



Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

AUTOMOBILOVÁ ELEKTRONIKA I

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ján Gamec



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Táto publikácia vznikla za finančnej podpory z **Európskeho sociálneho fondu** v rámci Operačného programu **VZDELÁVANIE**.

Prioritná os 1 Reforma vzdelávania a odbornej prípravy

Opatrenie 1.2 Vysoké školy a výskum a vývoj ako motory rozvoja vedomostnej spoločnosti.

Názov projektu: **Balík doplnkov pre ďalšiu reformu vzdelávania na TUKE**

ITMS 26110230093

NÁZOV: Automobilová elektronika

AUTORI: doc. Ing. Ján Gamec, CSc.

RECENZENTI: prof. Ing. Aurel Sloboda, CSc., Ing. Emil Matúš, PhD.

VYDAVATEĽ: Technická univerzita v Košiciach

ROK: 2015

ROZSAH: 248 strán

NÁKLAD: 70 ks

VYDANIE: prvé

ISBN: 978-80-553-2084-7

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

Za odbornú a obsahovú stránku zodpovedajú autori.

Obsah

Zrod automobilov

Stručná história elektroniky v automobiloch

Najrozšírenejšie senzorové systémy dneška

Motor

Riadenie prevodovky

Vedenie vozidla a riadenie

Senzory bezpečnosti vozidla

Systémy riadenia trakcie

Monitorovanie stavu pneumatík

Vývoj a budúcnosť

Senzory polohy

Základné optické senzory automobilov

Lineárny senzor pozície

Senzor natočenia hriadeľa riadenia

Optický kodér polohy hriadeľa

Odporové potenciometre

Senzory so skratujúcim prstencom

Diferenčné senzory

Iné typy senzorov

Senzory s VF vírivými prúdmi

Integrované obvody s Hallovou sondou

Senzory budúcnosti

Magnetorezistívne Ni-Fe tenkovrstvové senzory

Magnetorezistívny senzor uhla natočenia v pseudohallovej konfigurácii

Senzory merania vzdialenosti medzi vozidlami

Senzory magnetického poľa

Senzory otáčok a rýchlosti

Indukčné senzory

Senzory založené na Hallovom jave s lopatkovými prerušovačmi

Novšie senzory

Gradientné senzory

Tangenciálne senzory

Oscilačné gyrometre

- Piezoelektrický senzor rýchlosti vybočenia

- Mikromechanický senzor uhlovej rýchlosti s dvojistou ladičkou

- Radarové senzory

Senzory akcelerácií a vibrácií

- Akceleračný senzor využívajúci Hallov jav

- Piezoelektrické senzory

- Kremíkový polovodičový senzor

Senzory tlaku, sily, krútiaceho momentu

Senzory tlaku

- Hrubovrstvový senzor tlaku

- Polovodičové senzory tlaku

- Piezoelektrické senzory

- Senzory vysokého tlaku s kovovou membránou

Senzory sily a krútiaceho momentu

- Magnetoelastický senzor orientovaným valčekom

- Koncepcie nových senzorov

- Meranie krútiaceho momentu

- Senzor momentu založený na meraní mechanického napätia

- Senzor krútiaceho momentu vyhodnocujúci uhol natočenia

Senzory prietoku, koncentracie, vlhkosti

- Merače prietoku

- Senzory prietoku založené na meraní objemu

- Ultrazvukové meranie

- Senzor založený na Pitotovej trubici

- Meranie hmotnosti vzduchu

- Mikromechanické senzory hmotnosti

- Senzory koncentrácie kyslíka vo výfukových plynach

- Chemorezistívne sensory

- Článok koncentrácie

- Senzory založené na elektrochemických pumpách

- Senzory vlhkosti

- Senzory teploty

Automobilová elektronika I

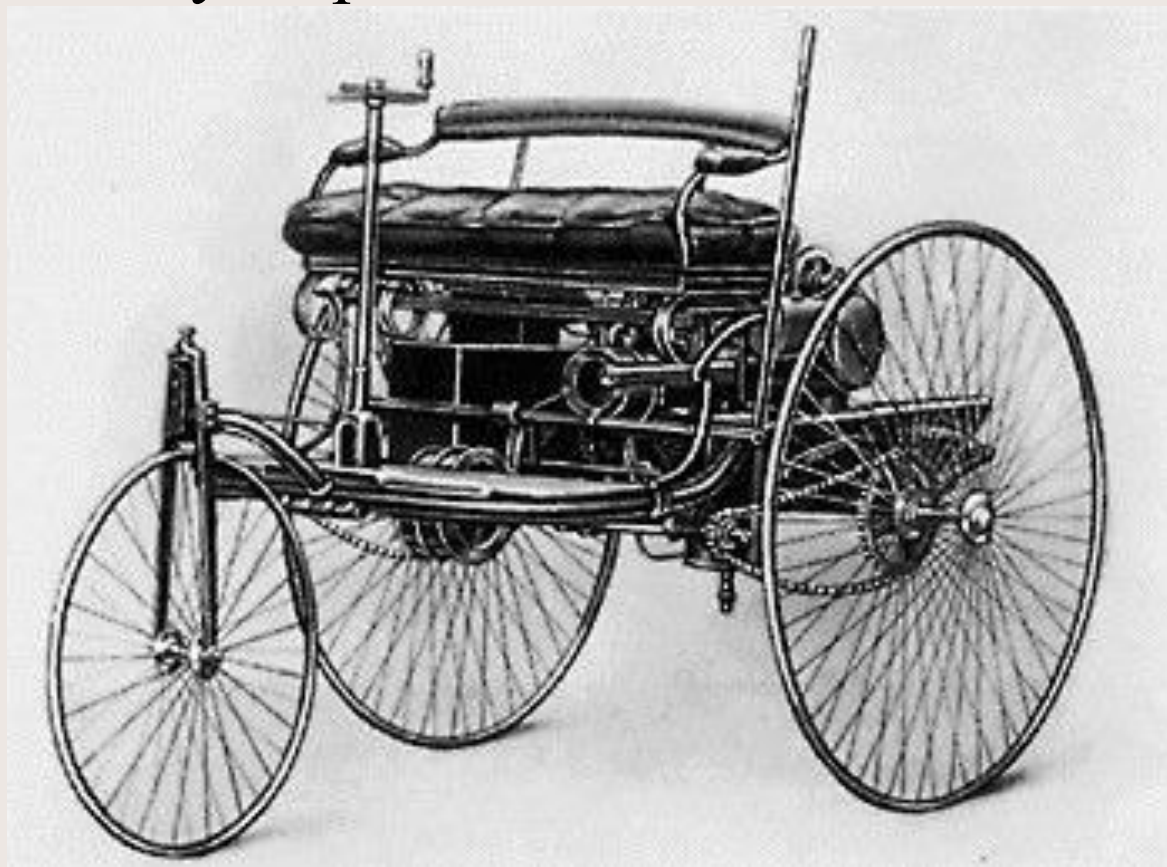
Ján Gamec

Katedra elektroniky
a multimediálních telekomunikací

Zrod automobilov

Automobilová história začala v roku 1765, keď dôstojník francúzskej armády *Nicholas CUGNOT* vyvinul samohybný, parou poháňaný voz, ktorý uviezol 4-roch pasažierov, rýchlosťou približne 3 km/h. Samozrejme jedna z jeho prvých jazd viedla ulicami Paríža. Vozidlo sa prevrátilo a *CUGNOT* bol uväznený pre verejné ohrozenie.

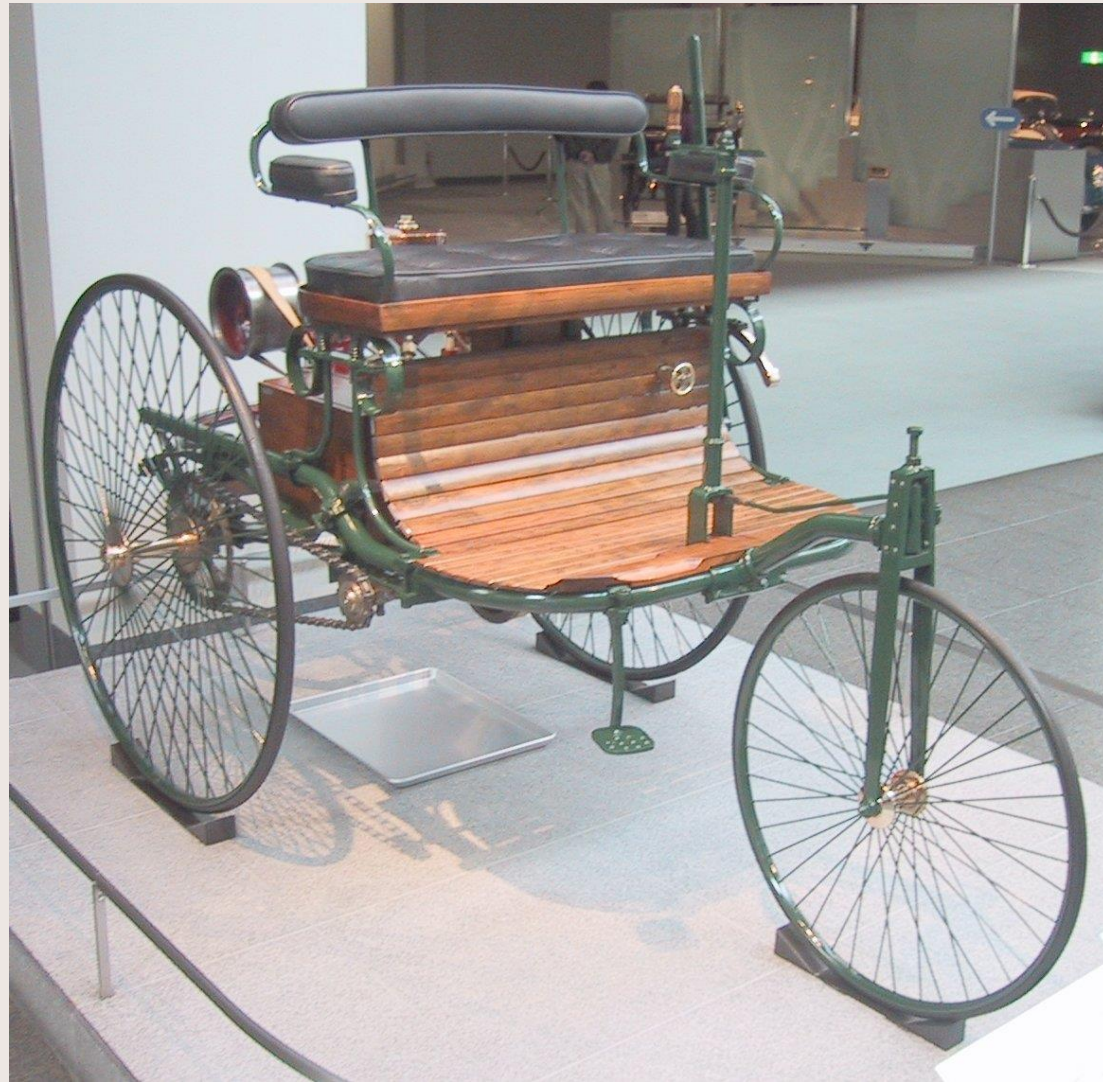
Navzdory tomuto neúspechu vývoj pokračoval a v roku 1885 *Karl BENZ* vyrobil dnes ako prvý uznávaný automobil, ktorý využíval motor s vnútorným spaľovaním.



Tri-Car 1885

Tri-Car 1885

Tri kolesá	Benzínový, štvortaktný horizontálny, jednoválcový.
Elektrické zapalovanie	Vrtanie 116 mm, zdvih 160 mm
Hnaná zadná náprava s diferenciálom (mechanicky ovládané nasávacie ventily)	Patent model: 958 cm ³ , 0,8HP, 600W, 16km/h Komerčný model: 1600cm ³ , 0,75HP, 8mph
Vodou chladený motor	Riadenie prednej nápravy



Replika patentovaného automobilu Karla Benza
(29 január 1886)

Počas vyše tých 130 rokov, ktoré odvtedy uplynuli sa automobil vyvinul z hrubého mechanického zariadenia na veľmi zložitý produkt, ktorý by nemohol existovať bez sofistikovanej elektronickej technológie. Pravdepodobne najväčšie zmeny nastali za posledných 30 až 40 rokov. V spomínanom období boli vďaka vývoju fascinujúcich kombinácii elektronických a mechanických inžinierskych riešení splnené zdanlivo nespĺniteľné požiadavky na dosiahnutie nízkych emisií, ekonomickosti spotreby paliva a jazdných vlastností. Trend naďalej smeruje k rastu počtu elektronicke riadených systémov.

Stručná história elektroniky v automobiloch

Automobily v počiatkoch mali elektrické komponenty iba v systémoch zapalovania ako sú *magneto* alebo *batéria a indukčná cievka*, vyvinuté *Charlesom Ketteringom* v roku 1908 (a boli používané až do 90-tých rokov, v niektorých motoroch sa používajú dodnes). Po roku 1920 bol elektrický systém rozšírený o štartér a osvetlenie.

Prvým skutočným elektronickým systémom, ktorý bol nainštalovaný do automobilov v priebehu 30-tých rokov bol rádioprijímač. Samozrejme, že elektrónky neboli príliš vhodné pre prostredie automobilu, čím sa takýto prijímač stal notoricky nespôľahlivý a táto myšlienka sa neujala až do nástupu tranzistorových prijímačov 60-tých rokov.

Po elektrickej stránke sa až do druhej polovice 60-tých rokov automobil vyvinul veľmi málo a v svojej podstate to bol mechanický systém s mechanickým riadením.

Hlavným stimulom pre vývoj lacných a spoľahlivých elektronických systémov pre automobily sa stala skutočnosť, že americký kongres v roku 1970 konštatoval zhoršujúcu sa kvalitu ovzdušia v amerických mestách, na ktorú upozornil senátor *MUSKIE* a vyzýval k veľkej redukcii emisii, produkovaných automobilmi.

Tzv. „*MUSKIE*-ho zákony“ požadovali, aby všetky automobily predávané v USA po roku 1975-76 mali úroveň znečisťujúcich emisii o 90% nižšiu ako tie do roku 1970. Zvláštny dôraz bol kladený na minimalizáciu *CO*, rôznych oxidov dusíka, spoločne označovaných *NO_x* a nespálených uhl'ovodíkov. V tom istom čase bola vytvorená EPA (Environmental Protection Agency – *Agentúra na ochranu životného prostredia*), ktorá dohliadala na legislatívu.

Automobilový priemysel vzhľadom na krátkosť času okamžite preskúmal všetky dostupné technológie a dospel k názoru, že v najbližšom čase prichádza do úvahy iba spracovanie výfukových plynov v katalytických konvertoroch (katalyzátoroch).

Pôvodne boli použité iba oxidačné katalyzátory, ktoré odstraňovali *HC* a *CO*.

Emisie NO_x boli potom redukované použitím *EGR* (Exhaust Gas Reduction) techník, pri ktorých sa nahrádzala malá časť (6-10%) nasávanej zmesi výfukovými plynmi. Tieto pôsobia ako inertné zriedenie, čo vplýva na zníženie teploty spaľovania a tým aj na úroveň NO_x .

Následne, v neskorších 70-tých rokoch, tak ako boli dovolené limity NO_x ďalej redukované, boli použité trojcestné katalyzátory, ktoré odstraňovali všetky tri regulované znečisťujúce zložky za pomoci elektronických spätnoväzobných riadiacich systémov.

Tieto presne riadili pomery vzduchu a paliva privádzané do motora.

To viedlo k dopytu (vyžiadaný potrebou) po pokročilejších elektronicky riadených systémoch zo strany amerického automobilového priemyslu.

Napr. po roku 1981 bolo do benzínových motorov z produkcie *General Motors* začlenené riadenie na báze mikropočítačov. Táto skutočnosť si vyžiadala výrobu 3,7 milióna elektronických riadiacich jednotiek (ECU- Electronic Control Unit) ročne. To znamenalo 22000 ks ECU denne iba pre túto jednu firmu.

Ďalší rozvoj elektronických riadiacich systémov zaznamenal rýchly nárast a postihol už nie iba elektronické riadenie motora ale takmer všetkých súčasti automobilu, ktoré zvyšujú úžitkovú hodnotu vozidla z hľadiska aktívnej bezpečnosti, pasívnej bezpečnosti, jazdných vlastností, komfortu a komunikačných schopností.

V súčasnosti sa v automobiloch uplatňujú poznatky takmer zo všetkých oblastí elektroniky a telekomunikácií.

Senzory a systémy v automobiloch pred viac ako 40–timi rokmi boli obmedzené na:

- rýchlosť auta, otáčky motora (nepresné neskôr rozšírené o);
- teplota chladiacej kvapaliny (voda),
- úroveň paliva v nádrži,
- poruchy v systéme mazania (tlak oleja).

Táto základná senzorová technológia dávala predpoklad na:

- zvýšenú pravdepodobnosť vzniku chýb a nepresností zo strany vodiča,
- psychický tlak a stres v stále náročnejších dopravných podmienkach (hustá premávka, prípadne pri riadení vozidla na dlhé vzdialenosti).

Stresy a psychický tlak môže byť dokonca vyšší u ľudí, pre ktorých je riadenie vozidla zamestnaním.

Dnešný čoraz viac narastajúci konkurenčný trh je spätý:

- s prísnyim environmentálnym a bezpečnostným zákonodarstvom;
- s očakávaním vysokej úrovne ovládania a výkonnosti;
- s orientáciou na vozidlá s autodiagnostikou a manažmentom
- so zdokonaľovaním komfortu a luxusu
- s dostupnosťou lacných elektronických zariadení.

Človek môže byť v niektorých prípadoch vnímaný ako súčasť týchto systémov, tak ako je to zrejmé z obr.

Najrozšírenejšie senzorové systémy dneška

Hlavnou skupinou senzorových systémov automobilov dneška sú senzory použité pre:

- monitorovanie a riadenie motorov,
- monitorovanie a riadenie prevodoviek.

Rýchlo sa rozširujú aj senzorové systémy pre riadenie jazdných vlastností a podvozka.

Výrazne napreduje aj uplatňovanie senzorových systémov pasívnej a aktívnej bezpečnosti vodiča a pasažierov.

Motor

Typy senzorov, použité pri riadení motora a prevodovky závisia od monitorovaných parametrov:

- *Absolútny tlak v nasávacom potrubí motora,*
- *Uhol natočenia kľukového hriadeľa*
- *Množstvo nasatého vzduchu*
- *Poloha škrtiacej klapky* (Informácia sa využíva taktiež pri príprave zmesi)
- *Obsah kyslíka vo výfukových plynoch* (riadene emisných charakteristík motora. λ senzor)

- *Teplota motora.* veličina môže byť použitá ako premenná pre riadiacu jednotku systému. Najčastejšie sa ako senzory používajú drôtové odpory alebo termistory,
- *Klepanie motora*

Riadenie prevodovky

Pri manuálnych prevodovkách je vodič súčasťou spätnoväzobnej slučky, ktorá je inak otvorenou slučkou. Vyhodnocovaním rýchlosti otáčania motora (otáčky motora) a kolies (rýchlosť pohybu vozidla) ako aj požiadaviek na krútiaci moment, mení prevodový pomer prevodovky. Tento proces je znázornený na obr. (Podrobnejšie v časti Systémy aktívnej a pasívnej bezpečnosti)

Otáčky motora (zvyčajne sa odvádzajú zo snímačov pre analýzu polohy klukového hriadel'a) vodič vníma intuitívne v podobe zvukov a hluku, sú jedným z parametrov, ktoré sú ovládané v snahe dosiahnuť požadovanú rýchlosť, zrýchlenie a ovládateľnosť vozidla. Tento proces nemusí byť vždy v súlade so zámerom dosiahnuť optimálne výkonové alebo iné charakteristiky motora. Dôležitou úlohou vodiča pri riadení vozidla je voľba vhodného prevodového pomeru.

V týchto aplikáciách sú potrebné senzorové systémy (napr. optické), ktoré monitorujú stav a opotrebovanosť mechanických častí a lamiel spojky. Tieto systémy sú potrebné aj pri elektronicky riadených automatických prevodovkách, v ktorých je proces riadenia relatívne zložitý.

Vedenie vozidla a riadenie

K senzorovým systémom potrebným pre jazdu vozidla, komfort a ovládanie patria tie, ktoré umožňujú manažment podvozka a systému riadenia. Patrí sem systém zavesenia, pruženia a tlmenia, brzdny systém a systém riadenia trakcie. Väčšina senzorov, ktorých výstupy sú použité pre manažment podvozka a systému riadenia napomáhajú pri vedení vozidla, ktoré je ovplyvňované systémom zavesenia, pruženia a tlmenia.

Primárnou funkciou systému zavesenia je riadiť polohu vozidla vzhľadom na povrch vozovky. To predstavuje monitorovanie a riadenie všetkých parametrov pohybu vozidla ako sú znázornené na obr. (sklon - pitch, prevalenie – roll, nadskočenie – bounce, vybočenie – yaw,). Existuje niekoľko typov systémov zavesenia (napr. pasívne, semi aktívne, aktívne) [14]. Aj keď vo väčšine súčasných vozidiel nižšej a strednej triedy je pasívny systém zavesenia, ktorý zahŕňa pružiny a tlmiče. Novšie a hlavne vozidla vyšších tried už disponujú adaptívnymi aktívnymi systémami .

Hlavnou úlohou riadenia zavesenia je zabezpečiť za všetkých podmienok primerane komfortnú jazdu a ovládanie. To vyžaduje použitie (pre daný účel vhodných) senzorov a senzorových systémov aby sa zabezpečilo monitorovanie parametrov, ktoré boli uvedené na obr ako aj uplatňovanie potrebnej stratégie riadenia. Vhodná stratégia minimalizuje nepravidelný a rušivý pohyb odpruženej hmoty a pasažierov. Podobne vhodná stratégia optimalizuje riadenie pohybu neodpruženej hmoty, čím sa maximalizuje adhézia pneumatík k povrchu vozovky pri vedení a riadení vozidla (napr. riadenie trakcie).

Dnes sú známe mnohé riadené systémy zavesenia [13,15 - 22] ale väčšina senzorov a systémov je podobná. Typický riadený systém zavesenia zahŕňa senzory pre monitorovanie vertikálneho pohybu (nadskočenie) kolies vzhľadom k telu (karosérii) vozidla. Škála senzorov, ktorá patrí do tejto skupiny je od jednoduchých potenciometrov až k zložitejším ako sú indukčné, alebo optické založené na optických mriežkach a ich využití pri monitorovaní translačného pohybu. V niektorých prípadoch sú použité sonarové senzory a slúžia na monitorovanie relatívneho pohybu tela vozidla a vozovky. Systémy pre zisťovanie akcelerácie (akcelerometre) poskytujú informáciu prechádzaní vozidla zákrutami.

Tak ako je to zrejmé z obr., signál z akcelerometra a senzorov posunutia môže byť použitý pre aktiváciu a riadenie aktuátora zavesenia rozdielovým signálom. Akcelerometrické senzory môžu byť tiež použité pre pokročilejšie brzdné systémy ako napr. tie, v ktorých je zabudovaný ABS (Antilock Braking System), ESP (Electronic Stability Program), prípadne v systémoch riadenia trakcie, v systémoch riadenia jazdy z kopca alebo v bezpečnostných systémoch (napr. Airbag).

V systémoch riadenia zavesenia (podvozka) je použitá kombinácia senzorov na monitorovanie a riadenie sklonu, prevaľovania a nadskakovania ale pohyb vybočenia by mal byť monitorovaný senzorom rýchlosti zatočenia (napr. optický vláknový gyroskop, tuholátkové piezoelektrické prvky).

Celková stratégia riadenia zohľadňuje výstup zo senzora natočenia volantú (optický senzor uhla natočenia), senzora rýchlosti vozidla (napr. senzor na báze Halloveho javu) a senzora polohy škrtiacej klapky (optický senzorový systém alebo potenciometrické senzory – [obr.](#)).

Senzory bezpečnosti vozidla

Aspekt bezpečnosti vozidla v poslednom čase naberá na dôležitosti a je významným faktorom pri konštrukcii vozidiel.

Senzorové systémy môžu byť tak v pasívnych ako aj v aktívnych systémoch bezpečnosti vozidla. Príkladom systémov pasívnej bezpečnosti vozidla je nafukovacia zábrana všeobecne známa pod názvom *airbag*. Príkladom systémov aktívnej bezpečnosti sú systémy pre zamedzenie preklzávania kolies pri brzdení – ABS (Antilock Breaking System), systémy riadenia trakcie a určitým spôsobom aj systémy monitorovania stavu pneumatík.

ABS

Brzdy so zamedzením zablokovania sú systémom, ktorý zamedzuje vzniku nehody. Zaradením relevantných senzorových systémov, akými sú senzory otáčok jednotlivých kolies s vyhodnocovaním uhlového zrýchlenia, je možné zamedziť zablokovaniu kolies počas silného brzdienia v nebezpečenstve ale hlavne ak je vozovka klzká. Pri zablokovaní kolies sa nielen znižuje účinnosť brzdienia, ale sa stráca aj možnosť riadenia predných kolies.

V ABS sa používajú senzory na monitorovanie spomalenia otáčania sa kolesa ak sú aktivované brzdy. Ak je niektoré koleso zablokované, systém začne modulovať tlak v brzdnom systéme. Pulzovanie tlaku v brzdách sa deje rýchlejšie ako by to bol schopný vykonávať vodič, čím sa dosiahne spojitú otáčanie, resp. odvalovanie kolies. Zamedzuje sa tým zablokovaniu kolies, ktoré môžu primerane reagovať na pohyb volantu. Vhodné senzorové systémy, aplikované v ABS tak umožňujú riadiť vozidlo aj pri prudkom brzdení v stave ohrozenia.

Systemy riadenia trakcie

System riadenia trakcie je iným systémom, ktorý zabraňuje alebo znižuje možnosť vzniku nehody. Zamedzuje nekontrolovanému pretáčaniu kolies vozidla a tak zamedzuje vozidlu vybočeniu do šmykľavých zón vozovky (okraje, krajnice), alebo k vybočeniu na šmykľavých povrchoch. Vo väčšine vozidiel s riadením trakcie, systém pracuje iba počas akcelerácia a potom sa neuplatňuje. V drahších systémoch pracuje pri všetkých rýchlostiach. Tie isté senzory ako pri ABS, ktoré monitorujú zablokovanie kolies, môžu byť použité aj pre monitorovanie nekontrolovaného otáčania sa kolies.

System riadenia trakcie počas prevádzky zisťuje, či sa jedno z kolies neotáča rýchlejšie ako iné a aktivuje impulzné brzdenie, čím obmedzuje jeho preklzavanie. Následne táto akcia spôsobí prenos väčšej hnacej sily z motora na ostatné kolesá (za predpokladu existencie diferenciálu), čím sa zlepšuje ovládateľnosť a prenos trakčnej sily. Činnosť systému môže byť spriahnutá s ovládaním motora, kde ak systém pôsobí dlhšie ako definovaný čas (napr. 2s), riadenie motora preruší dodávku paliva do vybraných valcov, čím zníži výkon a otáčky motora. To znižuje namáhanie brzd, prevodovky a predlžuje sa proces riadenia trakcie. Na palubnej doske je zobrazovaná informácia o aktivovaní a činnosti systému.

Monitorovanie stavu pneumatík

Na množstvo parametrov vozidla vplýva stav pneumatík vozidla. Medzi hlavné parametre pneumatík, ktoré môžu byť počas prevádzky zisťované, prípadne nastavované, a ktoré vplývajú na jej bezpečnosť a ekonomickosť, patria tlak a teplota. K iným patria šírka pneumatiky, hĺbka dezénu, odklon, hádzanie prípadne prešmykovanie. Výber monitorovaných parametrov závisí od typu senzorov a hlavne od stratégie. K najčastejšie používaným senzorovým systémom v oblasti monitorovania stavu pneumatík sú systémy merania tlaku a teploty v statickom alebo dynamickom režime.

Jedným zo spôsobov je použitie piezorezistívnych senzorov tlaku namontovaných na koleso. Pri otáčaní kolesa sa musí zabezpečiť prenos energie na napájanie senzora a tiež spätné prenos signálu o hodnote sledovaného parametra. To sa realizuje zberným bezkontaktným systémom, ktorým môže byť kruhová anténa, namontovaná na koleso ako je to zrejme z obr. Kruhová anténa spolupracuje s pevnou anténou, ktorá je upevnená na strmeni brzd spolu s príslušným dekodérom signálu.

