



Převodníky základních fyzikálních veličin

Ing. Václav ŠEDIVÝ

COP Sezimovo Ústí

2005

Obsah:

0. Úvod do problematiky
1. Snímače teploty
 - 1.1. Kapilárové teploměry
 - 1.2. Bimetalové snímače teploty
 - 1.3. Odporové snímače teploty
 - 1.4. Termoelektrické snímače teploty
 - 1.5. Snímače teploty bezkontaktní
 - 1.5.1 Teploměry infračervené
 - 1.6. Polovodičové odporové teploměry
 - 1.6.1. Snímače polovodičové diodové a integrované senzory teploty
2. Snímače tlaku
 - 2.1. Snímač tlaku vlnovkový
 - 2.2. Snímače tlaku s Bourdonovou trubicí
 - 2.3. Snímače tlaku membránové
 - 2.4. Snímače tlaku pístové
 - 2.5. Snímače tlaku s odporovými tenzometry
 - 2.6. Piezoelektrické snímače tlaku
 - 2.7. Kapacitní snímače tlaku
3. Měření průtoku a proleklého množství
 - 3.1. Objemová měřidla
 - 3.2. Membránová měřidla
 - 3.3. Bubnový měřič
 - 3.4. Pístové měřidlo
 - 3.5. Rychlostní sondy
 - 3.6. Průřezová měřidla
 - 3.7. Průtokoměry lopatkové a turbinové
 - 3.8. Indukční průtokoměry
 - 3.9. Ultrazvukové průtokoměry
 - 3.9.1. Ultrazvukové průtokoměry využívající Dopplerova jevu
 - 3.9.2. Ultrazvukové průtokoměry měřící dobu průtoku signálu
 - 3.10. Vířivé průtokoměry
 - 3.11. Coriolisův průtokoměr
 - 3.12. Tepelné průtokoměry
4. Snímače a měření výšky hladiny
 - 4.1. Mechanické hladinoměry
 - 4.2. Hladinoměry s ponorným tělesem
 - 4.3. Hydrostatické hladinoměry
 - 4.4. Kapacitní hladinoměry
 - 4.5. Vodivostní hladinoměry
 - 4.6. Ultrazvukové hladinoměry
 - 4.7. Radiové hladinoměry
 - 4.8. Izotopové hladinoměry

5. Měření hustoty
 - 5.1. Hustoměry hydrostatické
 - 5.2. Hustoměry vztlakové
 - 5.3. Hustoměry s radioaktivním zářením
 - 5.4. Ultrazvukové hustoměry
6. Měření vlhkosti
7. Měření viskozity
 - 7.1. Průtokové viskozimetry
 - 7.2. Viskozimetry rotační
8. Měření zákalu
 - 8.1. Měření opacity
9. Měření elektrolytické vodivosti
10. Měření vodivosti plynu
11. Měření vzdálenosti
 - 11.1. Měření mezi vzdálenostmi
 - 11.2. Dotykové měření vzdálenosti
 - 11.2.1. Mechanické snímače vzdálenosti
 - 11.3. Bezdotykové měření vzdálenosti
 - 11.3.1. Ultrazvukové sondy
 - 11.3.2. Laserové sondy
 - 11.3.2.1. Laserové sondy – měření rozměrů
 - 11.3.3. Měření na principu vířivých proudů
 - 11.3.4. Měření na principu kapacity
 - 11.3.5. Princip ultrazvukového měření
 - 11.4. Inkrementální čidla
 - 11.4.1. Inkrementální rotační čidla
 - 11.4.2. Inkrementální lineární čidla
 - 11.5. Indukční čidla
 - 11.5.1. Selsyn
12. Měření rychlosti a zrychlení
 - 12.1. Měření rychlosti kapalin a plynů
 - 12.1.1. Měření na principu tlaku před a za primárním prvkem
 - 12.1.2. Plováčkové rychloměry
 - 12.1.3. Turbínové snímače rychlosti
 - 12.1.3.1. Anemometry – měření rychlosti a kapalin plynů
 - 12.1.4. Vírové rychlometry
 - 12.1.5. Elektromagnetické (indukční) rychloměry
 - 12.1.6. Ultrazvukové rychloměry
 - 12.2. Měření rychlosti tuhých těles
 - 12.2.1. Radarové snímače rychlosti
 - 12.2.2. Inkrementální snímače rychlosti

0. Úvod do problematiky

V úvodu materiálu je nutno podotknout, že tento obsahuje pouze úvod do problematiky a předpokládá další věcné samostudium čtenáře. Zvládnutí tohoto materiálu je pro další postup pouze podmínkou nutnou, nikoliv postačující.

Další podmínkou je již zvládnutí základů fyziky, matematiky a chemie. Nedílnou součástí pro studium problematiky převodníků fyzikálních veličin jsou i dobré znalosti základů měření elektrických veličin, včetně základních pojmů z elektroniky a výpočetní techniky. Veškeré základy byly analyzovány v nižších ročnících a čtenář *bude občas nucen si tyto vědomosti oživit*.

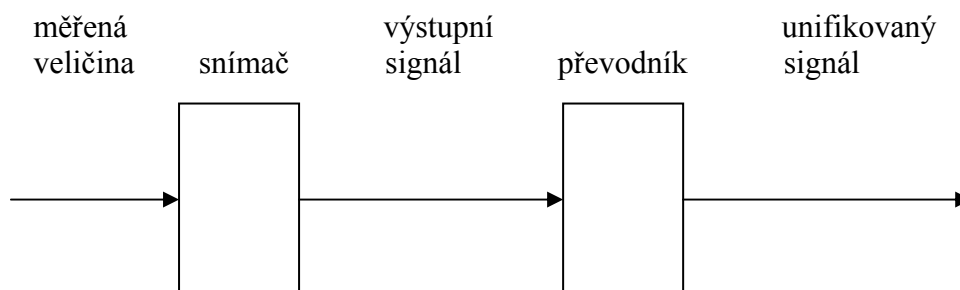
Jednou z hlavních prvků, které se vyskytují v technickém životě a výrazně ovlivňují náš veškerý život jsou *převodníky fyzikálních veličin*. V dalším odborném textu jsou popsány pouze typy převodníků, které se používají (nebo v brzké době budou používat) v automatizační technice. Tyto převodníky snímají příslušné fyzikální veličiny (teploty, tlaky, vzdálenosti apod.), které dále převádějí na tzv. unifikovaný signál – signál vhodný pro dálkový přenos a jeho další zpracování v řídicích obvodech. Do této množiny jsou zahrnuty i pasivní prvky, např. odporové teploměry Pt 100, Ni 1000 apod.

V dalším textu se bude místo převodníků používat i *snímač*. Důvod vychází z podstaty, neboť převodníkem v technickém slova smyslu se převodník stává převodníkem teprve ve spojení snímače a zařízení upravující jeho výstupní signál na signál unifikovaný. Ve valné většině převodník představuje složité aktivní integrované zařízení, na jehož vstupu je měřená hodnota a na jeho výstupu unifikovaný signál a které je napájeno z požadovaného zdroje napětí.

Pro základní informaci v dalším textu jsou uvedeny základní typy nejpoužívanějších unifikovaných signálů (chématický popis je znázorněn na obr. 0.1.) :

:

- a. signál proudový 0 až 20 mA
- b. signál proudový 4 až 20 mA
- c. signál napěťový 0 až 5 V ss.
- d. signál napěťový 0 až 10 V ss.
- e. signál napěťový -15 V až +15 V ss.
- f. signál napěťový střídavý 24 V, 48 V, 110 V a 230 V (logická 1)
- g. signál napěťový stejnosměrný 24 V, 48 V, 110 V a 230 V (logická 1)
- h. digitální signál pro RS232, RS 485 apod.



Obr. 0.1.

1. Snímače teploty

Teplota je základní veličina, s jejíž měřením se každý setkává od ranného mládí po celý život. Její fyzikální podstata, včetně jednotek je vysvětlena ve všech základních fyzikálních příručkách a přesahuje rámec tohoto díla.

Snímače teploty jsou přístroje, které jsou určeny, jak vyplývá z názvu k měření teploty a převedení této hodnoty na požadovaný unifikovaný signál.

Provedení snímačů teploty jak jistě pozorný čtenář vnímá je odvislé od jejich nasazení. To znamená, že není možno použít snímač teploty určený do interiéru k měření tavných teplot tavících pecí apod. V tomto textu dále nejsou popsány metody měření, které čtenář jistě ovládá z hodin fyziky. Technický návrh provádí technik (konstruktér, projektant) nejprve od velikosti teploty minimální do maximální, vždy s možnou rezervou.

Základní provedení spočívá tedy v měřícím rozsahu [°C] dle **ES certifikátu**:

- měřící rozsah -50 až +50
- měřící rozsah -40 až +150
- měřící rozsah -30 až +70
- měřící rozsah 0 až +100
- měřící rozsah 0 až +200
- měřící rozsah 0 až +250
- měřící rozsah 0 až 400
- měřící rozsah 0 až 500
- měřící rozsah 0 až 600
- měřící rozsah jiný

Nesmí se pochopitelně zapomenout i na mechanické rozměry a geometrické tvary. Teplotní snímač, který se nevejde do technologie k měření nemá význam.

Dalším krokem je stanovení prostředí, kde se bude měření provádět. Dle tohoto kritéria se rozdělují teploměry především na :

- *Snímače teploty prostorové.* Tyto teploměry jsou určeny pro měření teploty v prostoru. Dle měřeného prostoru je provedena jejich mechanická odolnost, odolnost proti kyselinám, odolnost proti elektromagnetickému rušení, příslušný krytí IP apod. (např., v interiéru je rozsah min. -10 °C, max. +40 °C a jejich provedení k zákazníkovi provádí především bytový architekt, včetně barvy). Není na ně kladena vysoká přesnost, odpovídající je do 0,2 °C.
- *Snímače teploty potravinářské.* Snímač je především proveden jako vpichovací a je určen pro měření v jádře potravin, nebo vložný pro měření teploty mezi skladovanými, přepravovanými výrobky. Snímač teploty potravinářský je realizován na vysokou odolnost proti mechanickému namáhání, musí být oplachovatelný po celém povrchu.
- *Snímač teploty do klimatizace.* Je určen pro dálkové měření teploty v plynném nebo kapalném prostředí v klimatizačních kanálech. Musí být ošetřen z hlediska elektromagnetické kompatibility a je určen i do prostředí s průmyslovým rušením.
- *Snímač teploty odporový do jímky.* Snímač je určen k přesnému dálkovému měření teploty klidných i proudících tekutin a plynů. Ve spojení s vhodnými

jímkami jsou vhodné pro měření teplot médií s vysokými provozními parametry (tlak, rychlost, proudění apod.)

- *Snímač teploty v provedení EExd.* Jedná se použití snímačů do prostoru s nebezpečím výbuchu. Je možno tento snímač použít i ve venkovních prostorách (v tomto případě je nevýhodou jejich vysoká cena).
- *Snímač teploty rychlereagující.* Jedná se o speciální konstrukci, ve které je technicky sníženo zpoždění na minimum. Tento typ snímače se nasazuje pro měření rychle se měnících teplot v malých rozsazích.
- *Snímač teploty s kabelovým vývodem.* Jedná se snímač který je technicky proveden tak, že je k němu z výroby namontován nerozebíratelný kabel, který se připojuje mimo technologii na svorkovnici. Hlavní výhodou je vysoká mechanická odolnost proti vibracím.

Dalším krokem technika je určení výstupu měřené veličiny dle měřicí stanice (viz. unifikované signály), včetně stupně krytí IP (např. IP 65). Jako poslední technik stanoví přesnost měření, která se udává toleranční třídou – velká písmena A, B, C ...

1.1. Kapalinové teploměry

Kapalinové teploměry jsou založené na principu roztažnosti kapalin (např. lékařský teploměr). Tyto teploměry se používají v technické praxi především jako kontaktní, to znamená pro účely signalizační, nebo bezpečnostní (překročení nebo podkročení havarijní teploty apod.). Kapaliny, která změnou teploty mění svůj objem překonává moment nastavený přesně definovanou pružinou (kontakt spíná či rozpíná). Jejich hlavní význam spočívá v signalizaci možné zámrazné teploty u vzduchotechnických zařízení.

1.2. Bimetalové snímače teploty

Bimetalové snímače teploty využívají nestejné tepelné roztažnosti slisovaných nestejných kovů. V technické praxi se tyto snímače používají především jako kontaktní, to znamená pro účely signalizační, nebo bezpečnostní (překročení havarijní teploty apod.). technické provedení viz. kapalinové teploměry.

Bimetalové snímače teploty se také provádějí jako regulátory s časovým omezením, obsahují dvojité bimetalový snímač, pro teplotu vyšší a teplotu nižší dle časového harmonogramu. Příklad takového regulátoru je např. REGO xx.

1.3. Odporové snímače teploty

Teploměry odporové jsou založené na principu definované změny elektrického. V technické praxi se využívá látky Pt (proto označení Pt 100 – odpor je odvozen od 100 Ohmů, Pt500, Pt100) nebo Ni (označení Ni 1000 – odpor je odvozen od 1000 Ohmů, Ni100, Ni500).

Zapojení těchto typů snímačů je zachyceno na příslušném přiloženém doprovodném obrázku.

Následná tabulka zobrazuje základní parametry nejběžnějších typů odporových snímačů teploty. Hodnoty jsou v $[\Omega]$. Pro rychlou orientaci a to především při opravách je více než nutné níže uvedenou **tabulku znát zpaměti**.

Typ	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	100 °C
Pt 100	96,09	100	103,9	107,79	138,5
Pt 1000	960,9	1000	1039	1077,9	
Ni 1000	945,8	1000	1055,5	1112,4	
NTC 0	12k46	7k35	4k48	2k81	

Zapojení a eliminace principy zapojení odporových snímačů teploty:

Převodníky měřících veličin

Dle přiloženého obrázku je možno vysledovat základní tři typy zapojení, které se používají:

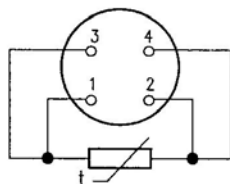
A. dvouvodičové zapojení – měří se odpor jednak čidla a jednak připojovacích kabelů. Toto zapojení je vhodné pro krátké vzdálenosti a u snímačů s vysokými odpory (Pt 100, Ni 1000 apod.). Zapojení je jako u každého dvojbranu.

B. třívodičové zapojení – měří se odpor čidla a měřicí karta eliminuje odpor přívodního vedení. Zapojení se používá u vedení stejné délky. Používá se u např. čidla typu Pt 100 . Zapojení je znázorněno na obr.1.3.a.

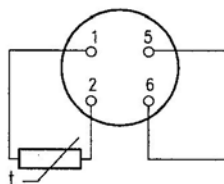
C. čtyřvodičové zapojení - měří se odpor čidla a měřicí karta eliminuje odpor přívodního vedení. Používá se u např. čidla typu Pt 100 . Zapojení se používá u vedení nestejné délky. Zapojení je znázorněno na obr.1.3.a.

