



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

Základní charakteristika a demonstrování základních principů měření veličin

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

Základní charakteristika a demonstrování základních principů měření veličin

Měření a odměřovací systémy

Informaci o stavu stroje nebo technologického procesu (řízené soustavy) získává prostřednictvím vhodně volených senzorů (snímačů, čidel), které jsou připojeny k jeho vstupům.

Snímače (senzory, čidla) snímají stavy a průběhy činností v procesech a slouží k řízení, regulaci, sledování a zabezpečení činnosti stroje nebo celého procesu. Převádějí hodnoty sledovaných veličin do formy signálů, které lze dále přenášet a zpracovávat. Nejčastěji (téměř výhradně) jsou to elektrické signály - obvykle elektrické napětí nebo proud.

1 Elektronická měření

Při kontrole, regulaci a řízení jsou přenášeny a zpracovávány elektrické signály odpovídající fyzikálním veličinám, např. měřeným hodnotám ve sledovaném či ovládaném zařízení. Jednotky převádějící měřené hodnoty na elektrické signály jsou označovány jako měřicí čidla. Měřicí čidla jsou senzory, pokud jsou jejich výstupní signály kalibrovány.

Často jsou potřebné tzv. binární signály, které indikují odchylku nějaké veličiny od požadované hodnoty nebo naopak potvrzují požadovaný stav, např. přítomnost obráběného výrobku v upínači stroje. Zdroje takových signálů bývají označovány jako snímače, sondy, detektory nebo senzory (od latinského *sensus* - vnímání, vjem).

Binární signály jsou často využívány při kalibrování krajních poloh nástrojů nebo měřících systémů. Ze signálů sloužících ke kalibraci lze často odvodit i měřenou hodnotu.

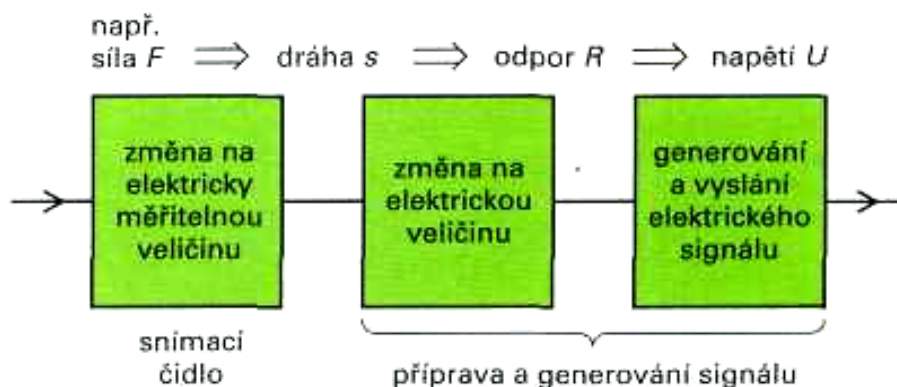
1.1 Rozdělení senzorů

Senzory (*snímače*) jsou prvky elektrických obvodů, jejichž elektrické vlastnosti nebo chování je ovlivňováno sledovanou veličinou, a to elektrickou, např. proudem, výkonem atd. nebo neelektrickou veličinou, např. silou, teplotou atd..

Obsahují snímací 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.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Např. měření síly je nejprve převedeno prostřednictvím elastické deformace na měření dráhy (jezdce potenciometru) a měření dráhy pak na měření poměru elektrických odporů, které je převedeno na změnu úbytku napětí (obr. 1-1).



Obr. 1-1 Příklad struktury senzoru [1]

Podle způsobu přeměny neelektrické veličiny na elektrickou z hlediska energetické bilance rozlišujeme pasivní a aktivní senzory (obr. 1-2).

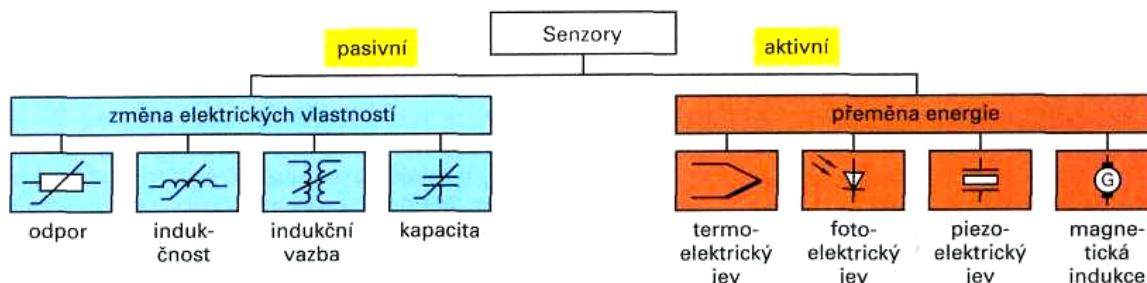
Aktivní senzory převádějí přímo mechanickou, tepelnou, světelnou nebo chemickou energii na energii elektrickou. Aktivní senzory jsou tedy zdroje napětí založené na nějakém transformačním efektu (jevu), jako např. termoelektrickém, fotoelektrickém, piezoelektrickém nebo též elektrochemickém (resp. chemicko-elektrickém) jevu.