Tento systém pracuje v dvoch fázach. V prvej fáze sa pomocou dvoch antén prenáša energia pre napájanie senzora. Tá je uchovaná v kondenzátoroch a následne je použitá v druhej fáze, pre napájanie senzorov teploty a tlaku ako aj pre odoslanie informácie o ich hodnotách. Tento systém môže pracovať kontinuálne s presnosťou jednotiek percent.


Vývoj a budúcnosť

Je ťažké presne definovať vývoj technológií v automobilovej oblasti. Je ale dôvodné domnievať sa, že auto budúcnosti bude cestné vozidlo s určitým stupňom inteligencie, ktoré disponuje schopnosťou diagnostikovať samo seba a schopnosťou rozhodovať sa v zložitých situáciách pri navigácii.

Senzorové technológie blízkej budúcnosti a súčasnosti predstavujú inteligentné systémy riadenia dráhy vozidla (Cruise Control), automatické navádzacie systémy a pokročilé systémy počítačového videnia. Inteligentné systémy riadenia dráhy budú obsahovať radarové systémy naviazané na elektronické zariadenia, ktoré definujú množinu časových intervalov potrebných na bezpečné udržiavanie vzdialenosti od objektov pred vozidlom prepojené s riadením motora a prevodovky.

Príkladom je radarový systém na obr., ktorý má zamedziť kolíziu s objektmi pred vozidla. V budúcnosti zrejme pribudnú systémy v oblasti infračerveného osvetľovania a snímania pre zabezpečenie dostatočnej viditeľnosti čo sa týka dĺžky dosahu ale aj viditeľnosti v nepriaznivých klimatických podmienkach, prípadne pre detekciu osôb v blízkosti vozovky.

Vývoj protikolíznych radarov smeruje tak do optických oblastí ako aj infračervenej, prípadne ultrasonickéj so zámerom detekcie polohy a pokračovania vozovky v miestach zlej viditeľnosti.



Senzory polohy
(*posunutie,*
vzdialenosť,
uhol natočenia)

Možno ich rozdeliť na senzory, ktoré priamo monitorujú veľkosti veličín ako sú:

- poloha škrtiacej klapky,
- poloha akceleračného pedálu,
- poloha a pohyb hrebeňového riadenia,
- úroveň paliva,
- pohyb servojednotky spojky,
- uhol natočenia riadenia (volantu),
- uhol náklonu,
- uhol smeru vozidla,
- poloha brzdového pedálu,

alebo senzory pre nepriame monitorovanie veličín ako:

- uhol vychýlenia klapky (merač rýchlosti prietoku),
- uhol vychýlenia pružného nosníka (akcelerácia),
- prehnutie membrány (tlak),
- pohyb a stlačenie systému zavesenia (nastavenie polohy svetlometov vo vertikálnom smere)
- Torzný uhol (moment)

Základné optické senzory automobilov

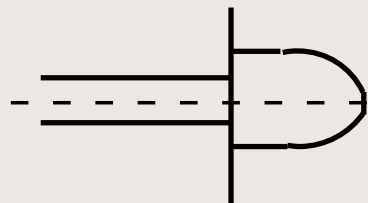
Optické senzorové systémy v patria aplikáciách pre automobily k novším typom v ich vývoji

Lineárny senzor pozície

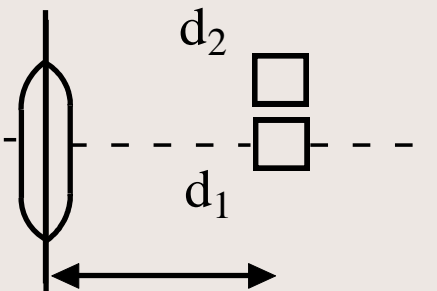
Meranie lineárneho posunutia sa uplatňuje v širokom rozsahu aplikácií. Možno sa s nimi stretnúť v systémoch zavesenia, pri automatickom nastavovaní polohy sedadla prípadne polohy radiacej páky a iných.

Príklad základného a jednoduchého lineárneho pozičného optického senzora je na obr. Senzor pozostáva z páru detektorov, z ktorých jeden je umiestnený v ohnisku šošovky a druhý je vertikálne posunutý. Na jeden senzor dopadá fokusované svetlo a druhý je neosvetlený v prípade, že zdroj svetla je v dostatočnej vzdialenosti. Signál z detektora, ktorý je umiestnený v ohnisku je nezávislý od vzdialenosti zdroja svetla. Tento signál môže byť použitý ako referenčný.

Lineárny senzor pozície



Poloha LED - stabilná



Ohnisková vzdialenosť šošovky

Vzdialenosť dvojice snímačov
od šošovky je nastaviteľná

Výstup z druhého detektora súvisí s prevrátenou hodnotou mocniny vzdialenosti medzi zdrojom svetla a šošovkou a tak môže byť využitý ako signál miery vzdialenosti.

Opísaný princíp má nevýhodu v tom, že zdroj svetla aj detektory by mali byť umiestnené na odlišných vzájomne sa pohybujúcich častiach. Táto nevýhoda môže byť odstránená použitím reflexných prvkov avšak tieto musia byť udržiavané v čistote.

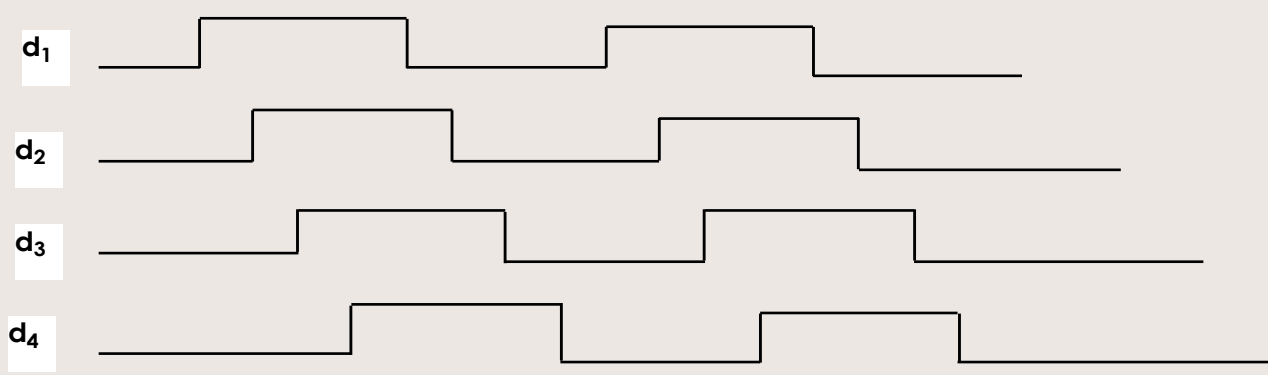
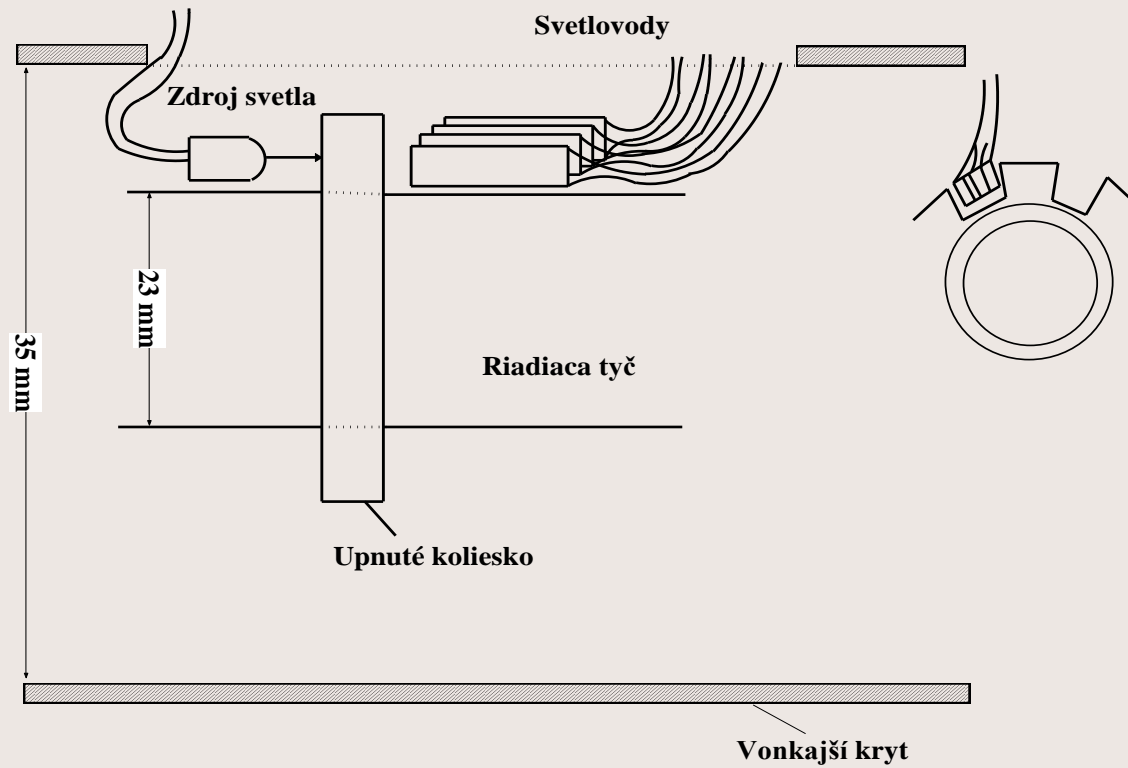
Senzor natočenia hriadeľa riadenia

Optické senzory určené na monitorovanie rotácie riadenia (volantu) sú zvyčajne charakterizované rozlišovacou schopnosťou uhla natočenia (napr. 2°), priestorom, v ktorom sú umiestnené typom výstupného signálu a pod.

Na obr je znázornený optický senzor, zabudovaný na hriadeľ riadenia.

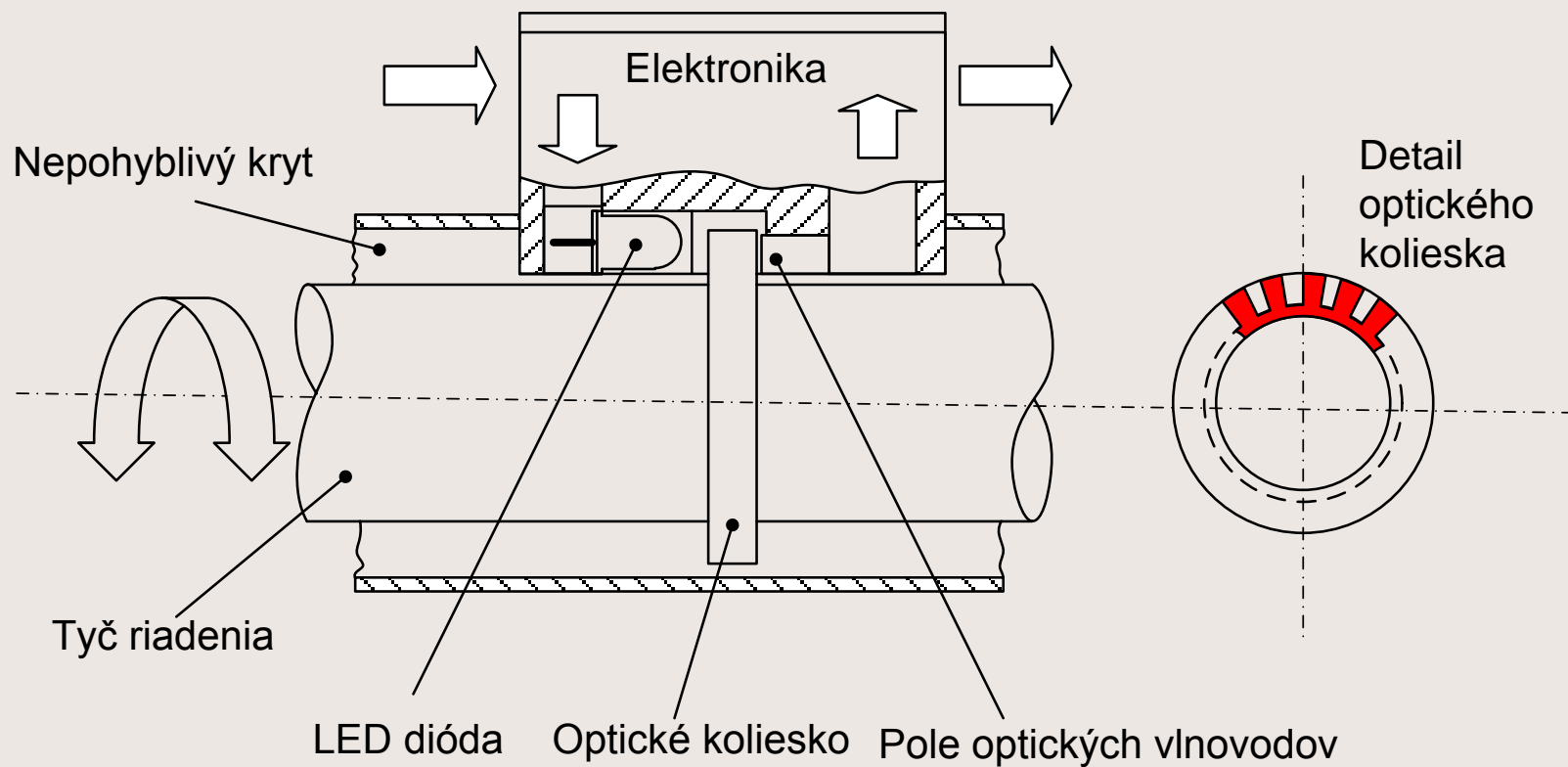
Najčastejšie je v podobe dvoch typov optických senzorov. Metóda optického snímania je rovnaká v oboch prípadoch, rozdiel je v prívode svetla na detektory.

Optický senzor na hriadeli riadenia



V jednom prípade sa využíva prechádzajúce svetlo v druhom odrazené. Ako je zrejmé z obr, transmisívna metóda využíva koliesko z plexiskla upevnené na hriadel' riadenia. Vyleptaním série priesvitných prípadne tmavých zárezov do kolieska toto pôsobí ako prerušovač. Tým sa získa signál, z ktorého je možné určiť aj smer otáčania. Optická hlavica je sendvičová štruktúra plochých svetlovodov, z ktorých je každý zakončený nezávislým detektorom. Tým sa získa uhlové rozlíšenie úmerné počtu zárezov vynásobených počtom svetlovodov (pripadajúcich na zárez) v štruktúre.

Transmisívny optický senzor na hriadeli riadenia

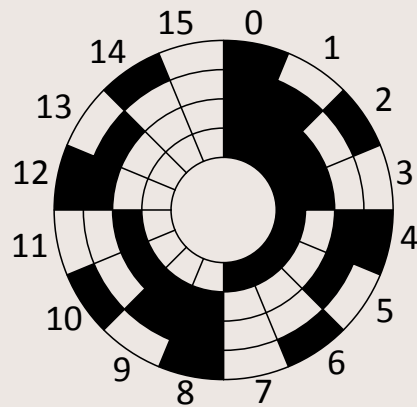
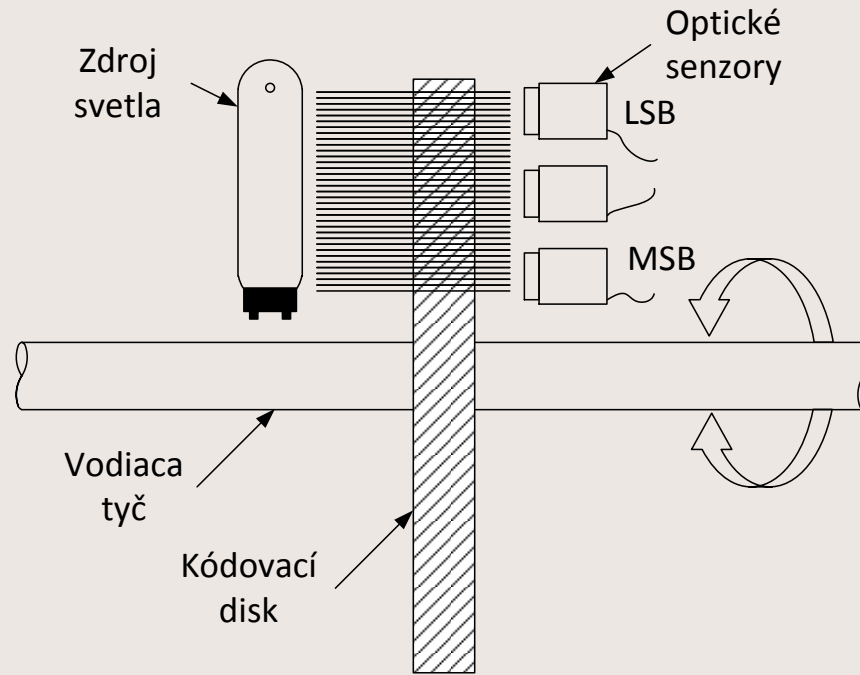


Použitím reflexných plôch namiesto priesvitných je možné uplatniť reflexnú metódu. Koaxiálnym umiestnením reflexných a čiernych pásikov pozdĺž hriadel'a je možné získať modifikáciu reflexnej metódy. V štruktúre takej optickej hlavice sa striedajú osvetľujúce a detekčné prvky, ktoré sú orientované smerom k hriadel'u riadenia. Výstupný signál môže byť analógový alebo impulzný. Zo série impulzov je možné detekovať aj informáciu o smere otáčania.

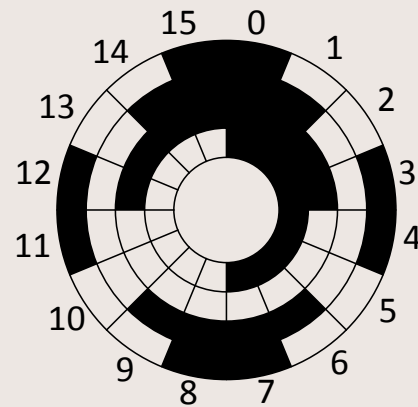
Optický kodér polohy hriadeľa

Pre snímanie zmeny uhla natočenia a tiež aj rýchlosti tejto zmeny môže byť použitý prispôsobený optický kodér. S jeho využitím sa možno stretnúť v snímaní polohy hriadeľa riadenia, hnacieho hriadeľa, prípadne spojovacieho hriadeľa (snímanie rýchlosti pohybu vozidla). Optický kodér pozostáva z kruhového priesvitného disku, na ktorom sú nanesené alebo vyleptané výseky medzikruží, z ktorých sú niektoré priesvitné a iné nepriesvitné. Takáto sústava vzájomne posunutých výsekov medzikruží vytvára a poskytuje binárnu informáciu, ako je to zrejme z [obr.](#)

Optický kodér polohy hriadeľa



Binárny kód

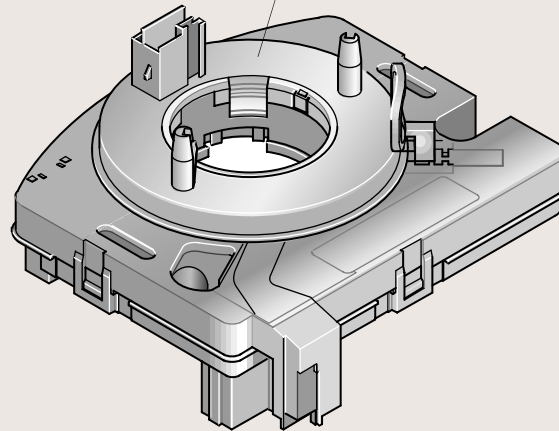


Grayov kód

Optický zdroj a detektor sú umiestnené tak, aby bolo snímané jedno medzikružie, v ktorom sú priesvitné a nepriesvitné časti. Lineárnym usporiadaním sústavy detektorov vzniká na výstupe detektorov binárna informácia v závislosti od prechádzajúceho svetla. Tvar vzoru v medzikružiach môže priamo definovať kód binárneho údaja. V prípade prirodzeného binárneho kódu je uhol natočenia úmerný priamo hodnote tohto kódu. Problém prechodov medzi jednotlivými stavmi môže riešiť vzor disku usporiadaný v Gray-ovom kóde

Snímač uhla natočenia volantu (typ používaný v koncerne VW) prenáša k riadiacej jednotke ABS s EDS/ASR/ESP údaj o uhle, o ktorý vodič otočil volant doľava alebo doprava. Snímač je schopný zachytiť uhol v rozmedzí $\pm 720^\circ$, to sú štyri úplné otočenia volantu.

vratný krúžok
so špirálovým vodičom



Meranie uhla natočenia volantu sa vykonáva na princípe svetelnej závory (opticko-elektrický signál). Základnými súčasťami sú:

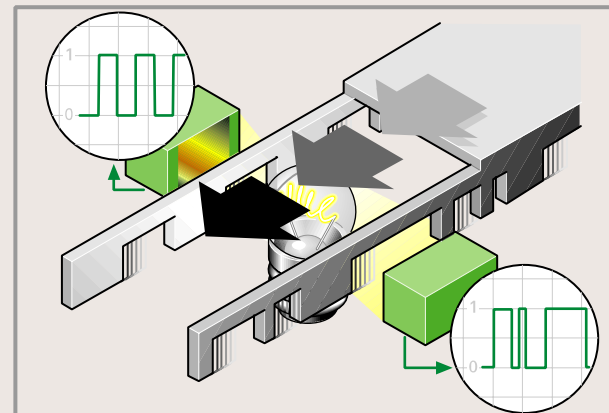
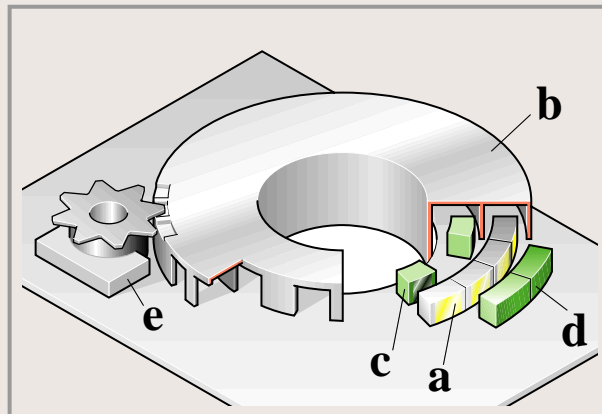
a zdroj svetla

b kódovací kotúč

c, d optické snímače

e počítaadlo úplných otáčok.

Kódovací kotúč je tvorený dvoma prstencami - absolútnym a inkrementálnym (prírastkovým). Oba prstence sú snímané dvoma senzormi.

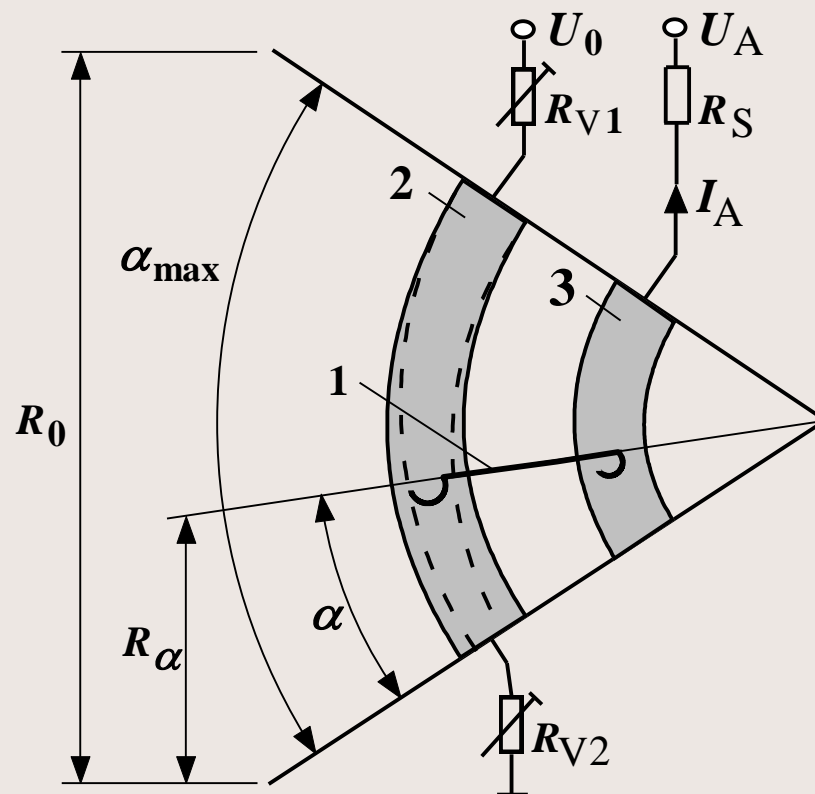


Odporové potenciometre

Pri odporových potenciometroch s bežcom sa meria pohyb alebo poloha využitím úmernej závislosti medzi dĺžkou vodiča alebo odporového filmu (vodivá dráha) a veľkosti jeho odporu. Táto skupina predstavuje najekonomickejšie senzory pohybu alebo uhla natočenia. Napätie na meraciu dráhu zvyčajne privádzané cez menšie sériové odpory R_v (zrejme z [obr.](#)), ktoré majú za úlohu ochranu, nastavenie nulovej polohy a nastavenie rozsahu výstupného napätia

Otočný potenciometer

1 bežec, 2 odporová dráha, 3 dráha kontaktu,
 U_0 napájacie napätie, U_A merané napätie,
 R justovacie odpory, α meraný uhol



Tvar obrysu odporovej dráhy definuje priebeh odporu, resp. výstupnej veličiny v závislosti od polohy bežca (charakteristika)

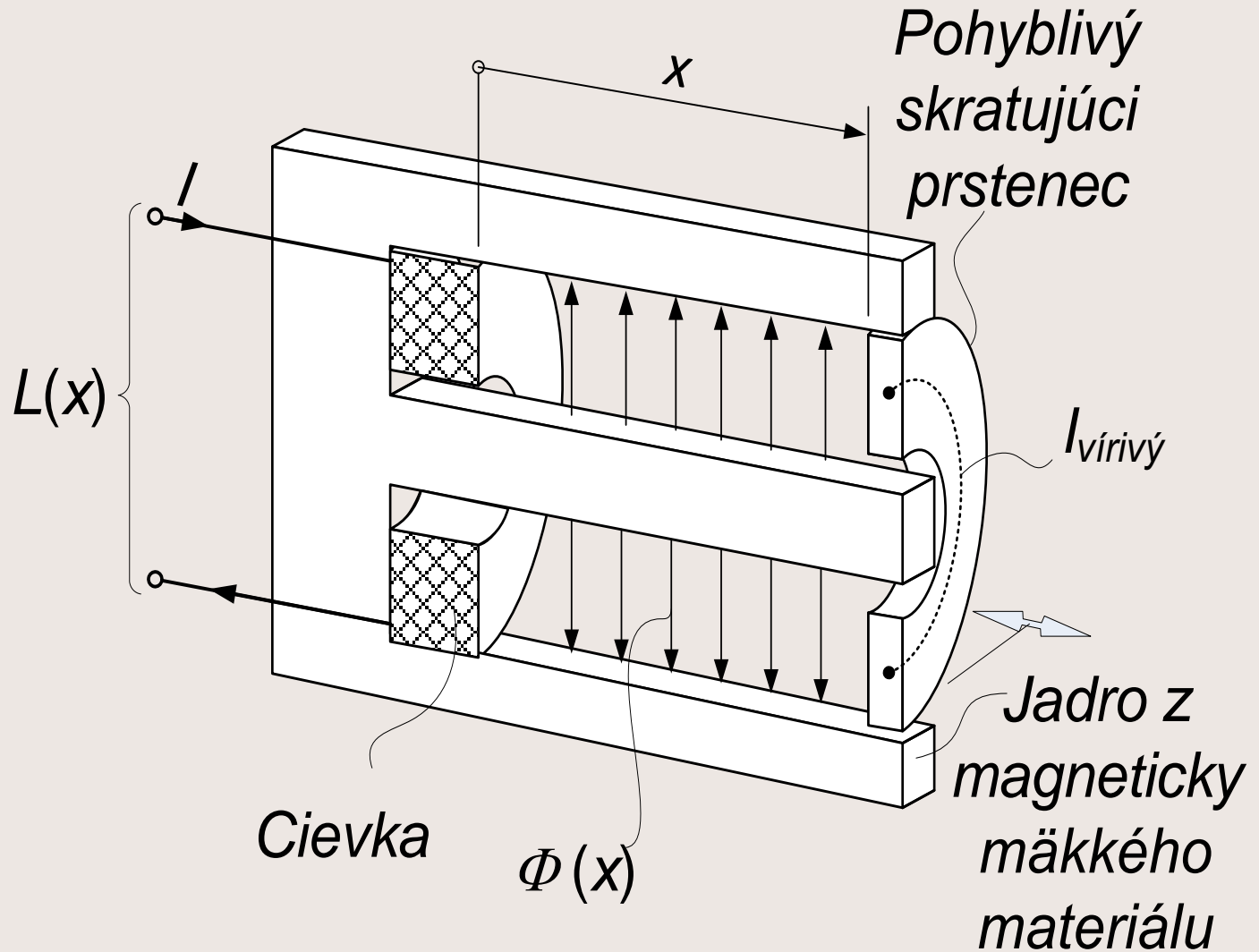
Pripojenie bežca je bežne zabezpečené druhou kontaktnou dráhou z toho istého materiálu, ktorá je nanosená na substrát s malým odporom. Zvýšenie odolnosti voči skresleniu sa dosahuje minimalizáciou prúdu ($I_A < 1\text{mA}$) a zapuzdrením, ktoré zamedzuje vnikaniu nečistôt.

