

Automatizace 3

Ing. Jiří Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.

6. Snímače, čidla

Následující kapitola je zpracována s ohledem na využití snímačů v moderních automobilech. Ty jsou příkladem úspěšného využití elektroniky v původně čistě strojírenském výrobku. Využití níže uvedených snímačů je samozřejmé i v celé řadě dalších výrobků.

Snímače jsou smyslovými orgány vozidla pro dráhu, úhel, otáčky, rychlost, zrychlení, vibrace, tlak, průtok, koncentraci plynů a další veličiny. Jejich signály jsou nezbytné pro řízení různých systémů pro řízení motoru, podvozku, bezpečnosti a komfortu. Snímače převádí neelektrické vstupní veličiny na elektrické signály, které jsou dále upraveny přizpůsobovacím obvodem.

Tyto signály potom zpracovává podle programu **řídící jednotka**. Jedná se o malý počítač obsahující mikroprocesor, paměť programu (PROM, EPROM, EEPROM) a paměť dat (RAM) s dalšími podpůrnými obvody.

K řídicí jednotce jsou potom připojeny **akční členy**, které **zajišťují regulaci dané veličiny**.

Řídící jednotka má **výstupy na indikaci** (palubní deska, displej, monitor) a **diagnostiku**. K jejímu nastavení používáme PC (notebook, v autoservisech diagnostický počítač, což je PC v průmyslovém provedení).

V jednom zařízení (v automobilu) může být **větší počet řídicích jednotek** (pro ABS, automatickou převodovku), které spolu komunikují nejčastěji po **sériové sběrnici** (CAN-BUS).

Na **snímače** mohou působit rušivé veličiny, které nesouvisí s měřenou veličinou a které snižují přesnost měření (např. teplota okolí, kolísání napájecího napětí).

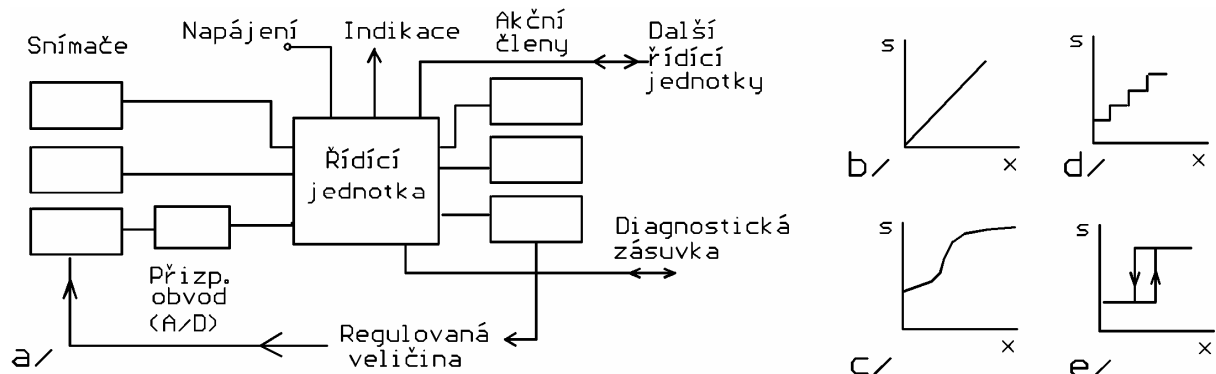
Přizpůsobovací obvod upravuje signál snímače do normovaného tvaru (analogové napětí 0-5 V, proudová smyčka 4-20 mA, digitální signál), aby jej bylo možné bez zarušení přivést do řídicí jednotky. Tento obvod je často integrován do snímače a tvoří s ním jeden mechanický celek.

Hlavní požadavky na snímače: **spolehlivost** (robustní provedení, minimum rozebíratelných spojů), **nízká cena** (daná velkými výrobními sériemi), **malé rozměry** (miniaturizace elektrických obvodů), vysoká **přesnost** (snížení výrobních tolerancí). V současnosti se ke snímači s přizpůsobovacím obvodem přidává i **A/D převodník**. Vzniká tak tzv. **inteligentní snímač**.

Zdigitalizovaný signál je odolný proti zarušení, nejsou problémy s jeho přenosem. Na rozdíl od analogového signálu nedochází při přenosu k jeho rušení.

Takový snímač je možné navíc doplnit jednočipovým mikroprocesorem, který automaticky provádí korekci naměřené hodnoty (nastaví se při výrobě a uloží se do paměti PROM). Mikroprocesor může provádět výpočty měřené veličiny (např. určit minimální, střední nebo maximální hodnotu) a je schopen provádět jejich korekci s ohledem na stárnutí snímače. Pomocí výpočtů se dá zlepšit přesnost měření. Elektroniku integrovanou v místě měření vyžadují také vícesnímačové struktury.

Digitální signál se většinou přenáší v **sériovém** tvaru. **Paralelní přenos** dat (např. 8 bitů) by vyžadoval **velký počet vodičů a konektorů**, snížila by se spolehlivost.



Obr.60

a/ zapojení snímačů, řídicí jednotky a akčních členů ve vozidle

Převodní charakteristika snímače (X je měřená veličina, S je výstupní signál)

b/ spojitá lineární (vhodná pro měření v širokém rozsahu)

c/ spojitá nelineární (pro měření v úzkém rozsahu)

d/ nespojitá víceúrovňová

e/ nespojitá dvouúrovňová (s hystezí)

6.1. Potenciometrické snímače polohy (dráha, úhel)

Nejjednodušší nejlevnější je **potenciometrický snímač**. Pohyb plynového pedálu (akcelerace), , snímače úhlu škrtky nebo plováku v palivové nádrži se převádí na pohyb jezdce potenciometru na odporové dráze. Ta je připojena přes další odpory k napájecímu napětí. Na jezdcu potenciometru je napětí úměrné k jeho poloze.

Odporová dráha musí být zatěžována pouze **malým proudem** (1 mA), aby se **neohřivala**.

Nevýhodou je **mechanické opotřebení** a **nadzvednutí běžce** při velkém zrychlení a **vibracích**. Často má potenciometr 2 odporové dráhy, jednu měřicí s velkým odporem a jednu snímací z vodivého materiálu.