Schema zapojení

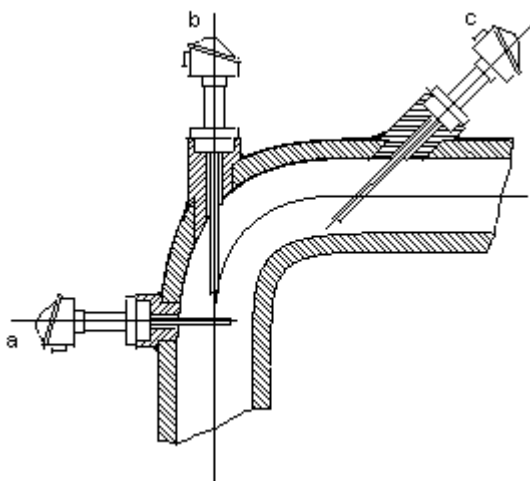
S jednoduchým měřicím odporem
ve čtyřvodičovém zapojení
(Pt100/B/4)



S jednoduchým měřicím odporem
v zapojení s pomocnou smyčkou
(Pt100/B/4C)



Obr. 1.3.a.



Obr. 1.3.b. Instalace snímačů teploty

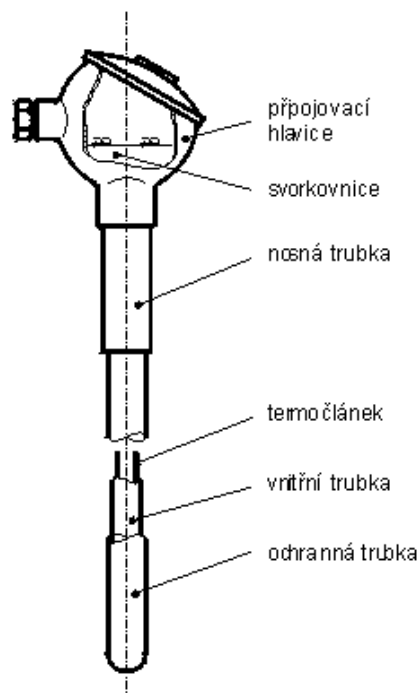
Pozn. Na obr.1.3.b. je jediná správná instalace snímačů teploty, v případě jiné montáže dochází k nepřesnostem měření.

1.4. Termoelektrické snímače teploty

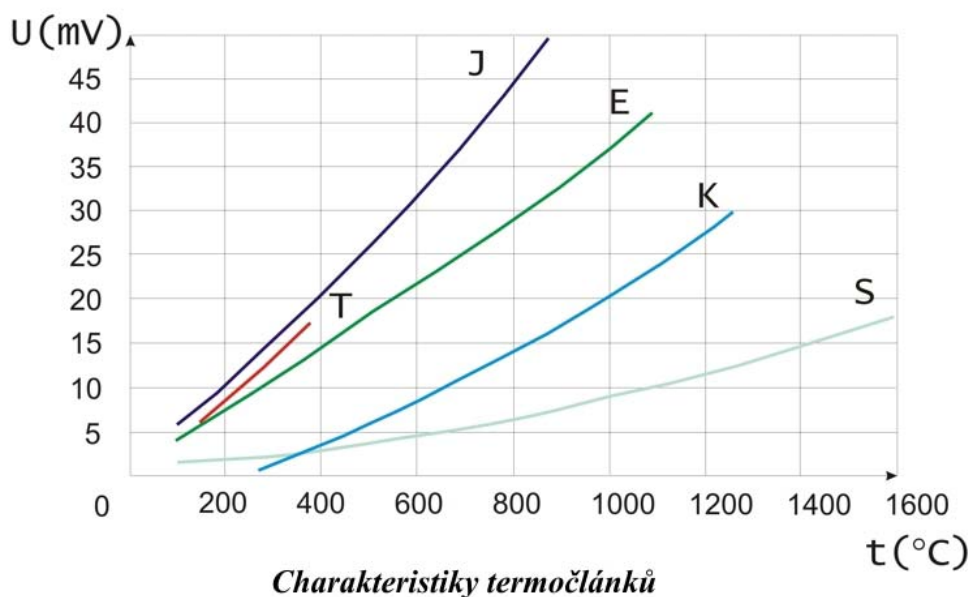
Termoelektrické snímače teploty jsou teploměry elektronické založené na principu definované změny napětí v závislosti na změně měřené teploty. Provedení a schéma zapojení

je názorné z obr.1.4.. V technické praxi se nevyužívá napětí z termočlánků, ale toto se převádí pomocí převodníků na proudový signál, jak je patrné z přiloženého obrázku.

Termoelektrické teploměry jsou vedle odporových teploměrů v současnosti nejvýznamnější skupinou, používanou v praxi. Na evropském trhu se snímači a přístroji pro měření teploty v roce 2000 se podílely téměř třetinou na celkových tržbách. Termočlánky využívají Seebeckova jevu. Čidlo je složeno ze dvou elektricky vodivých kovových vodičů různého chemického složení. Ty jsou spojeny do elektrického obvodu. Pokud jsou oba konce obvodu vloženy do prostředí s různou teplotou, dojde ke vzniku termoelektrického napětí, jehož velikost je úměrná rozdílu teplot na obou koncích obvodu. Pro spoj v měřeném prostředí je dále užíván název teplý, opačný spoj (srovnávací) je nazýván studený. Závislost generovaného termoelektrického napětí na rozdílech teplot není lineární.



Obr. 1.4. Provedení termoelektrického snímače

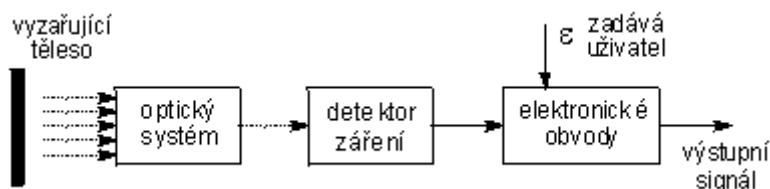


1.5. Teploměry bezkontaktní

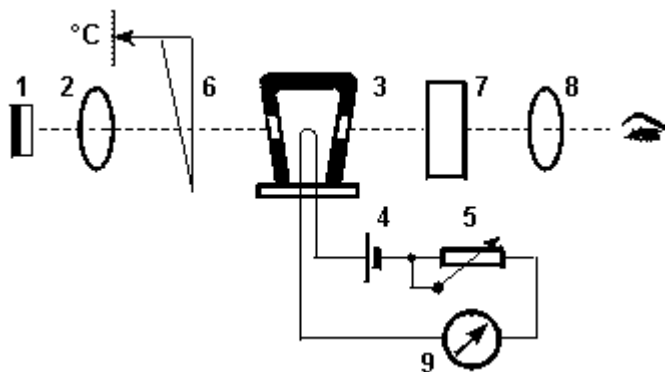
Bezkontaktní měření teploty má v technické praxi své nezastupitelné místo a oblast jeho aplikací neustále roste. Předností je zanedbatelný vliv na měřený předmět, možnost bez problémů měřit v nebezpečných a parazitních polích a především možnost, kde je použití ostatních snímačů a měřících metod nepoužitelné. Patří sem především možnost měřit teplotu pohybujících se objektů, rychlých teplotních změn nebo plošného monitorování teploty.

1.5.1. Teploměry infračervené

Princip měření spočívá ve využití pro měření teploty principu snímání infračerveného záření, jehož energie je úměrná teplotě měřeného objektu, celá cesta je názorná z obr.1.5.1.a. Z předchozího vyplývá, že tepelné záření, které vysílá objekt je soustředěno optickým systémem na čidlo radiačního pyrometru. U těchto teploměrů se většinou pomocí laserových bodů přesně stanoví měřená plocha. Dále se musí stanovit lesk povrchu měřeného materiálu, to znamená před vlastním měřením nastavit na přístroji vždy správné emisní číslo povrchu materiálu (viz. základy fyziky), princip je patrný z obr. 1.5.1.b. Na obr.1.5.1.c. je znázorněn radiační pyrometr.



Obr. 1.5.1.a. Blokové schéma radiačního pyrometru



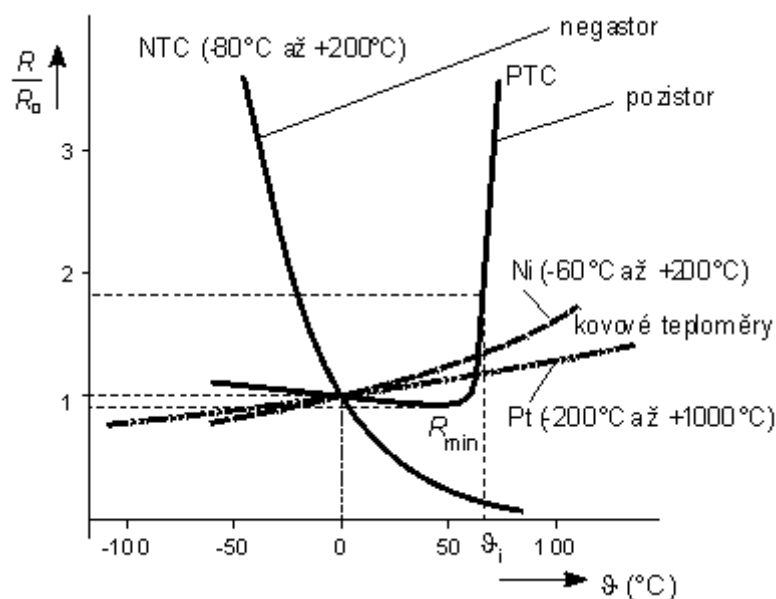
Obr. 1.5.1.b. Blokové schéma lasového pyrometru



Obr. 1.5.1.c. Ruční infračervený pyrometr

1.6. Polovodičové odporové teploměry

Polovodičové senzory teploty využívají závislosti změny odporu na teplotě (čtenář laskavě porovná s filosofií Ni, resp. Pt). U těchto snímačů pozorujeme při narůstající teplotě zvětšování odporu, tzv. pozistor, nebo naopak snižování odporu snímače, tzv. negastor, jak je znázorněno na grafu obr.1.6.a.

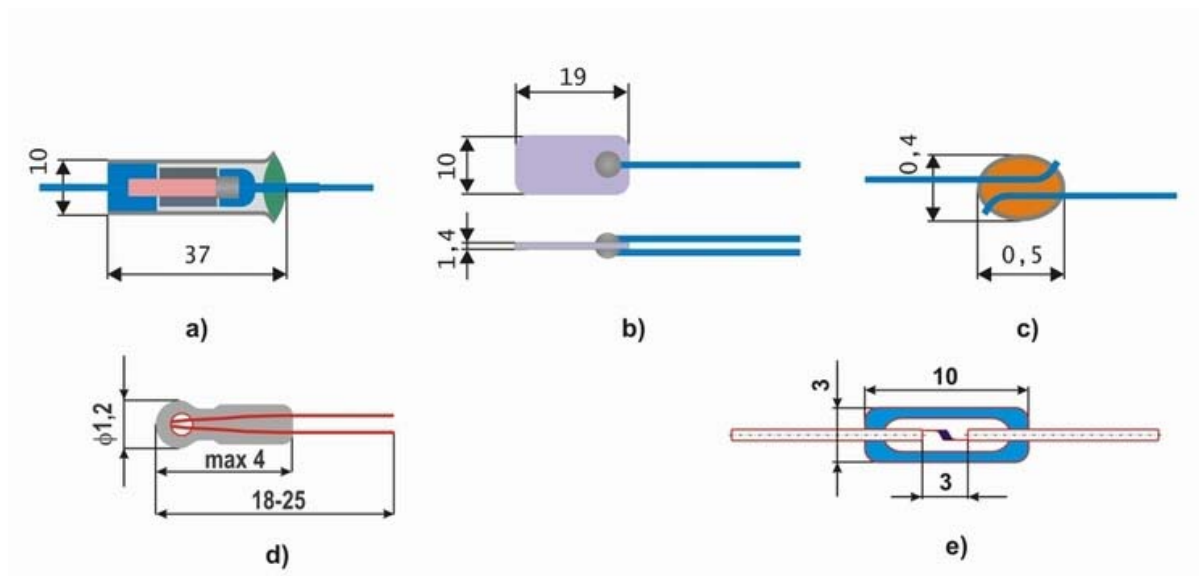


Obr. 1.6.a. Graf termistorů

Nevýhodou polovodičových odporových teploměrů jsou jejich nelinearity, především u negastorů jak je možno vysledovat z grafu. V dnešní době není problém provést jejich matematickou korekci v řídicím systému. Termistory se proto vyrábějí ve velikém rozmezí hodnot a to od $0,1 \Omega$ do jednotek $M \Omega$.

Vzhledem ke skutečnosti, že výše popsané snímače mají malou hmotnost, umožňují měřit malé a rychlé teplotní změny, resp. bodové měření teploty a povrchových teplot.

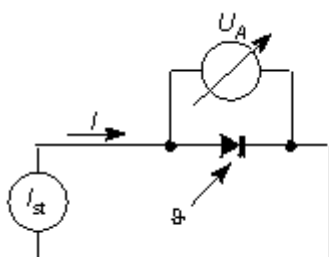
S výhodou se výše uvedených vlastností využívá např. k měření teplot vinutí transformátorů nebo elektrických motorů. Princip použití je patrný z obr.1.6.1.



Typy provedení termistorů

1.6.1. Snímače polovodičové, diodové a integrované senzory teploty

Jak je čtenáři-technikovi známo z předchozího studia, jsou klasické polovodičové prvky závislé na teplotě, především na teplotě přechodů. Tato vlastnost je využívána právě pro měření teploty PN přechodu, zapojení je stejné jako při měření V-A charakteristiky diody. Principy a schéma jsou znázorněny na obr. 1.6.1.



Obr. 1.6.1. Princip

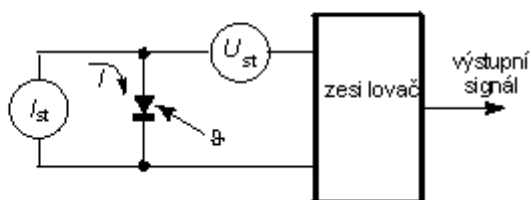


Schéma zapojení

Integrované senzory teploty tvoří vlastní senzor, zesilovač a případný převodník na unifikovaný signál. Současně jsou do senzoru integrovány funkční bloky sloužící ke kompenzaci.

2. Snímače tlaku

Tlak patří mezi základní fyzikální veličiny, které se snímají a měří ve všech oblastech techniky.

Snímače tlaku jsou zařízení, které především převádějí tlak plynů a kapalin na elektrický signál. Jedná se o základní převodníky, které se vyskytují v každém technickém zařízení. Vyrábějí se v provedení pro absolutní a relativní tlak (tím se myslí přetlak-manometry nebo podtlak vakuometry, pro měření rozdílových tlaků se používají diferenční tlakoměry).

Tlak je plošný účinek síly na plochu. Hlavní jednotkou je Pascal (Pa). Jiné jednotky jsou odvozené, ale jsou v technické praxi používané.

Protože hlavním parametrem je tlak, je dále uvedena tabulka základních měřících rozsahů, dle ES certifikátu:

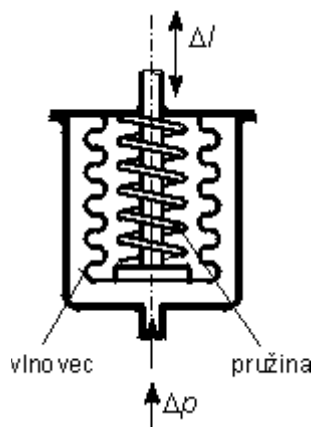
-80 až + 250 kPa
4 až 63 kPa
10 až 10 kPa
16 až 160 kPa
25 až 250 kPa
40 až 400 kPa
63 až 630 kPa
0,1 až 1 MPa
0,16 až 1,6 MPa

Při návrhu se postupuje tak, že technik mimo jiné stanoví:

- A. rozsah měřeného média, stanovení tlakové difference. Technik musí počítat i s možnými tlakovými rázy a špičkami, to znamená mít informaci o horní či spodní mezi. Pokud k tomuto nedojde, hrozí zničení přístroje.
- B. snímání relativního či absolutního tlaku.
- C. důvod nasazení do technologie, soustavy (poruchové stavy, spojitá regulace apod.)
- D. fyzikální vlastnosti měřeného média, typ měřeného média (voda, plyn, pára apod.)
- E. prostředí ve kterém bude snímač pracovat (normální, s nebezpečím výbuchu, horké prostředí, vibrace apod. K řešení se jako jedna z možných cest naskýtá krytí IP xx.