Senzory so skratujúcim prstencom

Tieto senzory pozostávajú z laminovaného jadra z magneticky mäkkého materiálu (U, E, tyčinky), cievky a pohyblivého prstenca z dobre vodivého materiálu (Cu, Al) (obr).

Pripojením striedavého napätia na cievku tečie ňou prúd, ktorý je závislý od indukčnosti. Vírivý prúd, ktorý je indukovaný v prstenci obmedzuje nárast magnetického toku v oblasti medzi cievkou a prstencom. Poloha prstenca ovplyvňuje indukčnosť a tým aj prúd cievky (obr).

Senzor so skratujúcim prstencom



Prúd I je tak mierou pozície vodivého prstenca. Dĺžka senzora môže byť navrhnutá podľa požiadaviek. Hmotnosť pohybujúceho sa prstenca je veľmi malá. Tvar jadra ovplyvňuje charakteristiku senzora. Znižovaním vzdialenosti medzi časťami magnetického obvodu smerom ku koncu zlepšuje linearitu senzora. Pracovná frekvencia striedavého napätia je v rozmedzí 5-50 kHz (závisí od materiálu a tvaru jadra).

Diferenčné senzory

Používajú pohyblivý prstenec a statický prstenec, ktorého poloha je referenčná (obr). Používajú sa pre dosiahnutie zvýšených nárokov na presnosť (vstrekovacie čerpadlá dieselových motorov, senzory uhla natočenia pre meranie množstva vstrekovanej paliva rozdeľovacieho vstrekovacieho čerpadla).

Pracujú ako indukčné napät'ové deliče (obr)
(vyjadrením

$$\frac{L_1}{L_2} \text{ alebo } \frac{(L_1 - L_2)}{(L_1 + L_2)},$$

alebo ako prvky, definujúce frekvenciu
oscilátorov, v ktorých je výstupný signál
úmerný frekvencii. Typicky je

$$\frac{L_{\max}}{L_{\min}} = 4$$

Diferenčný senzor

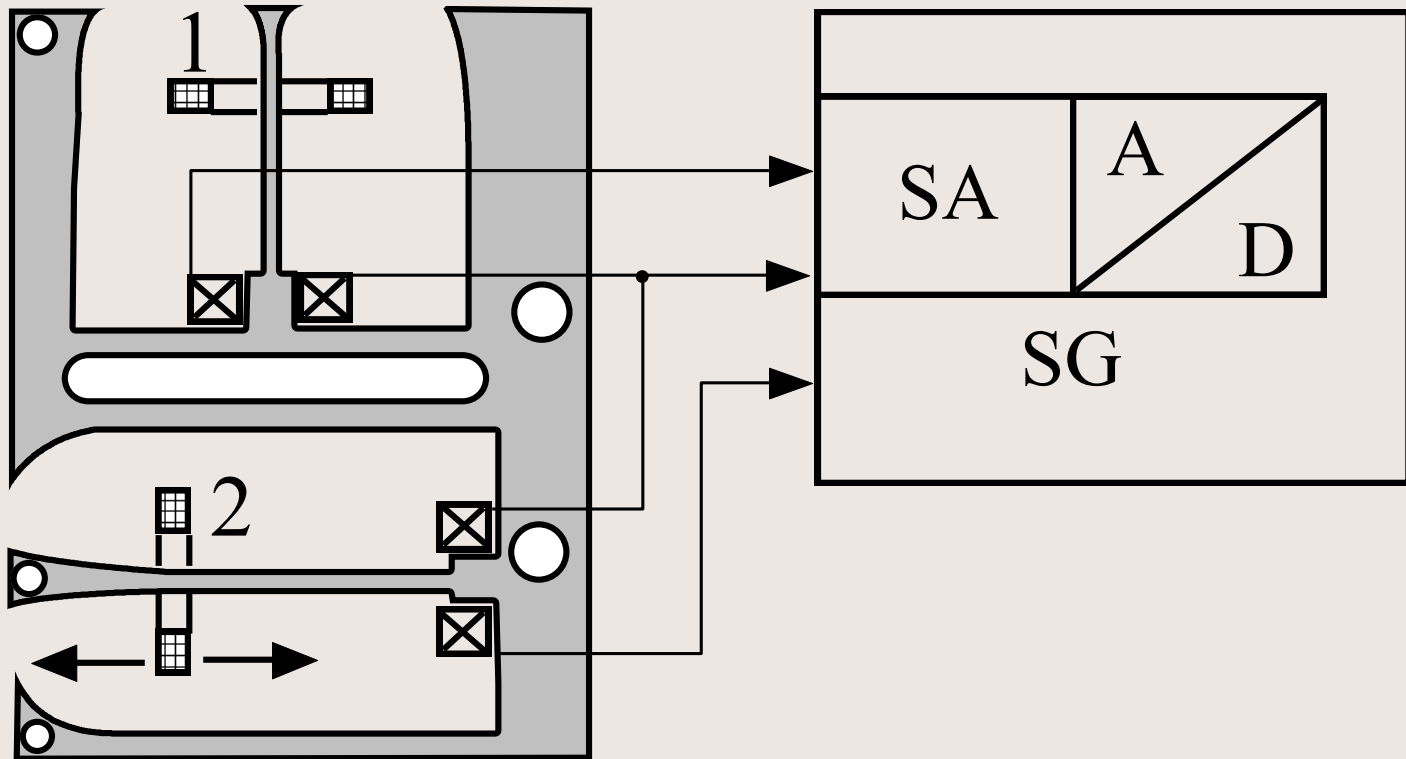
1 Referenčný prsteneц (pevný)

2 Pohyblivý prsteneц

A/D Analógovo-číslicový prevodník

SA Predspracovanie signálu

SG Riadiaca Jednotka (ECU)



Iné typy senzorov

Senzory založené na zasúvaní piestu solenoidu a podobné indukčné senzory využívajú variácie indukčnosti jednotlivých cievok a vzťah úmery napät'ového deliča (priamym pripojením alebo indukčnou väzbou) a pohybu jadier. Celková dĺžka je zvyčajne podstatne väčšia ako meraný posun. Tento problém sa potláča použitím viacerých vinutí umiestnených v sekciách s odlišnými rozmermi. Pri tých senzoroch, ktoré majú merať uhol natočenia sa musí mechanicky rotačný pohyb zmeniť na lineárne posunutie.

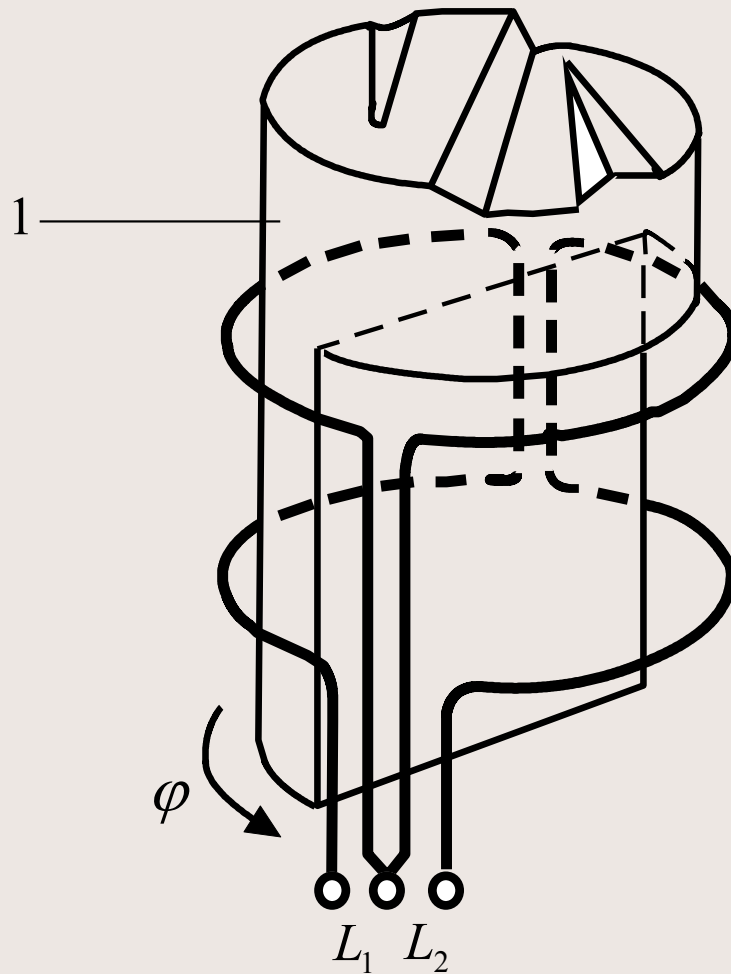
Senzory s VF vírivými proudmi *(elektronika v meracom bode)*

Sú vhodné napr. pre bezkontaktné meranie uhla natočenia škrtiacej klapky a pozície akceleračného pedálu. V týchto senzoroch je vo väčšine prípadov modifikovaná indukčnosť cievok s neferomagnetickým jadrom rôzne tvarovanými vodivými prvkami (spojlami) alebo ich premenlivým prekrývaním. Pracovná frekvencia je rádovo MHz a tak je väčšinou elektronika prispôbená senzoru.

Príkladom sú dve cievky, ktoré sú navinuté okolo spoločného valca (obr.), čím vytvárajú diferenčný senzor pre meranie uhla natočenia. Rovnaký princíp je použitý v senzoroch pre meranie pozície spojky (70mm rozsah 7,5kHz), v ktorých sú zakomponované laterálne (bočné) cievky. V prvom prípade je použitý špeciálny tvar Al valca. V druhom prípade sa monitoruje hĺbka zasunutia Al trubice do cievky senzora.

Senzor s VF vírivými prúdmi - senzor polohy pedálu

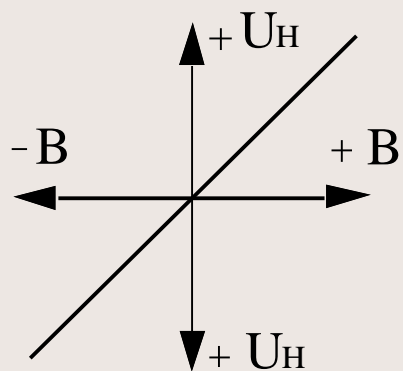
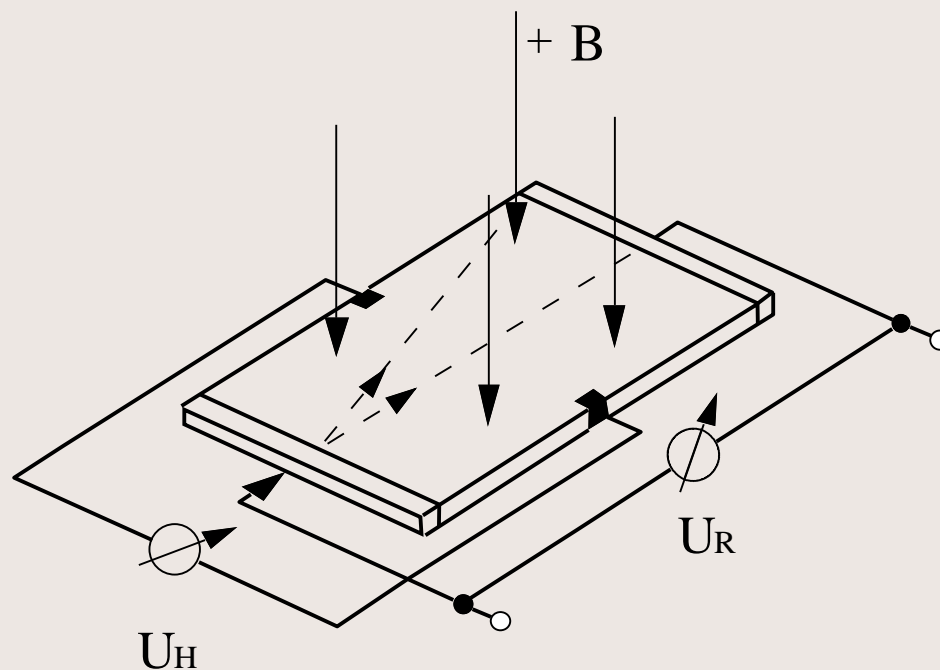
1 Spoiler – skratovacia časť, φ Uhol natočenia,
 L_1, L_2 Indukčnosti semicylindrických cievok



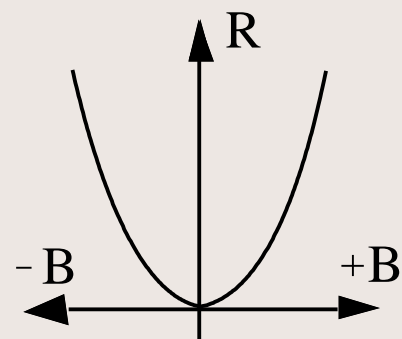
Integrované obvody s Hallovoú sondou

Hallovoú jav je galvanomagnetický jav, ktorý vzniká a je využívaný hlavne v tenkých polovodičových čípochoch. Keď takýto prvok, ktorým preteká elektrický prúd, je vystavený magnetickému poľu so siločiarami kolmými na smer prúdu, v smere kolmom na smer siločiar i smer prúdu sa objaví napätie, úmerné veľkosti magnetického poľa (obr) (Hallovoú jav). Súčasne narastá odpor tohto prvku, ktorý je parabolickou funkciou indukcie B (Gaussov jav, magneto rezistívny jav).

Galvanomagnetické javy



Závislosť Hallovho napätia
(Hallov jav)



Závislosť odporu
Gaussov jav

Ak je ako základný polovodič použitý Si, potom spolu s Hallovou sondou môže byť na jednom čipe vytvorený aj obvod pre spracovanie signálu z jej výstupu, čím sa takýto obvod stáva ekonomický.

Nevýhodou býva citlivosť na mechanické pnutia (otrasy, rôzna rozpínavosť látok) ktorým sa nedá zabrániť v dôsledku zapuzdrenia, a ktoré vedú k nežiaducim zmenám teplotného koeficienta. Tento nedostatok môže byť potlačený zavedením tzv. rotujúcich prúdov. Tým sa dosahujú lepšie výsledky pri IO s Hallovou sondou v analógových senzorochoch.

Mechanické interferencie (piezorezistívny jav) sú potlačené rýchlym elektronicky riadeným prepínaním elektród, čím sa vytvára rotácia prúdu. Výsledná hodnota veličiny sa získa ako priemer čiastkových hodnôt výstupného signálu (obr).

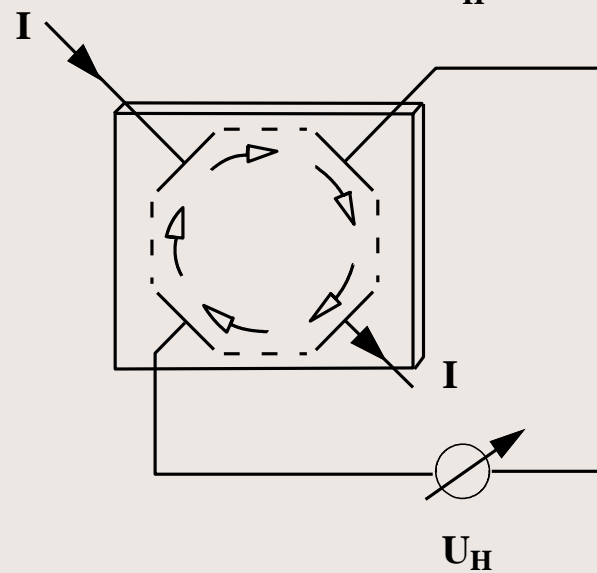
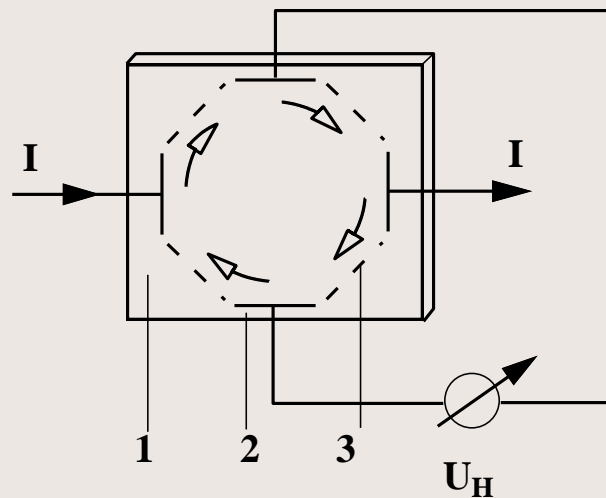
Tieto IO s Hallovou sondou (HS) sú vhodné hlavne pre meranie pohybu v obmedzenom rozsahu. Vyhodnocujú pokles alebo zmenu intenzity magnetického poľa permanentného magnetu ako funkciu jeho vzdialenosti od IO.

Princíp Hallovoho senzora so spínanými prúdmi

Fáza rotácie φ_1

- 1 Polovodičový čip
- 2 Aktívna elektróda
- 3 Pasívna elektróda
- I Budiaci prúd
- U_H Hallové napätie

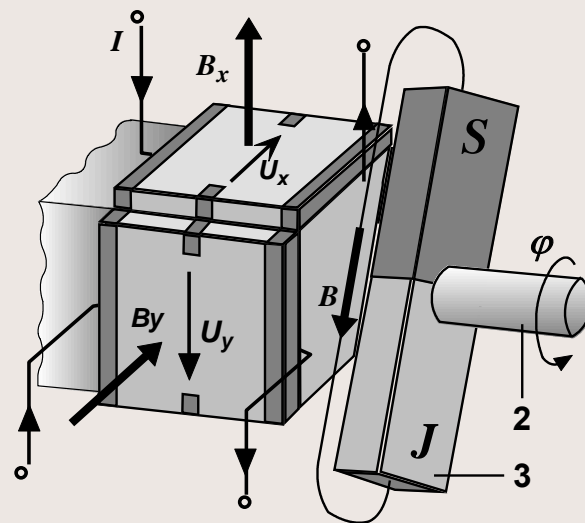
Fáza rotácie $\varphi_2 = \varphi_1 + 45^\circ$



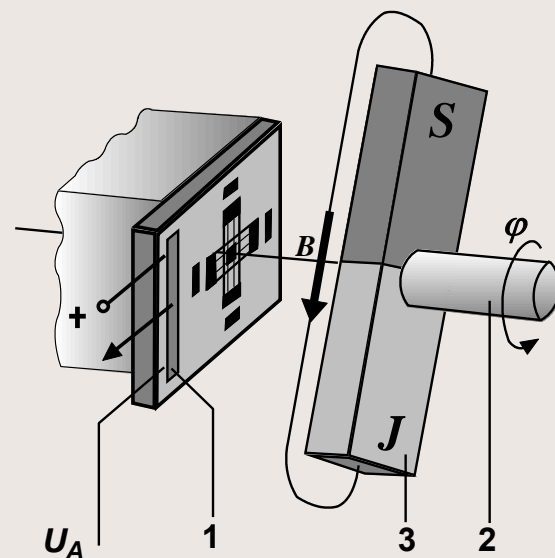
Použitím konfigurácie podľa obr. sa môžu merať uhly až do 360° (poloha vačkového hriadel'a). Dve HS, ktoré sú usporiadané kolmo na seba, poskytujú na svojich výstupoch sínusový a kosínusový signál. Tieto môžu byť funkciou *arctan* prepočítané na uhol otočenia φ . Principiálne môže byť daná konfigurácia realizovaná aj v planárnej forme (VHD-Vertical Hall Devices).

Analógový Hallový senzor pre otočenie o 360°

Postavený z diskretných
Hilových IO



Postavený z planárne
integrovaných Hilových IO



- 1 Elektronika spracovania signálov
- 2 Otočný hriadeľ
- 3 Riadiaci magnet

Podobne je možné merať väčšie uhlové odchýlky pomocou rotujúceho magnetické prstenca, ktorý je obopínaný nepohyblivým prstencom z magneticky mäkkého materiálu (obr). Výstupná charakteristika je lineárna v širokom rozsahu uhlov (obr). V takej konfigurácii aká je na obr. môže magnetické pole prstenca pretínať HS v oboch smeroch (bipolárne), pričom magnetický tok je formovaný prídavnými prvkami. Nevýhodou tohto riešenia je trvalá závislosť na geometrických toleranciách magnetického obvodu a fluktuáciách intenzity mag. poľa magnetu.

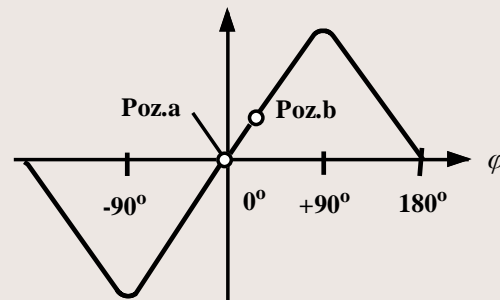
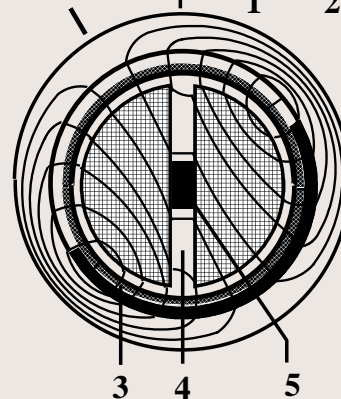
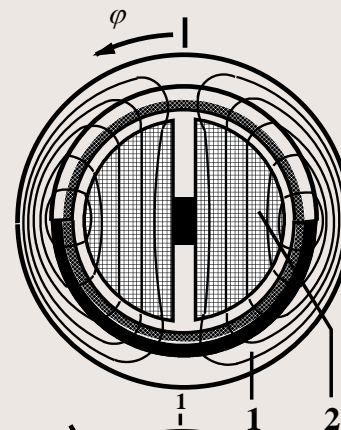
Hallový senzor uhla natočenia s lineárnou charakteristikou

Pozícia a

- 1 Magnetický tok
- 2 Stator (1, 2 Magneticky mäkký materiál)
- 3 Rotor (Permanentný magnet)
- 4 Vzduchová medzera
- 5 Hallový senzor
- φ Uhol otočenia

Pozícia b

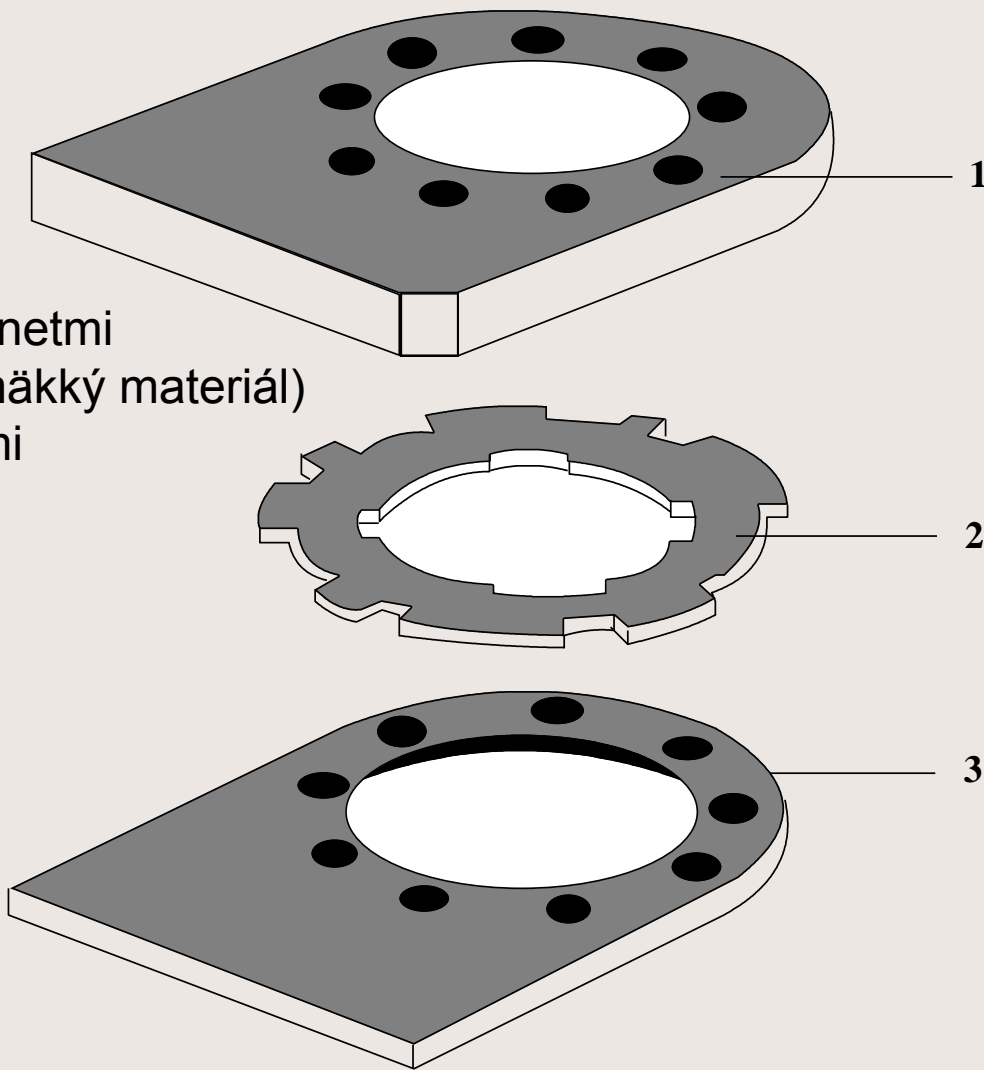
Výstupný signál



Medzi najjednoduchšie IO s HS patria spínače na báze Hallovho javu. Dovoľujú konštrukciu digitálnych senzorov uhla natočenia do 360° , použitím malých bodových magnetov (obr). V tejto konfigurácii je pre n -bitovú rozlišovaciu schopnosť potrebných n Hallových spínačov, ktoré sú rovnomerne rozmiestnené v kruhu. Kódový disk, ktorý je vyrobený z magneticky mäkkého materiálu blokuje (cloní) alebo prepúšťa magnetické pole vytvárané permanentnými magnetmi.