U potenciometrických snímačů musíme ve vypnutém stavu a při rozpojeném obvodu ohmetrem naměřit odpor (nejčastěji v řádu jednotek nebo desítek k Ω). Jeho hodnota se změnou měřené veličiny (sešlápnutí pedálu) musí měnit. Při provozu musí být na výstupu potenciometrického snímače stejnosměrné napětí (nejčastěji 0 až 5 V)

Potenciometrické snímače bez jezdce mají místo odporových drah **magnetorezistory** (viz dále) v diferenciálním zapojení (R_1 , R_2 , viz obr 6.1 b). Jsou to polovodičové součástky, jejichž **odpor roste s rostoucí magnetickou indukci B** . Místo jezdce zde máme permanentní magnet. Ten se při pohybu vždy k jednomu magnetorezistoru přibližuje a od druhého se vzdaluje. Mění se tedy poměr jejich odporů. Vzhledem k tomu, že tyto rezistory jsou zapojeny jako dělič napětí, mění se i jeho výstupní napětí U_x . Výhodou je, že **proud neteče přes pohyblivé části**, což znamená větší **spolehlivost** a odolnost proti prachu a otřesům..

6.2 Magnetické indukční snímače

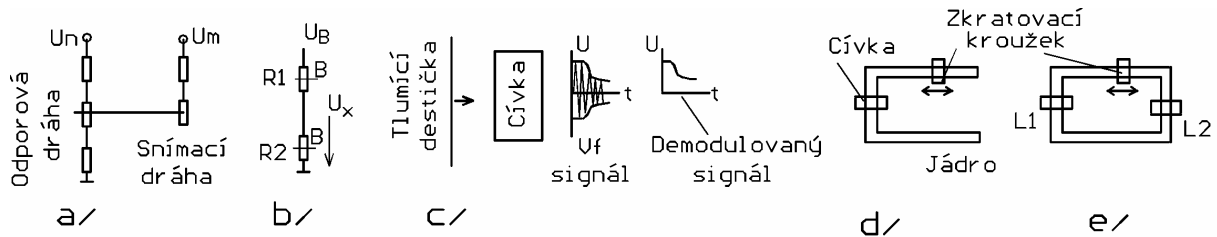
Ze všech bezkontaktních a bezdotykových principů měření polohy jsou magnetické snímače obzvláště robustní a necitlivé vůči rušení. To platí zvláště pro principy měření založené na střídavém proudu, tedy principy magnetické indukce. Potřebná provedení cívek však v porovnání s mikromechanickými snímači zabírají více místa. Z mnoha známých principů tohoto druhu nacházejí v motorových vozidlech použití především dva, jejichž způsob činnosti je velmi podobný:

Snímače využívající vířivé proudy.

Blíží li se elektricky **vodivá**, rovná nebo zakřivená **destička** (např. z hliníku nebo mědi) **k cívice** (většinou bez železného jádra), kterou protéká **vysokofrekvenční střídavý proud**, mění se její odpor a **indukčnost**. Příčinou jsou vířivé proudy vznikající v tlumící destičce na základě rostoucí vazby. Poloha této tlumící destičky reprezentuje měřenou dráhu s .

Ačkoliv princip dobře funguje již v oblasti kilohertzů, doporučuje se ke snímání rychlých pohybů spíše vyšší pracovní frekvence v oblasti **megahertzů**. Obecně to zase vyžaduje, aby elektronika byla

umístěna přímo u snímače. (Vysokofrekvenční signál je obtížné vést na větší vzdálenosti.) K převodu měřicího efektu na elektrické výstupní napětí je možné použít jak činný odpor, tak indukčnost.



Obrázek č. 6.1

a/ Potenciometrický snímač (U_0 – napájecí napětí, U_m – výstupní napětí)

b/ Potenciometrický snímač s magnetorezistory

c/ Magnetický induktivní snímač (změna polohy tlumící destičky vyvolá změnu amplitudy vf napětí v cívkě, které je dále demodulováno)

d/ jednoduchý snímač se zkratovacím kroužkem

e/ diferenciální snímač se zkratovacím kroužkem

Snímače polohy se zkratovacím kroužkem. Na rozdíl od snímače využívajícího vířivé proudy má cívka snímače se zkratovacím kroužkem vždy **magneticky měkké jádro** obvykle z plechů rovného nebo zakřiveného tvaru U nebo E. Pohyblivý tlumící díl je zde v podobě „zkratovacího kroužku“ z dobře vodivého materiálu (např. měď nebo hliník), který je pohyblivě umístěn na jednom nebo na všech sloupcích jádra. Kvůli železnému jádru mají tyto snímače mnohem větší indukčnost než snímače využívající vířivé proudy. Mohou proto dobře pracovat i na **nižším kmitočtu** (5 až 50 kHz) a elektronika pro zpracování signálu nemusí být přímo umístěna v místě snímače. Poloha zkratovacího kroužku ovlivňuje indukčnost téměř lineárně.

Diferenciální nebo polodiferenciální zapojení zlepšuje linearitu měření a zvětšuje odolnost proti rušení.

Indukčnost většinou tvoří prvek oscilačního obvodu. Změna indukčnosti způsobí změnu kmitočtu, kterou může vyhodnotit čítač nebo mikroprocesor v řídicí jednotce. Signál přenášený do řídicí jednotky je odolný proti rušení.

Snímač úhlu natočení (vypadá podobně jako motor) obsahuje **dvě statorové vinutí** natočená vzájemně o 90° , která jsou napájena **sinusovými napětími** stejného kmitočtu, která jsou rovněž fázově posunutá o 90° . V pasivním vinutí **rotoru se indukuje signál** složený z obou sinusových signálů. Jeho **fázový posuv odpovídá úhlu natočení rotoru**. Snímač úhlu natočení převádí tento úhel na fázový posuv signálů, který je potom elektronicky vyhodnocen.

Na stejném principu pracuje **induktosyn** – indukční snímač dráhy posunutí. Místo dvou cívek je zde jedna cívka tvořena plošným meandrovým vodičem, který je na obou koncích napájen signály posunutými fázově o 90° . Místo rotoru je zde posuvný jezdec s cívkou, ve které se indukuje napětí.