2.1. Snímače tlaku vlnovkové

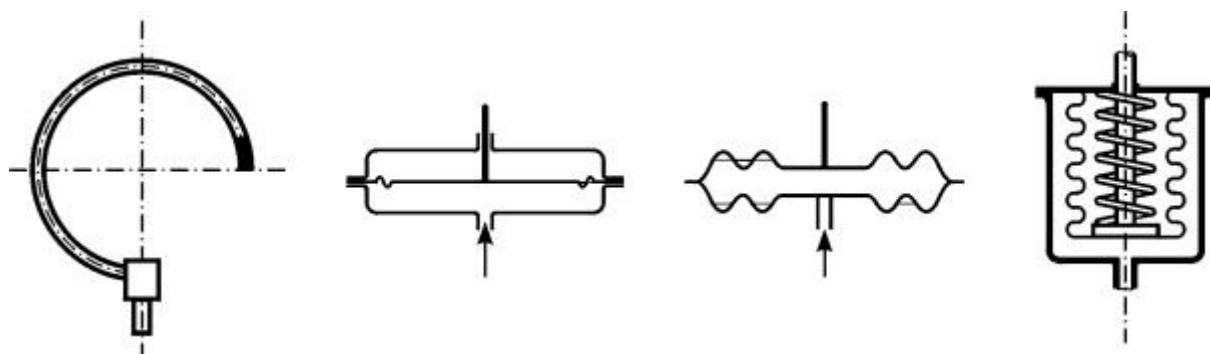
Vlnovkové snímače tlaku se převážně používají pro měření přetlaků a tlakových diferencí do 0,4 MPa. Tlakovým prvkem je tenkostěnný kovový měch – vlnovec, který je umístěn v pouzdře, do něhož je přiváděn měřený tlak. Deformace vlnovce je přenášena na příslušný ukazatel nebo příslušný převodník. V současné době jsou vlnovce realizovány i z umělých hmot (dobré zkušenosti jsou z teflonem). Pro zvýšení tlaků se přidává protipružina – viz.obr.2.1.



Obr. 2.1. Princip vlnovce

2.2. Snímače tlaku s Bourdonovou trubicí

Jedná se především o manometry. Tato zařízení jsou podpůrná, pouze orientační pro kontrolu obsluhy. Protože jejich využití pro automatické procesy je minimální, nebudou tato dále analyzována.



Obr. 2.2. a. Bourdonova trubice b. krabice

c. membrána

d. vlnovec

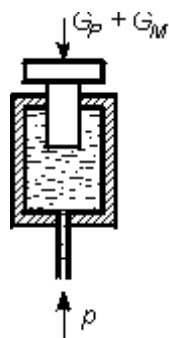
2.3. Snímače tlaku membránové

Princip funkce spočívá v působení síly na membránu, která je dána součinem měřeného tlaku a plochy membrány. Membrána je sevřena mezi dvěma přírubami a z jedné strany je přinášén měrný tlak, který způsobí průhyb membrány, jež je přenášén na ukazatel. Membrána je velmi náročné zařízení, které se stýká s médiem přímo, proto se musí vyrábět z kvalitních materiálů, např. Nikl, Hasteloy C276, Titan, Tantal, Teflon apod.

Výhodou membránových snímačů je vysoká citlivost. Vyrábějí se do tlaků max. 4 MPa. Princip je dále zřejmý z obr. 2.2.c.

2.4. Snímače tlaku pístové

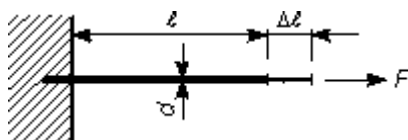
Jedná se o měření tlaku, kde se účinky sil vyvažují především pružinou (dříve i závažím). Píst je umístěn ve válci a dle velikosti tlaku je tento vytlačován. Protože je možno vyrobit velice přesně vyrobí píst a současně kapalinové tření mezi pístem a válcem je malé, jedná se o velice přesná zařízení. Z důvodu vysoké ceny se tyto používají především ke kalibraci, tudíž se tyto dále neanalyzují. Princip je dále zřejmý z obr. 2.4.



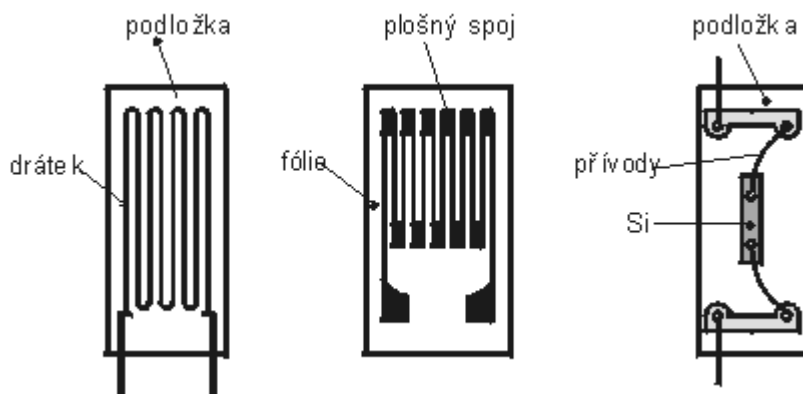
Obr. 2.4. Princip pístového snímače tlaku

2.5. Snímač tlaku s odporovými tenzometry

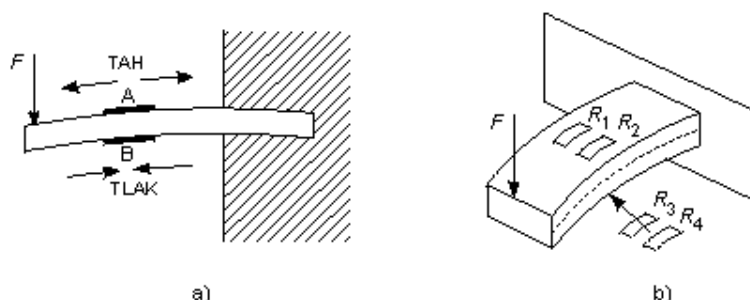
Jedná se o moderní a perspektivní zařízení, které má elektrický výstupní signál. Princip spočívá ve využití *piezorezistivního jevu*, který spočívá ve změně elektrického odporu při mechanickém namáhání, resp. deformaci. Princip je patrný z obr.2.5.a., technické řešení z obr.2.5.b. a příklad použití z obr.2.5.c.



Obr. 2.5.a. princip odporového tenzoelektrického snímače



Obr. 2.5.b. Technické řešení tenzoelektrických snímačů



Obr. 2.5.c. Realizace tenzoelektrických snímačů

Jak známo, při deformaci materiálu (pouze v mezích Hookova zákona) dochází ke změnám krystalografické orientaci a tím i ke změně elektrického odporu. Další informace si doplní čtenář z příruček fyziky pevných látek.

Tenzometry jsou používány následující:

- *Kovové odporové tenzometry* jsou vyrobeny z kovových odporových drátků nebo jsou realizovány v podobě plošného spoje na odporové folii – viz. obr.2.5. Jejich výhodou je malá závislost na teplotě a linearita. Nevýhodou je malá citlivost.
- *Polovodičové tenzometry* jsou především realizovány z monokrystalu Si a tento se nalepí na fenolformaldehydovou podložku a celé na měřící člen. Výhodou těchto zařízení je vysoká citlivost, nevýhodou je nelinearita (je nutno ji dopočítat) a závislost na teplotě.

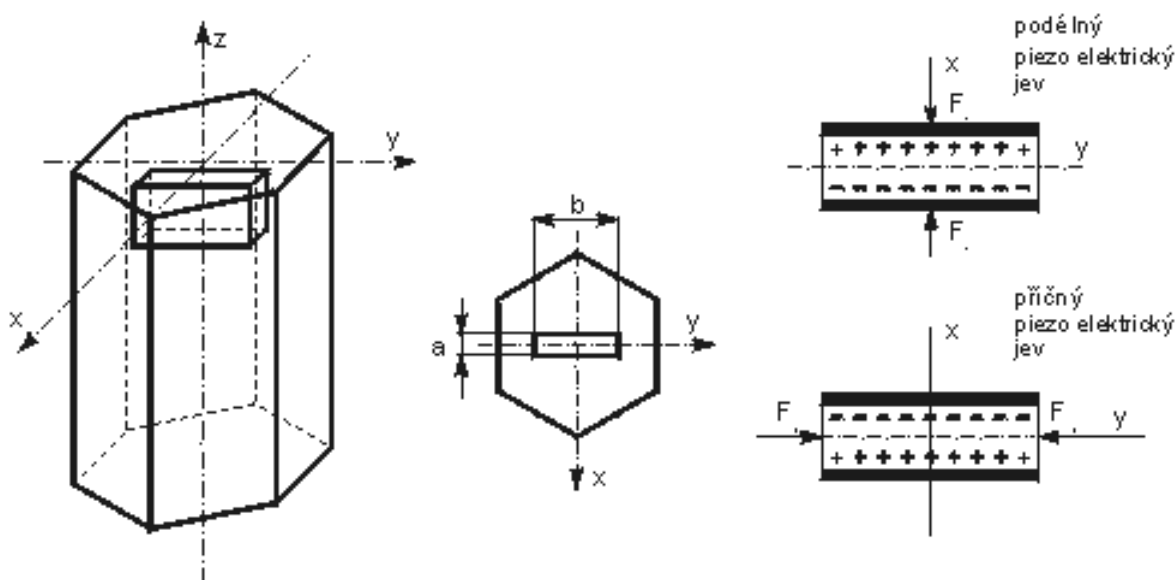
Tenzometrické převodníky tlaku mají výhodu v malých rozměrech a ve snadné montáži.

2.6. Piezoelektrické snímače tlaku

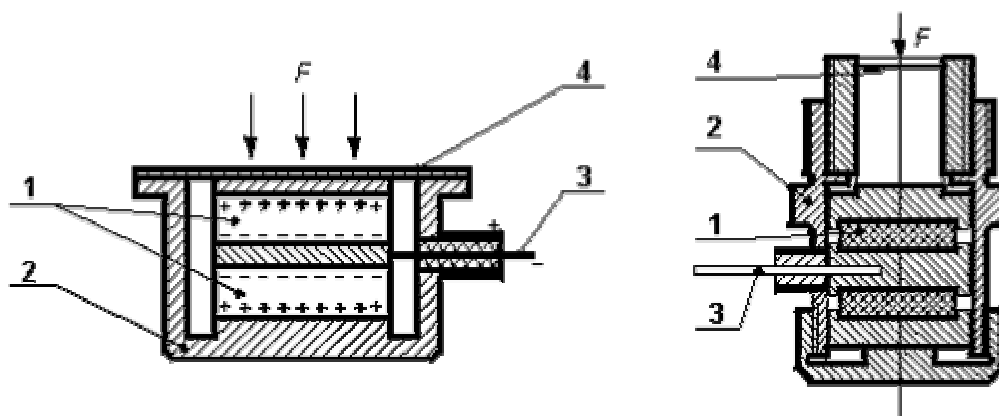
Jak známo ze základů fyziky, při působení mechanických deformací na krystaly dochází u těchto ke vzniku elektrického náboje (kuřáci znají piezoelektrické zapalovače). Uvedenou vlastnost reprezentuje v technické praxi SiO_2 a BaTiO_3 .

Předností těchto zařízení je vysoká linearita, vysoká citlivost, vysoký měřicí rozsah a nezávislost na okolní teplotě.

Piezoelektrický převodník tlaku je znázorněn na příslušné obr.2.6.a., jeho praktické použití na znázorněno na obr.2.6.b.



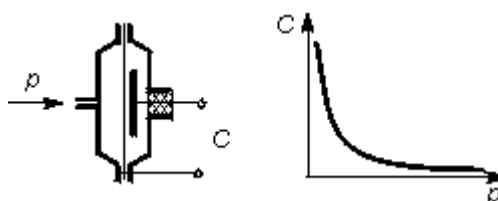
Obr. 2.6.a Piezoelektrický jev u krystalu křemene



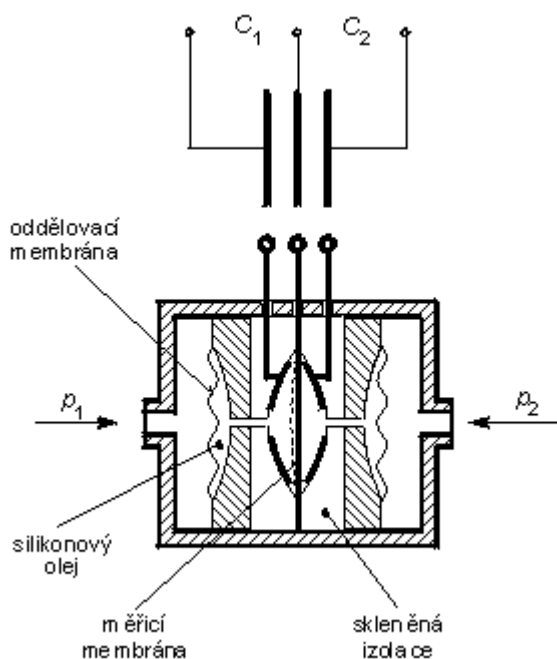
Obr. 2.6.b. Piezoelektrický snímač tlaku

2.7. Kapacitní snímače tlaku

Pro měření tlaku se využívá kapacitního snímače, u něhož dochází ke změně vzdálenosti mezi deskami. Prakticky je jedna elektroda pevná a druhou tvoří membrána, která mění svoji vzdálenost. Princip je znázorněn na obr.2.7.a. a obr.2.7.b.



Obr. 2.7.a. Kapacitní snímač tlaku



Obr. 2.7.b. Princip kapacitního snímače tlaku

3. Měření průtoku a proleklého množství

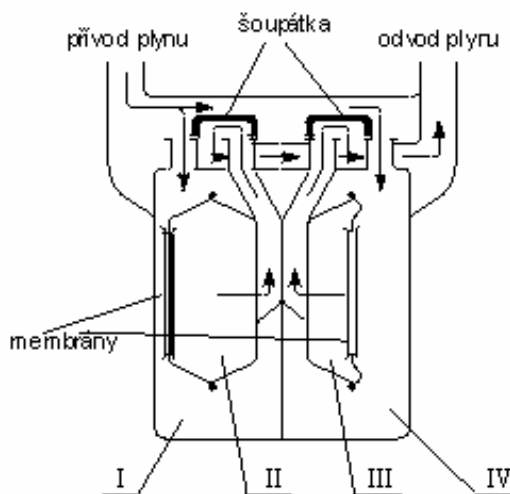
Jednou ze složitějších měření a automatizací je měření průtoku proleklého množství prostřednictvím průtokoměrů a objemových měřidel. Zařízení, která vyhodnocují prezentované veličiny jsou velmi složitá a jejich detailní analýza přesahuje rámec této publikace. Současně klade na čtenáře vysoké nároky na znalost jak matematického aparátu, tak základy dynamiky tekutin ...