Pasivní senzory mění vlivem neelektrických veličin své elektrické vlastnosti, tj. svůj elektrický odpor, kapacitu nebo indukčnost. Vlivem teploty se např. změní odpor fotorezistoru, vlivem akustického tlaku se mění kapacita kondenzátorového mikrofonu a vlivem tlaku se může změnit poloha železného jádra v cívce a tím její indukčnost.

K vyhodnocení elektrických vlastností pasivních senzorů je vždy zapotřebí zdroj elektrické energie. Změna odporu pasivního senzoru může být vyhodnocena pomocí kompenzačního měřicího můstku, který rovněž potřebuje dodávku energie z napájecího zdroje.

Při měření teploty pomocí teplotně závislého odporu, termistoru, se mění s teplotou jeho elektrický odpor. Senzor pro měření kyselosti mění svůj elektrický odpor v závislosti na vlastnostech elektrolytu, který je mezi jeho dvěma elektrodami.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1-2 Druhy senzoru [1]

Snímače (čidla, senzory) snímají časový průběh měřených veličin a převádějí je na jinou fyzikální veličinu (měronosnou veličinu) – signál. Tyto signály musí být v jednoznačné závislosti k měřené veličině. Snímače jsou součástí měřících a diagnostických řetězců, kde plní funkci vstupního členu.

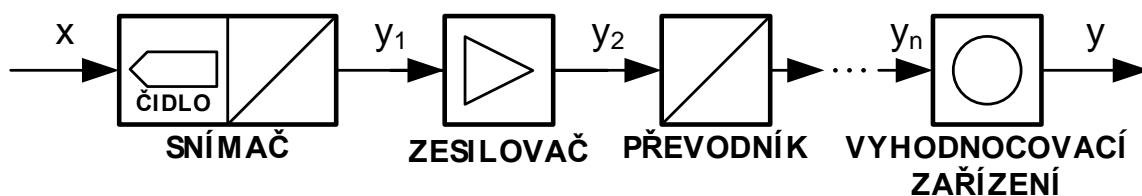
Snímané signály rozdělujeme na spojité a nespojité. Spojitý (analogový signál) se mění s časem spojitě a mírou velikosti měřené veličiny je amplituda signálu. Spojité signály se zpracovávají analogovými přístroji. Nespojité (digitální, číslicové) signály se mění s časem nespojitě. Mírou velikosti signálu je amplituda v rozsahu 0 – 100%, šířka signálu je přitom konstantní. Nespojitý signál lze též získat z analogového vzorkováním ve zvolených časových intervalech.

Další možné rozdělení snímačů:

a) klasické snímače

Často se používají analogové senzory, které hodnoty spojitých (analogových) veličin převádějí na odpovídající hodnoty spojitého signálu, který se přivádí na analogové vstupy systému. Zde je ve vstupním analogově-číslícovém převodníku (A/D) transformován na odpovídající číselnou hodnotu vstupní proměnné v potřebném formátu. Před dalším výpočtem provádí program řídicího systému ještě předzpracování vstupních údajů, např. převedení údaje přečteného z převodníku na údaje vyjádřené v obvyklých inženýrských jednotkách, např. filtraci a potlačení šumů, ověření věrohodnosti a platnosti údajů, rozpoznání změn a trendů. Snímače realizují pouze převod (obr. 1-3) měřené veličiny (elektrické nebo neelektrické) na veličinu jinou. V dnešní době je snaha o takovou integraci komponent měřícího řetězce, aby byl výstupní signál určený pro další zpracovávání v digitální formě.

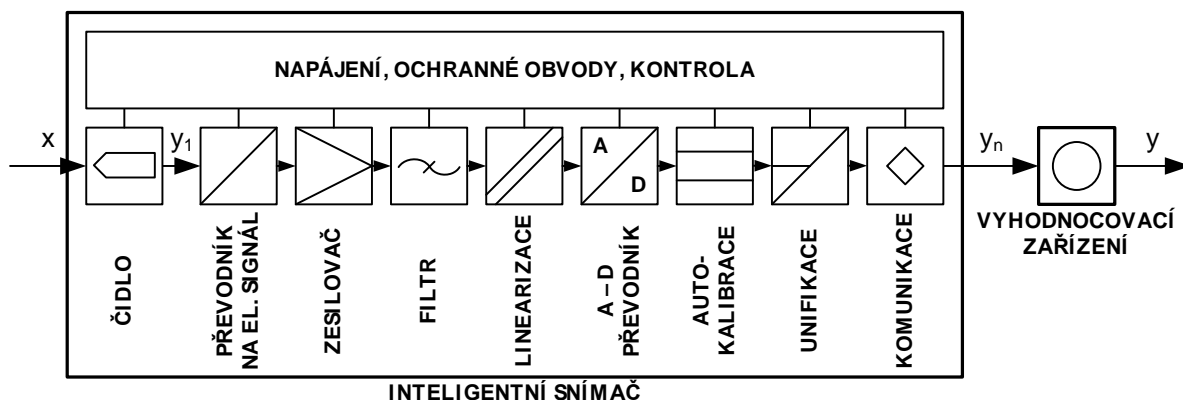
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1-3 Měřicí řetězec s klasickým snímačem