6.3 Induktivní snímače otáček

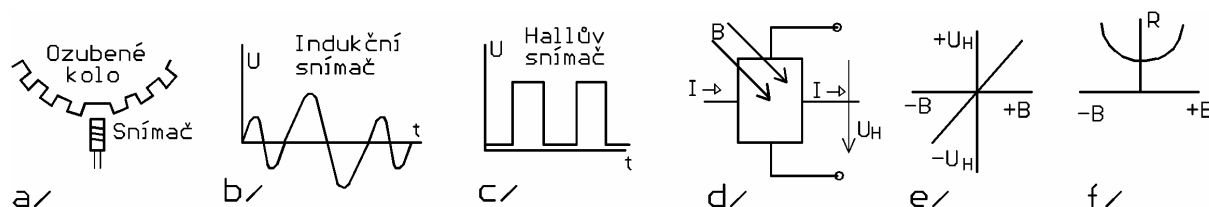
se skládají obecně ze tří hlavních magnetických součástí: nehybná cívka, část magneticky měkkého železa, trvale magnetická část. **Změna magnetického toku potřebná k vytváření výstupního napětí je způsobována otáčením ozubeného kola.** V cívkě, která je pevně spojená s permanentním magnetem, se indukuje změnou magnetického toku střídavé napětí přibližně sinusového průběhu.

Indukované napětí v cívkě je úměrné změně (derivaci) magnetického toku Φ . Velikost signálu je přímo úměrná otáčkám ozubeného kola. Proto se prahové hodnoty vstupních obvodů v řídicí jednotce dynamicky přizpůsobují otáčkám. Výstupní napětí snímače **tvaruje Schmittův obvod na pravouhlý průběh.** (Tento obvod se používá pro digitalizaci pomalých nebo zarušených signálů. Má hysterezi, kterou vytváří kladná zpětná vazba z výstupu na vstup. Odstraňuje nejednoznačné úrovně napětí, na jeho výstupu je vždy pravouhlý průběh napětí, 0 nebo 1.)

Amplituda signálu závisí výrazně na vzduchové mezeře a velikosti zubů.

Chceme-li měřit pouze rychlost otáček (např. snímače otáček kol pro ABS), měříme kmitočet výstupního signálu.

Pro určení polohy klikového hřídele (určení okamžiku vstříknutí paliva) musí být na ozubeném kole značka (mezera mezi zuby), které zvětší amplitudu signálu (obr. 6.2 a). Elektronika musí tuto změnu správně vyhodnotit.



Obrázek 6.2

a/ Měření otáček induktivním snímačem (induktivní snímač v blízkosti točícího se ozubeného kola)

b/ průběh napětí na cívce snímače, je-li mezi zuby mezera (značka)

c/ průběh napětí na výstupu Hallova snímače

d/ princip Hallova snímače (vektor B měřeného magnetického pole je kolmý na destičku)

e/ závislost Hallova napětí na intenzitě magnetického pole

f/ závislost odporu magnetorezistoru na intenzitě magnetického pole

Výhodou induktivních snímačů jsou **nízké výrobní náklady, odolnost proti rušení, žádná elektronika ve snímači**, žádné problémy s driftem stejnosměrného napětí a **velký teplotní rozsah**. Nevýhodou je **závislost výstupního napětí na otáčkách a citlivost na výkyvy vzduchové mezery**. Induktivní snímač otáček má dva vývody. Při podezření na závadu změříme cívku snímače ohmetrem, je-li v pořádku, musíme naměřit velmi malý odpor. Výstup induktivního snímače měříme za provozu osciloskopem. Při zvýšení otáček motoru roste amplituda i kmitočet signálu.

6.4 Magnetostatické snímače

Magnetostatické snímače měří stejnosměrné magnetické pole. Na rozdíl od magnetických induktivních (cívkových) snímačů se daleko lépe hodí pro miniaturizaci a lze je levně vyrábět metodami mikrosystémové techniky. Používají se především galvanomagnetické jevy (Hallův jev a Gaussův jev).

Hallův jev se vyhodnocuje pomocí tenkých polovodičových destiček, kterými protéká elektrický proud a zároveň prochází magnetické pole. Jsou-li proud a magnetická indukce na sebe kolmé, lze příčně ke směru proudu naměřit napětí **Hallovo napětí U_H** , úměrné velikosti magnetického pole. Zároveň se zvyšuje odpor destičky podle parabolické charakteristiky (Gaussův jev, magnetorezistor). Příčinou těchto jevů je působení magnetického pole na elektrony, které jsou nositeli elektrického proudu.

Při použití křemíku je možné tento snímač zkombinovat s integrovaným obvodem, který Hallovo napětí zesiluje a vyhodnocuje. V nejjednodušším případě detekujeme překročení prahové hodnoty elektromagnetické indukce pomocí Schmittova obvodu. Výstupem je dvoustavový logický signál, vzniká tak **Hallův spínač**.

Nevýhodou jednoduchého snímače je značná teplotní závislost, způsobená mechanickým pnutím materiálu. Díky **principu rotujících proudů** (spinning current) se jí podařilo odstranit. Proud a měřicí obvod jsou elektronicky přepínány. Změřené napětí je elektronicky průměrováno. Vzniká tak **integrovaný Hallův obvod**, který je vhodný např. pro snímače zrychlení.

Diferenciální Hallovy snímače

Již několik let existují také dvojité Hallovy snímače (diferenciální uspořádání Hallova snímače) v plně integrovaném provedení. U těchto snímačů jsou dva kompletní Hallovy systémy umístěné v definované vzdálenosti na jednom čipu a příslušná elektronika (operační zesilovač) vyhodnocuje rozdíl obou Hallovy napětí. Tyto snímače mají výhodu, že jejich výstupní signál je značně nezávislý na absolutní hodnotě intenzity magnetického pole a jeho diferenciální snímače snímají pouze prostorovou změnu magnetické indukce.