Digitálny Hallový senzor uhla natočenia s 360° rozsahom

- 1 Kryt s permanentnými magnetmi
- 2 Kódový disk (magneticky mäkký materiál)
- 3 Doska s Hallovými spínačmi



Tvar kódového disku odpovedá výstupnému kódu a rozmiestneniu Hallových spínačov. Ak sa senzor aplikuje pri snímaní uhla natočenia riadenia (volantu), je pre prípad viacnásobných otáčok možné použiť prevod do pomala. Rozlíšenie takejto konfigurácie býva lepšie ako $2,5^\circ$

Senzory budúcnosti

Magnetorezistívne Ni-Fe tenkovrstvové senzory

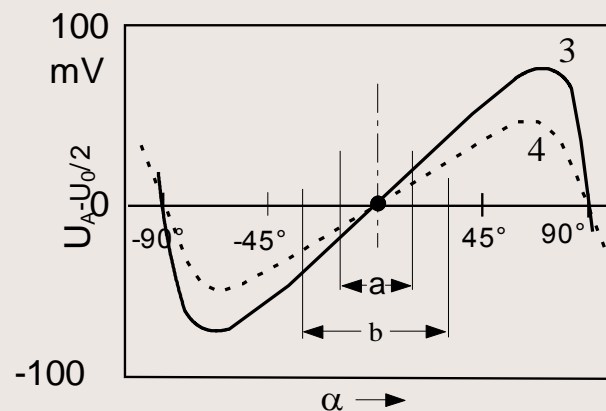
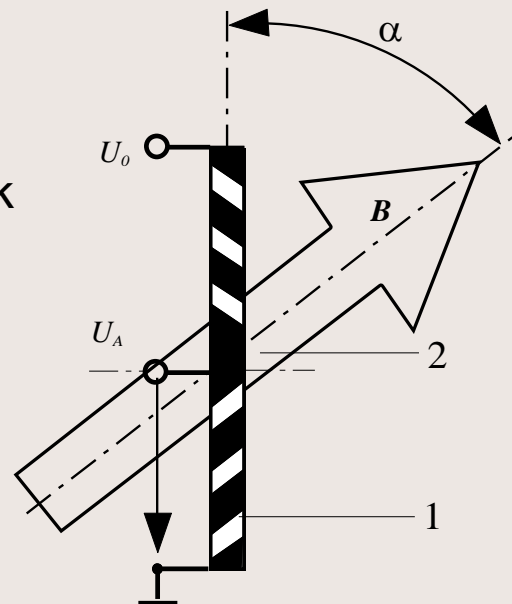
(AMR-anizotrópne magnetorezistívne tenkovrstvové Ni-Fe, Permaloy)

Dovoľujú extrémne kompaktnú konštrukciu bezkontaktných senzorov uhla natočenia.

Substrátom sú oxidované silikónové vrstvy, súčasťou ktorých môžu byť aj obvody spracovania signálov. Riadiace magnetické pole je zvyčajne vyrábané magnetom, ktorý je umiestnený nad sensorom (obr) („holičská palica-barber's pole“)

Magnetorezistívny senzor merajúci uhol natočenia (konfigurácia holičskej palice)

1. AMR, anizotropný magnetorezistívny prvok (holičská palica)
 2. Rotujúci permanentný magnet
 3. krivka odpovede pre nízku, a lineárny,
 4. vysokú pracovnú teplotu.
- α meraný uhol,
 U_A merané a
 U_0 referenčné napätie



Táto konfigurácia je limitovaná tak v presnosti ako aj v rozsahu ($\max \pm 15^\circ$). Činnosť je založená na rozvažovaní magnetorezistívneho napät'ového deliča, ktorý pozostáva z longitudiálnych permaloyových rezistorov a postranných dobre vodivých prúžkov (Au) (obr).

Magnetorezistívny senzor uhla natočenia v pseudohallovej konfigurácii

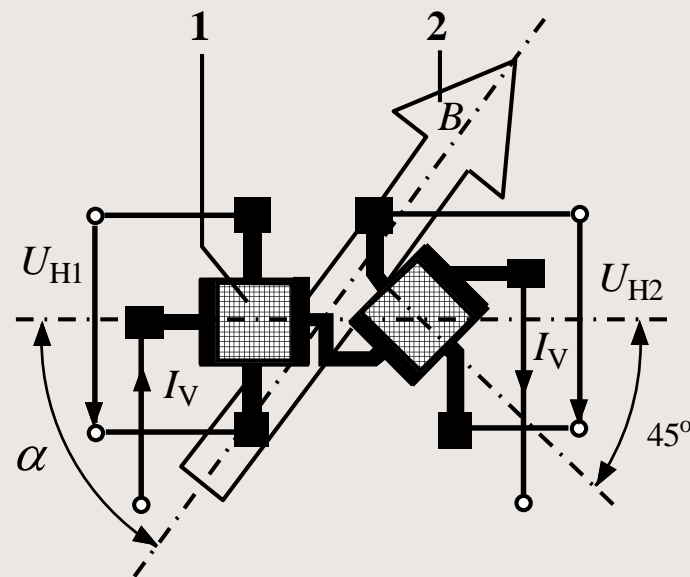
Využíva inherentnú (vnútorne danú) vlastnosť sínusového tvaru signálu, ktorý je snímaný na výstupoch štvorpólovej planárnej štruktúry ([obr](#)). Druhý prvok, pootočený o 45° poskytuje doplnkový signál v tvare kosínusu. Zo vzájomného pomeru týchto dvoch signálov (napr. *arctan*) je možné určiť uhol natočenia (mikroprocesor) s vysokou presnosťou a rozsahom väčším ako 180° , bez ohľadu na fluktuácie teploty alebo intenzity mag. poľa (stárnutie, vzd.)

Magnetorezistívny senzor merajúci uhol natočenia (pseudo-Hallová konfigurácia)

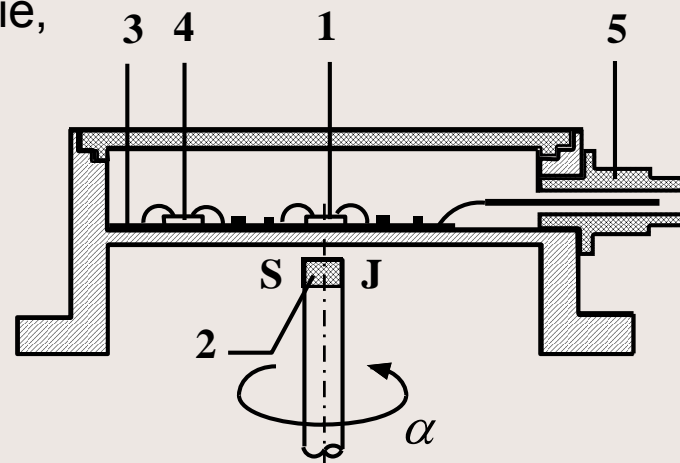
Spôsob merania

1. Tenká NiFe vrstva (AMR senzor),
2. Permanentný magnet s indukciou B
3. Hybrid,
4. ASIC ,
5. Konektor.

I_V - Zdroj prúdu, U_{H1}, U_{H2} - Merané napätie,
 α - Meraný uhol



Štruktúra senzora

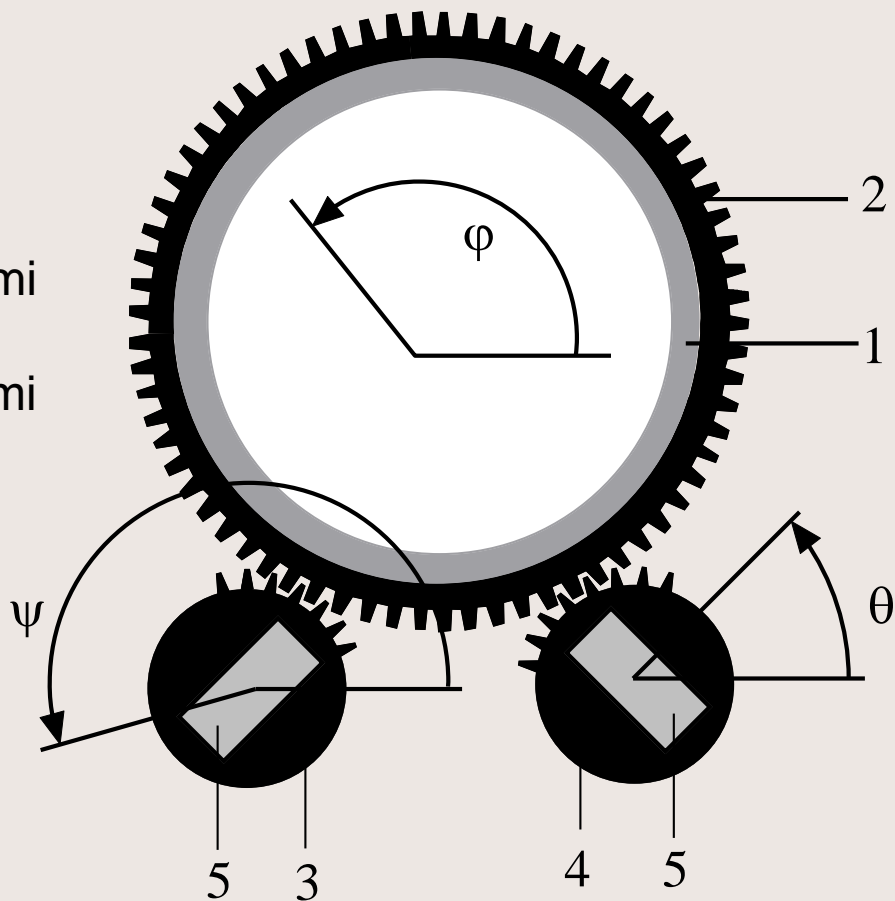


Meranie rôznych rotácií (napr. hriadel' riadenia) môže byť realizované dvomi pseudohallovými senzormi a dvomi permanentnými magnetmi podľa obr. Permanentné magnety sú upevnené na dvoch ozubených kolesách s prevodom zvyšujúcim otáčky, ktoré sa líšia v počte zubov o jeden zub. Ich vzájomný fázový posun je mierou absolútneho posunutia (obr.). Každý individuálny senzor poskytuje uhlovú informáciu so zvýšenou presnosťou. Táto konfigurácia poskytuje presnosť vyššiu ako 1° aj pri štyroch otáčkach hriadel'a.

AMR senzor uhla natočenia riadenia

1. Tyč riadenia
2. Ozubené koleso s $n > m$ zubami
3. Ozubené koleso s m zubami,
4. Ozubené koleso s $m + 1$ zubami
5. Magnety

φ, ψ, θ - Uhly pootočenia

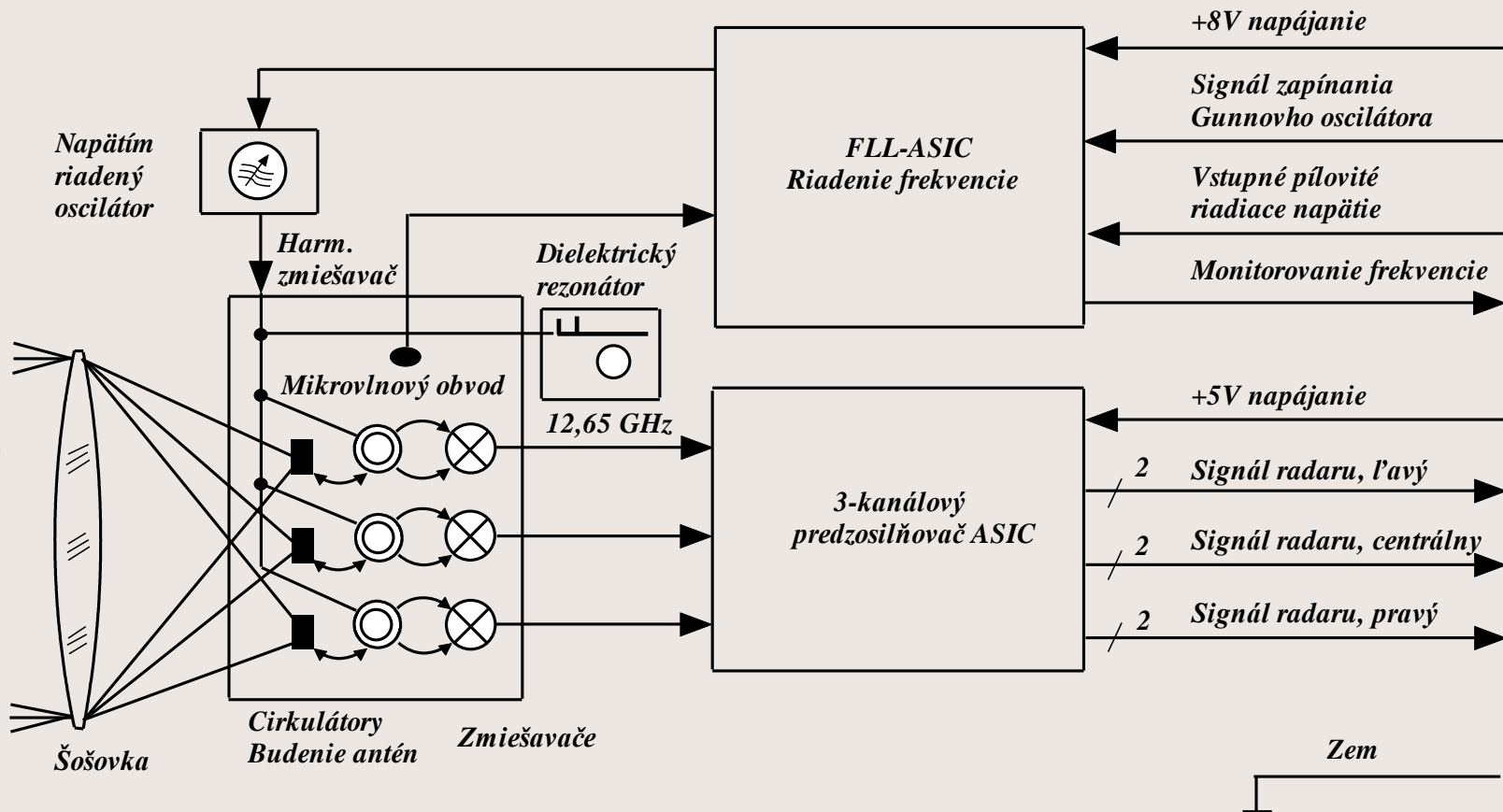


Senzory merania vzdialenosti medzi vozidlami

V systémoch pre monitorovanie vzdialenosti medzi vozidlami môžu byť použité ako ultrazvukové metódy (v rozsahu 0,5-5m), tak aj metódy pre meranie v infračervenej oblasti (Lidar: do 50m) alebo rádiovnej oblasti (~ 150m), v ktorých sa najčastejšie uplatňuje meranie doby odozvy. ACC (Adaptive Cruis Control) systémy s takými radarmi sú vlastne riadiace systémy, ktoré riadia a dohliadajú na rýchlosť vozidla, detekujú iné objekty a prekážky pred vozidlom v smere jeho pohybu a aktivujú brzdiace systémy (v prípade potreby)

Pracovná frekvencia týchto radarov je v pásme 76 GHz ($\lambda=3,8\text{cm}$), čo dáva predpoklad pre stavbu kompaktných systémov automobilových aplikácií. Ako budič sa používa Gunnov oscilátor (oscilátor s Gunnovou diódou umiestnenou vo vlnovodovom rezonátore), ktorý budí tri paralelne pracujúce *patch* (plošné) antény ([obr](#)). Tieto pracujú súčasne ako vysielacie aj ako prijímacie antény odrazeného signálu. Súčasťou antén sú aj plastové Fresnelové šošovky, ktoré tvarujú vyžarovací diagram do priestoru pred vozidlom $\pm 5^\circ$ v horizontálnom smere a $\pm 1,5^\circ$ vo vertikálnom smere. V dôsledku postranného offsetu antén je prijímacia charakteristika mierne odlišná (6dB šírka $\pm 4^\circ$).

Analógová časť ACC - senzora (bloková schéma)



Tieto systémy sú schopné detekovať vzdialenosť objektu nachádzajúceho sa pred vozidlom, zistiť jeho rýchlosť a smer a tiež jeho pozíciu pred vozidlom.

Vysielané a prijímané signály oddelujú smerové väzobné prvky (obr). V troch zmiešavačoch sa VF signál konvertuje smerom dolu na rozsah 0-300MHz. Signál s nízkou frekvenciou je digitalizovaný a spracovávaný metódami číslicového spracovania signálov (frekvenčná analýza a pod.).

Frekvencia oscilátora s Gunnovou diódou je kontinuálne porovnávaná s frekvenciou stabilného oscilátora (DRO-Dielectric Resonance Oscillator) a nastavovaná na vopred stanovenú hodnotu. Zmena frekvencie Gunnovho oscilátora sa dosahuje zmenou napájacieho napätia (obr.).

Gunnov oscilátor je rozmietať každých 100ms v rozmedzí 300MHz pílovitým signálom, čím sa optimalizuje meranie (FMCW- Frequency Modulated Continuous Wave) (obr.).

Signál odrazený od vozidla od objektu pred vozidla je oneskorený o čas potrebný na prekonanie dvojásobnej vzdialenosti medzi vozidlom a objektom. Rozmietaný vysielaný a prijímaný signál tým, že sú časovo posunuté, majú v jednom okamihu aj odlišné frekvencie. Frekvenčný rozdiel Δf je tak mierou vzdialenosti (napr. 2kHz/m). Ak sa však objekty vzájomne voči sebe pohybujú, potom je frekvencia prijímaného signálu (ako to vyplýva z Dopplerovho javu) zmenená úmerne charakteru charakteru vzájomného pohybu. (napr. 512 Hz/ms⁻¹).

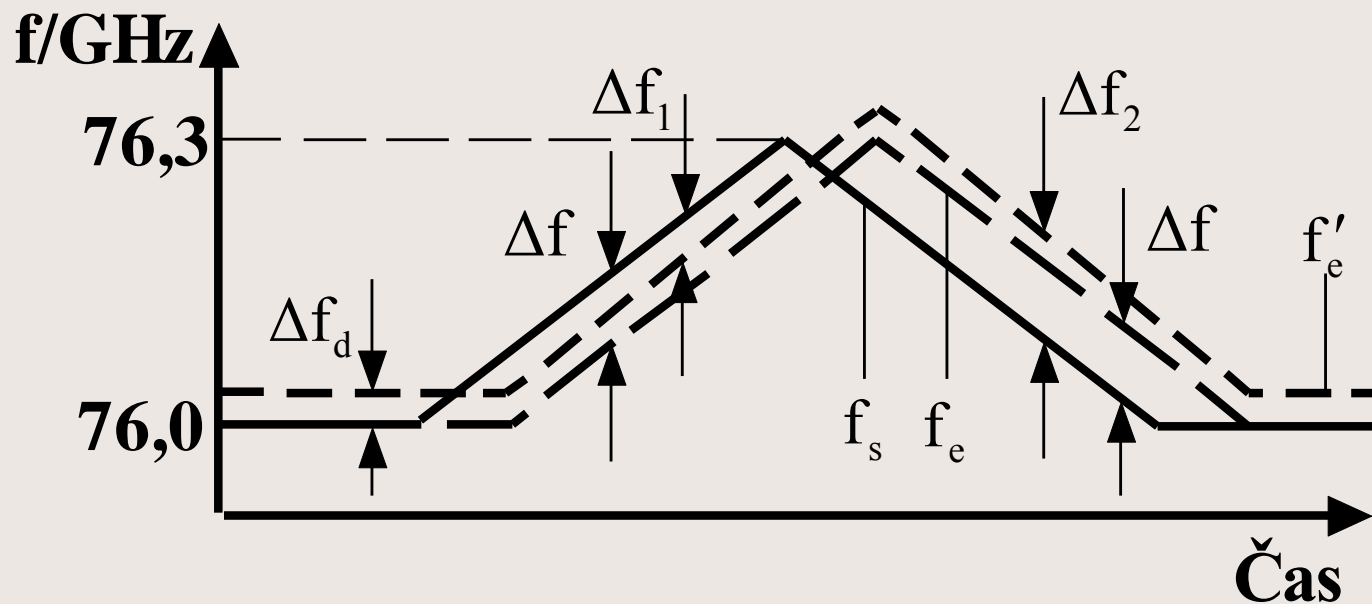
Je treba mať na zreteli dve odlišné zmeny frekvencie Δf_1 a Δf_2 . Ich súčet poskytuje informáciu o vzdialenosti a ich rozdiel o vzájomnej relatívnej rýchlosti (obr.).

Meracie systémy sú pomocou tejto metódy schopné merať a definovať dráhu až 32 vozidiel naraz.

Senzory magnetického poľa

Môžu byť použité pre monitorovanie smeru pohybu všeobecne a môžu nájsť uplatnenie v navigačných systémoch. V súčasnosti sa pre tieto účely v dost' širokom rozsahu uplatňuje GPS (Global Position System).

Meranie vzdialenosti a rýchlosti FMCW radarom



- f_s Vysiellaná frekvencia
- f_e Prijímaná frekvencia bez relatívnej rýchlosti
- f'_e Prijímaná frekvencia s relatívnou rýchlosťou
- Δf_d Zvýšenie frekvencie Dopplerovým javom
- Δf Diferencia frekvencií bez relatívnej rýchlosti
- $\Delta f_{1,2}$ Diferencia frekvencií s relatívnou rýchlosťou



Senzory
otáčok, rýchlosti, zrýchlenia

Senzory otáčok a rýchlosti

Treba rozlišovať medzi absolútnou rýchlosťou otáčania v priestore a relatívnou rýchlosťou vzájomného otáčania sa dvoch častí. Príkladom absolútnej rýchlosti otáčania je rýchlosť vybočenia vozidla (Yaw) vzhľadom k vertikálnej osi (informácia potrebná pri riadení dynamiky vozidla). Príkladom relatívnej rýchlosti otáčania sú otáčky klukového alebo vačkového hriadeľa, otáčky kolies (ABS/TCS) a otáčky palivového čerpadla.

Pri meraní sa uplatňujú hlavne inkrementálne senzorové systémy, ktorých súčasťou sú ozubené prevody a senzory otáčok.

Novšie aplikácie:

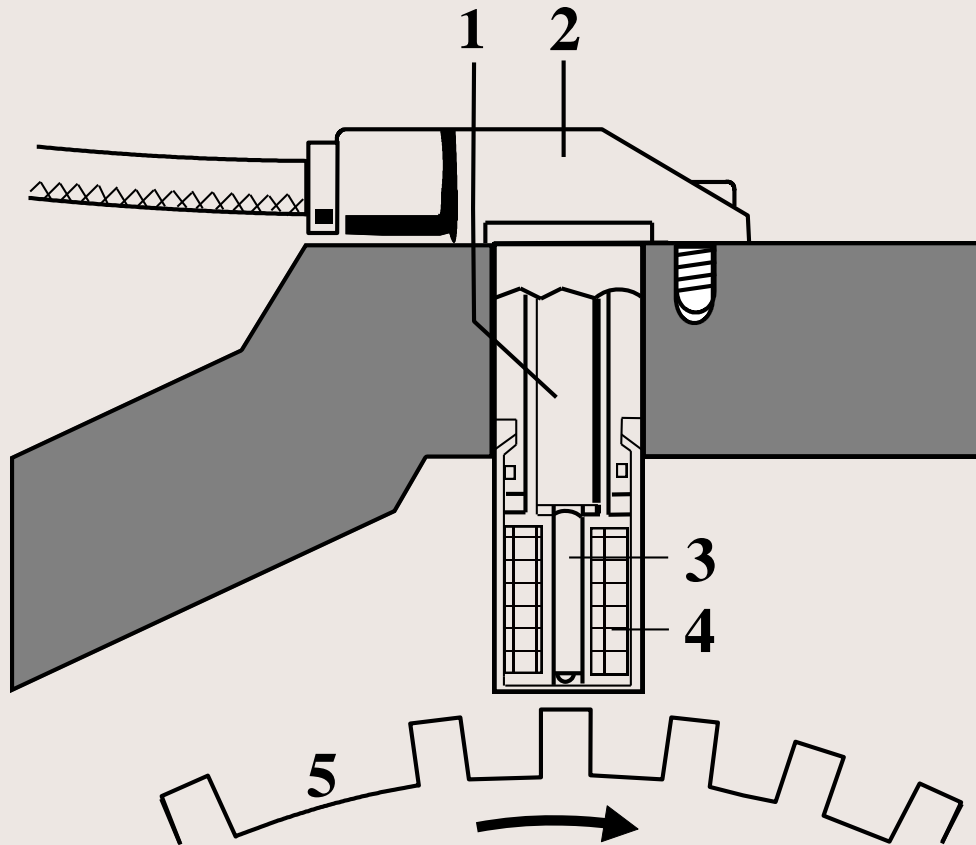
- v ložiskách integrované senzory otáčok (ložiská kolies, moduly tesnenia mazania-simmerringy klukových hriadel'ov),
- lineárna rýchlosť,
- rýchlosť otáčania okolo vertikálnej resp. pozdĺžnej osi (ochrana pred prevalením).

Indukčné senzory

Indukčné senzory sa skladajú z permanentného magnetu tvaru tyčinky, z tyčinky z magneticky mäkkého materiálu a z cievky. Tyčinka z magneticky mäkkého materiálu ovplyvňuje indukčnosť cievky (obr.).

Ak sa ozubené koleso z feromagnetického materiálu otáča, jeho zuby menia magnetický tok v tyčinke a tým aj v cievke. Zmeny magnetického toku indukujú napätie v cievke.

Indukčný senzor otáčok



1. Permanentný magnet
2. Ochranný kryt
3. Jadro z magneticky mäkkého materiálu
4. Vinutie cievky
5. Ozubené koleso (ocel') s referenčným bodom

Pravidelný tvar zubov, ktoré majú rovnakú šírku ako medzery vytvára zabezpečuje, že indukované napätie je sínusového priebehu. Rýchlosť otáčania sa vplýva na frekvenciu, resp. periódu signálu ale aj na jeho amplitúdu. Dôležitými faktormi, ktoré definujú amplitúdu signálu sú tvar zubov a vzduchová medzera (exponenciálna závislosť). Bez väčších ťažkostí môžu byť detekované zuby ak vzduchová medzera dosahuje $1/3$ až $1/2$ intervalu zubov.

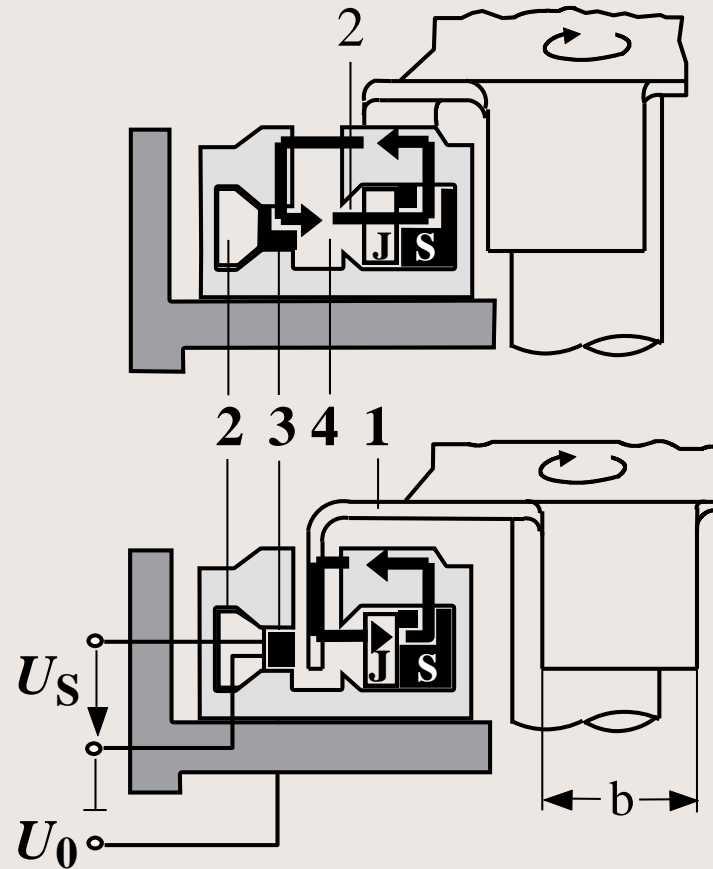
Pri štandardných ozubených kolesách pre snímanie polohy klukového hriadeľa a otáčania kolies pre ABS dosahuje medzera hodnoty 0,8 – 1,5mm. Zisťovanie referenčnej polohy napr. pre zapalovanie sa zabezpečuje buď vynechaním jedného zuba, alebo premostením dvoch susedných zubov. V snímanom signále to vykazuje výraznú, ktorá je detekovaná a analyzovaná ďalšími elektronickými obvody.

Senzory založené na Hallovom jave s lopatkovými prerušovačmi

Najčastejšie sa používajú pre časovanie zapalovania a distribúciu energie zapalovania pre jednotlivé valce. Samotný senzor je často integrovaný aj s elektronikou pre spracovanie v jednom čipe. Takýto Hallovy IO (Integrovaný obvod, vyrobený bipolárnou technológiou, určený pre použitie až do teploty 150°C a pripojený priamo na elektrický systém)

je umiestnený spolu s magnetickým obvodom a je magneticky odizolovaný od okolia. Magnetický obvod pozostáva z permanentného magnetu a pólových nastavcov (obr.). Prerušovačom je lopatka z magneticky mäkkého materiálu, ktorá je spojená napr. s vačkovým hriadelom. Táto lopatka prechádza pri rotácii vzduchovou medzerou a tak preruší magnetický tok, ktorý inak pretína Hallovú sondu (obr.). V systémoch, ktoré sú použité pre distribúciu elektrickej energie pre zapalovanie sa namiesto lopatiek používa vhodne tvarovaný disk z mag. mäkkého materiálu.