b) *inteligentní snímače*

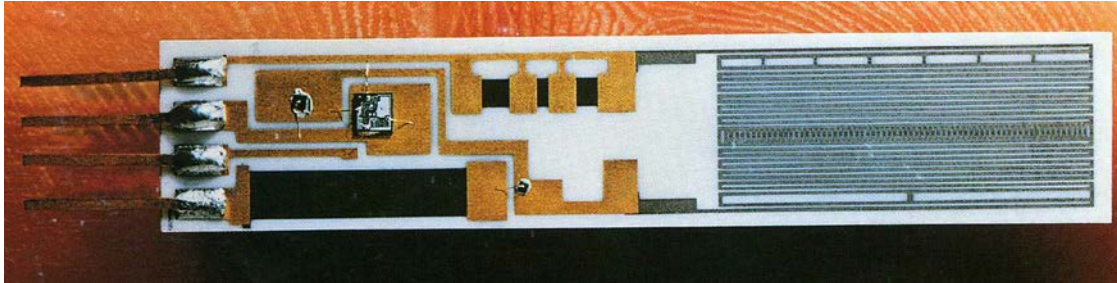
Obsahují obvody pro zpracování a analýzu signálu z čidla v jediném kompaktním provedení spolu s čidlem. Cílem je integrace měřícího řetězce na jediný čip. U některých inteligentních snímačů (obr. 1-4) bývá vyhodnocovací část snímače oddělena z důvodů extrémních provozních podmínek.



Obr. 1-4 Inteligentní snímač s měřícím řetězcem

Stále častěji jsou dnes používány (obr. 1-5) tzv. chytré senzory (smart), které v sobě obsahují analogově/číslcové převodníky a předávají číslcový údaj o měřené hodnotě, případně již předzpracovaný a zkontrolovaný. Chytré senzory obvykle poskytují ještě další funkce a služby, např. kontrolu komunikace a správného doručení údaje, kontrolu správné funkce senzoru, jeho dálkové nastavení apod. Číselné údaje jsou přenášeny prostřednictvím sériové komunikace rozhraním a komunikačním protokolem některé z průmyslových sběrnic (např. AS Interface, Profibus DP, CAN, Device Net, Interbus), v poslední době i prostřednictvím průmyslové verze Ethernet.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



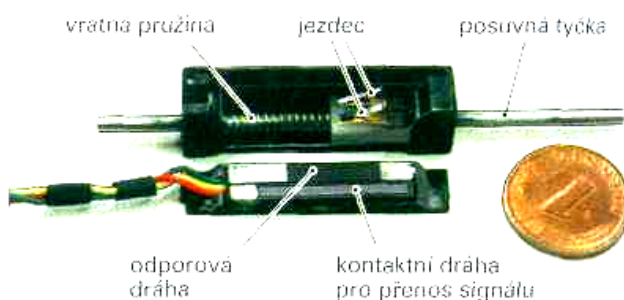
Obr. 1-5 Příklad smart senzoru a jeho velikost [4]

Požadavky kladené na snímače:

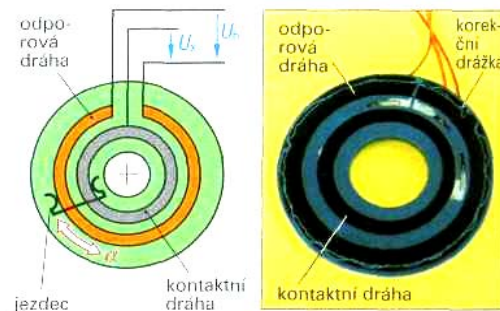
- co největší přesnost sledování časového průběhu měření veličiny a jeho jednoznačnost
- vhodný průběh převodní charakteristiky
- časová stálost vlastností
- vhodná časová konstanta
- malá závislost na okolních parazitních vlivech
- co nejmenší vliv na měřený obvod
- spolehlivost
- jednoduchost konstrukce

1.2 Analogové snímače

Snímače dráhy, úhlu mohou se použít potenciometrické snímače s jezdcem. Posouváním jezdece tahového (lineárního) potenciometru nebo otáčením jezdece otočného potenciometru se mění jeho výstupní odpor (obr. 1-6 a obr. 1-7). Je-li potenciometr použit jako dělič napětí, je výstupní napětí U_x úměrné poloze jezdece, tj. vzdálenosti x od konce dráhy s nulovým potenciálem. Lineární potenciometry se používají jako mechanické měřicí snímače a k odměřování dráhy strojních posuvů. Otočné potenciometry se používají k měření úhlu nebo k odměřování úhlu natočení mechanismů, např. ramen průmyslových robotů.