Tyto snímače se většinou používají k měření otáček. Rotorem je ozubené kolo z kovového materiálu. Přiblížení a oddálení jednotlivých zubů způsobuje změny magnetického pole v blízkosti permanentního magnetu. **Velikost jejich výstupního signálu do značné míry nezávisí na vzduchové mezeře mezi rotorem a snímačem. K dosažení maximálního výstupního signálu odpovídá vzdálenost obou Hallových snímačů (umístěných většinou na okrajích podélného čipu) přibližně polovině rozestupu zubů.**

Oproti induktivním snímačům má Hallův snímač otáček výhodu v tom, že **jeho výstupní napětí není závislé na rychlosti otáček** a dá se tak snadno elektronicky zpracovat. Má malé rozměry a vyžaduje elektronické předzpracování signálu. Rozsah provozních teplot je ale omezen křemíkovou vyhodnocovací elektronikou (155 °C max). Nevýhodou ale je, že ke své činnosti potřebuje značný stejnosměrný proud, jehož odběrem zatěžuje palubní síť vozidla.

Hallův snímač má **3 vývody** (napájení, výstup, kostra). Výstupní signál měříme osciloskopem. **Při zvýšení otáček roste kmitočet, amplituda se nemění.**

Magnetorezistory se mohou podobně jako Hallovy snímače používat ke snímání otáček ozubeného kola. Jsou značně teplotně závislé, musíme je proto používat v diferenciálním provedení. Dvojice magnetorezistorů je zapojena jako dělič napětí. Jeho výstupní napětí se s teplotou mění minimálně.

Odpor magnetorezistorů se mění v závislosti na intenzitě magnetického pole. Vhodného pracovního bodu dosáhneme pomocí permanentního magnetu, který vytváří magnetické předpětí.

Magnetorezistory jsou pasivní součástky odolné proti rušení. Jejich výstupní napětí je v řádu **jednotek voltů** a není za potřebí jej dále zesilovat.

6.5. Snímače zrychlení, vibrací, tlaku, síly a kroutícího momentu

Používají se k regulaci klepání u spalovacích motorů, pro airbag, předepínače bezpečnostních pásů, detekce převrácení (vypnutí zapalování, uzavření přívodu paliva), ke snímání zrychlení v zatáčkách, v protiblokovacím systému (ABS) nebo při elektronickém řízení stability (ESP) a regulaci podvozku. Zrychlení se často udává jako násobek gravitačního zrychlení g ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Všechny snímače měří sílu F , která působí na setrvačnou hmotnost m .

$$F = m \cdot a$$

Setrvačná hmota je pružně spojena s tělesem, jehož zrychlení máme měřit.

Používají se **piezoelektrické snímače**, které **působením síly vytváří na svém povrchu elektrický náboj**. Některé materiály (křemenný krystal) vykazují tuto vlastnost přirozeně, jiné (např. piezokeramika) musí být nejdříve polarizovány vysokým napětím.

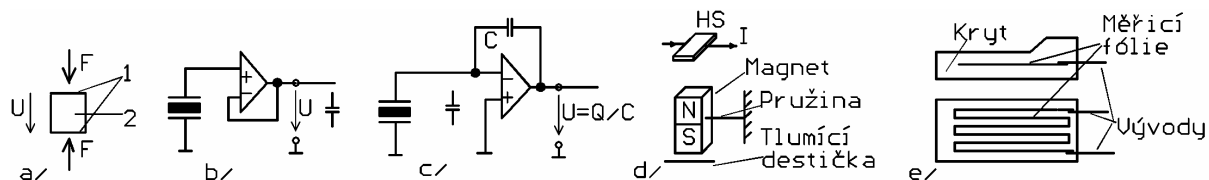
Elektrické vyhodnocení signálu:

Snímání napětí: Protože piezoelektrické snímače mají vysoký vnitřní odpor, doporučuje se při snímání výstupního napětí U umístit první oddělovací zesilovač co nejbližší ke snímači (pokud možno, do společného, hermeticky těsného pouzdra). Delší přívodní vodiče zkreslují signál jako svou parazitní kapacitou (dělič napětí), tak i svým parazitním činným odporem.

Snímání náboje: Výhodnější je použít u piezoelektrického snímače zesilovač náboje, který ukládá snímačem vytvářený náboj v kvalitním měřicím kondenzátoru C a tím udržuje samotný snímač bez náboje a napětí. Při tomto typu vyhodnocení je možné škodlivé parazitní vlivy vedení téměř potlačit, takže zesilovač nemusí být bezpodmínečně integrován se snímačem.

Hallovy snímače zrychlení

V Hallově snímači zrychlení se používá „elasticky“ upevnění systém pružina – hmota (viz obr.6.3d). Skládá se z páskové pružiny umístěné nastojato, která je na jednom konci pevně upnuta. Na jejím volném konci je nasazen trvalý magnet jako seizmická hmota. Nad trvalým magnetem se nachází vlastní Hallův snímač s vyhodnocovací elektronikou. Pod magnetem je malá tlumící destička z mědi. Působí-li na snímač příčně k jeho pružině zrychlení, mění systém pružina – hmota svou klidovou polohu. Vychýlení je měřítkem pro zrychlení. Magnetický tok vycházející z pohybující se magnetu vytváří v Hallově snímači Hallovo napětí.



Obrázek 6.3

a/ piezoelektrický jev 1 – elektrody, 2 – piezoelektrický materiál

b/ piezokrystal s oddělovačem napětí (sledovač signálu)

c/ piezokrystal se snímačem náboje

d/ Hallův snímač zrychlení

e/ tenzometrický pásek

Mikromechanické křemíkové snímače zrychlení

Mikromechanické křemíkové snímače zrychlení pro zádržné systémy snímají hodnoty při čelním nebo bočním nárazu a řídí iniciaci přepínačů bezpečnostních pásů a airbagů.

Nezbytný systém **pružina - hmota** je vyroben technikou leptání z plného křemíkového plátku.

K obzvláště přesnému měření vychýlení této hmotnosti se osvědčilo **kapacitní snímání**. To vyžaduje nad a pod hmotností upevněné na pružině přidat další křemíkovou nebo skleněnou destičku. Destičky s protielektrodami současně slouží jako ochrana proti přetížení. Toto uspořádání destiček odpovídá sériovému zapojení dvou diferenciálních kondenzátorů (cca 10 až 20 pF).