Lopatkový spínač s Hallovým prvkom (rozdeľovač zapaľovania)



1. Lopatka so šírkou b
 2. Magnetický obvod z magneticky mäkkého materiálu
 3. Integrovaný obvod s Hallovým prvkom
 4. Vzduchová medzera
- U_0 Napájacie napätie, U_s napätie senzora

Novšie senzory

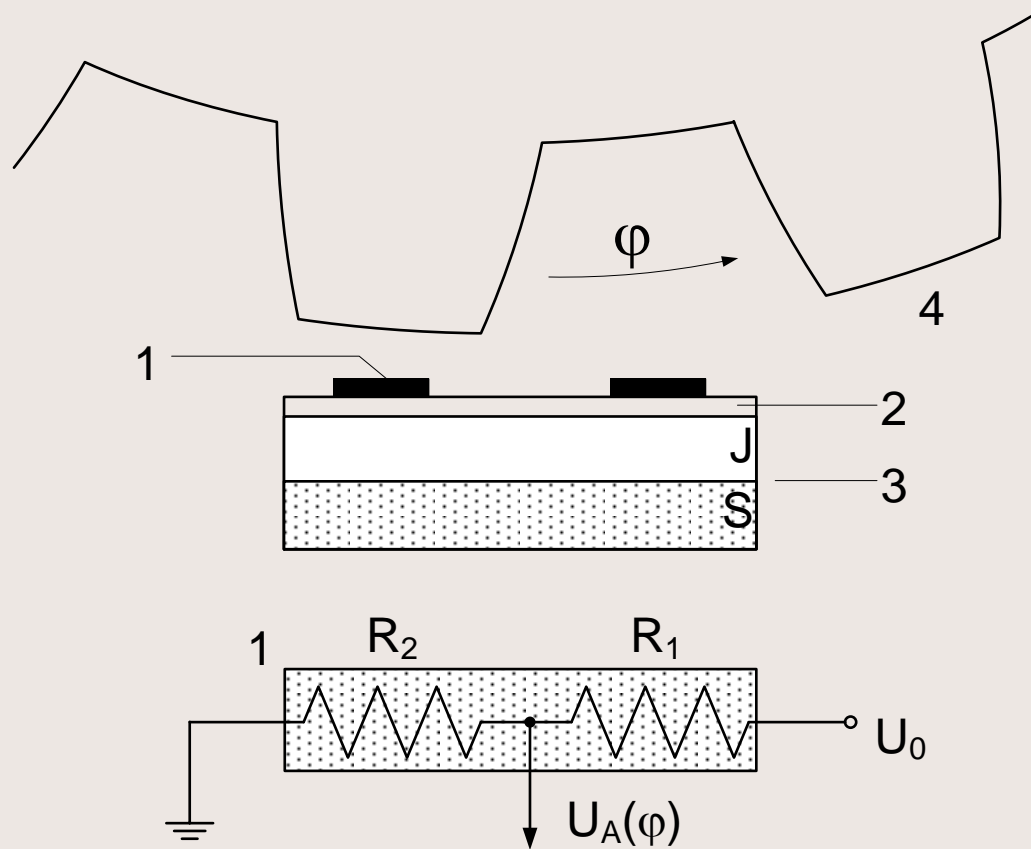
Nové senzory a senzory budúcnosti budú musieť splniť tieto kritéria:

- statické monitorovanie (nulové otáčky),
- väčšie vzduchové medzery,
- nezávislosť od fluktuácií vzduchových medzier (odolnosť voči zmenám teploty do 200°)

Gradientné senzory

Gradientné senzory (pracujúce napr. ako Hallové diferenciálne alebo magnetorezistívne diferenciálne) obsahujú permanentný magnet, ktorého účinky sú homogenizované feromagnetickou doštičkou (obr.). Vo vzdialenosti $1/2$ periódy zubov sú umiestnené dve Hallové sondy (HS ,využívajúce Hallov jav alebo magnetorezistívny jav), čím je vždy jedna HS v medzere medzi zubami a druhá oproti zubu (obr.).

Diferenciálny magnetorezistívny senzor (radiálny)



1. Magnetorezistor R_1, R_2
 2. Magnetický substrát z magneticky mäkkého materiálu
 3. Permanentný magnet
 4. Ozubené koleso
- U_0 Napájacie napätie, $U_A(\varphi)$ napätie senzora

Senzor vyhodnocuje veľkosť intenzity magnetického poľa, ktorá pôsobí na tieto dve HS. Tým je výsledná informácia takmer nezávislá od veľkosti vzduchovej medzery.

Magnetorezistory (Gaussov jav) sú magneticky riadené polovodičové odpory (InSb), na ktoré môže podobne ako pri HS premenlivo pôsobiť magnetické pole (obr.). Bežne je odpor magnetorezistora kvadratickou závislosťou intenzity mag. poľa. Dva rezistory môžu byť zapojené ako napät'ový delič (použitelnosť magnetorezistorov je do 170-200°C).

Tangenciálne senzory

Tangenciálny senzor sa líši od gradientného reakciou na variácie resp zmeny polarizácie a veľkosti tangenciálnych zložiek intenzity magnetického poľa vzhľadom k obvodu rotora. Návrh predpokladá použitie AMR (anizotropna magnetorezistívna) tenkovrstvovú technológiu (barber's pole) alebo jednotlivé permaloyové rezistory, zapojené ako súčasť mostíka.

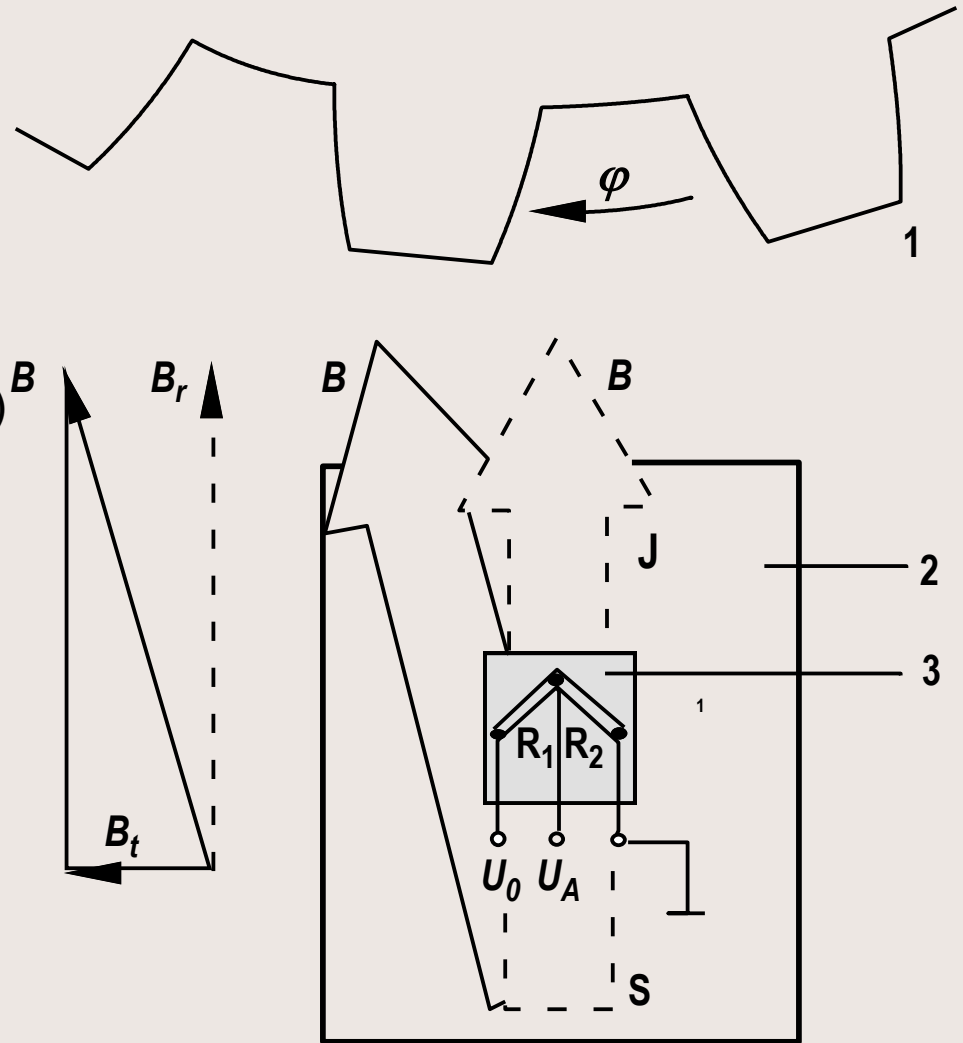
Tangenciálne senzory nemusia byť prispôbené rozstupu zubov koleasa (obr.). V prípade realizácie senzora pre umiestnenie v ložisku (priestor pre tesnenie mazania) je AMR umiestnený spolu s IO pre spracovanie signálu. V snahe šetriť priestor a chrániť IO pred teplom môže byť byť umiestnený (IO) kolmo na čidlo a čím ďalej od zdroja tepla.

AMR senzor (tangenciálny)

1. Ozubené koleso (Fe)
2. Permanentný magnet
3. Magnetorezistory R_1, R_2
(Permaloy, tenkovrstvový)

B riadiace magnetické pole s tangenciálnou zložkou B_t a radiálnou zložkou B_r
(Východzia pozícia $B_t = 0$), φ Uhol pootočenia

U_0 Napájacie napätie, U_A napätie senzora



Oscilačné gyrometre

Oscilačné gyrometre merajú absolútnu rýchlosť otáčania sa vozidla okolo vertikálnej osi (yaw rate). Tento údaj sa používa napr. v systémoch pre riadenie dynamického správania sa vozidla (ESP - Electronic Stability Program) a pri navigácii. V princípe sú obdobné ako mechanické, ktoré využívajú Coriolisove zrýchlenie. To sa vyskytuje pri rotačnom pohybe v spojitosti s kmitavým pohybom.

Piezoelektrický senzor rýchlosti vybočenia

Dva piezokeramické senzory (1-1'), ktoré ležia presne oproti sebe, generujú v rezonančnom dutom valci radiálne rezonančné oscilácie (obr.). Druhý piezoelektrický pár (2-2') udržiava konštantnú amplitúdu oscilácií valca so 4-mi uzlami kmitania (potočené o 45° vzhľadom k pozícii budenia). Poloha uzlov odpovedá rýchlosti otáčania Ω okolo osi rezonančného valca.

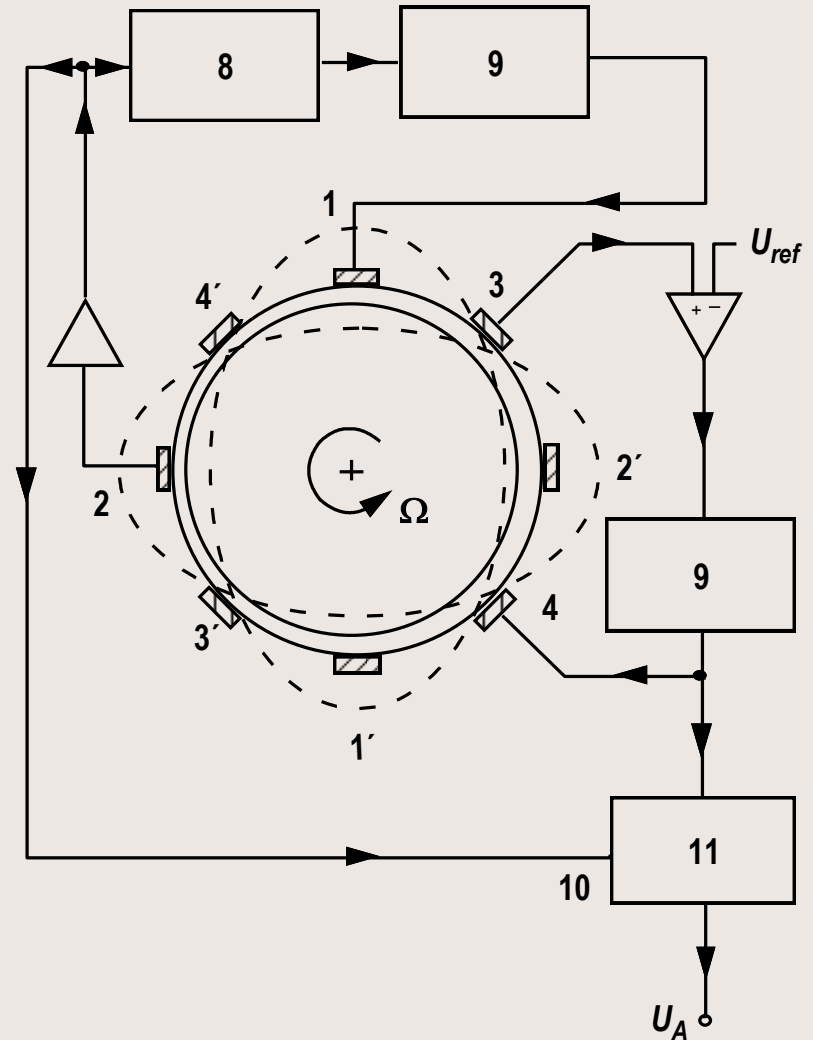
Piezoelektrický senzor otáčania (Princíp činnosti)

1. ...4. Piezoelektrické prvky
8. Riadiaca jednotka (konštantná fáza)
9. Pásmový priepust
10. Signál s referenčnou fázou
11. Usmerňovač – synchronný detektor

U_A napätie senzora – merané,
 Ω Uhlová rýchlosť,

$U_{ref}=0$ (normálna prevádzka),

$U_{ref}\neq 0$ (zabudovaný test)

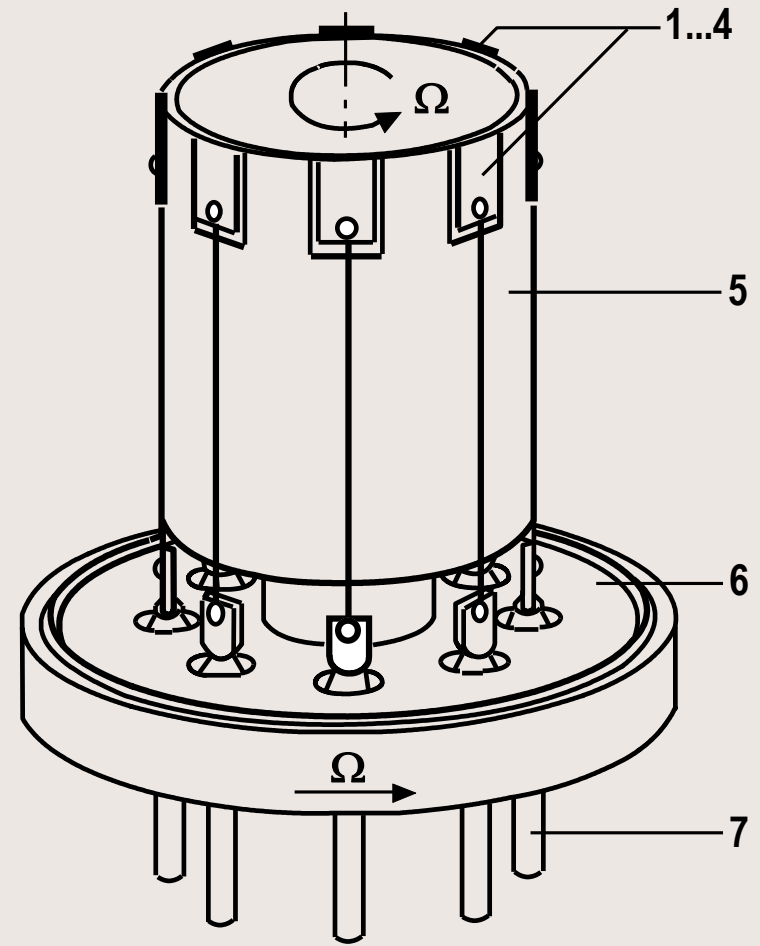


Mierne sa môže posúvať a taktiež sa tým môže meniť silové pôsobenie v miestach pôvodnej polohy uzlov (v pokoji sily nepôsobia). Tento stav je monitorovaný tretím párom piezoelektrických prvkov (obr.). Signál o silách je porovnávaný s referenčnou hodnotou $U_{REF}=0$ a 4-tým párom sú v spätnoväzobnej slučke znovu generované sily pre doladenie (obr.). Po precíznej filtrácii použitím synchrónneho detektora (fázovo riadené usmerňovanie) je výsledkom extrémne presná požadovaná hodnota signálu.

Nastavením $U_{REF} \neq 0$ umožňuje jednoduchú kontrolu časových zmien. Pre potlačenie teplotných vplyvov sú potrebné zložité kompenzačné obvody. Taktiež je potrebné prijímať opatrenia na potlačenie vplyvov starnutia, na ktoré sú náchylné piezoelektrické prvky. Výsledná konfigurácia gyroskopu je na obr.

Piezoelektrický senzor uhlovej rýchlosti (štruktúra)

1. ...4. Piezoelektrické páry prvkov
 5. Oscilačný valec
 6. Základná doska – päťica,
 7. Pripájacie kolíky
- Ω Uhlová rýchlosť,

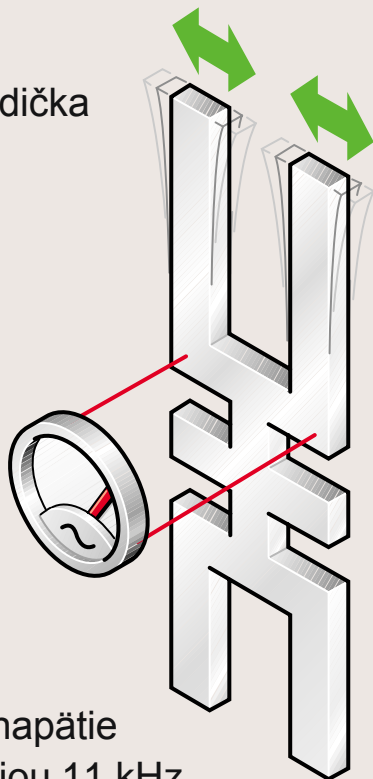


Mikromechanický senzor uhlovej rýchlosti s dvojitou ladičkou

Základnou časťou snímača uhlovej rýchlosti je mikromechanický systém s dvojitou ladičkou z monokryštalu kremíka, ktorý je umiestnený na malom elektronickom diele na doštičke snímača. Na [obr.](#) Je zjednodušené zobrazenie dvojitej ladičky. V oblasti „pása“ je spojená so zvyšným kremíkovým prvkom (kvôli prehľadnosti vynechaný). Systém je tvorený budiacou ladičkou a mernou ladičkou.

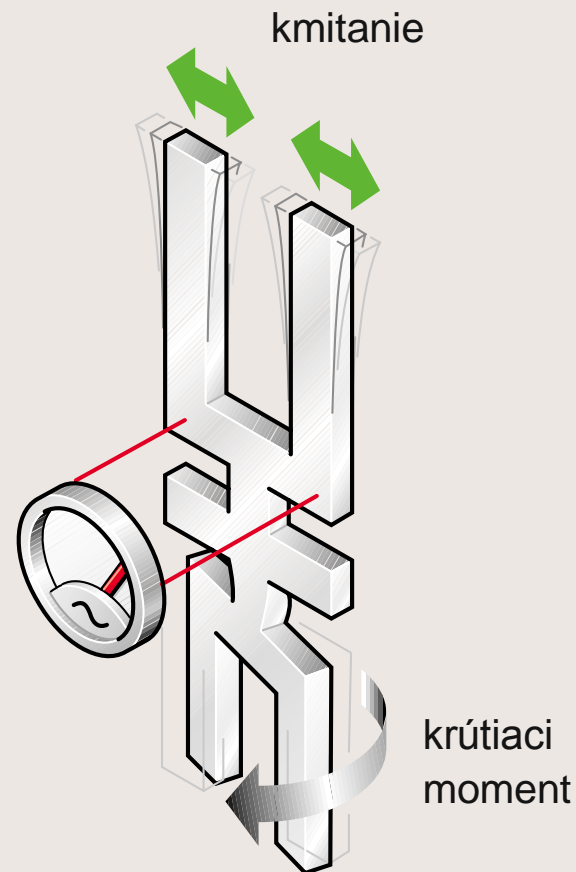
Mikromechanický systém s dvojitou ladičkou

budiaca ladička
kmitá



striedavé napätie
s frekvenciou 11 kHz

merná ladička
sa nerozkmitala



kmitanie

krútiaci
moment

Funkcia

Privedením striedavého napätia sa ladička rozkmitá. Dvojitá ladička je konštruovaná tak, aby sa budiaca ladička rozkmitala pri frekvencii 11 kHz (presne) a merná ladička pri frekvencii 11,33 kHz.

Ak je na dvojitú ladičku privedené napätie s frekvenciou presne 11 kHz, rozkmitá sa budiaca ladička, kým merná ladička nie. Kmitajúca ladička reaguje na pôsobenie sily pomalšie, než hmota, ktorá nekmitá.

Tým, že sa merná ladička a zvyšok snímača rotačnej rýchlosti spolu s vozidlom pôsobením otáčavého zrýchlenia pohybuje, budiaca ladička za týmto pohybom zaostáva. Tým sa dvojité ladička skrúti do tvaru skrutkovice. Toto skrútenie spôsobí zmenu v rozdelení nábojov v ladičke, čo je merané elektródami a vyhodnocované elektronickými komponentmi snímača rotačnej rýchlosti

Radarové senzory

Výskum sa zameriava hlavne na lacné radarové systémy, ktoré využívajú Dopplerov jav pre meranie lineárnej rýchlosti vozidiel.
(Bližšie v iných častiach)

Senzory akcelerácií a vibrácií

Tieto senzory sú vhodné pre spúšťanie systémov ochrany a bezpečnosti pasažierov (airbagy, predpínače bezpečnostných pásov,...), pre detekciu klepania, riadenie motorov s vnútorným spaľovaním, pre registrovanie bočného zrýchlenia a zmien rýchlosti štvorkolesových vozidiel vybavených ABS. (TAB)

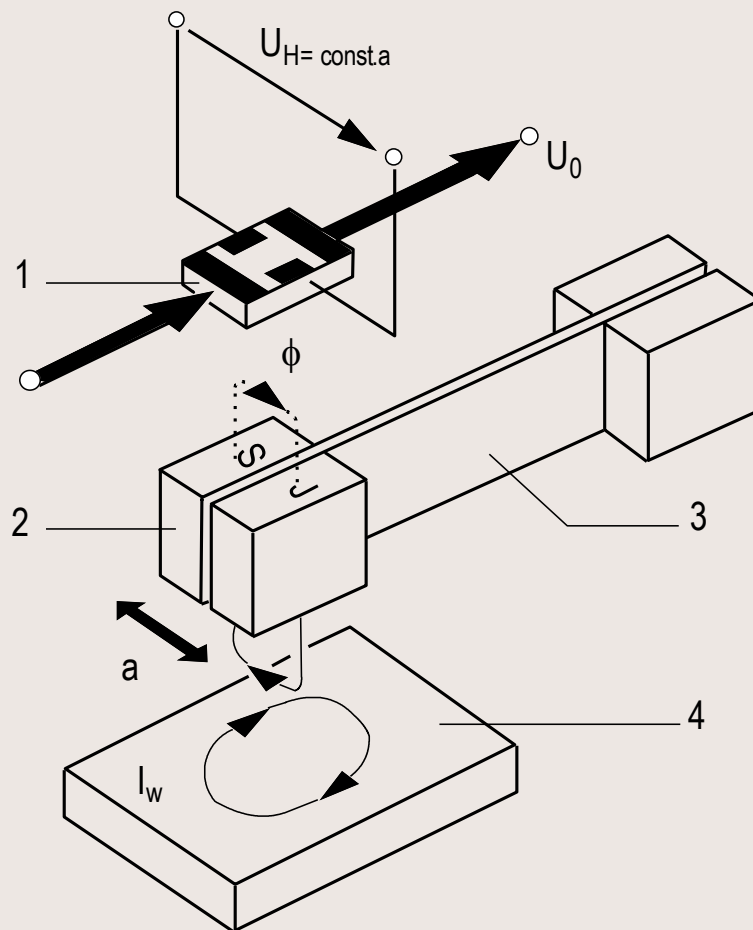
Aplikácia	Rozsah
Monitorovanie klepania	1 – 10g
<i>Bezpečnosť pasažierov</i>	
Airbagy, predpínanie pásov	50g
Pretočenie	4g
Blokovanie samonavíjajúcich pásov	0,4g
ABS, ESP	0,8 – 1,2g
<i>Riadenie zavesenia</i>	
Karoséria	1g
Nápravy	10g

Akceleračný senzor využívajúci Hallov jav

Vo štvorkolesových vozidlách vybavených ABS a v moderných vozidlách s riadením dynamiky sú senzory otáčania kolies doplnené senzormi akcelerácie založené na Hallovom jave, ktoré monitorujú zrýchlenie v pozdĺžnom a priečnom smere. Hallový senzor zaznamenáva vychýlenie magnetu, ktorý je upevnený na pružine (merací rozsah 1 g). Senzor je navrhnutý pre činnosť v úzkom frekvenčnom rozsahu (niekoľko Hz) a je elektrodynamicky tlmený ([obr.](#))

Hallov akceleračný senzor

1. Hallov senzor
 2. Permanentný magnet (seizmická hmota)
 3. Pružný nosník
 4. Tlmiaca doštička (Cu)
- a Akcelerácia,
 I_w Vírivé prúdy,
 Φ Magnetický tok,
 U_H Hallovo napätie,
 U_0 Napájacie napätie



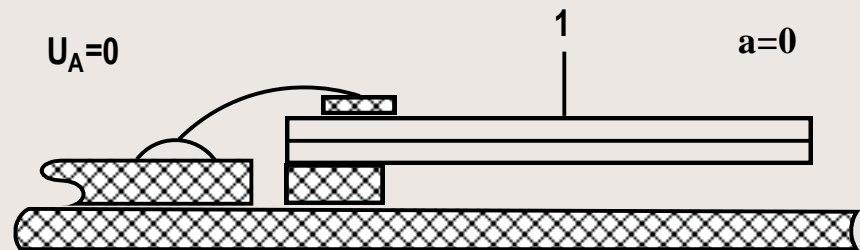
Piezoelektrické senzory

Pre spúšťanie airbagov a predpínačov pásov atď. sa používajú piezoelektrické bimorfné pružné elementy (dvojvrstvová piezokeramika) (obr.).

Hybnosť vlastnej hmoty v dôsledku akcelerácie spôsobuje vychýlenie pružných elementov, čo vytvorí signál s dobrou frekvenčnou charakteristikou.

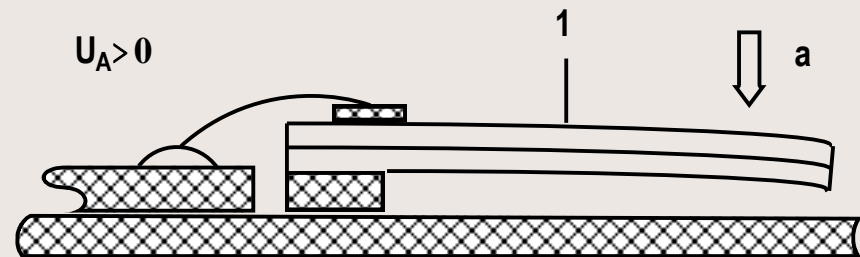
Piezokeramický akceleračný senzor

V pokoji bez zrýchlenia



1. Piezokeramický bimorfny pružný prvok,
 U_A Merané napätie,

Pôsobením zrýchlenia



Senzor je hermeticky zapuzdrený spolu aj s predzosilňovačom. Niekedy je umiestnený v géle kvôli ochrane pred mechanickým poškodením.