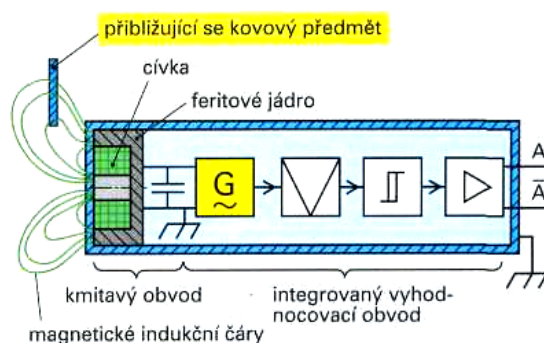
Obr. 1-6 Tahový (lineární) potenciometr [1]



Obr. 1-7 Otočný potenciometr [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Indukční bezdotykové koncové spínače nebo též přibližovací indukční spínače, které spínají při přiblížení kovového předmětu (obr. 1-8). Z cívky v otevřeném hrníčkovém jádře v čele snímače vystupuje vysokofrekvenční magnetické pole. Tato cívka tvoří indukčnost kmitavého obvodu LC, buzeného oscilátorem na vlastním (rezonančním) kmitočtu většinou několika kHz. Přiblíží-li se k čelu snímače kovový předmět, změní se vlivem vířivých proudů indukčnost cívky a tím i vlastní kmitočet obvodu. Kmity se utlumí a pokles amplitudy signálu na paralelním kmitavém obvodu vyhodnotí prahovou hodnotu a snímač sepne.



Obr. 1-8 Bezdotykový indukční spínač [1]

Kapacitní bezdotykové snímače polohy reagují na změnu dielektrické konstanty (permitivity) okolního blízkého prostředí změnou kapacity kmitavého obvodu, změnou vlastního rezonančního kmitočtu a poklesem amplitudy vynucených kmitů při rozladění kmitavého obvodu. Kapacitní snímače polohy jsou používány např. pro snímání polohy razníku stroje pro tlakové odlévání. Při řezání laserovým paprskem je pomocí kapacitního snímače polohy udržovaná požadovaná zaostřovací vzdálenost laserové hlavy od řezaného materiálu (obr. 1-9). Je přitom měřena kapacita mezi laserovou hlavou (jednou elektrodou myšleného kondenzátoru) a uzemněným kovovým řezaným materiálem (druhou elektrodou).



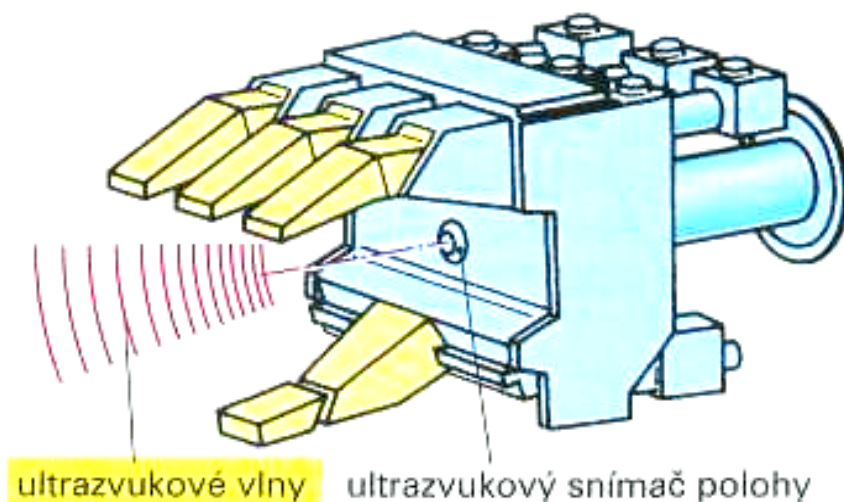
Obr. 1-9 Bezdotykový kapacitní snímač [7]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Ultrazvukové snímače polohy

Snímač je založen na měření doby, která uplyne od vyslání ultrazvukového impulzu směrem k předmětu, jehož vzdálenost je měřena do přijetí odrazu od tohoto předmětu (obr. 1-10). Vysílačem i přijímačem je buď reproduktor s malou kovovou membránou, nebo piezoelektrický krystal.