Při působení zrychlení a ve směru snímání se křemíkové střední destička jako seizmická hmotnost vychyluje. To způsobuje změnu vzdálenosti k horní příp. dolní destičce a tím také změnu kapacity kondenzátorů. Ta vede ke změně elektrického signálu, která se ve vyhodnocovací elektronice (CMOS) zesiluje, filtruje a digitalizuje pro další zpracování v řídicí jednotce airbagu.

Piezoelektrické snímače klepání KS

Snímače klepání jsou svým funkčním principem snímače vibrací a hodnotí se ke snímání kmitů šířících se tělesy. Snímače je převádí na elektrické signály, které převádí do řídicí jednotky.

Hmotnost působí na základě své setrvačnosti tlačnými silami v rytmu budících kmitů na kruhový piezokekamický prvek.

Přímé měření tlaku

Zvláště k měření velmi vysokých tlaků ($>10^4$ bar) by stačilo jednoduše vystavit rezistor tlakovému médiu, neboť všechny známé rezistory vykazují menší nebo větší závislost na tlaku (objemový efekt). Obtížněji se však přitom realizuje potlačení jejich současné závislosti na teplotě a tlakotěsné vyvedení jejich vývodů z tlakového média.

Příznivější vlastnosti zde mají závislosti na použití lehce vyrobitelné kapacitní měřicí členy (kapsle).

Membránové snímače tlaku

Nejvíce rozšířená (i v automobilech) metoda snímání tlaku používá k získání signálu nejprve jako mechanický mezistupeň tenkou membránu, která jednou stranou vystavena měřenému tlaku a jeho působením se méně nebo více prohýbá. Její tloušťka a průměr může být v širokém rozmezí přizpůsobována danému rozsahu tlaku. Nízké rozsahy měřeného tlaku vedou k relativně velikým membránám s průhyby, které se mohou pohybovat v oblasti 1 až 0,1 mm. Vysoké taky vyžadují silnější membrány menšího průměru, které se prohýbají jen o několik μm .

Piezorezistivní princip měření síly a točivého momentu

Použití roztažných rezistorů k měření síly je nejrozšířenější a současně nejspolehlivější a nejpřesnější metodou měření síly a točivého momentu. Je založena na tom, že **mezi mechanickými napětími σ v roztaženém tělese** (způsobenými zavedením síly) a **protažením ϵ** existuje přinejmenším v „Hookově oblasti“ **přímo úměrná závislost**. Podle Hookova zákona platí v tomto případě:

$$\epsilon = \Delta l / l = \sigma / E$$

kde konstanta úměrnosti E je známa jako „modul pružnosti“. Tato metoda je proto nepřímá metoda měření, protože neměří přímo napětí podmíněná silami, ale roztažení jimi způsobené. Roztažení

měřicí pásky (kovové fólie) z jsou s povrchem zvoleného roztaženého tělesa spojeny tak těsně, že sledují bez zkreslení jeho povrchové roztahování. To má hodnoty řádu jednotek až desítek mikrometrů. Délku natahovaného měřicího pásku můžeme zvětšit klikatým meandrovým uspořádáním (obr. 6.3 e), při kterém se celkové prodloužení n -krát zvětší; n je počet úseků meandru rovnoběžných se směrem prodloužení.

Při natahování kovového vodiče narůstá jeho odpor. Změna odporu způsobená roztažením rezistoru je určena vztahem:

$$\Delta R/R = K \cdot \epsilon$$

Většinou jsou vyrobeny z **konstantanu** (60 % Cu, 40 % Ni), aby jejich odpor měl **minimální závislost na teplotě**.

Kromě kovových tenzometrických pásků se používají i **polovodičové tenzometrické pásky**. Ty jsou vytvořené difuzí nečistot do čistého křemíku. Jejich **deformací se výrazně mění pohyblivost nábojů** a tím i **elektrický odpor**. Tento jev se nazývá **piezo-odporový jev**. Polovodičové tenzometrické rezistory jsou malé a citlivé, jsou ale silně teplotně závislé.

Přetrvávající **zbytky teplotní závislosti jsou eliminovány** tím, že rezistory jsou na roztažném tělese zapojeny jako **poloviční nebo úplný můstek** (podobně jako na obr. 6.5 e). Můstky mohou být napájeny **stejnoseměrným i střídavým proudem**.

Při **střídavém** napájení měřený signál moduluje střídavé napájecí napětí. Výstupní napětí z můstku zesiluje **selektivní střídavý zesilovač**, který potlačí rušení a stejnosměrný drift. Střídavé zapojení je proto **citlivější a přesnější**.

Hodnoty těchto rezistorů jsou řádově ve stovkách ohmů.

6.6 Měření průtoku a kvality vzduchu

Snímače měřící množství vzduchu nebo obecně proudění plynů se nazývají také **anemometry**.

Anemometr s vyhříváním drátem

Prochází-li tenkým drátem nebo tenkou destičkou proud, drát nebo destička se ohřívá. Proudí-li okolo něj současně vzduch, který teplo odvádí, nastává se **rovnováha** mezi **přiváděným a odváděným výkonem tepla**.

Tento drát (R_m) nebo destičku zapojíme **do můstku** společně s druhým drátkem nebo destičkou. Tím potlačíme vliv kolísání teploty vzduchu na přesnost měření.

Regulační obvod řídí vyhřívací proud tak, aby vyhřívání drát (nejčastěji z platiny) **byl** vždy o 130 až 160 °C **teplejší** než okolní vzduch. Řídící jednotka měří **vyhřívací proud**, který je **úměrný hmotnosti vzduchu**.

Tato metoda zajišťuje měření hmotnosti vzduchu nezávisle na jeho tlaku, který se mění s nadmořskou výškou.

Snímače kvality vzduchu

Snímají trvale kvalitu vzduchu ve vstupní oblasti větrání. Reagují především na škodlivé součásti výfukových plynů CO (hlavně u zážehových motorů) a NO_x (primárně u vznětových motorů). Další úkol spočívá v tom, aby se zabránilo rosení skel. K tomu snímá snímač vlhkosti obsah vodní páry ve vzduchu.