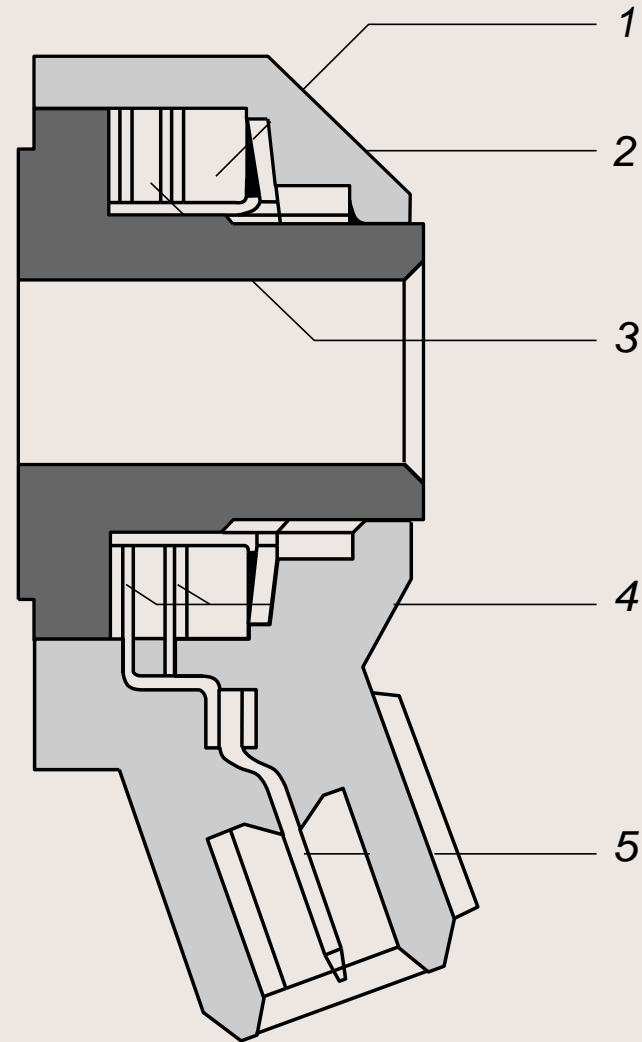
Reciprokový princíp môže byť použitý pre kontrolu senzora. Na to je však pridaná ďalšia elektróda, na ktorú sa privádza definované napätie, ktoré spôsobuje mechanickú deformáciu senzora, čím sa kalibruje jeho odozva.

Longitudiálne prvky

Longitudiálne prvky sú používané ako senzory klepania (akceleračné senzory) v systémoch riadenia zapalovania. Merajú ruchy (s nízkou smerovou selektivitou) prenášané blokom motora (merací rozsah 10g) s typickou frekvenciou vibrácií 5-20 kHz. Nezapúzdrený radiálny piezokeramický prstenec meria inerciálne sily vyvíjané seizmickou hmotou. toho istého tvaru (obr.).

Piezoelektrický senzor klepania

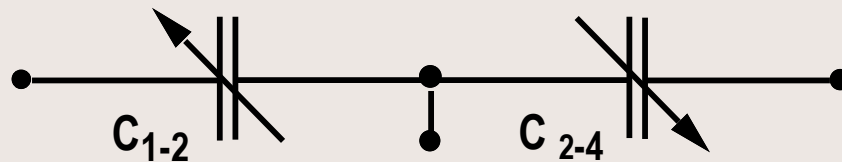
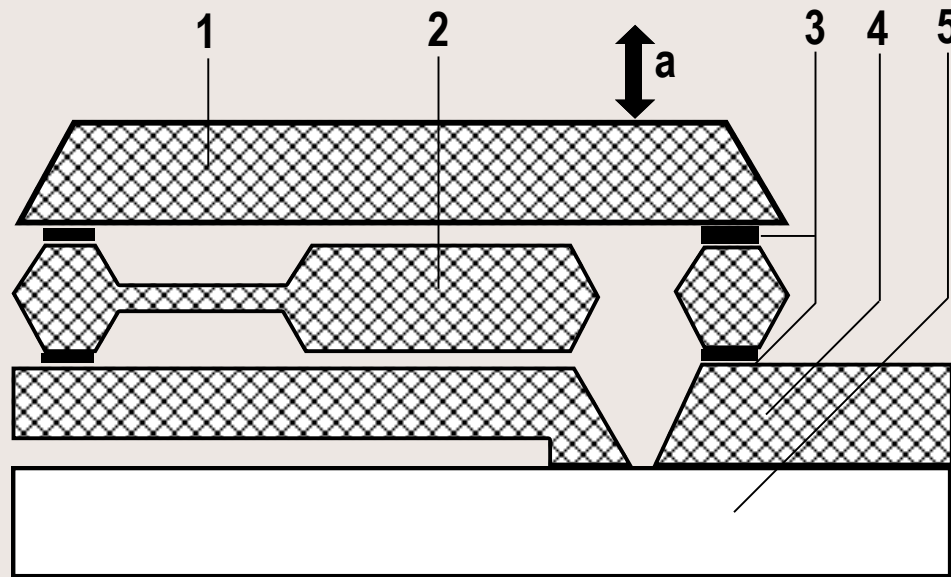
1. Seizmická hmota
2. Zalievací hmota
3. Piezokeramický prvok
4. Kontakty
5. Konektor - vývod



Kremíkový polovodičový senzor

Vyrábajú sa mikromechanickými technológiami selektívneho leptania z monokryštálu kremíka. Precízne definovaná medzera medzi jednotlivými časťami oscilačného systému, ktorý je hermetický zapuzdrený poskytuje presný a kompaktný senzor, v ktorom je informačnou veličinou elektrická kapacita (obr.).

Kompaktný kremíkový snímač zrýchlenia



1. Kremíkový vrchný plátok
 2. Kremíkový stredný plátok (seizmická hmota)
 3. Oxid kremíka
 4. Kremíkový spodný plátok
 5. Sklenená podložka
- a - Zrýchlenie, C – Meracie kapacitory



Senzory


tlaku, sily, krútiaceho momentu

Senzory tlaku

Meranie tlaku sa realizuje priamo (odporními citlivými na tlak), vyhodnocovaním prehnutia membrány alebo silovými senzormi (obr.).

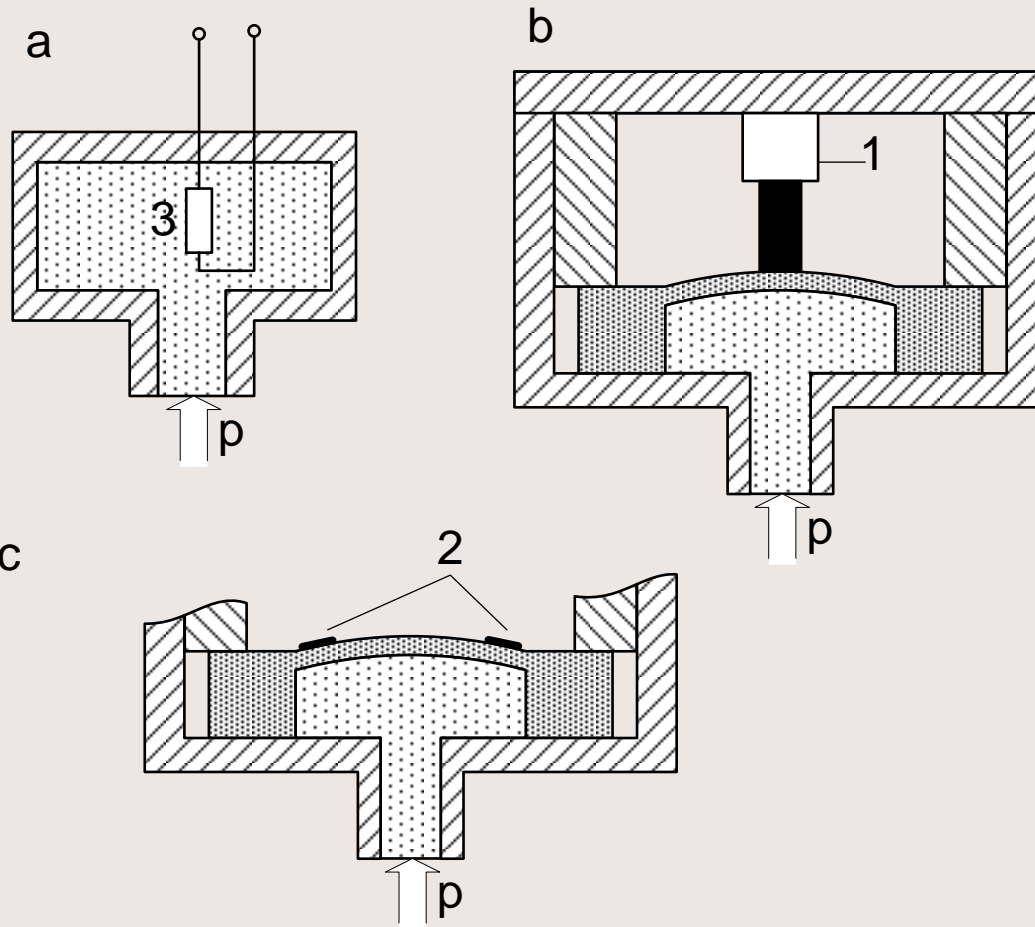
Aplikácie:

- tlak v nasávacom potrubí (1-5bar),
- tlak v brzdiacom systéme (10bar)-elektro pneumatické brzdy,
- tlak pneumatického pruženia (16bar)-vozidlá s pneumatickým pružením a tlmením,

- 
- tlak v pneumatikách (5bar)-monitorovanie a nastavovanie tlaku,
 - tlak v hydraulickom zásobníku (200bar)-podvozok a riadiaci systém zavesenia,
 - tlak chladiacej sústavy klimatizácie (35bar),
 - tlak modulátora automatickej prevodovky (35bar),
 - tlak v hlavnom brzdiacom valci a vo valčekoch na kolesách (200bar)-kompenzácia momentu vybočenia, elektronicky riadené brzdy,

- podtlak alebo pretlak v palivovej nádrži (0,5bar)-on board diagnostika,
- tlak v spaľovacom priestore (100bar dynamicky) - kontrola správnosti časovania zapalovania a detekcia klepania,
- tlak dieselového vstrekovacieho čerpadla (1000bar-dynamicky),
- common-rail (systémy so spoločným vstrekovaním) (100bar) pre zážihové motory alebo motory na plyn.

Meranie tlaku

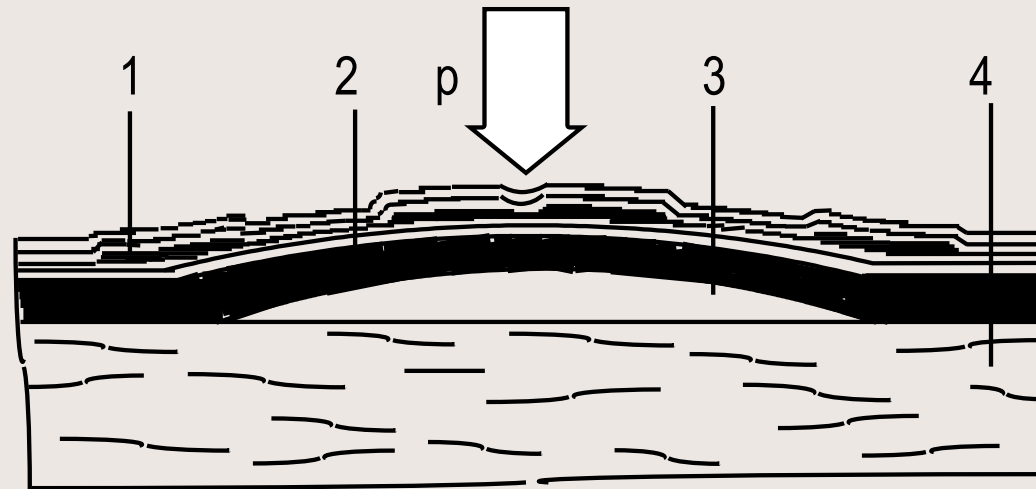


- a) Priame, Resistorom citlivým na tlak (3),
 - b) Silovým senzorom (1)
 - c) Deformáciou membrány s tenzometrami (2)
- p - tlak

Hrubovrstvový senzor tlaku

Meracia membrána a jej napínaný merací tenzometrické rezistory (DMS) používajú hrubovrstvovú technológiu na meranie absolútneho tlaku približne do 20bar s K faktorom
(K relatívna zmena odporu/roztiahnutie)
 $K=12 - 15$ (obr.).

Hrubovrstvový senzor tlaku



1. Piezorezistívny merací môtik,
 2. Hrubovrstvová membrána,
 3. Referenčná komora tlaku („bublina“),
 4. Keramický substrát,
- p - tlak

Ak sú koeficienty rozťažnosti keramického substrátu a nanášanej keramickú vrstvy vhodne zvolené, potom membrána v procese chladnutia pri výrobe vytvára guľovitý tvar. Výsledkom je dutý priestor so zakrivením asi 100mm na výšku pri priemere 3-5mm (obr.). Po nanesení tenkovrstvového napínaného meracieho odporu je jednotka hermeticky zapuzdrená iným plášťom z keramického skla. Zbytkový plyn, ktorý zostal v „bubline“ plní funkciu čiastkovej kompenzácie teplotných zmien senzora

Zosilňovacie a korekčné obvody sú oddelené od meracieho média, ale sú v blízkosti senzora na tom istom substráte.

„Bublinové“ senzory nie sú principiálne príliš vhodné pre extrémne vysoké alebo nízke tlaky, verzie pre také aplikácie vo všeobecnosti disponujú plochou keramickou membránou.

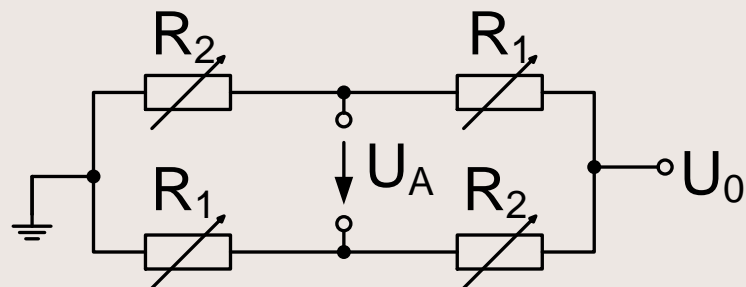
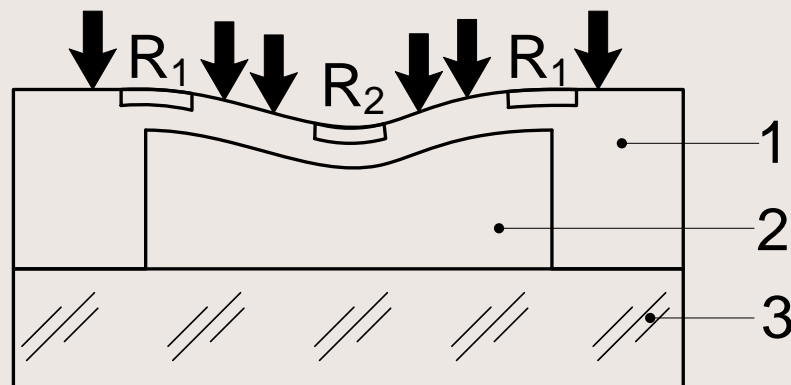
Polovodičové senzory tlaku

Tlak je vyvíjaný v smere proti Si membráne, v ktorej sú zakomponované rezistory citlivé na tlak (obr.). Celý systém je vyrobený mikromechanickou technológiou. K- faktor rezistorov, ktoré sú difundované do monokryštálu Si je zvlášť vysoký (typicky $K=100$). Senzor a hybridný obvod spracovania signálu z neho by mali byť umiestnené v jednom puzdre.

Kalibrácia a kompenzácia senzora môže byť spojitá alebo po krokoch a môže byť realizovaná v tom istom čipe alebo v odlišných čipoch (hybridne). V najnovších senzoroch sú korekcie ofsetu a vplyvu prívodov uchované v digitálnej forme v PROM pamäti.

Jednočipové senzory s plnou elektronickou kalibráciou sú vhodné v dôsledku ich minimálnych rozmerov pre priamu inštaláciu do nasávacieho potrubia. Taktiež sú vhodné pre monitorovanie tlaku v pneumatikách (bezkontaktné meranie).

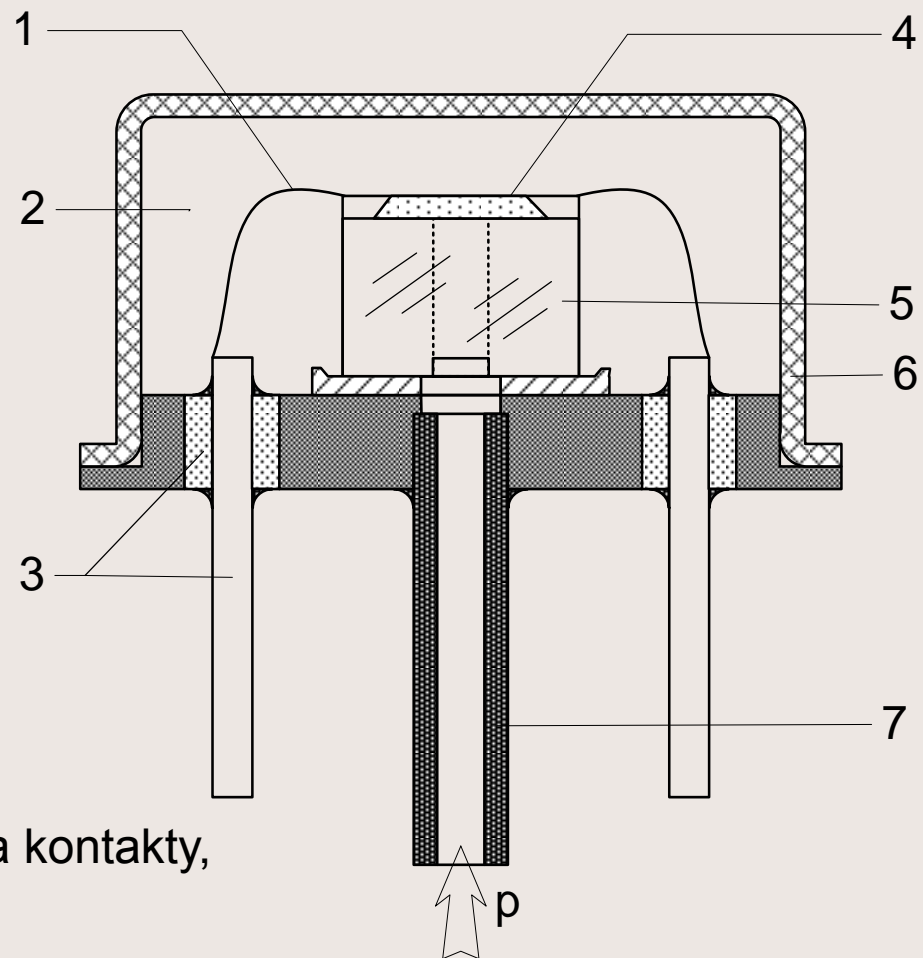
Polovodičový senzor tlaku



1. Kremík,
 2. Vákuum,
 3. Sklo (tvrdené bórokremičitanové),
- p - tlak, U_0 -Napájanie, U_A -Merané napätie, R_1 (napínaný) a R_2 (stláčaný) odpor tenzometrického mostíka

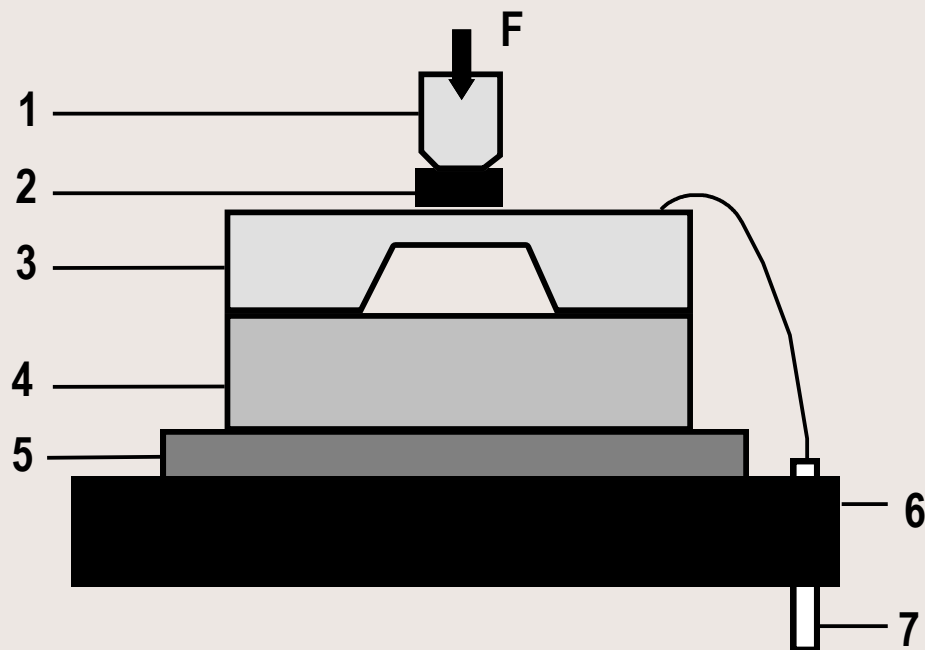
Virtuálne identický čip by mohol byť použitý ako senzor tlaku v spaľovacom priestore. To je realizované tak, že Si čip nie je priamo vystavený vysokej teplote (600°C). Používa sa pri tom kovová izolačná membrána s prispájkovaným prenosovým elementom primeranej dĺžky (niekoľko mm) zabezpečujúcim vhodnú ochranu. Pre aplikáciu miniatúrnej základnej doštičky na stred membrány sa využívajú mikromechanické technológie. (obrázok) Takáto vzdialená inštalácia zabezpečí expozíciu čipu teplotou nižšou ako 150°C .

Integrovaný kremíkový senzor tlaku v nasávacom potrubí



1. Bondovacie prívody,
 2. Referenčné vákuum,
 3. Sklenené priechodky a kontakty,
 4. Čip senzora,
 5. Sklenený podstavec,
 6. Kryt,
 7. Prívod tlaku,
- p - tlak,


Integrovaný kremíkový senzor tlaku v spaľovacom priestore



1. Tyčinka - prenášač sily,
 2. Kremíková podložka (vstup sily),
 3. Integrovaný kremíkový senzor tlaku,
 4. Sklo (tvrdené bórokremičitanové),
 5. Pomocná keramická podložka,
 6. Oceľová základná doštička,
 7. Prívodný kontakt,
- F - Sila tlaku spaľovacej komory,

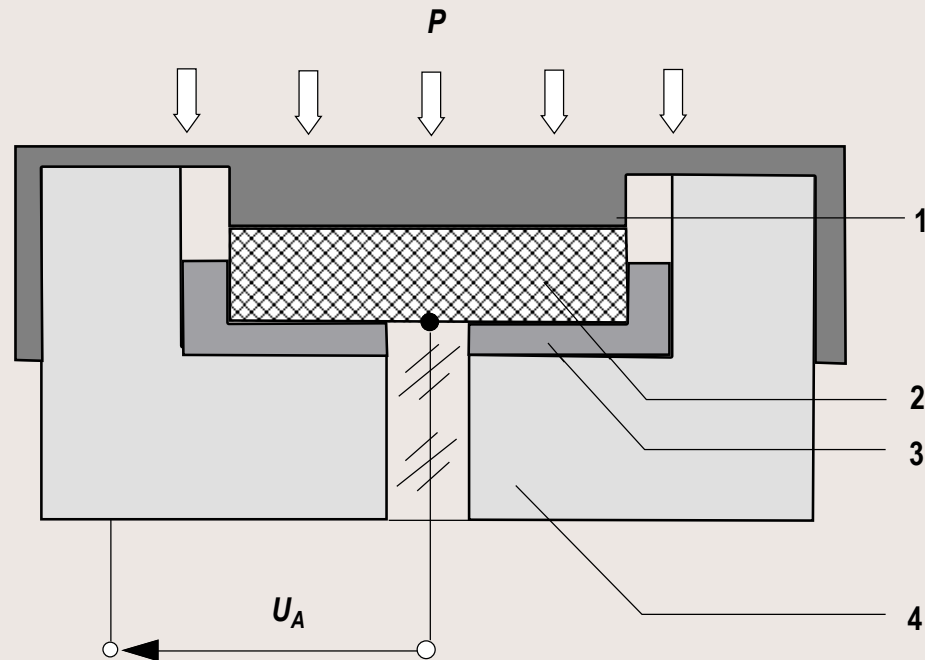
Piezoelektrické senzory

Umožňujú dynamické meranie tlaku. Ich určenie zvyčajne je na meranie tlaku v elektronicky riadených vstrekovacích dieselových čerpadlách. Určujú okamih otvárania a uzatvárania čerpadla vyhodnocovaním tlaku na pumpujúci element. Senzor pozostáva z tenkej membrány, ktorou sa priamo alebo nepriamo prenáša tlak na valcový alebo štvorhranný piezokeramický prvok. ([obr.](#))



Keďže v danej aplikácii nie je prvoradým aspektom presnosť, sú prípustné určité odchýlky spôsobené teplotou, hystereziou a stárnutím. Predpokladom zosilňovača je vysoká vstupná impedancia a je často namontovaný na puzdre, čím sa znižuje chyba merania.

Piezoelektrický senzor tlaku v nasávacom potrubí

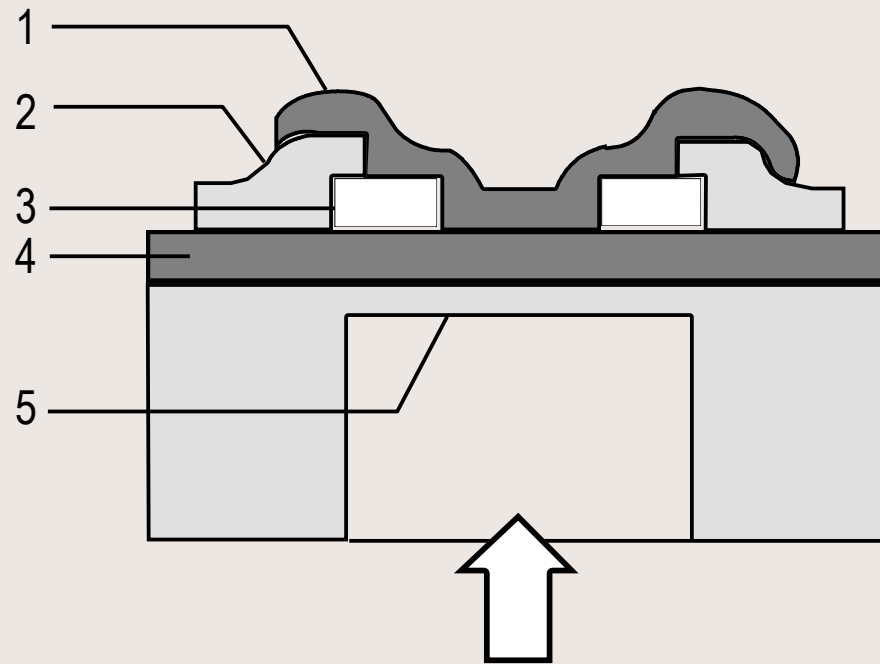


1. Kovový plášť,
 2. Piezoelektrický disk,
 3. Izolácia,
 4. Puzdro,
- p - tlak, U_A - Merané napätie

Senzory vysokého tlaku s kovovou membránou

Meranie extrémne vysokého tlaku je žiadúce napr. v common rails dieselových vstrekovacích systémoch, kde sa údaj používa v uzavretej riadiacej slučke. V týchto senzoch je membrána vyrobená z vysoko kvalitnej pružinovej ocele, pričom sa využíva zmena odporu polykryštalického kremíka prehábaním, podobne ako pri tenkovrstvových senzoch (obr.), čím sa získajú oveľa lepšie charakteristiky senzora, ako pri tých (tenkovrstvové polovodičové), ktoré sú určené pre monitorovanie tlaku v nasávacom potrubí

Vysokotlakový senzor s kovovou membránou



(Rozmery meracieho prvku a častí 1-4 sú neproporcionálne)

1. SiNx pasivácia,
 2. Zlatý kontakt,
 3. Tenzometrické prvky z polykrištallického kremíka,
 4. Izolácia SiO₂,
 5. Oceľová membrána,
- p - tlak.

Tieto jednotky:

- používajú jednoduchú a lacnú konštrukciu pre odizolovanie meraného média,
- líšia sa od kremíkových (polovodičových) vyššou odolnosťou voči prasknutiu,
- jednoduchšie sa montujú na kovové konštrukčné časti.