Ultrazvukové snímače polohy se používají k měření vzdálenosti u automatických zaostřovacích systémů fotoaparátů a kamer, v odměřovacím systému pro parkování systémů automobilů nebo pro měření výšky hladin v zásobnících nebo výšky náplně obilního sila apod. Ultrazvukové snímače v úchopech (uchopovacích svíracích systémech) robotů umožňují rozpoznání předmětů a jejich vzdálenosti od úchopu.



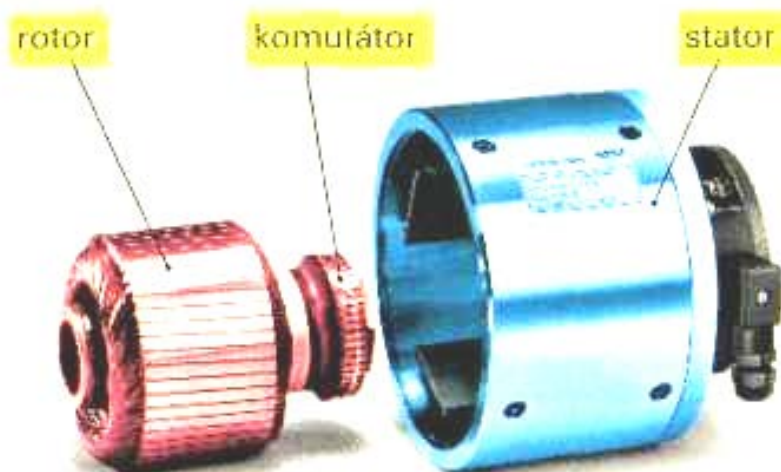
Obr. 1-10 Ultrazvukový snímač polohy [7]

Snímače rychlosti

Stejnoseměrné tachogenerátory (tachodynamy)

Ke snímání úhlové rychlosti se používají malé stejnosměrné tachogenerátory, nazývané též tachodynamy (obr. 1-11). Dávají na výstupu stejnosměrné napětí úměrné otáčkám, tj. úhlové rychlosti, nebo též frekvenci otáček. Tachodynamy se používají ke snímání otáček pohonu posuvů i hlavního vřetena číslicově řízených strojů.

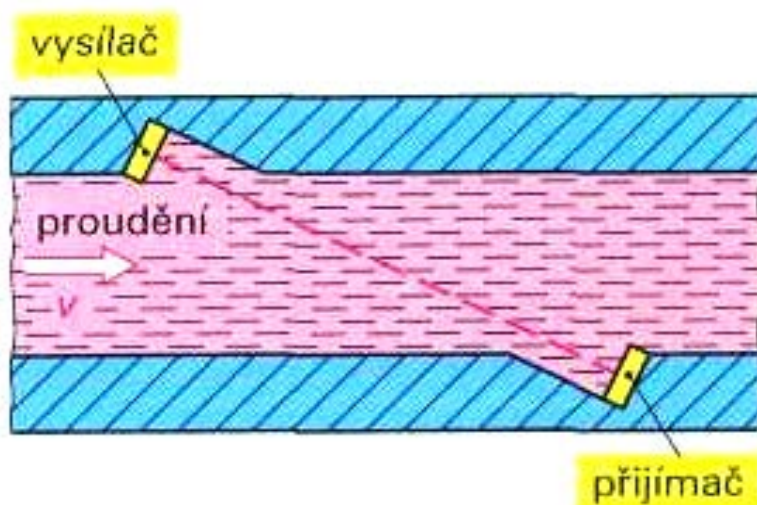
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1-11 Tachodynamo [7]

Ultrazvukový snímač rychlosti proudění

Ultrazvukový snímač rychlosti proudění se skládá z vysílače a z přijímače (obr. 1-12). Mezi nimi se k rychlosti ultrazvuku v prostředí proudící látky přičítá rychlost proudění. Doba mezi vysláním a přijetím ultrazvukového impulzu (signálu) je tedy závislá na rychlosti proudění přenášejícího signál, a je proto možné z této doby vypočítat rychlost proudění.

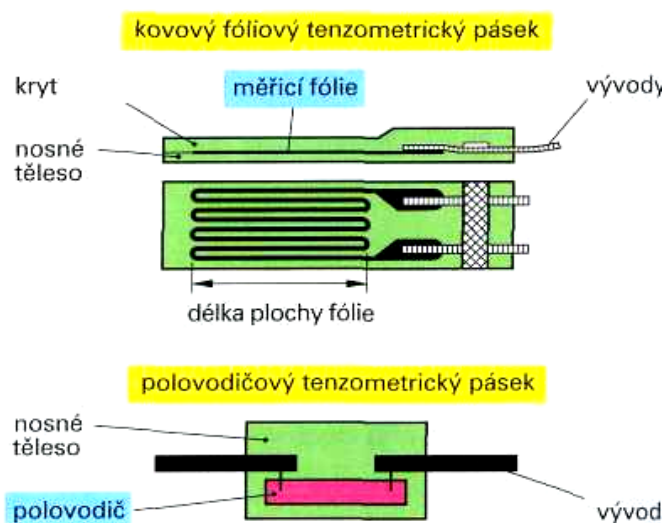


Obr. 1-12 Ultrazvukový snímač rychlosti [7]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Snímače napětí, síly, kroutícího momentu a tlaku

