechanické vlnění v látkovém prostředí (zvuk), čímž generuje napětí úměrné hladině akustického tlaku. Jednoduchý robot může být navržen tak, aby se pohyboval na základě zvuků, které obdrží. Komplexní roboty mohou používat stejné mikrofony i pro rozpoznávání řeči a hlasu. Implementace zvukových senzorů, není tak jednoduchá, jako u světelných čidel, protože zvukové senzory generují velmi malý rozdíl napětí, který musí být značně zesílen, aby se vytvořily měřitelné změny.



Další senzorika

Senzorika pro navigaci jsou využívány pro určení polohy robotu, některé pro vnitřní nasazení (v rámci pracoviště) jiné pro venkovní účely. Lze rozeznávat:

- **GPS (Global Positioning System)** – nejčastější systém určení venkovní polohy, ale uvnitř budov nevhodný. Satelity na oběžné dráze vysílají signály a přijímač na robotu tyto signály získá a zpracuje. Zpracované informace mohou být použity k určení polohy, příp. rychlosti pohybu.
- **Digitální magnetický kompas (magnetometr)** – poskytuje navigační měření pomocí zemského magnetického pole, ale neposkytuje zpětnovazebnou informaci o dané poloze.
- **Lokalizátor** – určení polohy na základě orientačních bodů (vysílačů), které generují signál (Wi-Fi, Bluetooth, ultrazvuk, IR, rádiové vlny apod.).

Další senzorika

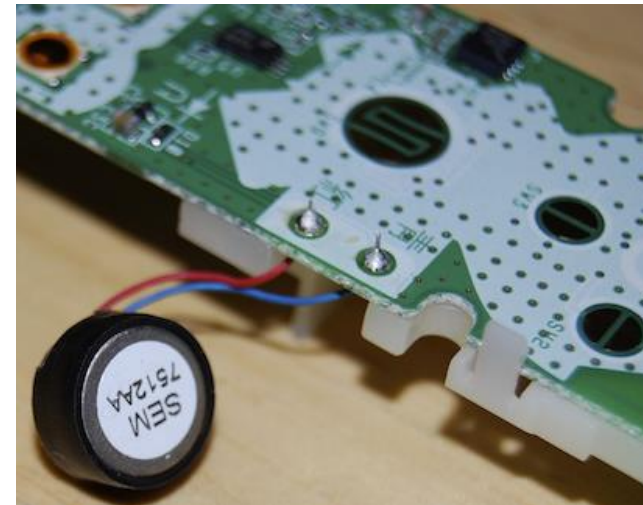
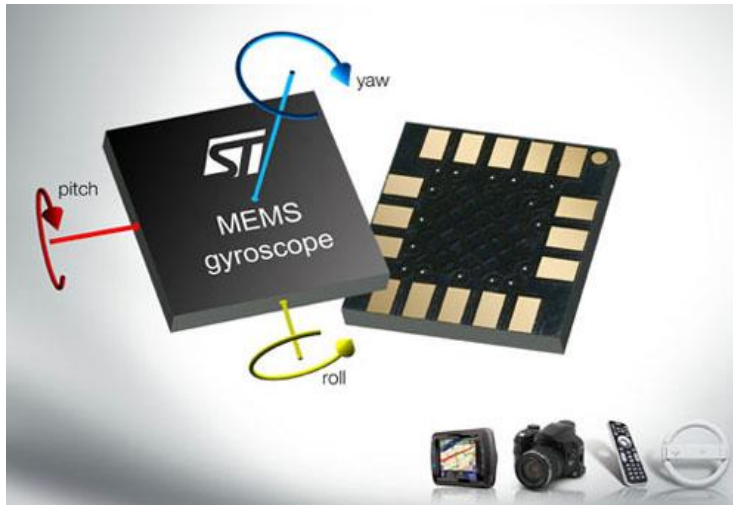
Akcelerometr je přístroj, který měří vibrace nebo zrychlení při pohybu struktur (konstrukcí, části strojů apod.). Síla způsobující vibrace nebo změnu pohybu (akceleraci) působí na hmotu snímače, která pak stlačuje piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota snímače je konstantní, je tedy elektrický náboj také úměrný zrychlení - akceleraci.

Akcelometry mohou být například:

- **Piezoelektrické akcelometry (PE)** – využívají piezoelektrický krystal, který generuje náboj úměrný působící síle, která při zrychlení působí.
- **Piezoresistivní akcelometry (PR)** – využívá mikrořemíkovou mechanickou strukturu, kde zrychlení odpovídá změně odporu.
- **Akcelometry s proměnnou kapacitou (VC)** – využívá mikrořemíkovou mechanickou strukturu, kde zrychlení odpovídá změně kapacity.

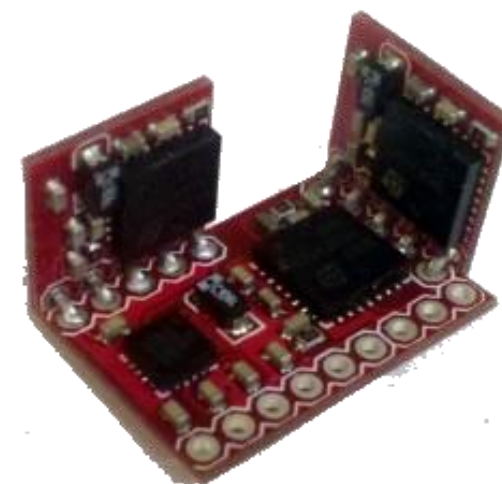
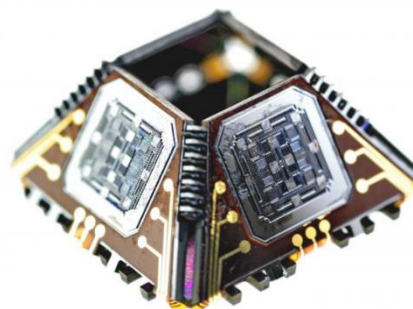
Další senzorika

Gyroskop obsahuje setrvačnick, který zachovává polohu osy své rotace v inerciálním prostoru, tj. pomáhá udržovat orientaci na **principu momentu hybnosti**. Přesnost gyroskopu závisí na stabilitě udržení jeho otáček. Precizní gyroskopy při regulaci otáček pohonu setrvačnicku využívají i optických snímačů založených na Sagnacově jevu v kruhovém laseru, nebo v cívce optického vlákna.



Další senzorika

Inerciální měřicí jednotka (IMU) je elektronické zařízení, které pomocí kombinace gyroskopů a akcelerometrů, příp. magnetometru podává informace o **zrychlení a orientaci v prostoru**. IMU je základní součástí všech inerciálních měřících systémů, které slouží k dopravním měřením.



Další senzorika

Další senzory v průmyslové praxi mohou být:

- napěťové senzory,
- proudové senzory,
- senzory měření vlhkosti,
- senzory detekce plynů,
- potenciometry (využitelné v mnoha různých aplikacích),
- magnetické senzory,
- senzory hustoty,
- senzory viskozity,
- senzory pH,
- atp.

Příště: Sensorika pro vizualizaci technologické scény