Tyto snímače zabudované do řídicích jednotek kvality vzduchu se skládají z tlustovrstvých rezistorů, které obsahují oxid cínu. Když se zde usazují měřené látky, mění rezistory v širokém rozsahu prudce svůj odpor (např. 1 až 100 kΩ). Rezistory sondy jsou umístěny na společném keramickém substrátu, který je vyhřívacím vodičem na zadní straně ohříván na provozní teplotu 330 °C. Substrát je kvůli vysoké teplotě upevněn samostatně.

Sonda CO měří koncentrace v rozsahu 10 až 100 ppm (parts per million, resp. 10⁻⁶) a **sonda NO_x** v rozsahu 0,5 až 5 ppm. Jakmile je koncentrace škodlivých plynů příliš vysoká (někdy téměř 100krát větší než v čerstvém vzduchu), uzavře řídicí jednotka kvality vzduchu klapky pro přívod čerstvého vzduchu. Tím zabrání tomu, aby řidič tyto plyny vdechoval a předčasně se unavil. Ochranou před těmito škodlivými látkami se prodlužuje životnost použitého filtru s aktivním uhlím.

Kysličník uhelnatý CO je velmi škodlivý pro lidský organismus. Vzniká při nedokonalém spalování. V lidské krvi reaguje s hemoglobinem. Při vyšších koncentracích může způsobit i udušení.

Novější řídicí jednotky kvality vzduchu mají také snímač vlhkosti vzduchu. Jeho signál slouží společně se signálem teploty prostoru kabiny, měřené snímačem teploty NTC, k **výpočtu rosného bodu**, který má vliv na rosení skel vozidla.

Dvoubodová lambda sonda

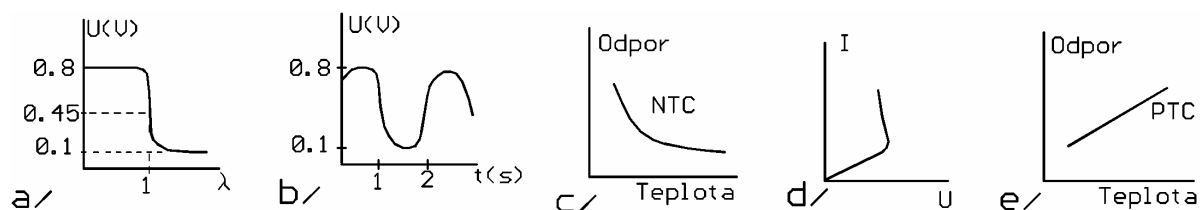
„Dvoubodové sondy“ dávají signál, zda se ve spalinách vyskytuje **bohatá** ($\lambda < 1$) nebo **chudá** směs ($\lambda > 1$). Skoková charakteristika těchto sond umožňuje regulaci směsi kolem $\lambda = 1$ ($\pm 3\%$), kdy dojde k úplnému spálení palivové směsi a ve výfukových plynech nezůstane žádný kyslík (stechiometrická směs 1 kg benzínu : 14,8 kg vzduchu).

Pevný elektrolyt se skládá z jednostranně uzavřeného, pro plyn neprostupného keramického tělesa z oxidu zirkoničitého, který je stabilizován oxidem yttritým. Povrch je oboustranně opatřen elektrodami z porézní tenké vrstvy platiny.

Vyhřívaná tyčová sonda obsahuje navíc vyhřívací prvek. U této sondy je teplota keramického tělesa při nízkém zatížení motoru (tzn. při nízké teplotě spalin) určovaná elektrickým vyhříváním, při vysokém zatížení, teplotou spalin.

Napětí dodávané sondou, které je tedy závislé na obsahu kyslíku ve výfukových plynech, dosahuje při bohaté směsi ($\lambda < 1$) 800 až 900 mV, při chudé směsi ($\lambda > 1$) pouze 100 mV. Při přechodu z bohaté k chudé směsi je napětí přibližně 450...500 mV. Také teplota keramického tělíska ovlivňuje vodivost iontů kyslíku a tím průběh napětí sondy v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ .

Řídicí jednotka na základě signálu z lambda sondy ovládá vstřikovací ventily. Jedná se o příklad nespojitě skokové regulace. Výstupní signál lambda sondy při ní kmitá s kmitočtem zhruba 0,4 Hz (za 10 s 4 kmitů), střída signálu má být přibližně 1:1. Řídicí jednotka při ní stále hledá rovnovážný stav.



Obrázek č. 6.4/

a/ závislost výstupního napětí na koeficientu λ

b/ průběh výstupního napětí v závislosti na čase v zaregulovaném stavu

c/ závislost odporu na teplotě u termistoru s negativním teplotním součinitelem (čidlo NTC)

d/ VA charakteristika NTC čidla

e/ závislost odporu na teplotě u čidla PTC

6.7 Snímače teploty

Odporové snímače

Elektrické rezistory, jejichž odpor je závislý na teplotě, jsou jako dvoupólové součástky obzvlášť vhodné k měření teploty ať už ve formě vinutých drátových rezistorů, spékané keramiky, fóliových rezistorů, tenkovrstvých nebo tlustovrstvých rezistorů nebo rezistorů monokrystalické formě. Obvykle jsou pro převod na napětí analogový signál doplněny pevnými rezistory (např. měřící můstek – obr.6.5 e). Jsou napájeny buď konstantním proudem a měří se na nich úbytek napětí nebo jsou napájeny ze zdroje stabilizovaného napětí přes rezistor, na kterém se měří úbytek napětí (viz obr 6.5 d). Tento způsob je nejrozšířenější, čidlo se připojí k řídicí jednotce (dvěma vodiči), která obsahuje vše potřebné.

Rezistory NTC

Vyrábějí se z oxidů těžkých kovů. Nazývají se termistory, jejich odpor klesá nelineárně s teplotou, viz obr. 6.4c. Zvýšení teploty o každých 20 °C snižuje jeho odpor přibližně na polovinu. Aby nedocházelo k velkým chybám měření, nesmí měřicí proud termistor příliš zahřívát.