Odporové tenzometrickým snímače slouží k měření průhybů částí strojů, mostních a ocelových konstrukcí. Jsou používány tenzometrické pásky nebo tenzometrické dráty (obr. 1-13). Jejich účelem je umožnit měření deformací nosných konstrukcí při statickém nebo dynamickém namáhání. Při průhybu nosných dílů se některé jejich části prodlužují a jiné zkracují a stejným způsobem se mění i délka měřicích pásků nebo drátů spojených s těmito díly např. zalitím do panelu. Délkové změny měřicích pásků nebo drátů odpovídající mechanickému napětí bývají velmi malé, většinou jen desetiny až desítky μm (mikrometrů). Při natahování kovového vodiče narůstá jeho odpor, protože se zvětšuje jeho délka a zmenšuje se plocha jeho průřezu.

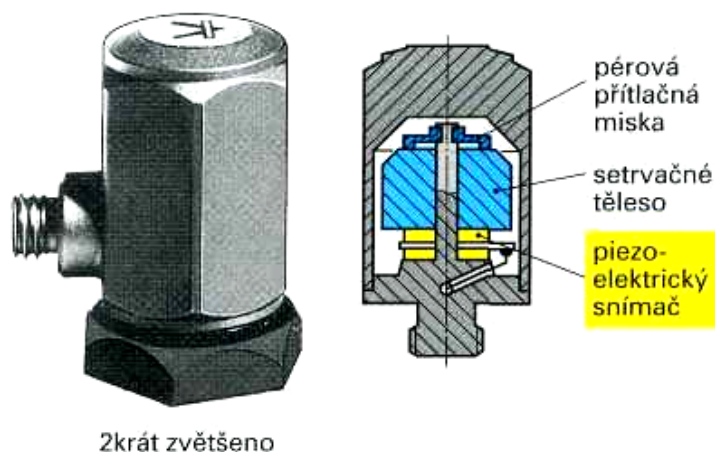


Obr. 1-13 Tenzometrické snímače [1]

Snímače zrychlení (otřesová čidla) používají většinou piezoelektrická čidla spojená s přilepenými setrvačnými tělesy na jedné straně a s pouzdem snímače na druhé straně. Při zrychlení (otřesu) pouzdra dojde k vzájemnému pohybu pouzdra a vnitřního setrvačného tělesa a tím k deformaci piezoelektrického krystalu (obr. 1-14).

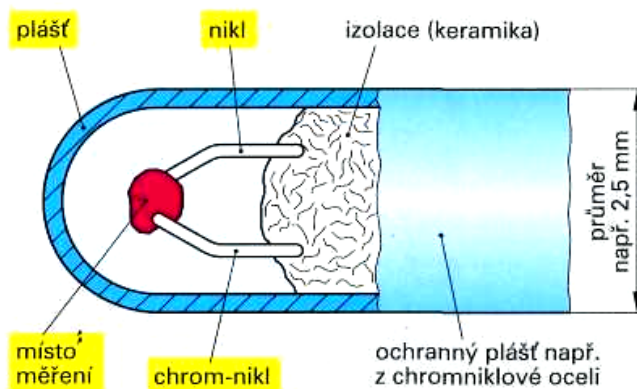
Snímače zrychlení se používají k vyhodnocení chvění strojů, např. vibrací při rezonanci na kritických otáčkách.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1-14 Snímač zrychlení – akcelerometr [1]

Snímače teploty mění tepelnou energii přímo na elektrickou energii (např. termočlánek). Termočlánek vzniká na styčné ploše dvou různých kovů. Při zahřátí termočláneku tvořeného dvěma svařenými dráty z různých kovů mají chladné konce drátů odlišný potenciál, tzn. je mezi nimi elektrické napětí. Termočláneky (obr. 1-15). se používají k měření teplot pracovních médií, oleje, chladicí kapaliny apod. nebo uvnitř reaktorů v chemickém průmyslu, ve slévárenství u strojů pro tlakové lití, atd. Termočláneky se často používají také k měření teplot povrchů vyzařujících teplo, např. k měření teploty roztavených kovů, keramických materiálů nebo roztaveného skla.