3.1. Objemová měřidla

Objemová měřidla pracují na principu odměřování objemu plynu, resp. kapaliny v odměrných prostorách, které se cyklicky plní a vyprazdňují. Objem je dán počtem naplnění a vyprázdnění za jednotku času. Použití v tomto případě je především jako měřidel bilančních. Převod na unifikovaný signál provádí příslušná elektronika

3.2. Membránová měřidla

Používají se především pro měření množství plynu tak, že měřený prostor se rozdělí prostřednictvím membrán na menší prostory, tak jak je znázorněno na obr. 3.2., které se plní plynem a odečítá se prostřednictvím elektroniky pohyb šoupátek, které plní menší prostory.

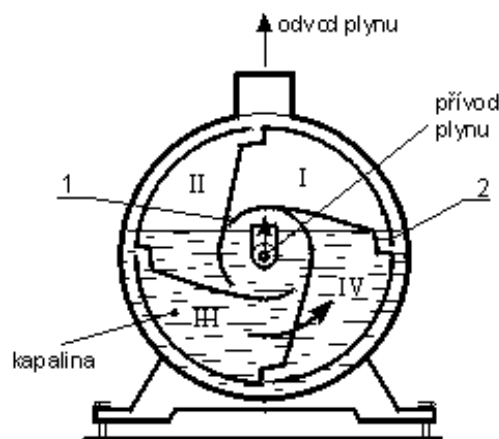


I – IV jsou odměrné prostory

Obr. 3.2. Membránový plynoměr

3.3. Bubnový měřič

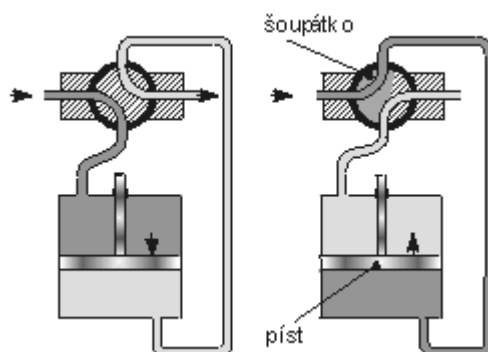
V nádobě je otočně uložen vlastní měřicí buben, který je opatřen šterbinami pro přívod a odvod média a uvnitř obsahuje tvarované přepážky, které způsobí rotační pohyb bubnu. Pomocí mechanických a elektronických převodů se pohyb bubnu převádí na unifikovaný signál. Bubnový měřič je zobrazen na obr.3.3.



Obr. 3.3. bubnový plynoměr

3.4. Pístové měřidlo

Princip spočívá v naplňování a vyprazdňování velmi přesných prostor a vlivem tlakového spádu dochází k pohybu měřících pístů. Jejich pohyb je dále převáděn na unifikovaný signál, dle obr.3.4.



Obr. 3.4. pístové měřidlo

3.5. Rychlostní sondy

Rychlostní sondy využívají závislosti dynamického tlaku proudícího média na rychlosti proudění. Základem je Pitotova trubice, která je známo je zahnutá do pravého úhlu a rovina jejího ústí tudíž stojí kolmo k ose proudění. U ústí sondy přejde kinetická energie v energii potenciální. Sonda snímá tlak celkový, který je součtem tlaku statického a (snímá se na okraji potrubí) a dynamického.

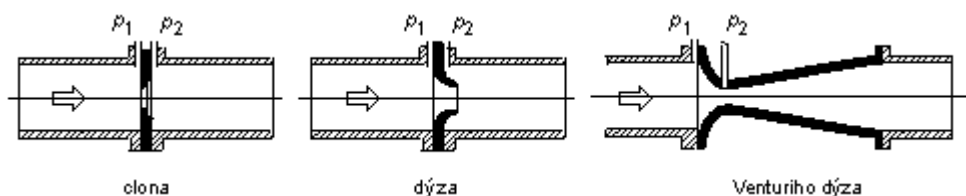
Těchto sond se využívá ke krátkodobým měřením, hlavně k proměřování rychlostních profilů.

3.6. Průřezová měřidla

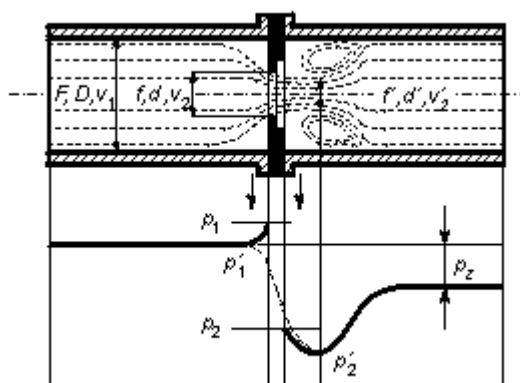
Tato měřidla využívají nepřímých metod měření a to rozdíl statických tlaků, který je způsoben škrťacím orgánem, jež je umístěn v potrubí (viz. příslušný obrázek).

Nejpoužívanější škrťací orgány jsou *centrická kruhová clona* a *Venturiho dýza* (viz. obrázek 3.6.a.).

Vlastní princip si čtenář snadno doplní sám, neboť se jedná o základní znalost rovnice kontinuity a především Bernoulliho rovnice, viz. obr. 3.6.b.



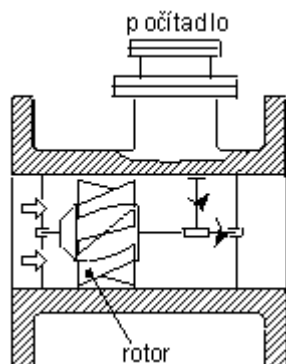
Obr. 3.6.a. Clony a dýzy



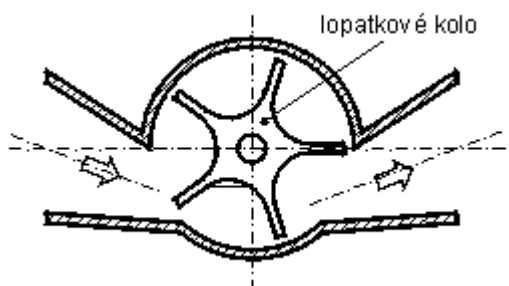
Obr. 3.6.b. Princip Bernoulliho trubice

3.7. Průtokoměry lopatkové a turbinkové

Jedná se o nejběžnější typy průtokoměrů, kde velikost průtoku je odvozena od otáčivého pohybu turbinky, lopatkového nebo šroubového kola, které se do rotačního pohybu uvede silovým účinkem proudící kapaliny. Z fyziky je známo, že rychlost otáčení je úměrná střední rychlosti proudění. Další princip je pro čtenáře velmi patrný z obr.3.7.a. a 3.7.b., proto se tento dále neanalyzuje.



Obr. 3.7.a. Axiální průtokoměr



Obr. 3.7.b Radiální lopatkový průtokoměr

3.8. Indukční průtokoměry

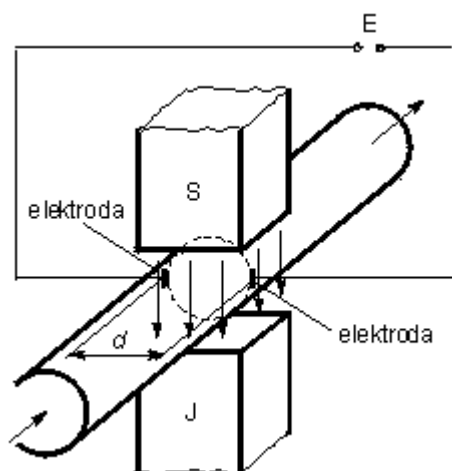
Využití indukčního zákona představuje velmi moderní metodu měření průtoku se skutečností, že tyto měřiče mají nulový tlakový odpor.

Indukční průtokoměry jsou založeny na využití Faradova zákona o elektromagnetické indukci při pohybu vodiče v magnetickém poli. Pohybující se vodič v tomto případě nahrazuje elektricky vodivá kapalina (viz. obrázek 3.8). Elektromagnet vytváří magnetické pole, které prochází napříč jak potrubím, tak i kapalinou. Na vnitřním průměru potrubí (část měřiče) jsou nainstalovány dvě elektrody, které snímají indukované napětí viz. obr.3.8.a.

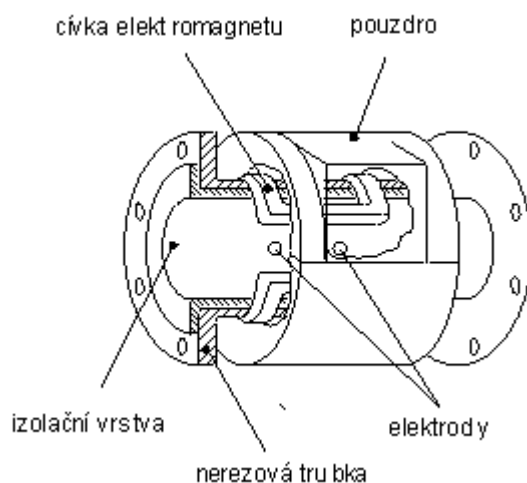
Pokud se pohybuje kapalina v potrubí rychlostí v , vzdálenost elektrod je l a magnetická indukce B , potom platí známý vztah:

$$U = B l v \quad [V, T, m, m/s]$$

U tohoto měření je nutno přizpůsobit rychlostní profil a zařídit skutečnost, aby se kapalina pohybovala stejnou rychlostí. Toto jsou velmi důležité parametry, které ovlivňují přesnost měření. Technické řešení je znázorněno na obr.3.8.b.



Obr. 3.8.a. Indukční průtokoměr



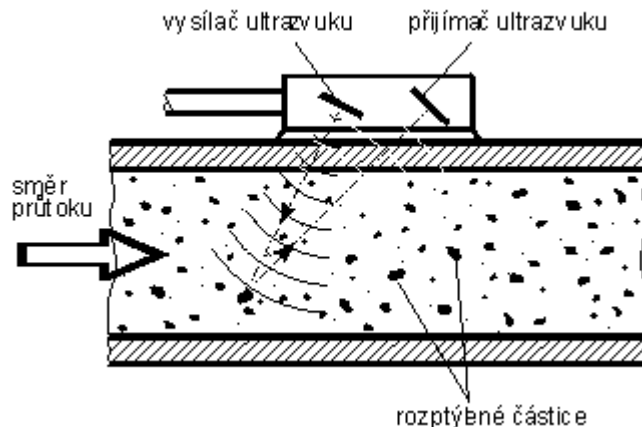
Obr. 3.8.b. Technické řešení ind.průtokoměru

3.9. Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvukové průtokoměry se v současné době na základě snižování jejich ceny a pro velmi dobré vlastnosti nasazují stále častěji a představují velmi perspektivní zařízení.

3.9.1. *Ultrazvukové průtokoměry využívající Dopplerova jevu.* Jak známo ze základů fyziky, obsahují proudící kapaliny resp.plyny částice odrážející zvuk. Průtokoměr vysílá ultrazvukový signál o frekvenci ca.0,5 MHz, který je odrážen od výše uvedených částic do přijímače. Přijímaný signál má jinou frekvenci od vysílaného a elektronika průtokoměru tuto změnu vyhodnotí v rychlost proudění.

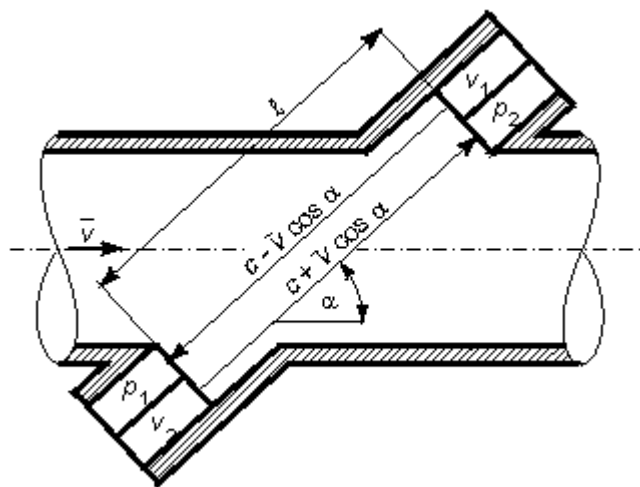
Výhodou těchto měřidel je skutečnost, že nejsou umístěna (viz.obr. 3.9.1) uvnitř potrubí, ale naopak vně tohoto, tudíž měření neovlivňuje vlastní průtok.



Obr. 3.9.1. Princip ultrazvukového průtokoměru

3.9.2. Ultrazvukové průtokoměry měřící dobu průchodu signálu

Jedná se o zařízení, které pracují na principu vyhodnocování doby šíření ultrazvukového signálu. Tento se vysílá jednak ve směru šíření a jednak proti směru šíření měřeného média.



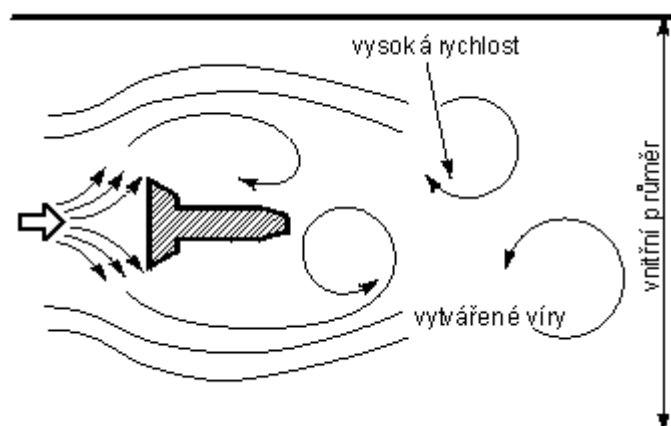
Obr. 3.9.2. Ultrazvukový průtokoměr

Vysílač V1 vysílá signály proti směru proudění a vysílač V2 po směru proudění. Výsledek je patrný z obrázku.

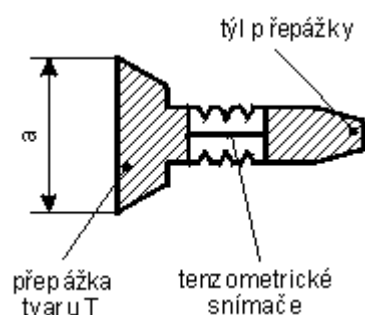
3.10. Vírové průtokoměry

U vírových průtokoměrů se využívá, jak známo ze základů fyziky, tzv. karmínových vírů, které vznikají při obtékání tělesa neproudnicového tvaru, které je umístěno kolmo na směr proudění. Víry vznikají střídavě z jedné a druhé strany překážky a jsou potom vyhodnocovány. Jedná se o velmi přesné průtokoměry s vysokou perspektivou. Princip je dále znázorněn na obr. 3.10.

Výhodou těchto zařízení je jejich linearita, mohou se jimi měřit velmi čistá média. Nevýhodou je trvalá tlaková ztráta.