Pro větší napětí a proudy není VA charakteristika termistoru lineární, viz obr. 6.4d. Někdy se používají jako ochrana před proudovou špičkou při zapínání (např. u filtračního kondenzátoru ve spínaném zdroji). Po zahřátí je na termistoru minimální úbytek napětí a výkonová ztráta.

Rezistory PTC

Oproti rezistorům NTC vykazují **menší závislost změny odporu na teplotě**. Jejich výhodou je ale téměř lineární závislost odporu na teplotě a vysoká přesnost odporu (tolerance řádově 1 %), což zjednodušuje a usnadňuje vyhodnocování měření (viz obr. 6.4e). Často se používají platinové odpory. (Označení PT 100 znamená platinový odpor 100 Ω).

Polovodičové rezistory PTC mají dvakrát větší citlivost než platinové. Na čipu je možné integrovat další součástky. Tyto snímače jsou velmi dobře reprodukovatelné. Mohou ale pracovat pouze do teploty 150 °C, ve zvláštním provedení až do 300 °C.

Při podezření na závadu odpojme snímač a změříme ohmetrem jeho odpor. Naměřená hodnota musí přibližně souhlasit s údajem výrobce. Pokud není uvedeno jinak, udává se tato hodnota při teplotě 20 °C. Dále se obvykle udává odpor při teplotě 80 °C. Ověříme platnost těchto hodnot. Zkrat nebo nekonečný odpor vždy znamená vadné čidlo.

Termočlánky

Využívají toho, že na konci kovového vodiče vzniká elektrické napětí, pokud mají tyto konce odlišné teploty. Toto termoelektrické napětí výhradně závisí na rozdílu těchto teplot, **nemá žádné výrobní tolerance. Má hodnotu řádově jednotek mV. Závislost tohoto napětí na teplotě je lineární.**

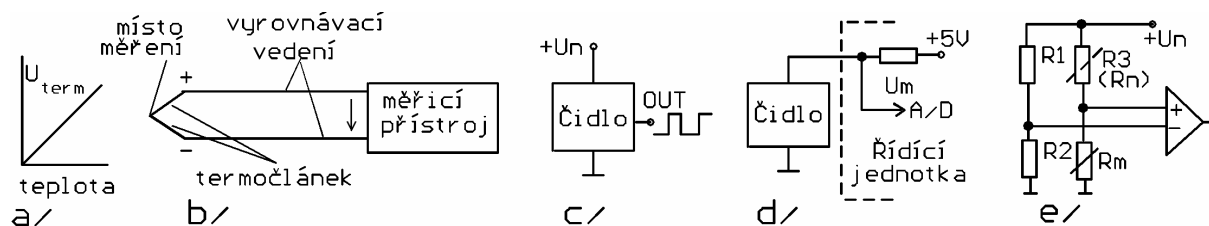
Používají se pro měření teplot až do 1000 °C. Ke zvětšení výstupního napětí se často zapojují do série.

Polovodičové přechody.

Napětí na diodě nebo na přechodu báze-emitor u tranzistoru má typickou hodnotu 0,6 V. Toto napětí klesá celkem přesně o **2 mV/°C**, což se dá využít pro měření.

Snímače teploty s číslicovým výstupem

Tyto snímače mají v sobě integrován **převodník odpor – kmitočet** (kmitočet astabilního multivibrátoru je dán odporem termistoru). Výstupem je signál odolný proti rušení. Kmitočet multivibrátoru měří a zpracovává řídicí jednotka. Chceme-li, aby takový snímač bylo možné připojit pomocí dvou drátů, musí výstup snímače modulovat napájecí proud. Řídicí jednotka měří změny napájecího proudu (podobně jako u obr. 6.5 d) změní kmitočet změn a vypočítá teplotu.



Obrázek č. 6.5

a/ Závislost termoelektrického napětí na teplotě

b/ připojení termočlánku k měřicímu obvodu

c/ čidlo měření teploty s digitálním výstupem (3 vývody)

d/ připojení čidla k řídicí jednotce (inteligentní čidlo se dvěma vývody, skokově se mění odběr proudu, kmitočet je úměrný teplotě)

e/ měřicí můstek

6.8. Další typy snímačů

Kapacitní snímače

Ke snímání polohy ve větším rozpětí asi do 2 m se používají **trubkové snímače**. Při zasouvání kovového pístu do izolačního válce **se mění kapacita** takto sestaveného snímače (viz obr. 6.6 a). Její změny převádí střídavý můstek **na změny střídavého napětí**, které jsou dále elektronicky zpracovány.

Optické snímače

Snímač deště rozpozná vodní kapky na čelním skle a umožňuje automatické spínání stěračů. Řidič je tak osvobozen od mnoha pohybů rukou, které byly u konvenčních řízení stěračů potřebné.

Snímač deště se skládá z optické dráhy mezi vysílačem a přijímačem. Svítivá dioda **emituje světlo**. Toto světlo dopadající na čelní sklo pod určitým úhlem se **odráží od suché vnější plochy** (totální odraz) a dopadá do **přijímače** (fotodiody), který je rovněž natočen pod určitým úhlem. Jsou-li na vnější ploše kapky vody, odráží se značná část světla směrem ven a zeslabuje tím přijímaný signál. Od určitého stupně se stěrač automaticky zapne i při znečištění. Často se místo viditelného světla používá světlo **infračervené**.

Snímač znečištění rozpozná stupeň znečištění rozptylových skel světlometů a umožní jejich automatické čištění. Skládá se z LED a fototranzistoru. Při čistém nebo dešťovými kapkami pokrytém skle je světlo LED vyzařováno do volného prostoru. Nečistoty světlo rozptýlí, to se pak vrací k fototranzistoru.

Optické poziční čidlo se používá k **bezdotykovému měření vzdáleností**, k přesnému navádění pohybů podle laserového paprsku a k vyhodnocování změn pohybu (obr.6.6.c).

Je tvořeno řadou fotodiód nebo fototranzistorů. Pokud na ně dopadne světelný paprsek od měřeného předmětu, pozice ozářeného prvku čidla určuje úhel dopadu světla odraženého od předmětu na objektiv čidla.