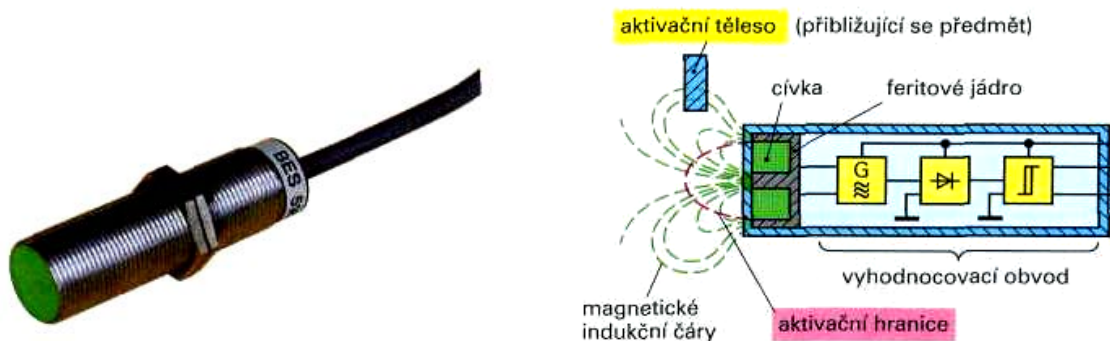
Obr. 1-15 Termočlánek zapouzdřený v sondě [1]

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.3 Binární snímače

Binární snímače mají binární výstupní signál, např. sepnuté/rozpojené kontakty, napětí 0 V/10 V nebo proud 0 mA/20 mA. Binární snímače většinou vyhodnocují, zda je snímaná analogová veličina pod nastavenou prahovou úrovní nebo nad ní. Binární snímače mohou mít podobu mechanických spínačů nebo elektronických prahových spínačů. Při překročení prahové úrovně např. prahový spínač přepne do stavu 1 a při návratu snímané veličiny zpět pod prahovou úroveň přepne zpět do stavu 0. Všechny binární snímače mají přepínací diferenci.

Indukční přibližovací snímače reagují na přiblížení kovového předmětu k cívce snímače (obr. 1-16). Cívka snímače tvoří indukčnost rezonujícího kmitavého obvodu LC. Výstupem může být také dvouhodnotový signál indikující stavem 1 přiblížení kovového předmětu. Indukční přibližovací snímače se používají např. jako koncové spínače u obráběcích strojů a k indikaci, počítání a třídění výrobků na dopravních pásech.

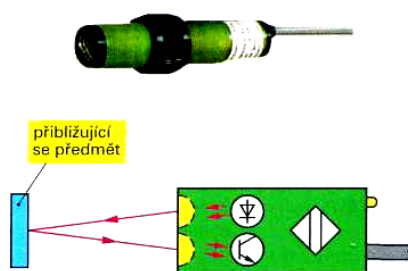


Obr. 1-16 Příklad binárního snímače na indukčním principu [1]

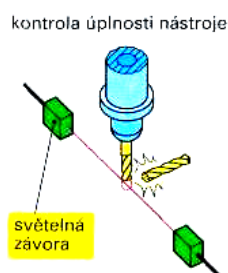
Kapacitní přibližovací snímače bývají zabudovány ve stejném pouzdře jako indukční přibližovací snímače. Reagují na změnu dielektrické konstanty (permitivity) okolního blízkého prostředí změnou kapacity kmitavého obvodu, změnou vlastního rezonančního kmitočtu a poklesem amplitudy vynucených kmitů při rozladění kmitavého obvodu. Výstupem je opět binární signál indikující přiblížení předmětu s dielektrickou konstantou odlišnou od dielektrické konstanty vzduchu. Kapacitní přibližovací snímače indikují přiblížení předmětů ze skla, keramiky, plastů, dřeva, kamene, papíru či betonu nebo též přiblížení hladiny vody nebo oleje.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

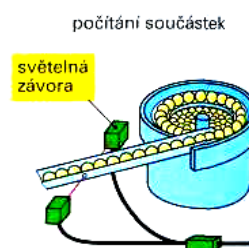
Optické přibližovací snímače pracují jako reflexní snímače s pulzním infračerveným zářením. Snímač vysílá pomocí infračervené luminiscenční diody IRED (Infra Red Emitting Diod) infračervené záření a při přiblížení předmětu přijímá záření odražené od předmětu pomocí fototranzistoru. Optické přibližovací snímače se často používají k indikaci předmětů na dopravnících a na montážních pracovištích (obr. 1-17 a obr. 1-18).



Obr. 1-17 Optický přibližovací snímač [7]



Obr. 1-18 Příklady použití optických snímačů [7]



1.4 Číslicové snímače

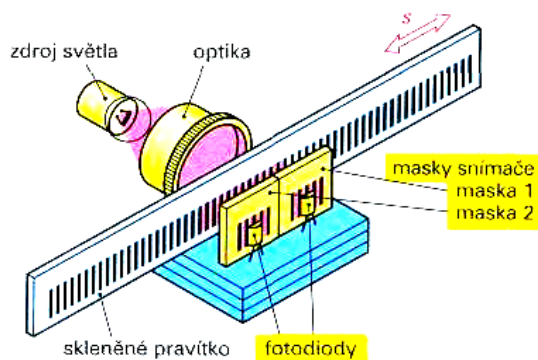
Číslicové snímače (digitální senzory) mají číslicový výstupní signál, který je číslicovým kódem snímané veličiny, např. dráhy, doby nebo energie.