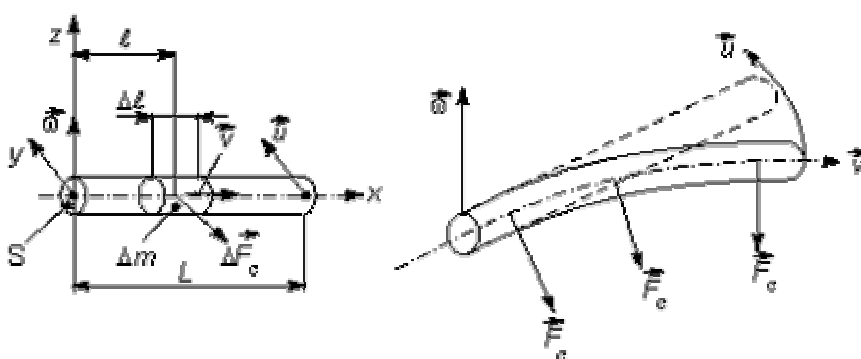
Obr. 3.10.a. Princip vírového průtokoměru



Obr. 3.10.b. Realizace vírového průtokoměru

3.11. Coriolisův průtokoměr

Toto zařízení využívá tzv. Coriolisovy síly (zrychlení), jak je patrné z obrázku 3.11.



Obr. 3.11. Princip Coriolisova průtokoměru

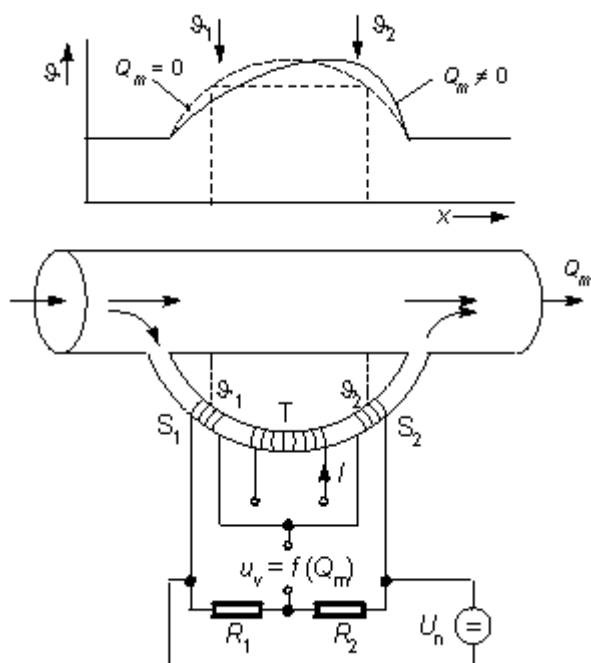
Výhodou těchto zařízení je skutečnost, že výstupní signál je příměrný hmotnostnímu průtoku, není ovlivněn fyzikálními vlastnostmi a změnami média. Zařízení má dále velmi široké aplikační možnosti (příkladem je měření množství kapalného média).

3.12. Tepelné průtokoměry

Princip měření spočívá ve vyhodnocování energetické rovnováhy při sdílení tepla z vyhřívaného topného tělesa do proudící tekutiny, jak je názorné z obrázku 3.12.

V technické praxi se využívá:

- z oteplení proudícího média
- z ochlazení proudícího média



Obr. 3.12. Tepelný průtokoměr

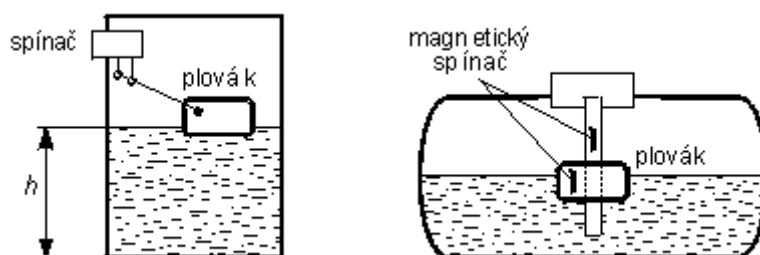
4. Snímače a měření výšky hladiny

Převodníky výšky hladiny mají výstupní signál unifikovaný, potom je nutno v počítači stanovit jejich rozsahy, nebo jsou vyrobeny jako kontaktní pro signalizaci přítomnosti, nebo naopak nepřítomnosti kapaliny nebo sypkých hmot.

Přítomnosti kapaliny se využívá např. pro kontrolu zatopení technologie, nebo přítomnosti výšky hladiny, mohlo by dojít k úniku kapaliny (sypké hmoty) z nádoby. S těmito zařízeními se setkáváme v každodenním životě.

4.1. Mechanické hladinoměry

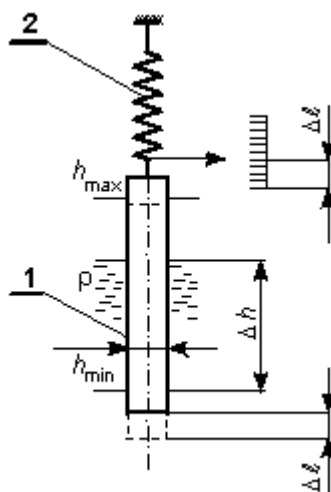
Jejich princip spočívá především ve využívání plováků a je názorný z dále uvedených obrázků. Jejich výhodou je jednoduchost a vysoká spolehlivost.



Obr. 4.1. Plovákové hladinoměry

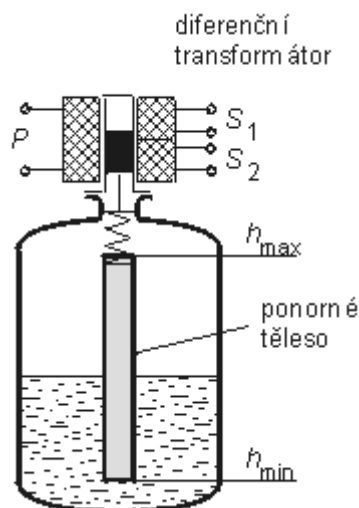
4.2. Hladinoměry s ponorným tělesem

Tato zařízení využívají platnosti Archimédova zákona, který je čtenáři znám ze základů fyziky. A pracují na principu vyrovnání sil. Princip je patrný z obr. 4.2.a. a obr. 4.2.b.



Obr. 4.2.a. Ponorné těleso

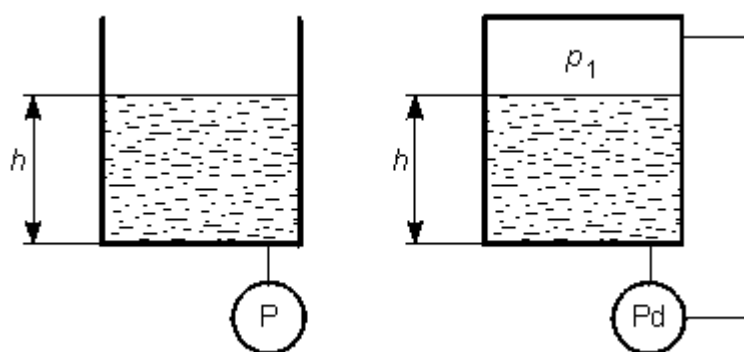
- 1 – ponorné těleso válcovitého tvaru
- 2 – pružina



Obr. 4.2.b. Ponorné těleso a diferenční transformátor

4.3. Hydrostatické hladinoměry

Výška hladiny se vyhodnocuje z hydrostatického tlaku sloupce kapaliny v nádrži. Princip je názorný z obr. 4.3.



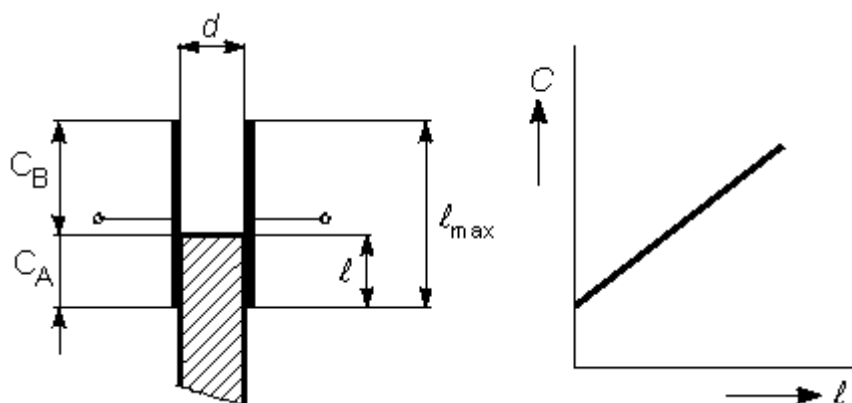
Obr. 4.3. Hydrostatické hladinoměry

4.4. Kapacitní hladinoměry

Kapacitní hladinoměry jsou převodníky fyzikálních veličin, v tomto případě výšky hladiny, kterou převádějí na měření kapacity. Tohoto principu se využívá nejen pro měření kapalin, ale i úspěšně pro měření výšky hladiny sypkých hmot. Etno princip se využíval především u kontinuálního měření.

Konstrukce snímače je odvislá od měřeného média a samozřejmě od tvaru nádoby, což je důležité u měření sypkých hmot.

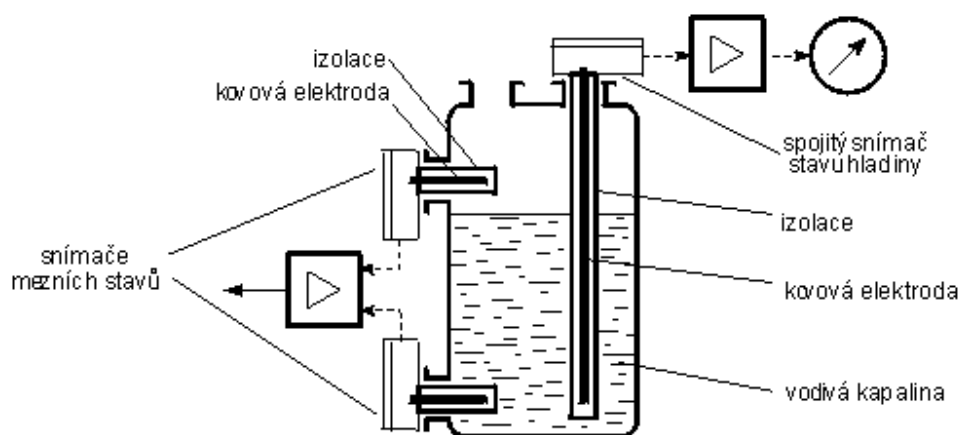
U nevodivého média dochází změnou výšky hladiny ke změně dílčích kapacit, jak je patrné z obrázku 4.4.a.



Obr. 4.4.a. Snímač hladiny s proměnnou permitivitou a grafem

Celková kapacita je : $C = C_A + C_B$

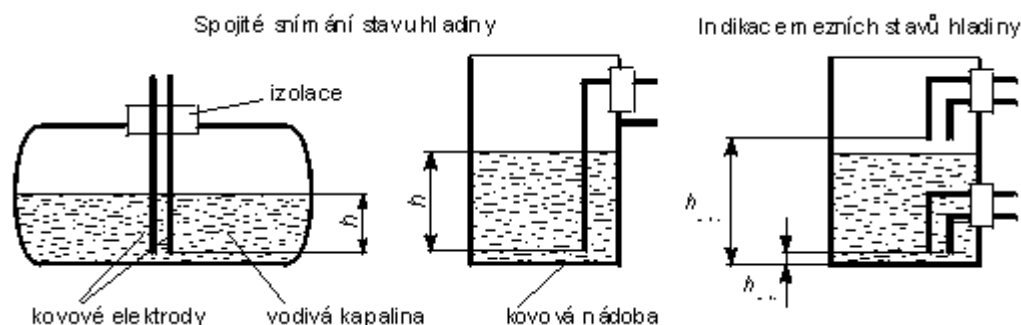
Na obrázku 4.4.b. je znázorněn princip pro kapacitní měření elektricky vodivých kapalin. V měřicím médiu je umístěna elektroda, která je pokryta izolačním materiálem. Vodivé médium potom představuje druhou elektrodu, jejíž plocha je odvislá od výšky hladiny.



Obr. 4.4.b. Kapacitní snímač hladiny pro vodivé médium

4.5. Vodivostní hladinoměry

Tato zařízení pracují na principu změny elektrického odporu se změnou výšky hladiny. Zařízení se s úspěchem používá k signalizaci mezních stavů. Např. větší ponorná čerpadla obsahují ve své konstrukci vodivostní hladinoměr, který funkci čerpání přeruší v okamžiku, kdy je nízká hladina čerpaného média a mohlo by dojít k poškození čerpadla. Vše je patrné z obr.4.5.

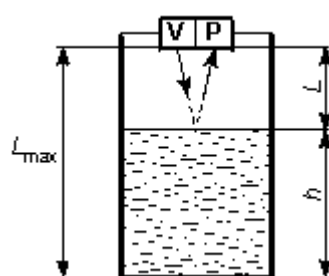


obr. 4.5. Principy vodivostních hladinoměrů

4.6. Ultrazvukové hladinoměry

Princip těchto zařízení je založen na měření doby impulsu vyslaného ultrazvukovým vysílačem a ultrazvukovým přijímačem, který se odrazí od hladiny měřeného média. Princip je zcela patrný z obrázku 4.6.

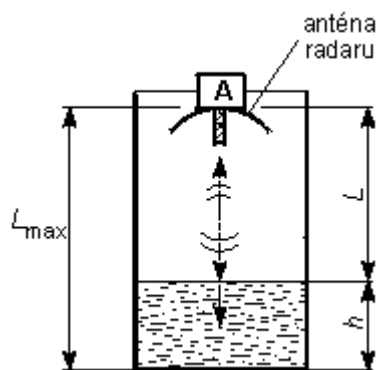
Tato zařízení jsou velmi přesná a citlivá. Jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena a snížená možnost činnosti v různé hustotě prostředí (např. v prašném prostředí). Současně přesnost měření ovlivňuje i teplota média a okolí.



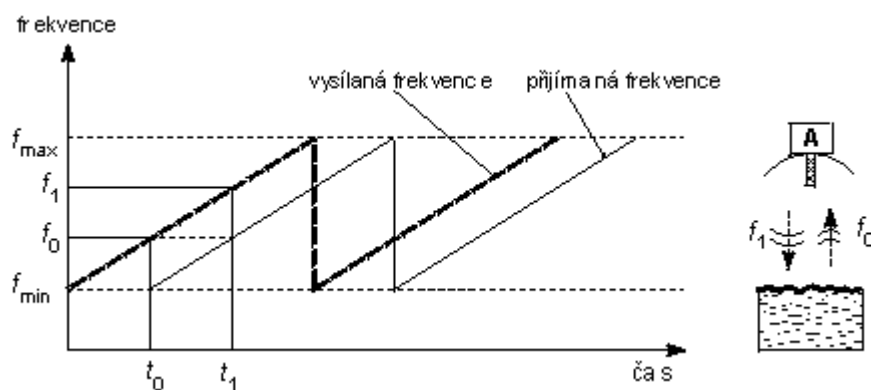
Obr. 4.6. Princip ultrazvukových hladinoměrů

4.7. Radarové hladinoměry

Pracují na stejném principu jako ultrazvukové, který si pozorný čtenář odvodí sám. Dle obr.4.7. a a 4.7.b.