Akustické snímače (ultrazvuk)

Obdobně jako u ozvěnového hloubkoměru (echolot) **vysílají snímače ultrazvukové impulsy** o frekvenci cca 40 kHz a **detekují čas**, který uplyne **do návratu impulsu odraženého od překážky**. Vzdálenost a k nejbližší překážce se vypočítá z doby uplynulé do příchodu odraženého impulsu t_e a z rychlosti šíření zvuku c ve vzduchu, cca **340 m/s**.

$$a = 0,5 \cdot t_e \cdot c$$

Ultrazvukové snímače, které jsou integrovány do nárazníku vozidla, slouží k určování odstupu od překážek a ke sledování okolního prostoru při parkování a popojíždění. Rozsah detekce takového systému sahá od cca 0,25 do 1,5 m.

Ultrazvukový snímač používá metodu odrazu ultrazvukového impulsu ve spojení s triangulací. Když řídicí jednotka vyšle digitální impuls zahajující vysílání, elektronický obvod prostřednictvím obdélníkových impulsů o rezonančním kmitočtu s dobou trvání typicky cca 300 μ s vybudí hliníkovou membránu ke kmitání, to znamená k vysílání ultrazvukových vln. Zvuk odražený od překážky znovu rozkmitá, v té době již uklidněnou, membránu (během doby dozívání, dlouhé cca 900 μ s, není žádný příjem možný). Tyto kmity převádí piezokeramický prvek na analogový elektrický signál, který je dále převáděn na digitální signál (obr 6.6 b).

Ultrazvukový snímač rychlosti proudění (obr.6.6e) se skládá z **vysílače (V)** a **přijímače (P)**. Mezi nimi se **rychlost ultrazvuku přičítá k rychlosti proudění**. Doba mezi vysláním a přijetím ultrazvukového impulsu je závislá na rychlosti proudění.

Elektromagnetické snímače (radar)

Systémy ACC (Adaptive Cruise Control) s takovýmto radarem dlouhého dosahu představují **regulátory rychlosti jízdy s automatickým rozpoznáním vozidel**, jedoucích v jízdní stopě před daným vozidlem, a případně požadují přibrzdění. Pracovní frekvence 76 GHz (vlnová délka cca 3,8 mm) umožňuje kompaktní konstrukci potřebnou pro montáž ve vozidlech. Gunnův oscilátor (Gunnova dioda v dutinovém rezonátoru) napájí paralelně tři vedle sebe umístěné antény, které současně slouží k příjmu odražených signálů. Předsazená plastová čočka (Fresnelova) tvaruje vysílaný paprsek. Kromě vzdálenosti vozidel jedoucích vpředu a jejich rychlosti může být zjišťován i směr, v němž jsou detekována.

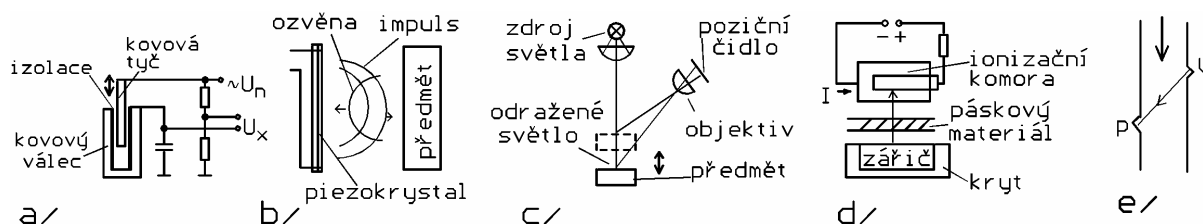
Vysílaný signál je **kmitočtově modulován**. Než se signál **odrazí** od překážky a **vrátí se, změní se trochu vysílaný kmitočet** (Dopplerův jev). Měří se kmitočet přijímaného signálu. Rozdíl frekvence vysílaného a přijímaného signálu je přímo úměrný vzdálenosti od překážky.

Měření tloušťky radioaktivními snímači

V **ionizační komoře** (Geiger-Müllerův počítač) je na elektrody přivedeno přes velký odpor stejnosměrné napětí. Radioaktivní záření **ionizuje částice plynu** (nejčastěji argonu). Tím vzniká malý, ale měřitelný **elektrický proud**. Ve výrobě tato komora používá při **kontrolě tloušťky páskového materiálu**. Princip měření vychází z částečné pohltivosti (absorpce) a odrazivosti (reflexe) radioaktivního záření různými látkami.

Používáme zdroje záření β (beta) a γ (gamma – více pronikavé), které jsou uloženy v bezpečnostních schránkách (olovo) a které vyzařují odkrytým otvorem.

Ionizační komora se skládá z válcové komory a sběrné elektrody, které jsou vzájemně izolovány (obr. 6.6 d)



Obrázek 6.6

a/ kapacitní snímač

b/ ultrazvukový snímač vzdálenosti

c/ optické poziční čidlo

d/ měření tloušťky materiálu radioaktivním snímačem

e/ měření rychlosti průtoku ultrazvukem

Snímače rychlosti jsou ve své podstatě **tachodynamy**. V silném magnetickém poli statoru s permanentními magnety se otáčí vinutý rotor s komutátorem. Z něj se odvádí **usměrněné napětí**. Jeho **velikost je úměrná rychlosti otáčení, polarita udává směr otáčení**.

Binární snímače mají **dvoustavový výstupní signál** (sepnuté nebo rozpojené kontakty, napětí 0 V/10 V, proud 0 mA/20 mA). Většinou obsahují některý z výše uvedených **analogových snímačů doplněný vyhodnocovací elektronikou**, která rozhoduje, zda byla překročena **prahová úroveň měřené veličiny**.

Diference mezi přepínací úrovní snímané veličiny pro přepnutí z 0 do 1 a přepínací úrovně pro přepnutí z 1 do 0 se nazývá **přepínací diference – hystereze**. Vyhodnocovací elektronika proto obsahuje **Schmittův obvod** – komparátor s hysterezí.

Snímače pohybu osob – čidlo PIR, snímače kouře, rozbití skla .viz kapitola Zabezpečovací technika.