Některé snímače digitalizují s pomocí mikroprocesoru snímanou analogovou veličinu, např. obrazové snímače digitalizují obrazový signál, který pak slouží k posouzení tvaru snímaného tělesa.

Inkrementální snímače dráhy odečítají přírůstky dráhy z rovnoměrně označovaných pravítek. Značky na pravítku bývají optické (čárky nebo otvory) nebo magnetické. Clonová pravítka pro snímání průchozího světla mohou být např. tvořena neprůhledným potiskem průhledného skleněného pravítka čárkami s mezerami širokými 4 μm (obr. 1-19).

Samotný snímač je pak tvořen zdrojem světla, snímačem světelného paprsku a vyhodnocovací elektronikou.

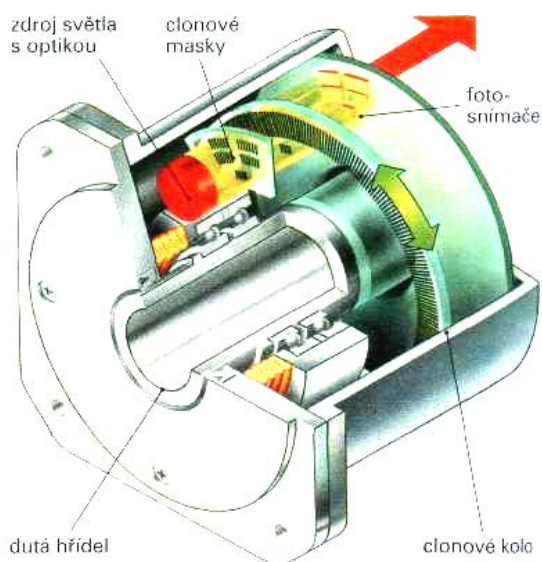
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1-19 Inkrementální snímač dráhy [1]

Inkrementální snímače úhlu natočení se používají k měření úhlu natočení (obr. 1-20) měřeného zařízení. Čárky pro přerušování světelného paprsku jsou na obvodovém mezikruží clonového kola.

Snímače světelného paprsku jsou opět opatřeny clonovými maskami vzájemně posunutými o 1/4 clonového (čárového) intervalu.



Obr. 1-20 Inkrementální snímač úhlu natočení [7]

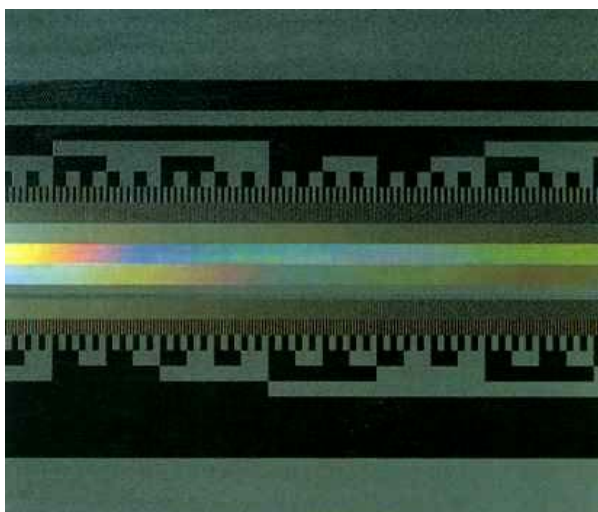
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kódová pravítka a kódové úhломěry

Lineární a kruhová měřítka opatřená číselnými kódy se nehodí k přesnému odečítání dráhy nebo úhlu, protože číselné kódy nemohou být kvůli spolehlivému čtení zaznamenány s takovou hustotou (potřebnou pro velké rozlišení) jako poziční čárky (resp. mezery) clonových pravítek a kol. Z kódového měřítka (pravítka) mohou být odečítány absolutní údaje polohy.

Čísla jsou zakódována v binárním kódu pomocí černých a bílých nebo neprůhledných a průhledných čtverečků. Každé poloze měřítka je jednoznačně přiřazeno číslo udávající jeho polohu.

Kódové pravítka nebo úhломěry se používají k odměřování úhlu nebo k odměřování dráhy suportu posunovaného otáčejícím se kuličkovým šroubem nebo pastorkem přes ozubenou tyč.



Obr. 1-21 Lineární kódové pravítko



Obr. 1-22 Lineární kruhové měřítko



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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“.

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] JENČÍK, J., Volf, J. a kol.: *Technická měření. ČVUT v Praze*, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [4] BOSCH: *Snímače v motorových vozidlech*, Bosch – automobilová technika, Praha, 2002, ISBN 80-903132-5-6
- [5] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [6] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [7] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9