Obr. 4.7.a. Princip radarových hladinoměrů

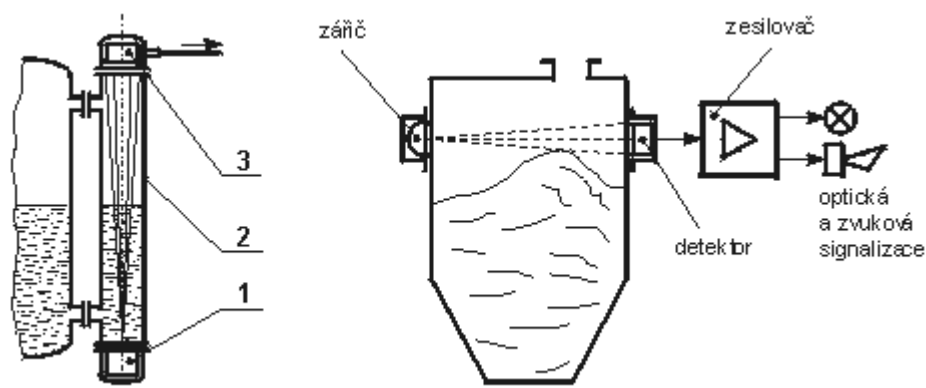


Obr. 4.7.b. Princip frekvenční metody

Princip spočívá ve vysílání signálu, který plynule mění svojí frekvenci od min. po max. Potom ze známé rychlosti přeladování a změřených hodnot vyslaného a přijatého signálu v čase se vypočítá vzdálenost odpovídající výšce hladiny.

4.8. Izotopové hladinoměry

Jedná se o velmi složitá zařízení, která pracují na principu úměrném poklesu intenzity radioaktivního záření s tloušťkou vrstvy materiálu mezi zářičem a detektorem, jak znázorňuje obrázek 4.8.



Obr. 4.8. Spojité měření výšky hladiny

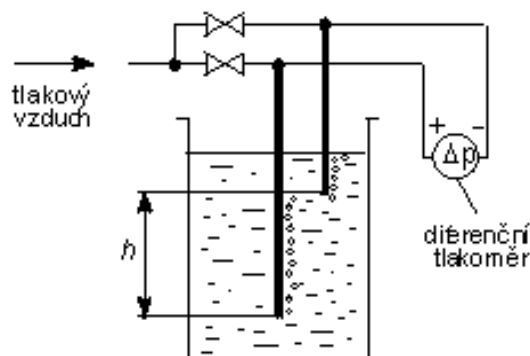
Snímání mezního stavu hladiny

5. Měření hustoty

Hustoměry jsou zařízení, která měří a vyhodnocují aditivní vlastnost – hustotu. Základními převodníky pro měření hustoty jsou :

5.1. Hustoměry hydrostatické

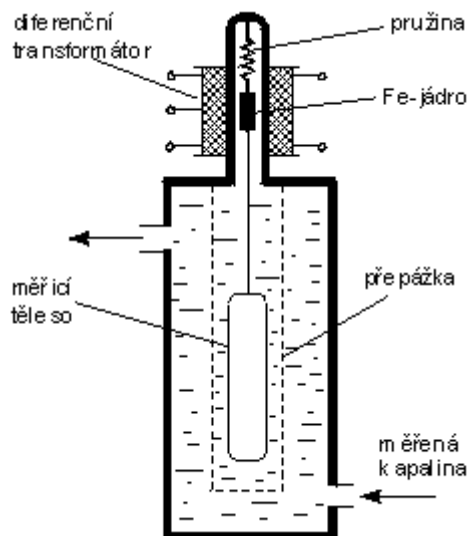
Princip je názorný z obr. 5.1.



Obr. 5.1. Hydrostatický hustoměr

5.2. Hustoměry vztlkové

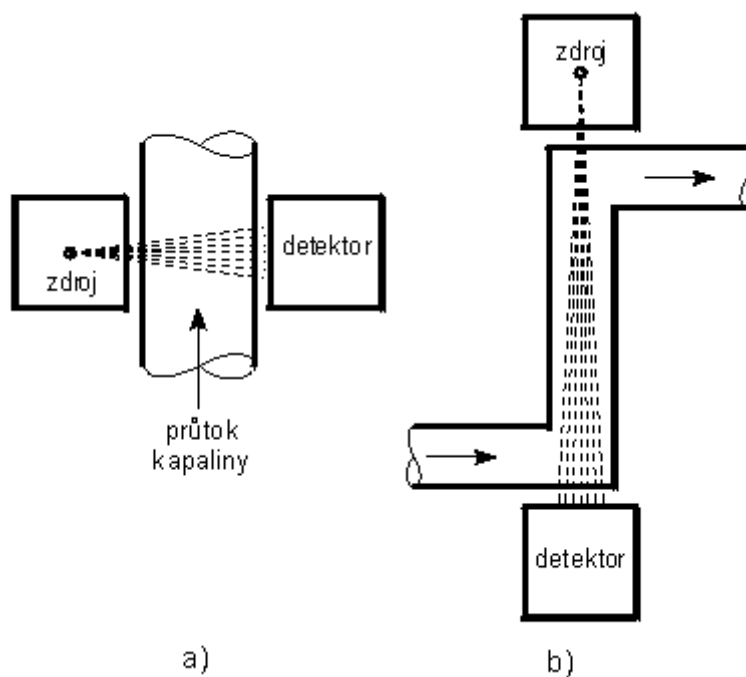
Princip je názorný z obr. 5.2.



Obr. 5.2. Vztlkový hustoměr

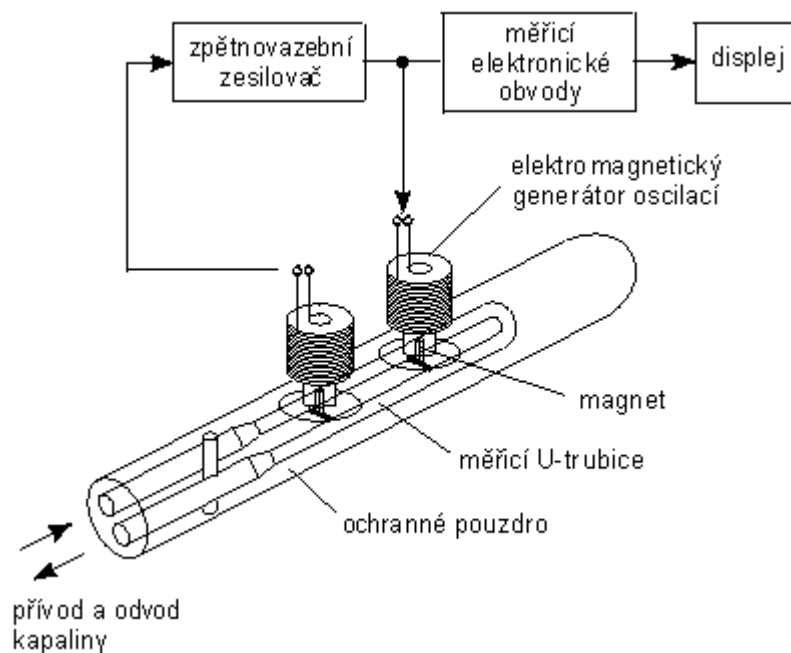
5.3. Hustoměry s radioaktivním zářením

Stále častěji se v provozní praxi nasazují hustoměry s radioaktivním zářením. Tyto se vyrábí převážně jako průtočné u kterých je zdroj záření izotop γ . Využívá se skutečnosti, že intenzita radioaktivního záření, které prošlo vrstvou média je menší (exponenciálně) než intenzita radioaktivního záření z vysílače. Princip je patrný z obrázku 5.3.

Obr. 5.3. Princip měření
na potrubíPrincip měření
v zásobníku

5.4. Ultrazvukové hustoměry

Jak je z fyziky známo, princip ultrazvukových hustoměrů spočívá v závislosti rychlosti šíření v měřeném médiu. Jedná se o velmi perspektivní měření. Jeho princip je dále patrný z obrázku 5.4.



5.4. Princip ultrazvukového hustoměru

6. Měření vlhkosti

Další z energetických veličin, používaných v praxi je vlhkost. Nejčastěji mluvíme o vlhkosti plynů (konkrétně vzduchu), méně často se též měří vlhkost sypkých či pevných hmot (např. dřeva). Praktické využití měření vlhkosti lze spatřovat zejména u vzduchotechniky a klimatizace. Stejnou měrou se využívají u skleníků (měření vzduchu i půdy- viz. Automatizace v praxi). Vlhkost je jedním z činitelů, který ovlivňuje tzv. tepelný faktor prostředí (patří sem ještě teplota vzduchu, vyzařování tepla a rychlost vzduchu).

Při adiabatickém sycení vzduchu vodní parou je měřena tzv. teplota suchého a mokrého teploměru. Z psychrometrického rozdílu lze pak stanovit relativní vlhkost, viz. obr.6.1.

V současné době se v některých provozech (např. sušárny dřeva) ještě používá měření pomocí psychrometrů. Jak již bylo zmíněno, pro zjištění vlhkosti pomocí psychrometru je třeba měřit dvě teploty. První je měřena volně v prostředí a nazývá se teplotou suchého teploměru. Druhá, tzv. teplota mokrého teploměru je měřena pomocí teplotního čidla, které je obaleno např. tkaninou, po které vzlíná ze zásobní nádoby voda. Ta se na čidle odpařuje a v závislosti na okolní vlhkosti pak teploměr vykazuje rozdílnou (nižší) teplotu než suchý teploměr. Čím je vzduch sušší, tím je větší teplotní rozdíl. Na základě již uvedených vztahů pak lze určit relativní vlhkost prostředí.

Existuje několik variant psychrometrů:

a) Assmanův (bez umělého větrání=nevětraný)

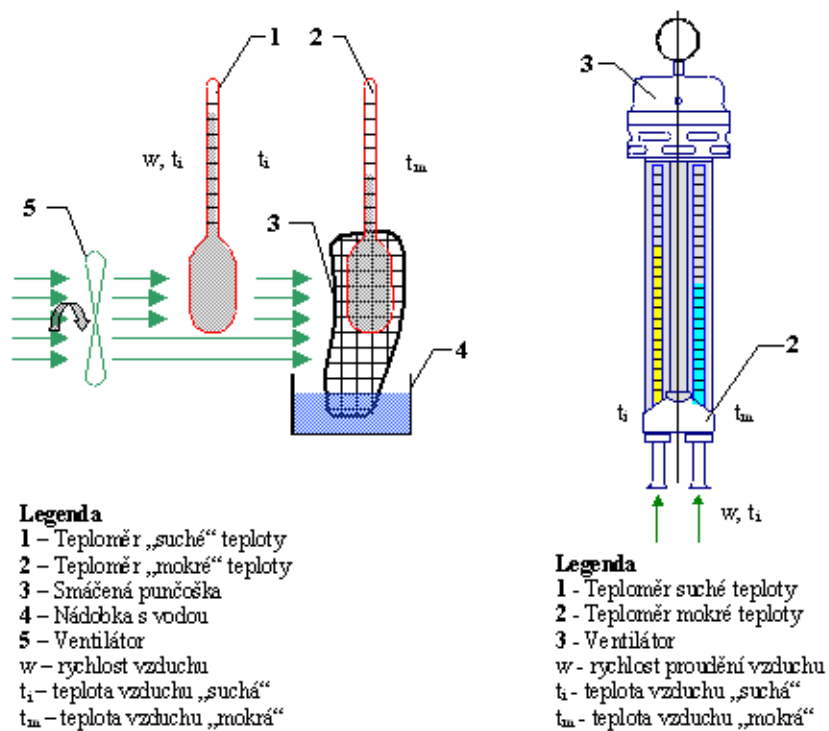
b) Aspirační (s umělým větráním alespoň $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)

Při rychlostech proudění větších než $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ je psychrometrická konstanta $A = 6,56 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Toto proudění je zajišťováno nejčastěji pomocí ventilátoru.

Kapacitní senzory

Senzory na bázi polymerních porézních vrstev, tvořících dielektrikum kondenzátoru, řadíme mezi kapacitní snímače.

Kapacitní snímače mají široké použití, v některých provozech se silným znečištěním se ovšem jejich nasazení nedoporučuje



Psychrometr

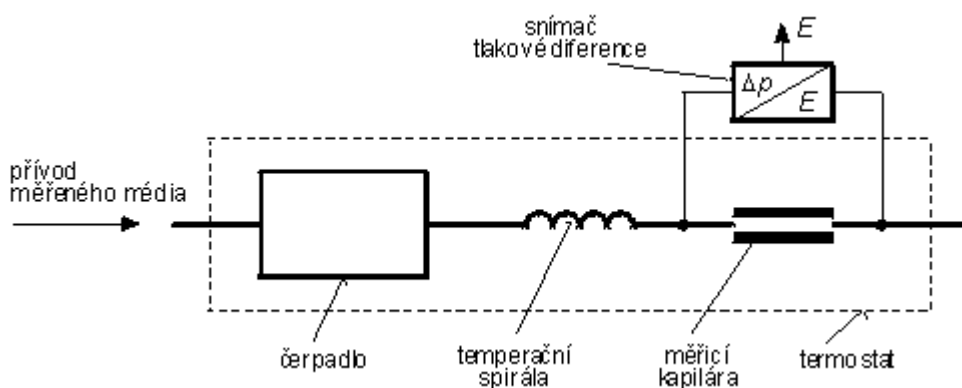
Obr. 6.1.

7. Měření viskozity

Měření viskozity představuje v současné době velmi důležité hodnoty, které se v průmyslu měří a na nichž závisí vysoká kvalita výsledného produktu technologického procesu. Existuje mnoho látek, které mají přímou souvislost mezi požadovanou vlastností a viskozitou.

7.1. Průtokové viskozimetry

Jsou založeny na měření tlakové ztráty v kapiláře při laminárním proudění média kapilárou. Obvykle se médium před kapilárou zahřívá z důvodů vyšších rychlostí kapilárou. Tato skutečnost potom musí být eliminována. Princip je názorný z obrázku 6.1.



Obr. 6.1. Schéma kapilárního viskozimetru

7.2. Viskozimetry rotační

Využívá se odporu měřeného prostředí rotačnímu pohybu vhodného tělesa.

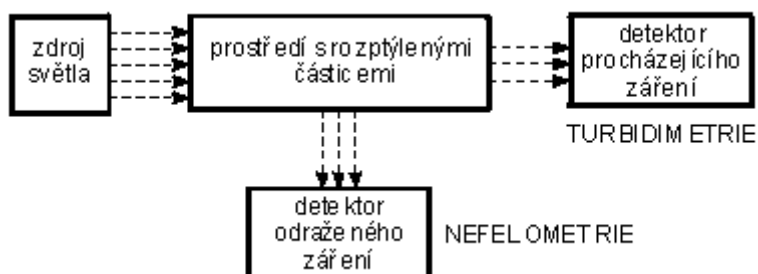
8. Měření zákalu tekutin

V dnešní době je měření zákalu tekutin velmi důležité, měří nejen kapaliny v potravinářství, ale i v odpadovém hospodářství, což velkou měrou přispívá k životnímu prostředí apod. Tímto způsobem se kontroluje např. kvalita filtrů, koncentrace biomasy apod.

K tomuto měření se využívá Lambert-Beerova zákona, kde intenzita rozptýleného světla závisí na koncentraci částic ve vzorku a dále závisí na úhlu rozptylu a na vlnové délce použitého světla a nakonec na vlastnostech nerozpustných částic v kapalině (tvar, barva a index lomu).

Koncentrace suspendovaných částic se zjišťuje dvojím způsobem (viz. obr. 8) :

- A. *turbidimetrie* - měření světelného toku po průchodu prostředím ve směru dopadajícího světelného toku ze zdroje
- B. *nefelometrie* – měření světelného toku, který je částicemi odražen kolmo (nebo pod definovaným úhlem) na měř dopadajícího paprsku



Obr. 8. Turbidimetrie a nefelometrie

8.1. Měření opacity

Opacity je poměr intenzity dopadajícího světla a intenzity propuštěného světla. (Pozn.: opacita absolutně čirého materiálu je rovna 1.)