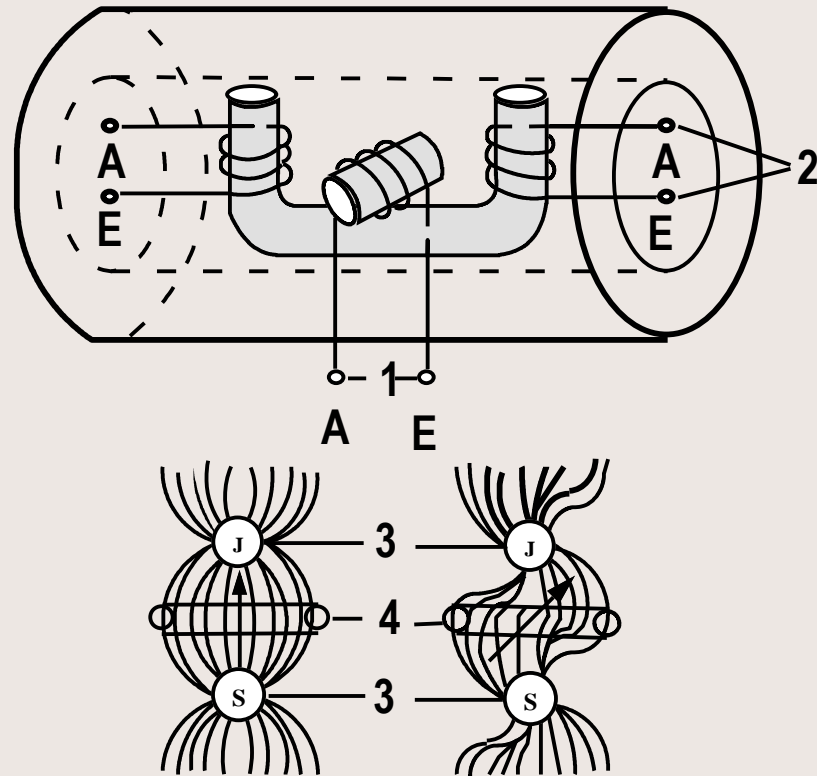
Izolované naparené (vákuové naparovanie) tenkovrstvové metalické, na ohyb citlivé rezistívne prvky ($K=2$) ako aj prvky vyrobené z polykryštalického kremíka ($K=40$) dávajú senzorum vysokú presnosť. Kalibrácia a kompenzácia sa môže realizovať v ASIC-obvode, ktorý je integrovaný spolu s potrebnou ochranou proti rušeniu.

Senzory sily a krútiaceho momentu

Magnetoelastický senzor s orientovaným valčekom

Je založený na magnetoelastickom princípe. Dutý väzobný valček obsahuje cievku, ktorá zviera 90° uhol s meracou cievkou. Ak na valček nepôsobia sily, meraciu cievku nepretína magnetický tok (obr.). Ak však vo valčeku vzniká anizotropia v dôsledku pôsobenia síl, magnetický tok úmerný silám pretína meraciu cievku, v ktorej sa indukuje napätie. Zosilňovač a napájanie sú integrované v čipe a sú umiestnené vo vnútri valčeka.

Magnetoelastický senzor v ložiskovom čape



1. Primárne vinutie (budenie),
2. Sekundárne vinutie (meraný signál),
3. Povrch primárneho pólu,
4. Povrch sekundárneho pólu

Koncepcie nových senzorov

- princíp vírivých prúdov: torzný senzor, pružiny na meranie radiálneho a axiálneho skrútenia (torzie), radiálny axiálny disk so štrbinami a cievkou,
- meranie stláčanými a napínanými rezistormi (tezometre), zalisované alebo zavarené senzory,
- senzory magnetoelastickej sily,

Nové aplikácie

- meranie väzobných síl na komerčných vozidlách medzi ťahačom a prívesom pre riadenie brzdenia
- meranie síl tlmenia pre elektronické riadenie zavesenia,
- meranie zaťaženia náprav pre elektronicky riadené rozdeľovanie brzdnej sily v komerčných ťažkých vozidlách,
- meranie sily pedálu elektronicky riadených brzdiacich systémov,

- meranie brzdnjej sily elektricky poháňaných a elektronicky riadených brzdnych systémov,
- bezkontaktné meranie hnacieho a brzdného momentu,
- bezkontaktné meranie momentu a sily riadenia,
- ochrana pred poranením elektricky poháňaným sťahovaním okien a slnečných clôn (pricviknutie prstov alebo iných častí tela).

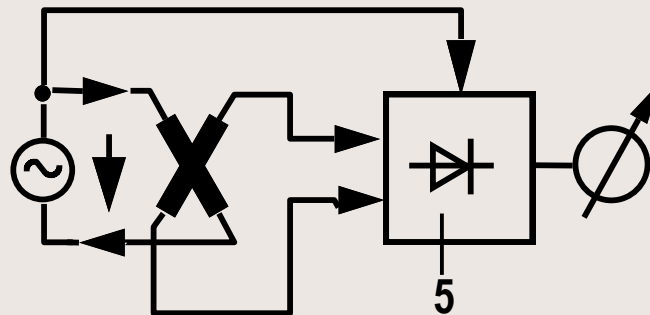
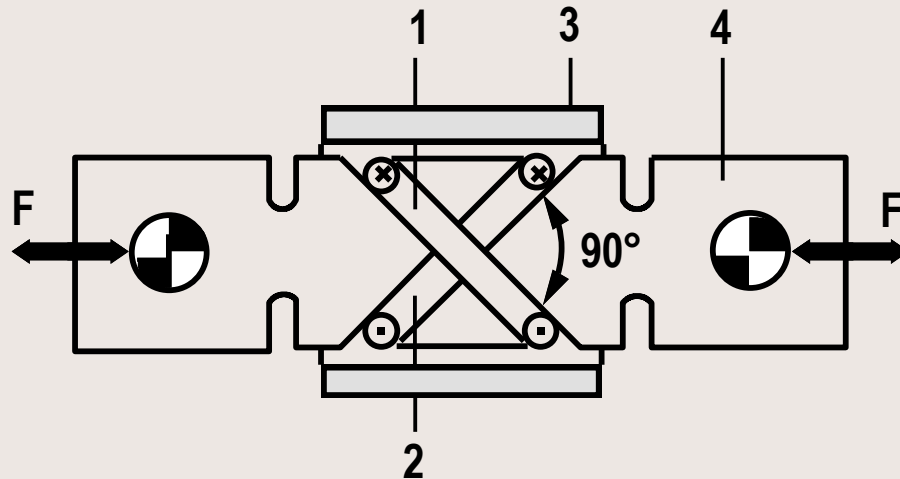
V prípade princípu skrížených (90°) vodičov, ktoré sú použité v magnetoelastickom senzore tlakovej alebo torznej sily, nie je indukované žiadne napätie v sekundárnej cievke transformátora, ak nepôsobí vonkajšia sila.

Napätie na sekundárnej cievke sa objaví iba v prípade, ak vonkajšia sila zmení permeabilitu materiálu anizotropne. (obr.)

Tento senzor môže byť použitý aj pre vyššie teploty (do 300°C), to znamená, že môže byť inštalovaný aj v blízkosti brzd.

- merací prstenec sily používajúci tenkovrstvové technológie: meranie sily ortogonálne uloženými rezistormi citlivými na tlak,
- meranie hydrostatického tlaku v piestom zaťažených hydrostatických valcoch. Vo všeobecnosti s gumovým tesnením,
- efekt mikroohybov: optické vláknové senzory sily.

Magnetoelastický senzor pnutia tlakovej sily so skríženými cievkami



1. Budiaca cievka,
 2. Meracia cievka,
 3. Magnetický obvod - jarmo,
 4. Magnetoelastický prvok citlivý na silu,
 5. Fázový detektor (schrónny diódový detektor),
- F Sila

Meranie krútiaceho momentu

Existujú dva odlišné postupy pre meranie momentu:

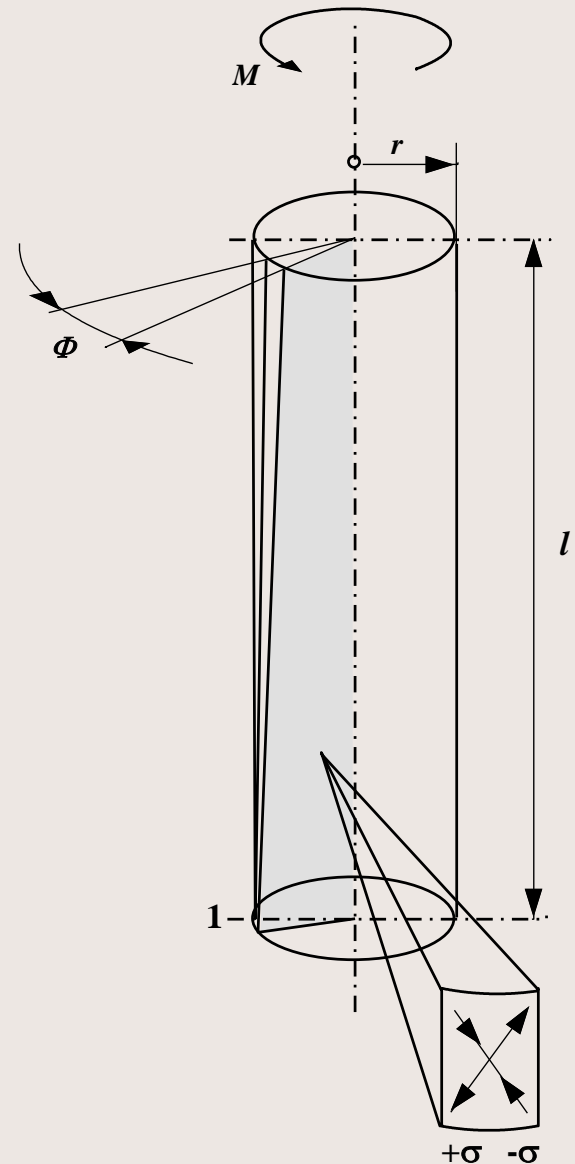
- meranie uhla,
- meranie mechanického napätia pomocou deformácie pružného člena.

Na rozdiel od metód opierajúcich sa o meranie mechanického predĺženia (DMS, magnetoelasticita), metódy merania uhla (napr. metód vírivých prúdov) vyžaduje určitú dĺžku torzného hriadeľa, na ktorom v dôsledku momentu dochádza k skrúteniu ($0,4-4^\circ$).

Mechanické napätie σ úmerné krútiacemu momentu je snímané predĺženiami pod uhlom 45° vzhľadom k osi hriadeľa. (obr.)

Základný princíp merania momentu

1. Torzná tyč,
 Φ Torzný uhol,
 σ Torzné namáhanie,
 M Moment,
 R Polomer,
 l Dĺžka tyče



Senzor momentu založený na meraní mechanického napätia

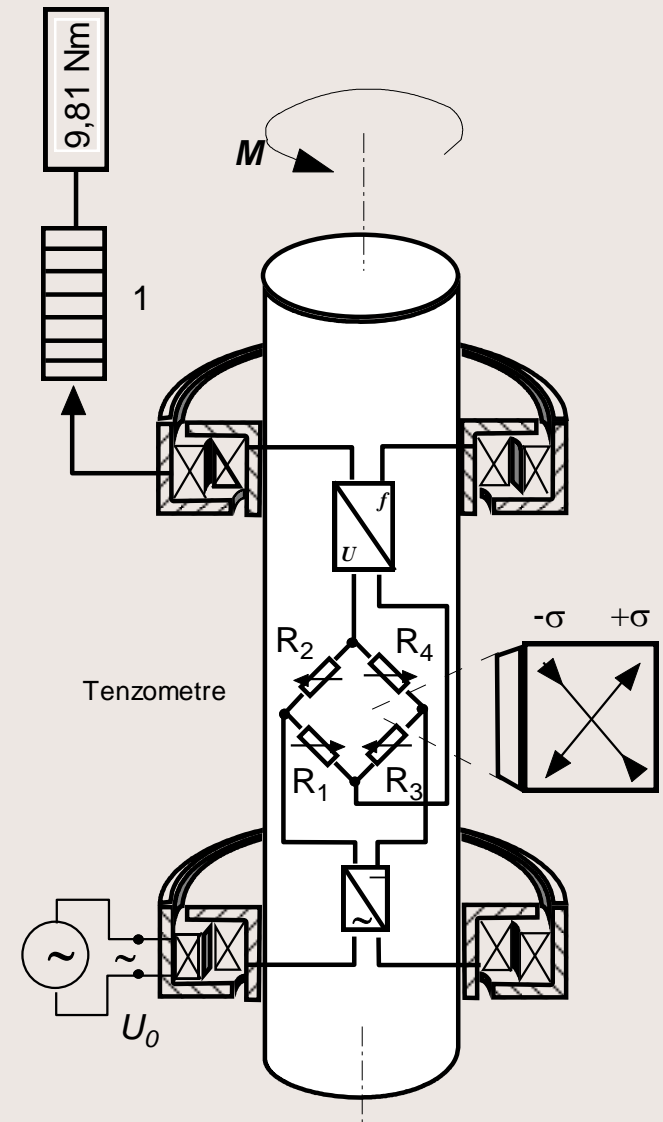
Mechanické napätie sa meria rezistormi citlivými na ťah a tlak, ktoré sú zapojené v mostíku. Mostík je napájaný transformátorom, pričom riadiaca elektronika zabezpečuje konštantné napájacie napätie aj pri zmenách vzduchovej medzery pri bezkontaktnom spôsobe prenosu energie.

Ďalšie elektronické prvky na hriadeli zabezpečujú samotné meranie, spracovanie a spätný prenos informácie (napr. FM) bezkontaktným spôsobom (obr.).

Požadovaná elektronika môže byť integrovaná v čipe a implementovaná na hriadel'. Rezistory (tenzometre) môžu byť pripravené na okrúhlejšej ocelovej doštičke (napr. tenkovrstvovou technológiou), a potom privarené na hriadel'. Tým sa môže dosiahnuť vysoká presnosť s primeranými nákladmi na výrobu.

Bezkontaktný tenzometrický senzor momentu s transformátormi v ložiskách

- 1. Indikátor momentu,
- σ Torzné namáhanie,
- U_0 Napájacie napätie,
- R_{1-4} Tenzometrické odpory,



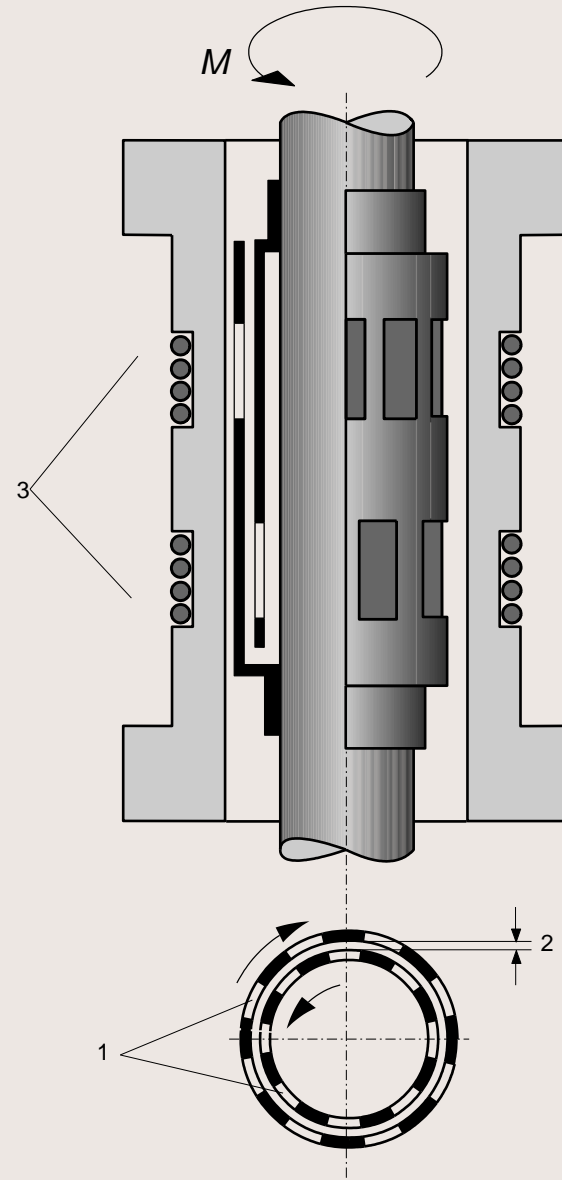
Senzor krútiaceho momentu


vyhodnocujúci uhol natočenia

Využíva koaxiálne umiestnené do seba zasunuté perforované valce, z ktorých každý je upevnený na opačnom konci meracieho hriadel'a dostatočnej dĺžky (obr.). Valce majú dva rady otvorov, ktoré sú voči sebe posunuté tak, aby sa pôsobením krútiaceho momentu menilo vzájomné prekrytie otvorov, čím sa mení indukčnosť dvoch fixných cievok, ktoré sú budené VF signálom ($\approx 1\text{MHz}$). Cievky sú umiestnené nad radmi otvorov vo valcoch. Vyhodnocovacia elektronika je umiestnená v tesnej blízkosti nepohyblivých cievok (obr.).

Senzor momentu s vírivými proudmi

1. Objímky so štrbinami,
2. Vzduchová medzera,
3. Vysokofrekvenčné cievky



A silver metal spiral binding is visible on the left edge of the page, consisting of a series of loops that hold the paper in place.

Senzory
prietoku, koncentrácie, vlhkosti

Merače prietoku

Uplatnenie v automobiloch:

Meranie prietoku paliva (okamžitá spotreba paliva je odvodená ako diferencia medzi pritekajúcim a odtekajúcim množstvom paliva.

V zážihových motoroch s elektronicky riadeným dávkovaním paliva je množstvo nasatého vzduchu primárnym riadeným parametrom.

Hodnota množstva paliva je vopred vypočítaná, čiže meranie samotného množstva paliva, dodávaného pre proces horenia je redundantné. Avšak meranie prietoku paliva je nevyhnutné pre určenie a zobrazovanie spotreby vo vozidlách, ktoré nie sú vybavené vyspelou technikou riadenia.

Meranie prietoku vzduchu v nasávacom potrubí; pomery hmotností sú významným faktorom v chemickom procese horenia.

Opodstatnenou potrebou je tak meranie nasávaného alebo natlačeného množstva vzduchu, pričom sú často využité procedúry merania objemu a dynamického tlaku.

Maximálne množstvá nasávaného vzduchu sa pohybujú v rozmedzí 400-1000 kg/hod. Táto hodnota závisí od výkonnosti motora. V moderných motoroch sa pomer medzi minimálnym a maximálnym množstvom pohybuje v rozmedzí 1:90 až 1:100.

Meranie prietoku

V prípade, že médium so špecifickou hustotou ρ (homogénne médium) preteká konštantnou rýchlosťou v trubicou s konštantným prierezom A (bez turbulencií). Objem za jednotku času je potom daný

$$Q_v = A \cdot v$$

alebo rýchlosť toku hmotnosti je

$$Q_M = A \cdot v \cdot \rho.$$

V prípade vytvorenia zúženia v trubici (hrdlo) vznikne tlaková diferenciacia ΔP v súlade s Bernoulliho zákonom. Táto diferenciacia je pomocnou veličinou pre určenie vzťahu medzi objemom a rýchlosťou toku hmotnosti

$$\Delta P = \textit{konšt.} \cdot \rho \cdot v^2 = \textit{konšt.} \cdot Q_v \cdot O_M.$$

Nemenné zúženie spĺňa požiadavky pre meranie iba v rozsahu 1:10. Premennou polohou klapiek je možné monitorovať zmeny premenných v podstatne väčšom rozsahu.

Senzory prietoku založené na meraní objemu

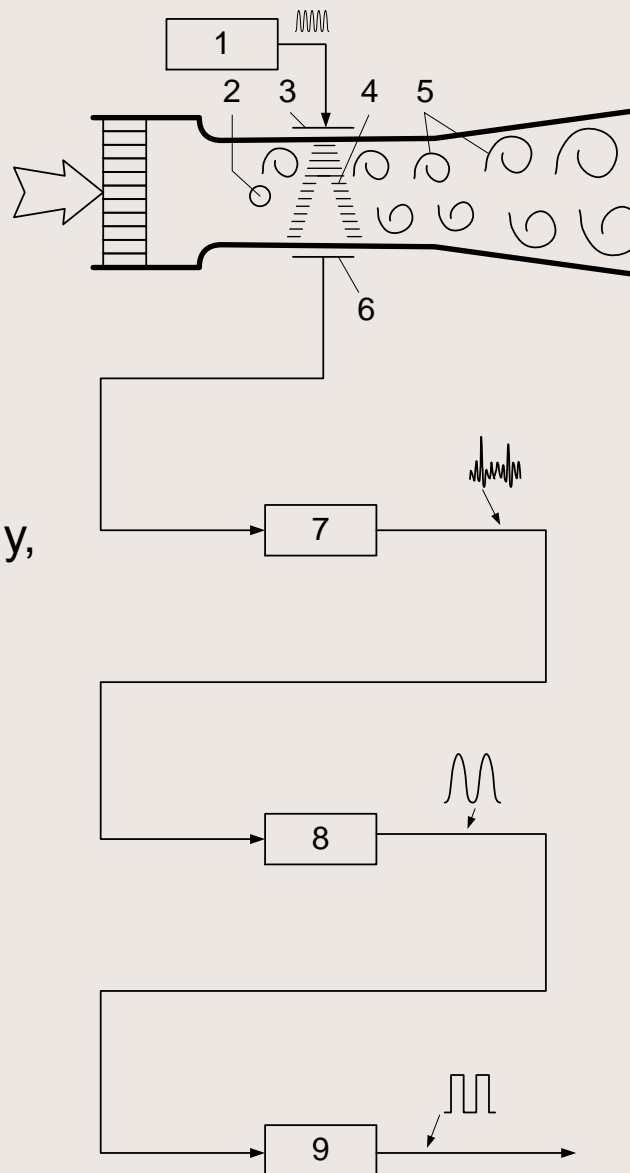
Využívajú princíp Kármánových vírivých ciest. Víry a krútnavy divergujú (rozchádzajú sa) z toku vzduchu na konštantnej vzdialenosti za prekážkou (obr.). Ich periodičita alebo frekvencia, ktorá je meraná na stene trubice (napr. monitorovaním tlaku alebo akustických vln) môže byť vyjadrená

$$f = 1/T = \textit{konšt.} \cdot Q_v.$$

Nevýhoda: pulzovanie v toku vzduchu môže vnášať chybu do výsledku merania.

Kármánov vírivý prietokomer objemu

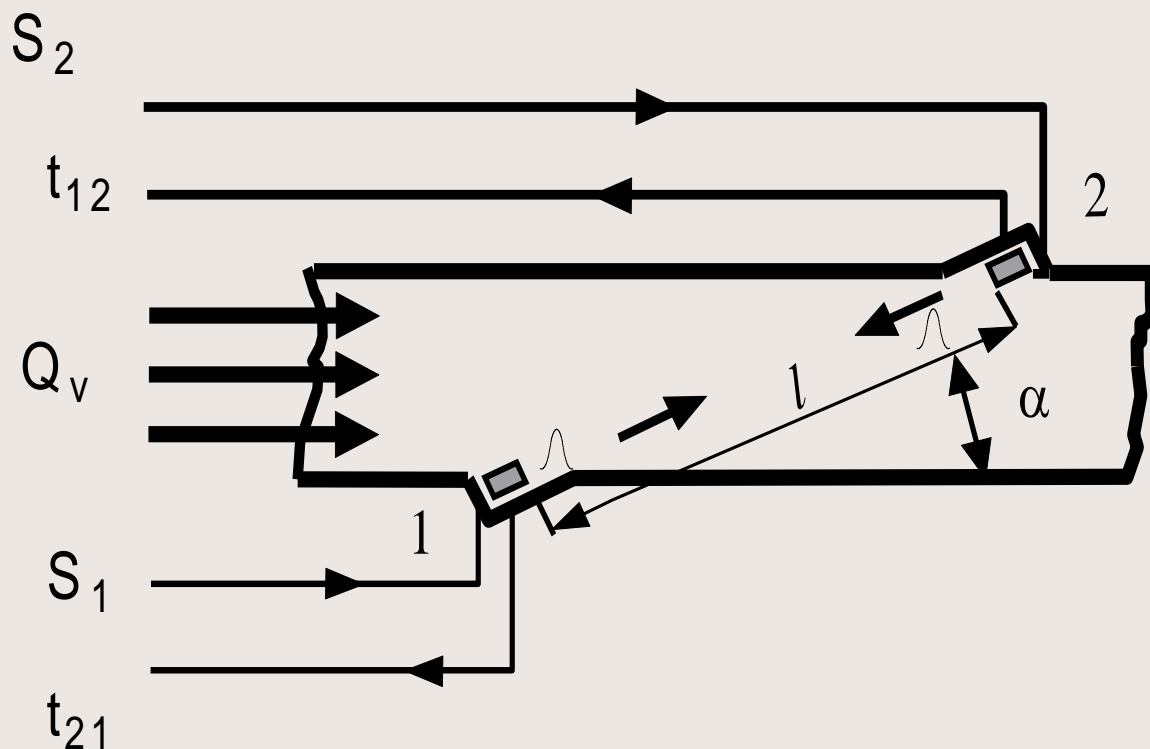
1. Oscilátor,
2. Generátor vírov,
3. Vysielač,
4. Ultrazvukové vlny,
5. Vírivé (turbulentné) prúdy,
6. Prijímač,
7. Zosilňovač,
8. Filter,
9. Tvarovač impulzov.



Ultrazvukové meranie

Môže byť použité pre monitorovanie času šírenia t ultrazvukového impulzu, ktorý prechádza tečúcim médiom pod uhlom α (obr.). Pri meraní doby prechodu oboma smermi je objem úmerný diferencii časov.

Ultrazvukové meranie prietoku



- 1,2 Vysielač prijímač 1 a 2,
- l Meraná dráha,
- S Povel vysielania,
- t Doba šírenia,
- Q_v Pretekajúci objem,
- α Uhol.

Senzor založený na Pitotovej trubici

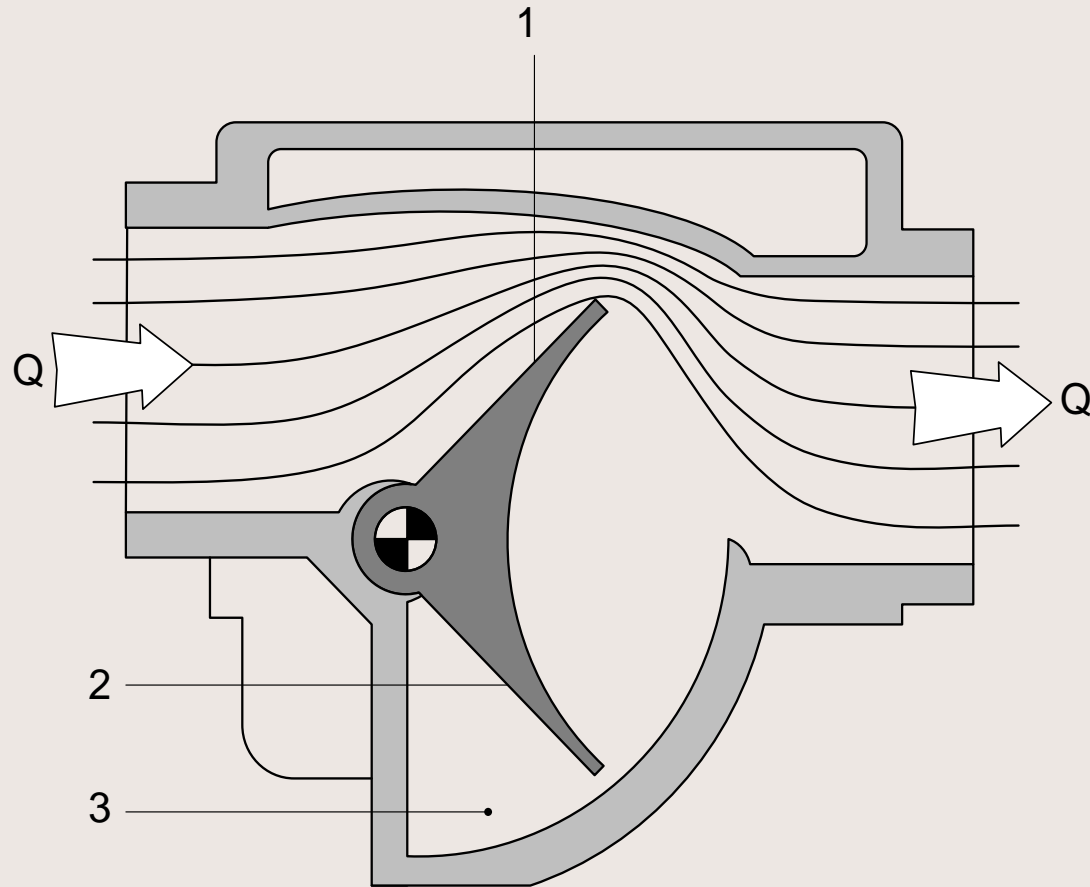
Premenlivá poloha tlakových klapiek poskytuje premenlivý prierez prietoku (napr. vzduchu) (obr.). Veľkosť prierezu je závislá od rýchlosti pretekajúceho média. Pozícia klapky môže byť monitorovaná potenciometrom alebo iným senzorom uhla natočenia (obr.).