Jedná se o velice moderní měření a vyhodnocování. Velikost opacity určuje kvalitu ovzduší např. v tunelech, podzemních garážích apod. Princip je obdobný jako u měření zákalu tekutin.

Měření opacity se v souladu s platnými bezpečnostními předpisy musí měřit v podzemních garážích a dlouhých silničních tunelech.

9. Měření elektrolytické vodivosti

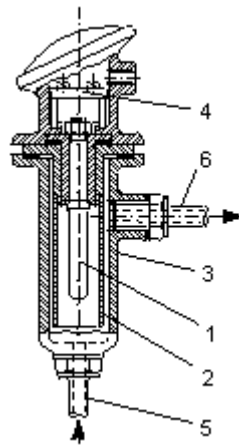
Pro přiblížení se uvádí, že elektrická vodivost roztoků je závislá na koncentraci iontů rozpuštěných látek. Základním principem měření je vložení dvou elektrod do roztoku a jejich napájením **střídavého proudu** o frekvenci 50 až 5 kHz, z důvodu zabránění polarizace elektrod.

Měření elektrolytické vodivosti je velké míře využíváno v parních kotelnách, nebo v chemických procesech.

Na obrázku 9. je znázorněn kontaktní snímač, včetně zabudovaného teploměru. Teploměr se používá ke kalibraci, neboť jak známo, vodivost je též úměrná teplotě.

Popis obrázku:

- 1,2 – elektrody
- 3 - těleso snímače
- 4 - svorkovnice
- 5,6 – šroubení přívodní odvodní

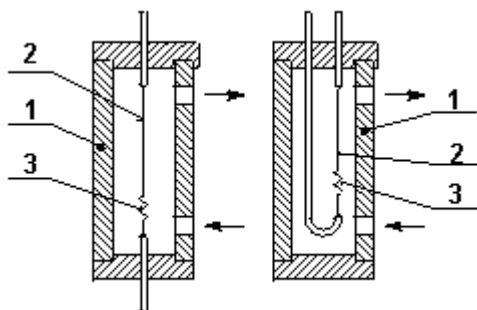


Obr. 9. Průtočný vodivostní snímač

10. Měření vodivosti plynu

Tepelná vodivost, jak je známo předchozího studia představuje fyzikální konstantu, která charakterizuje čistotu plynů. Teoreticky platí skutečnost, že tepelná vodivost plynu je tím větší, čím menší je průměr molekuly a čím vyšší je teplota a měrné teplo plynu. Tedy se zvyšující teplotou tepelná vodivost roste. Je nutno podotknout, že v širokém rozmezí je tepelná vodivost plynů nezávislá na tlaku.

Na obr. 10. je znázorněn princip měření. Základem měřícího zařízení je válcová komora 1, v níž je platinové vlákno 2, které je vypnuté pružinou 3. Vlákno je vyhříváno na teplotu cca 150°C . V důsledku změny tepelné vodivosti plynu dochází ke změně obvodu tepla z vyhřívaného vlákna, mění se jeho teplota a tím elektrický odpor, který se potom vyhodnocuje.



Obr. 10. Provedení tepelně vodivostní komory

Vodivost a přítomnost plynů je v současné době velmi důležitá. Měření plynů je nutné snímat ve všech prostorách a technologiích, kde je nebezpečí výbuchu, či otravy plynem apod.

11. Měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti představuje jedno ze základních a prvních měření, které lidstvo provádělo. Hlavní zásady jsou pozornému čtenáři – technikovi více než známy a to včetně soustavy jednotek SI.

Publikace nezapomíná na měřidly etalonové, přenosné apod.

Zautomatizování měření vzdálenosti jak vnímá pozorný čtenář – technik přineslo další vědeckou disciplínu. Protože měření vzdálenosti představuje velmi širokou škálu metod, budou dále představena ta nejdůležitější pro zautomatizování celého procesu.

Za základní dělení je považováno měření mezi vzdálenosti a měření vlastní vzdálenosti.

Základní filosofické rozdělení měření vzdálenosti využívané v automatizační technice je :

- *měřená absolutní*, měří se absolutní vzdálenost
- *měření relativní*, měří se vzdálenost vztažená od příslušného referenčního bodu

Další kritériem je měření:

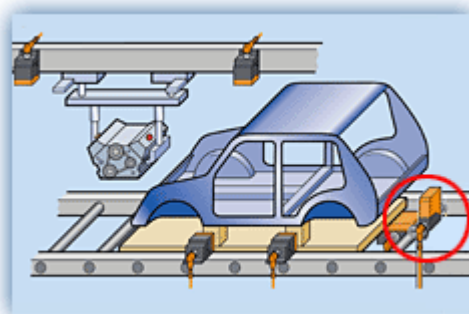
- *přímé*, vzdálenost je vyhodnocována jak vyplývá z názvu bez dalších převodů fyzikálních veličin
- *nepřímé*, v automatizační technice více využívána, provádí se měření jiné fyzikální veličiny (čas, úhel natočení, počet otáček apod.) a řídicí systém vyhodnocuje (přepočítává) vzdálenost

Velmi důležité kritérium je měření :

- *velmi malých vzdáleností*, měření mikrovzdáleností pod 0.01 mm a přesahuje rámec této publikace
- *malých vzdáleností*, jedná se o vzdálenosti od 0,001 mm do cca. 50 mm
- *středních vzdáleností*, představuje měření v rozmezí od 1 mm do 1 m
- *dlouhých vzdáleností*, představuje měření v rozmezí od 1 m do 1 km
- *velmi dlouhých vzdáleností*, představuje měření v rozmezí od 100 m do 100 km
- *měření ultradlouhých vzdáleností*, měření nad 100 km a přesahuje rámec této publikace

11.1. Měření mezi vzdálenosti

Provádí se nastavením koncových (někdy mezních) spínačů a jejich vyhodnocováním, viz. obr. 11.1. Druhá možnost je měření vlastní vzdálenosti a vyhodnocovací zařízení určí překročení (podkročení) mezí. Tato skutečnost je převážně využívána u pohyblivých mechanismů, rototů, obráběcích strojů apod.



Obr. 11.1.

11.2. Dotykové měření vzdálenosti

Existuje mnoho metod, které je možno dále využít v automatizační technice a některé z nich jsou dále analyzovány.

11.2.1. Mechanické snímače vzdálenosti

Jednou ze zastaralých ale dosud používaných metod je využití rotačního pohybu při odvíjení lanka z kovu, či umělé hmoty při měření vzdálenosti. Jak názorně z předchozího textu jedná se o metodu nepřímou. Výhodou je jednoduchost, linearita, nezávislost na teplotě, měření na velké vzdálenosti do cca. 100 m. Nevýhodou je nižší přesnost.

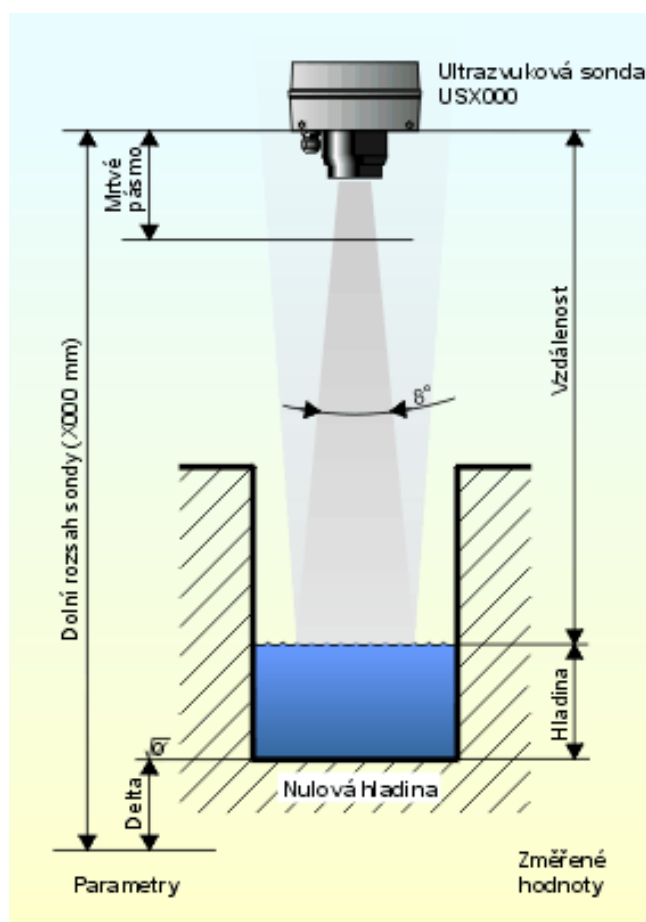
Další používanou metodou je indukční metoda využívající jedné primární a dvou sekundárních cívek. Velikost napětí, které se potom indukuje je úměrné vůči pozici jádra.

11.3. Bezdotykové měření

11.3.1. Ultrazvukové sondy

Intelligentní ultrazvukové sondy pracují na principu časové prodlevy mezi vysílaným ultrazvukovým impulsem a jeho přijatým odrazem od sledovaného objektu (porovnej např. s měřením výšky hladiny obr. 11.3.1.).

Pracovní kmitočet se běžně pohybuje od 40 kHz do 175 kHz.



Obr. 11.3.1.

11.3.2.Laserové sondy

Jedná se o bezdotykové měřící převodníky vzdáleností , které využívají principu triangulace. Laserový paprsek vychází z vysílače a vytváří na povrchu měřeného materiálu světlou skvrnu. Ta se prostřednictvím odrazové optiky promítá na fotodetektor který dodává výstupní signál úměrný měřené vzdálenosti.

Používají se k měření vzdálenosti do max.300 mm, mají vysokou přesnost (do 0,15% měřeného rozsahu) , jsou stabilní a spolehlivé. Princip je patrný z přiloženého obr.11.3.2.1.



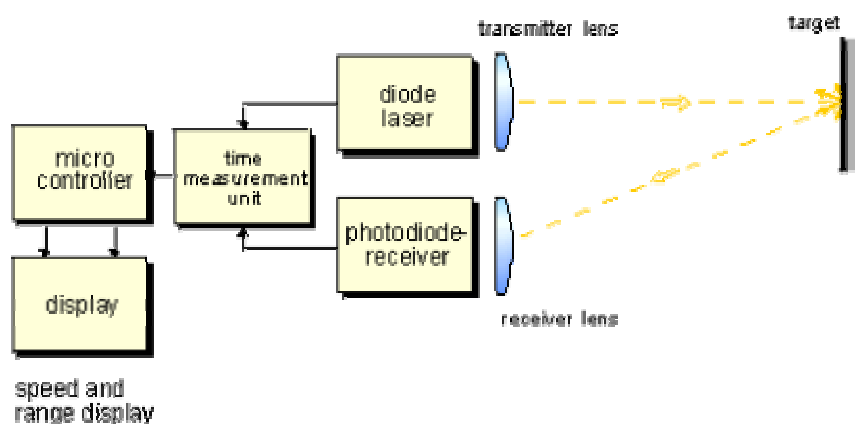
Obr.11.3.2.1. Laserové sondy - Měření rozměrů

Jedná se o princip měření rozměrů využívající CCD kameru s vysokým rozlišením.

Základem je polovodičový laser, který září v neviditelné – infračervené části spektra. Laser nepracuje spojitě a paprsek je vyslán ve velmi krátkých intervalech – pulsech.

Pokud paprsek laseru namíříme na nějaký lesklý objekt, odraží se od něj zpět. Odražený paprsek je zachycen pomocí optiky a světlocitlivý prvek - fotodioda jej přemění na elektrický signál.

Světelný záblesk se pohybuje stálou a velmi vysokou rychlostí. Pro vaši představu: vzdálenost Země - Měsíc a zpět urazí světlo asi tak za jeden a půl vteřiny. Čím je vzdálenost objektu, od kterého se laserový paprsek odraží, větší, tím delší je doba mezi vysláním a přijmem pulsu. Vzdálenost objektu je přímo úměrná změřenému intervalu mezi dvěma elektrickými pulsy – vysílacím a přijímacím. Jednoduché, že ? Ale, teď vás jistě napadne otázka, co se stane, když se měřený objekt – automobil - začne pohybovat. Vzdálenost a tím i intervaly mezi pulsy se postupně zkracují, jak se k nám cíl přibližuje. Není pak nic jednoduššího, než změřit vzdálenost, zlomek vteřiny počkat a znovu změřit vzdálenost. Pak už snadno vypočítáme rychlost, ale to za nás udělá malý počítač, který je součástí každého laserového měřiče rychlosti. Stačí znalost fyziky ze základní školy.



Obr. 11.3.2

Měřící rozsah je do 100 mm s přesností cca. 10 μ m.

10.4.3. Měření na principu vířivých proudů

Jedná se o poměrně mladou metodu měření vzdáleností. Vysokofrekvenční proud prochází cívkou zalitou v pouzdře a ve vodivém měřeném objektu se prostřednictvím elektromagnetického pole indukují vířivé proudy, které odsávají energii oscilačnímu obvodu. V závislosti na vzdálenosti se mění amplituda signálu senzoru, která je úměrná vzdálenosti.

Výhodou je vysoká přesnost, rozlišitelnost, rychlost měření, teplotní stabilita, neovlivnitelnost na prostředí – špína, prach apod.

Nevýhodou je skutečnost, že lze měřit pouze elektricky vodivé materiály.

Použití je u měření malých vzdáleností do 100 mm s přesností do 0,5% měřené vzdálenosti.

10.3.4. Měření na principu kapacity

Jedná se o bezdotykové měření na principu změny kapacity při změně vzdálenosti elektrod. Kapacitní sonda představuje jednu elektrodu, měřený objekt druhou elektrodu.

Předností je přesnost, teplotní stálost, vysoká rozlišitelnost, a rychlost.

Využívají se u měření do 10mm s přesností cca. 0,2% měřeného rozsahu.

11.3.5. Princip ultrazvukového měření

Nejnámějším příkladem užití ultrazvuku je zvíře - netopýr. Díky vysílání zvukových signálů s vysokou frekvencí a přijetí zpětně odraženého signálu od objektu jsou schopni určit jeho polohu a vzdálenost.

Tento způsob lze použít v aplikacích průmyslového měření. Ultrazvukové snímače vyvinuté firmou pracují na principu měření času od vyslání do příjmu odraženého signálu. Poloha a vzdálenost měřeného objektu se z něj se určují automaticky. Ultrazvukové snímače jsou vhodné pro řadu aplikací, nejčastější je ovšem právě měření vzdálenosti.

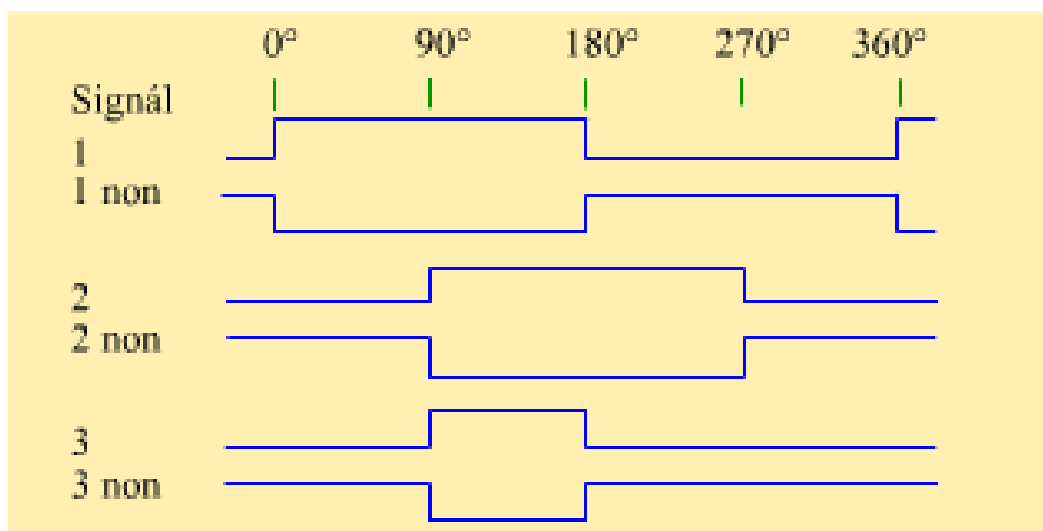
11.4. Inkrementální čidla

Jejich princip spočívá ve snímání velmi přesných kotoučů, nebo pravítek, na kterých jsou vyvedeny přesné rysky. Přesnost měřidel spočívá právě v mechanické přesnosti. Tato čidla jsou určena k přesnosti do 0,01 mm.

11.4.1. Inkrementální rotační čidla

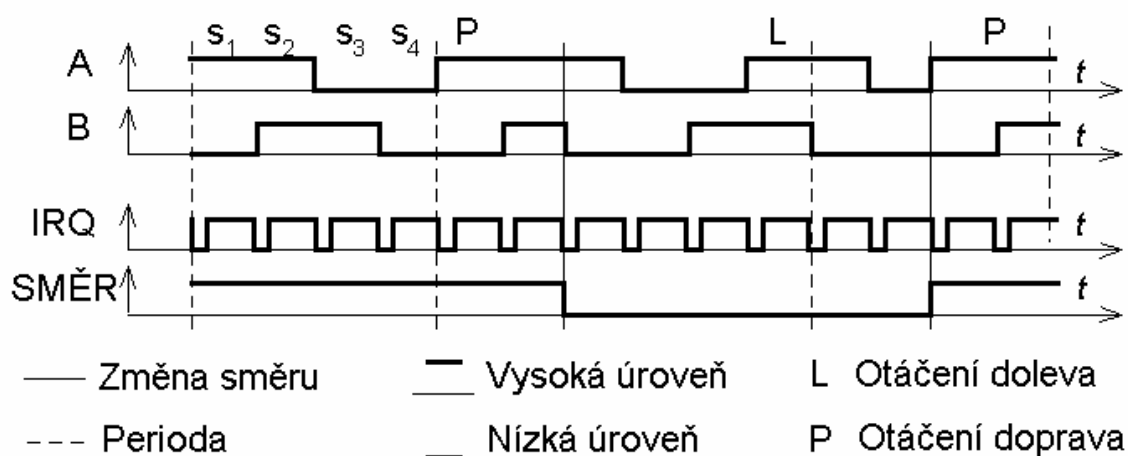
Převádějí rotační pohyb na elektrické signály prostřednictvím snímání dvou fotoelektrického snímání rastrů skleněného rotoru a statoru. Tím se zprostředkuje elektrická informace o vzájemné poloze dvou mechanických celků.

Jedná se o přesné měření nepřímou metodou. Hlavní využití v robotice a u obráběcích strojů. Na obrázku 11.4.1.a. je patrný průběh, výstupních signálů. Jedná se o 2 základní signály (1, 2) posunuté o 90° elektrických, 1 nulový impuls (3) a jejich negace.



Obr. 11.4.1.a. Výstupní signály

Dekodér IRC čidla



Obr. 11.4.1.b.

11.4.2. Inkrementální lineární čidla

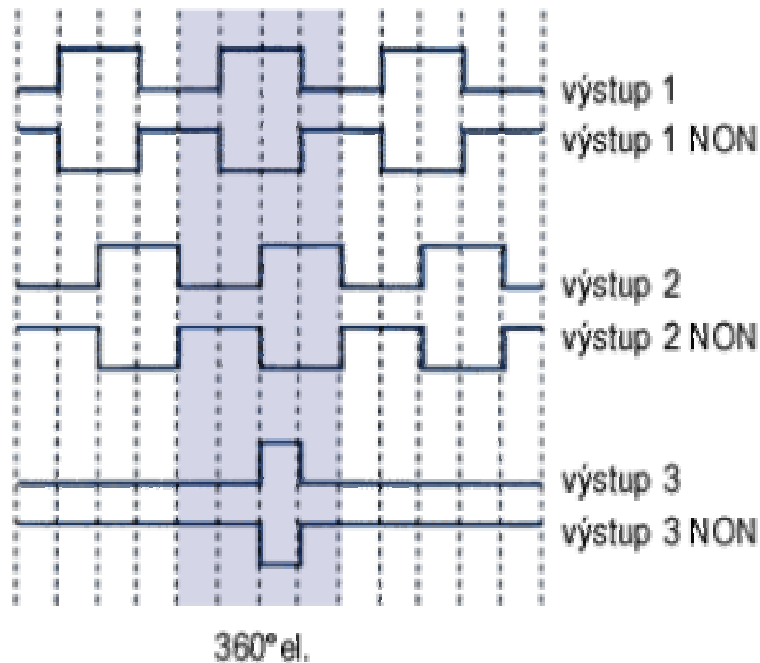
Lineární inkrementální snímač je optoelektronický inkrementální přístroj standardně určený pro přesná odměřování ve větších délkách. Jedná se o převodník, který převádí informace o lineárních změnách polohy na elektrické impulsy, kdy počet těchto impulsů odpovídá velikosti změně polohy a frekvence odpovídá lineárně rychlosti pohybu.

Převodník tvoří dvě části, viz. obr. 11.4.2.a., které se vůči sobě pohybují. Jedou částí je hliníkový profil, který obsahuje přesné skleněné měřítko, druhá část je představována snímací hlavicí s elektronikou obsahující vyhodnocovací zařízení a napájení osvětlovací diody.

Výstupem z elektroniky jsou signály znázorněné na obrázku 11.4.2.b. Dva jsou pravidelné pravoúhlé, posunuté o 90° elektrických. tyto přenášejí informaci o změnách polohy směru pohybu. Třetí impuls se generuje vždy po 50 mm.



Obr. 11.4.2.a.



Obr. 11.4.2.b.

11.7. Indukční čidla

Indukční čidla pracují na principu přiblížení kovového předmětu k aktivní ploše, kdy dojde k úbytku energie na oscilačním systému. Úbytek této energie je hodnotou vzdálenosti mezi objektem a čidlem. Tento úbytek se potom převádí na měronosný, resp. Unifikovaný signál.

11.5.1. Selsyn

Selsyn je svou podstatou indukční stroj na střídavý proud. Skládá z pevné části - statoru- a otočné části- rotoru, mezi kterými je vzduchová mezera. Na rotoru je jednofázové budící vinutí, které je napájené z jednofázové střídavé sítě a slouží k vybuzení magnetického obvodu. Budící vinutí má oba konce vyvedeny na kroužky (proud do budícího vinutí se přivádí kartáčky). Na statoru je trojfázové vinutí synchronizační, spojené do hvězdy nebo trojúhelníku . Kromě těchto vinutí může mít selsyn ještě jedno vinutí tlumicí a jedno nebo několik vinutí pro

zpětnou vazbu. Tlumičí vinutí je uloženo na rotoru a je spojeno nakrátko. Slouží k utlumení kývání při změně natočení rotoru.

Použití selsynů

Selsyny se nejčastěji používají pro:

- **dálkovou indikaci polohy nebo pohybu** - přenášejí neelektrické veličiny na vzdálenosti, na které by se mechanické veličiny nedaly přenést (např. poloha antény, tlakoměru, teploměru, ventilu, šoupátka, plováku atd.)
- **dálkovou regulaci a programová řízení** - např. pro natáčení ventilů a šoupátek, natáčení antény atd.
- **přenos točivého momentu (elektrický hřídel)** - synchronizuje točivý pohyb dvou nebo několika mechanismů (např. synchronizace papírenských strojů, textilních strojů, válcovacích stolic, velkých portálových jeřábů atd.)

Popis funkce selsynu

Prochází-li budícím (rotorovým) vinutím proud, vytváří se střídavý magnetický tok, který se uzavírá přes vzduchovou mezeru a stator. Budící vinutí působí na statorová vinutí stejně jako primární vinutí transformátoru na jeho sekundární vinutí. Do statorových vinutí se indukuje napětí, jehož velikost závisí na tom, jak jsou natočeny jejich magnetické osy proti magnetické ose budícího vinutí. Velikostí fázových napětí při poloze rotoru (tj. úhlu f_i) jsou zobrazeny na obr. 2. Jejich efektivní hodnoty vyjádříme pomocí kosinu úhlu f_i těmito vztahy:

$$U_1 = U \cos(f_i) \qquad U_2 = U \cos(f_i - 120^\circ) \qquad U_3 = U \cos(f_i - 240^\circ)$$

12. Měření rychlosti a zrychlení

Měření rychlosti je jednou z důležitých kapitol, kterých čtenář neustále v praktickém životě využívá a přístroje, se kterými se neustále setkává. Již v předchozím textu byly analyzovány snímače a převodníky, které byly schopny měřit rychlost. Jedná se např. o měření rychlosti a dráhy u tuhých těles zároveň převodníky typu IRC (inkrementální rotační čidla) apod.

Tento materiál si klade za cíl seznámit čtenáře pouze ze základními měřeními rychlosti fyzikálních veličin a nikoliv jiných parametrů (např. rychlost přenosu dat v počítačové síti, nebo rychlosti připojení na internet apod.) .

Převodníky pro měření rychlosti se rozdělují především dle druhu měřeného objektu:

- měření rychlosti tuhých těles
- měření rychlosti kapalin a plynů

Převodníky pro měření rychlosti se rozdělují dále dle rychlosti měřeného objektu:

- měření ultrapomalé a malé rychlosti (jedná se např. o měření rychlosti růstu kostí apod. – touto problematikou se dále nebudeme zabývat)
- měření střední rychlosti
- měření vysoké rychlosti
- měření velmi vysoké rychlosti (rychlost elementárních částic apod.- touto problematikou se dále nebudeme zabývat)

Převodníky a snímače přímé a nepřímé

12.1. Měření rychlosti kapalin a plynů

12.1.1. Měření na principu rozdílu tlaku před a za primárním prvkem rychloměru

Převážná většina průmyslových rychloměrů měřících kapaliny a plyny je založena na rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru. Jedná se o:

- clony
- dízy
- Venturiho trubice
- apod.

Vzhledem ke skutečnosti, že tyto metody byly analyzovány v předchozím textu nejsou tyto dále řešeny.

12.1.2. Plováčkové rychloměry

Princip spočívá ve svislé kónické měřící trubici, která se rozšiřuje směrem nahoru. V ní se volně pohybuje plováček z materiálu hustotou větší než je hustota měřeného média. Pokud médium neproudí,, je plováček dole. V případě proudění se tento zvedá úměrně rychlosti proudění.

12.1.3. Turbínkové snímače rychlosti

Jejich základem je volně otočný rotor s lopatkami. Rotor se vlivem proudění média otáčí a jeho otáčky jsou úměrné rychlosti proudění média.

12.1.3.1. Anemometry – měření rychlosti kapalin a plynů

Anemometry jsou založeny na měření rychlosti otáčení vrtulky, která se při měření umístí do měřeného prostoru, ve kterém proudí plyn nebo kapalina. Je pochopitelné, že mimo rychlosti proudění je možno měřit další veličiny jako teplota apod.

Anemometr



12.1.4. Vírové rychloměry

Viz. předchozí text.

12.1.5. Elektromagnetické (indukční) rychloměry

Viz. předchozí text.

12.1.6 Ultrazvukové rychloměry

Viz. předchozí text.

12.2. Měření rychlosti tuhých těles

12.2.1. Radarové snímače rychlosti

Radary měří rychlost pomocí Dopplerova jevu s využitím odražených radiových vln v mikrovlnném rozsahu. Paprsek vysílaný parabolickou anténou se odráží od tělesa (např. automobil) zpět k radaru je zesílen. Vlastní zpracování vysílaného a odraženého signálu zpracovává vlastní elektronika snímače rychlosti.

12.2.2. Inkrementální snímače rychlosti

Jak již bylo několikrát v předchozím zdůrazněno je možno měřit převodníky IRC rychlost pevného tělesa a to měřením rychlosti frekvence hlavního kódu. Další viz. IRC převodníky.

Použitá literatura:

1. ABB Elektro Praga s.r.o. – prospektní materiál, komplexní katalogy
2. ADDAT s.r.o. - katalogové listy, semináře
3. ALCO Controls – projekční materiály 2004
4. AMS hladinoměry s.r.o. -katalogové listy
5. APPLIC s.r.o. - katalogové listy
6. ASCO Joucomatic – výrobní program 2004
7. Augusta - katalogové listy
8. AURA a.s. - katalogové listy
9. Automatizace – ročník 2003,2004, 1-4/2005
10. Balluf – brožury 2005
11. Belimo – katalogové listy
12. BHV senzory - katalogové listy
13. Blumbecker – tiskové zprávy
14. Bosch – tiskové zprávy
15. Buderus tepelná technika – katalogové listy
16. DataCon s.r.o. - katalogové listy
17. Comet – katalog měřící techniky
18. COTHERM - G-MAR s.r.o. - katalogové listy
19. DB Sensor – snímače tlaku 2005
20. Ekotechnika spol. s r.o. - katalogové listy
21. Elko s.r.o. - prospektní materiály
22. elektrocom LIMOMYŠL - katalogové listy
23. Emila – tiskové zprávy
24. Endress+Hauser – Katalog výrobků 2005
25. ESBE - G-MAR s.r.o. - katalogové listy
26. FCC průmyslové systémy – tiskové zprávy
27. Festo – tiskové zprávy
28. G-MAR s.r.o. - katalogové listy
29. Gavazzi-automation – tiskové zprávy
30. Krohne CZ - katalogové listy
31. Honeywell - installation instrumentions manual pipe thermostats
32. Huba Kontrol katalog č. 604
33. Jablotron s.r.o – katalogové listy
34. LANDIS a STAEFA - katalogové listy
35. LEVEL s.r.o. - katalogové listy
36. Level instruments - katalogové listy
37. LOGITRON - katalogové listy
38. MAVÉ spol. s r.o. - katalogové listy
39. Moeller – katalog 2005
40. Omron Electronics s.r.o. – uživatelské manuály 2003
41. Polák Zdeněk – měření rychlosti vzduchu, Polak.html
42. Protonix s.r.o. - katalogové listy
43. REGMET-ing.Jánek - montážní a katalogové listy
44. RENAX s.r.o. - LOGITRON - katalogové listy
45. Rockwell Automation Servisec – tiskové zprávy
46. Sauter s.r.o. - katalogové listy
47. Sensit – prospekt 0096 až 1396
48. Schneider electric - prospektní materiály

49. Siemens – přehledový katalog 2005, katalogové listy
50. Stiebel Eltron - Projekční podklady elektro
51. Raytek – prospektní materiály
52. Regin - prospektní materiály
53. REMAGG BUSINESS, Ltd. – souhrnný katalog
54. TES s.r.o. – referenční listy, LOGITRON - katalogové listy
55. V-systém Michal Vesecký – kabelové topné systémy
56. Yokogawa - katalogové listy
57. ZPA EKOREG s.r.o.- montážní a katalogové listy
58. ZPA Nová Paka – měřicí a regulační technika 2004/2005
59. ZPA CZ Trutnov spol.s r.o. – technická specifikace