Pri návrhu sa často predpokladá (L-Jetronic) logaritmická závislosť medzi rýchlosťou prúdenia a výstupnou hodnotou senzora (prírastky výstupnej veličiny pri malých prietokoch sú väčšie ako pri veľkých).

Pri KE-Jetronic sa však predpokladá lineárna závislosť.

Zvýšenie chyby merania vzniká ak hybnosť klapky zamedzuje jej dynamickej odozve na zmeny prietoku (pulzácia vzduchu pri vysokých otáčkach a plne stlačenom plynovom pedáli).

Senzor prietoku vzduchu na báze Pitotovej trubice

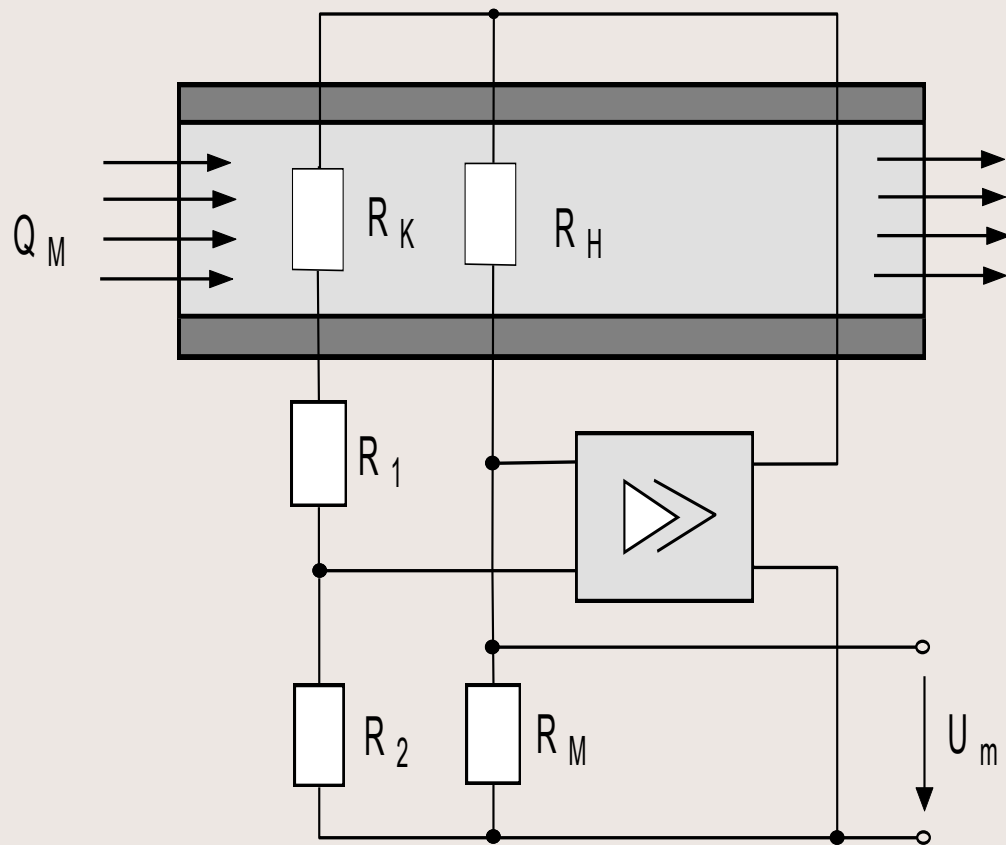


1. Tlaková klapka,
 2. Kompenzačná klapka,
 3. Stláčaný objem,
- Q - Tok

Meranie hmotnosti vzduchu

Systemy založené na meraní hmotnosti vzduchu využívajú princíp žeraveného drôtu (Hot-wire) a lebo žeraveného filmu (Hot-film). Jednotka neobsahuje pohyblivé mechanické časti. Príkladom môže byť systém s riadiacim obvodom, ktorý je súčasťou uzavretej slučky (obr.).

Senzor prietoku hmotnosti vzduchu na báze žeraveného drôtika



Q_M – Tok hmotnosti, U_M – Merané napätie,
 R_H – Odpor žeraveného drôtika,
 R_K – Kompenzačný odpor,
 R_M – Merací odpor,
 R_1, R_2 – Nastavovacie odpory

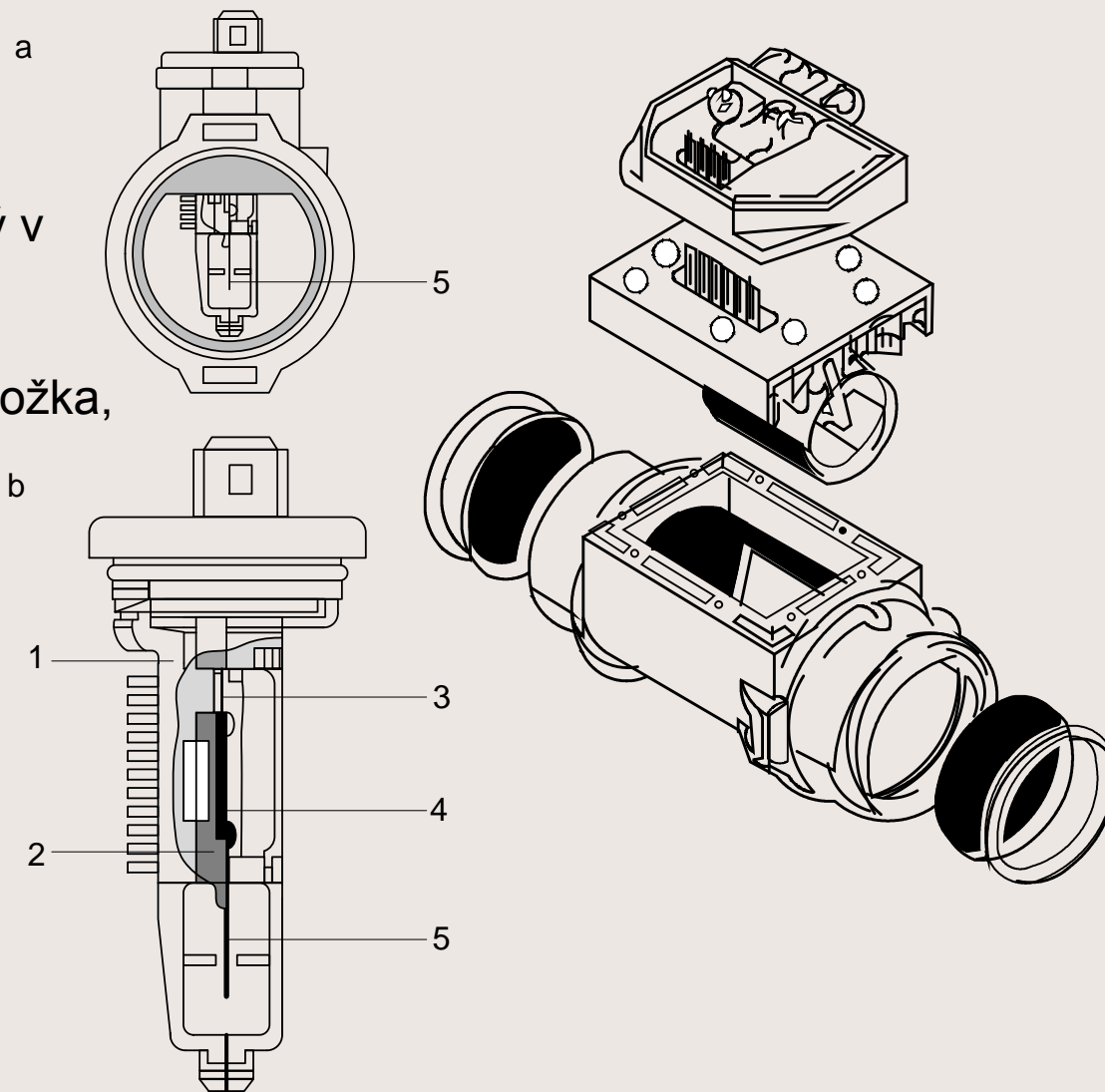
Úlohou tejto regulačnej slučky je udržiavanie konštantnej teploty resp. teplotného rozdielu medzi tenkým žeraveným platinovým drôtom a obtekajúcim prúdom vzduchu. Prúd potrebný pre žeravenie drôtika poskytuje extrémne presnú, aj keď nie lineárne závislú, mieru hmotnosti obtekajúceho vzduchu. Elektronika umožňuje linearizovať túto závislosť. Vďaka zapojeniu so spätnou väzbou je možné monitorovať časové zmeny rádovo *ms*. Senzor však nevyhodnocuje smer prúdenia, čo vnáša chybu pri pulzovaní v nasávacom potrubí.

Platinový drôtik plní funkciu vyhrievaného aj vyhrievacieho prvku. Na drôtku nesmú byť žiadne nečistoty alebo cudzorodé prvky.

Hot-film senzory zlučujú všetky prvky meracieho systému (čidlá, riadiaca elektronika) na jednej podložke (obr.). Žeravený rezistor je situovaný na zadnej strane substrátu (wafer) s príslušným sensorom teploty na prednej strane. Kompenzačný odpor teploty R_K (obr.) a žeraviaci prvok musia byť teplotne odizolované na keramickej podložke.

Senzor prietoku hmotnosti vzduchu na báze žeraveného filmu

- a. Uloženie,
b. Senzor (inštalovaný v
uložení),
1. Chladič,
2. Vymedzovacia podložka,
3. Budiaci stupeň,
4. Hybridný obvod,
5. Senzorový prvok
(kovový film).

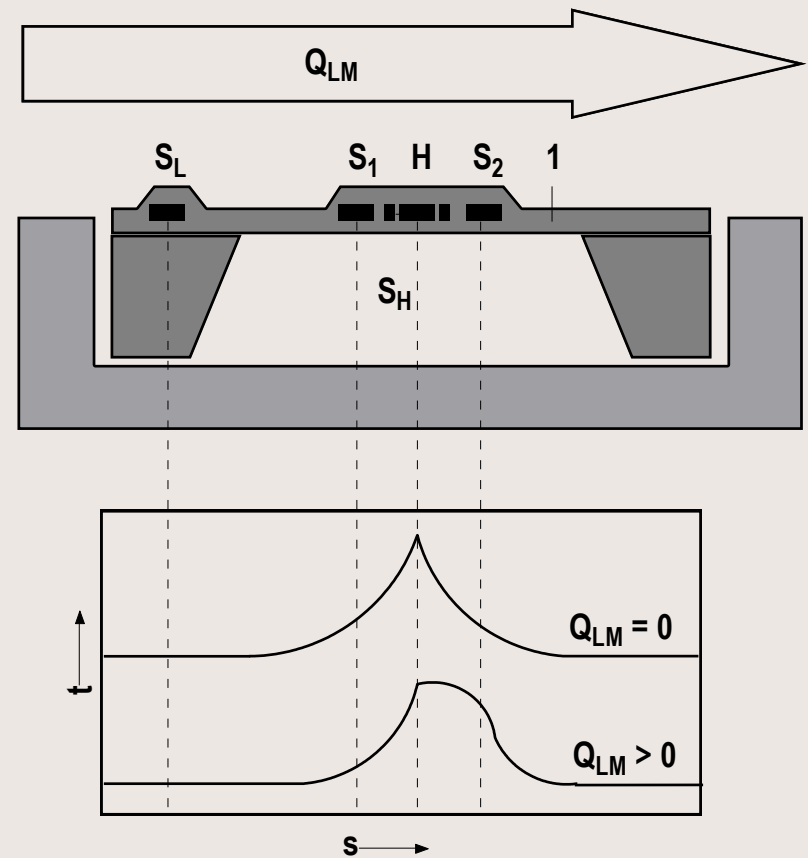


Mikromechanické senzory hmotnosti

Sú extrémne kompaktné a tiež využívajú teplotné princípy. Tu však žeraviace a meracie rezistory sú v tvare tenkých platinových vrstiev vnorených do podložky kremíkového čipu. Teplotné odizolovanie od puzdra sa zabezpečí inštaláciou Si čipu do oblasti žeraviaceho rezistora H mikromechanicky ztenšenej časti Si (podobne ako membrána senzorov tlaku) (obr.).

Mikromechanický senzor prietoku hmotnosti vzduchu na báze žeraveného filmu

- 1. Dielektrická membrána,
- H Žeraviaci odpor,
- S_H Sensory teploty žeraviaceho odporu,
- S_L Senzor teploty vzduchu,
- S_1, S_2 Sensory teploty (obojsmerné),
- Q_{LM} Tok hmotnosti vzduchu,
- s Merací bod,
- t Teplota.



Susedné senzory teploty SH vyhrievacieho prvku H a senzor teploty SL (na hrubšej časti Si čipu) (obr.) slúžia na udržiavanie konštantnej teploty vyhrievacieho prvku H. Táto metóda je odlišná od predchádzajúcej. Signál je odvodený od teplotného rozdielu média (vzduch), ktorý je monitorovaný teplotnými senzorami S1 a S2. Sensory S1 a S2 sú vystavené prúdu vzduchu, ktorého smer je od S1 cez H k S2 (obr.). Charakteristika senzora je tiež nelineárna avšak na rozdiel od predchádzajúceho senzora, tento je schopný indikovať smer prúdenia (obr.).

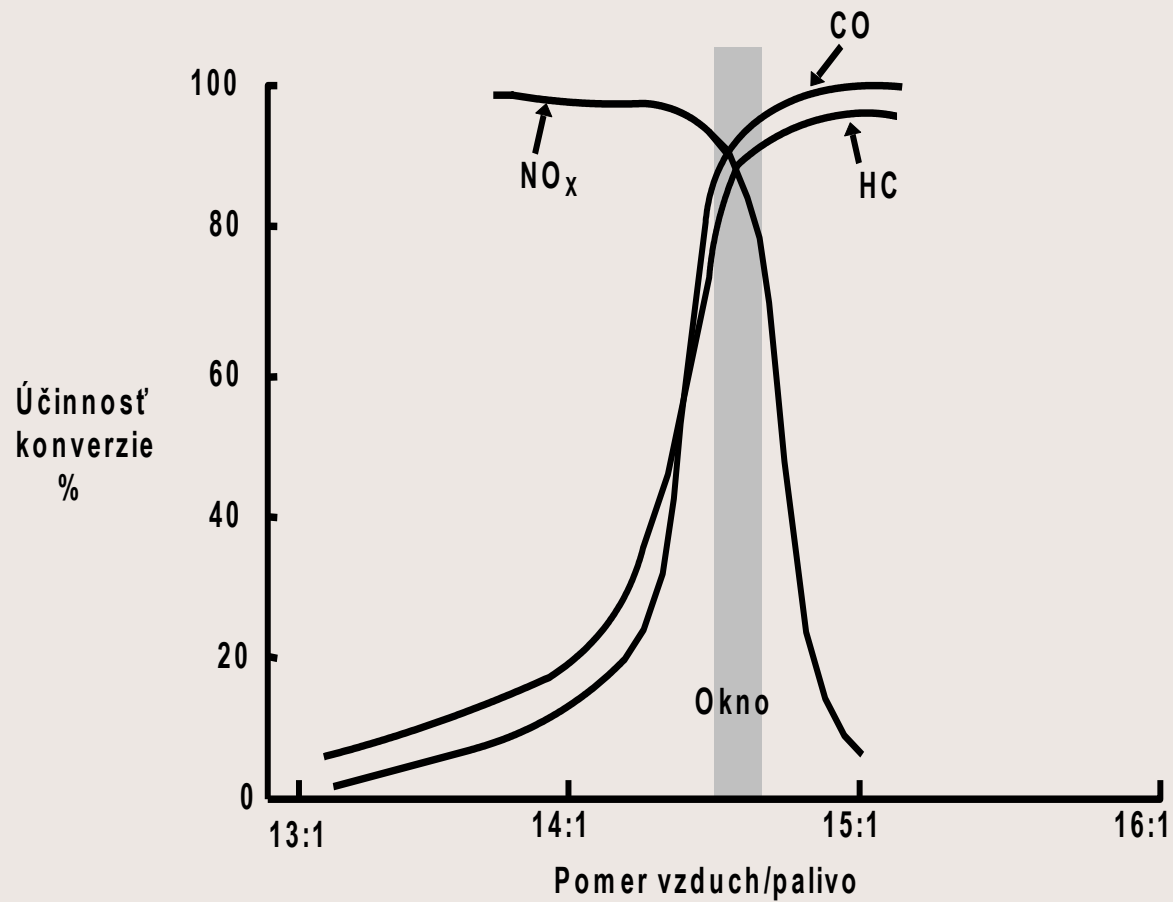
Senzory koncentrácie kyslíka vo výfukových plynoch

Stupňujúce sa nároky a prísne normy pre emisie nútia zavádzať riadiace systémy so spätnou väzbou, ktoré riadia proces prípravy zmesi na základe analýzy výfukových plynov. Z tohto pohľadu existujú dve hlavné stratégie riadenia motorov. Jeden, ktorý bol zavedený spoločnosťou Volvo a je známy ako trojcestný katalytický konverzný systém, je rozšírený v Európe, Amerike a v Ázii.

V tomto systéme je senzormi kyslíka detekovaný pomer vzduch/palivo (Air/Fuel-A/F) vo výfukových plynoch a tento pomer je riadený tak, aby bol udržiavaný stechiometrický pomer 14,7:1 (obr.). Trojcestný katalyzátor pri týchto podmienkach dosahuje najväčšiu účinnosť a efektívne odstraňuje zložky HC, CO, NO_x reakciou s kyslíkom. Odozva senzora musí byť preto rýchla a presná.

Iná stratégia riadenia, označovaná ako systém spaľovania chudobnej zmesi bola zavedená japonskými výrobcami.

Účinnosť konverzie trojcestného katalyzátora



Zmyslom tejto stratégie je zvyšovanie ekonomickosti prevádzky (znižovanie spotreby) a udržiavanie emisií pod prípustnými limitmi. Je založený na redukcii znečisťujúcich zložiek pri vysokých pomeroch A/F a schopnosti zapálenia zmesi.

Z pohľadu princípu činnosti je možné senzory kyslíka rozdeliť na:

- Polovodičové oxidové alebo chemorezistívne;
- Koncentračné články;
- Elektrochemické pumpy.

Z pohľadu aplikácie ich možno rozdeliť:

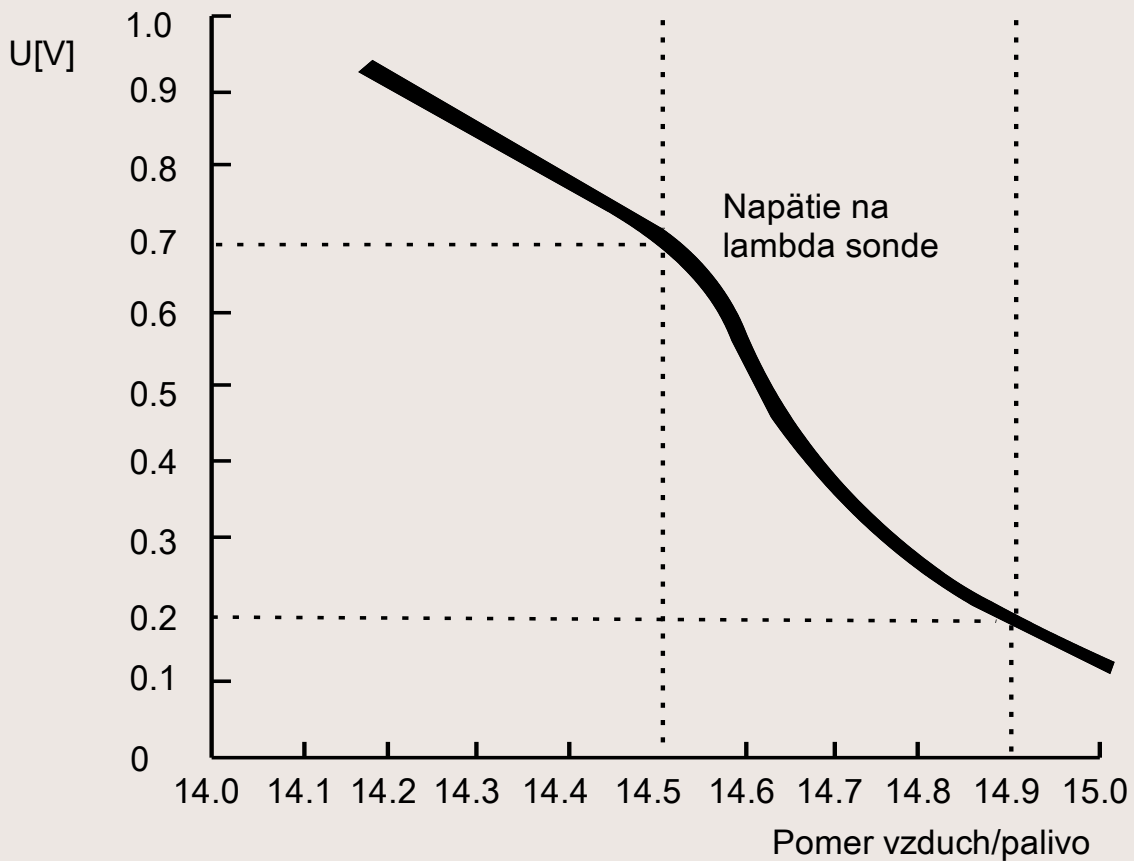
- Stechiometrické,
- Senzory chudobnej zmesi

Stechiometrické sú použité v katalytických systémoch.

Na výstupe poskytujú odozvu blízku stavom zapnutý, vypnutý v prípade ak sa pomer A/F mení od hodnoty 14,7:1 smerom hore (obr.).

Senzory v systémoch s chudobnou zmesou majú odozvu proporcionálnu k hodnotám pomeru A/F v rozsahu od 15 do 23 (obr.). Chemorezistívne a články koncentrácie sú stochiometrického typu, kým elektrochemické sú určené pre systémy chudobnej zmesi.

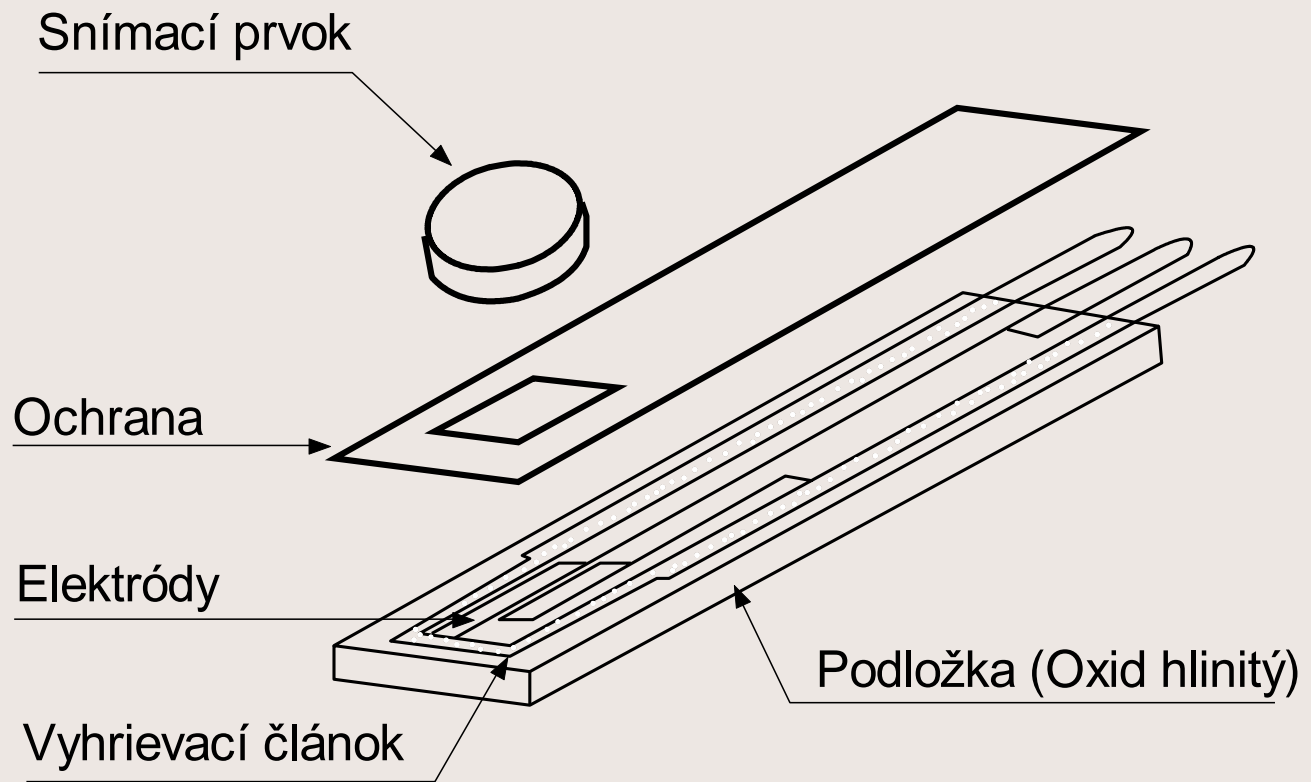
Typická charakteristika senzora v systémoch s chudobnou zmesou



Chemorezistívne senzory

Elektrický odpor niektorých polovodičových oxidov sa mení s parciálnym tlakom kyslíka. Tento fenomén spôsobuje oxidácia alebo redukcia oxidov kyslíkom O_2 . Oxid sa správa ako polovodič typu *P* alebo *N*. Závisí to od jeho chemických charakteristík. Oxid môže byť dopovaný materiálmi, ktoré vystupujú ako donory alebo akceptory a môžu plniť funkciu katalyzátorov medzi oxidom a kyslíkom, čím pôsobia na znižovanie prevádzkovej teploty. Senzor vyrobený hrubovrstvovou technológiou je na ([obr.](#))

Chemorezistívny senzor vyrobený hrubovrstvovou technológiou



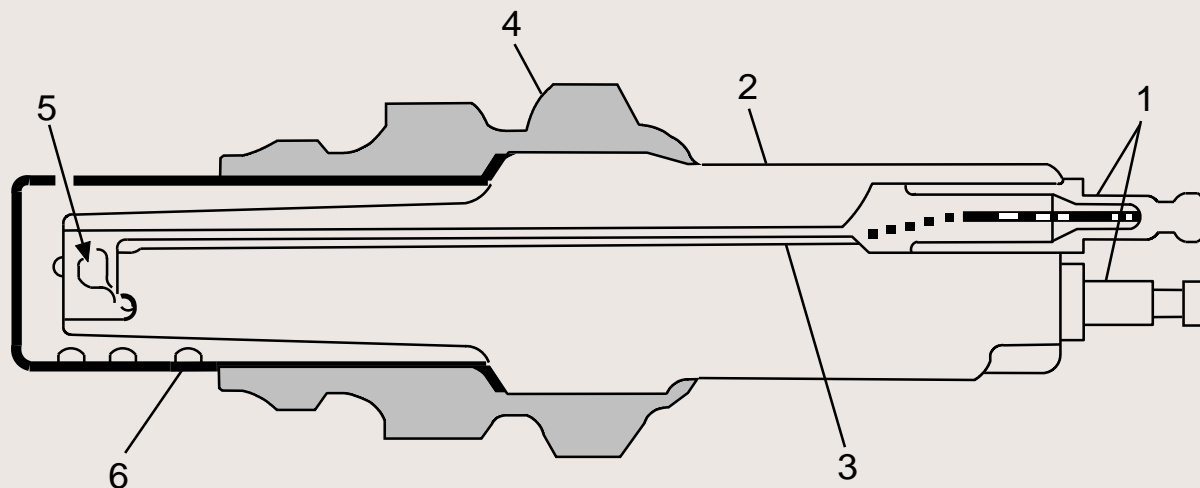
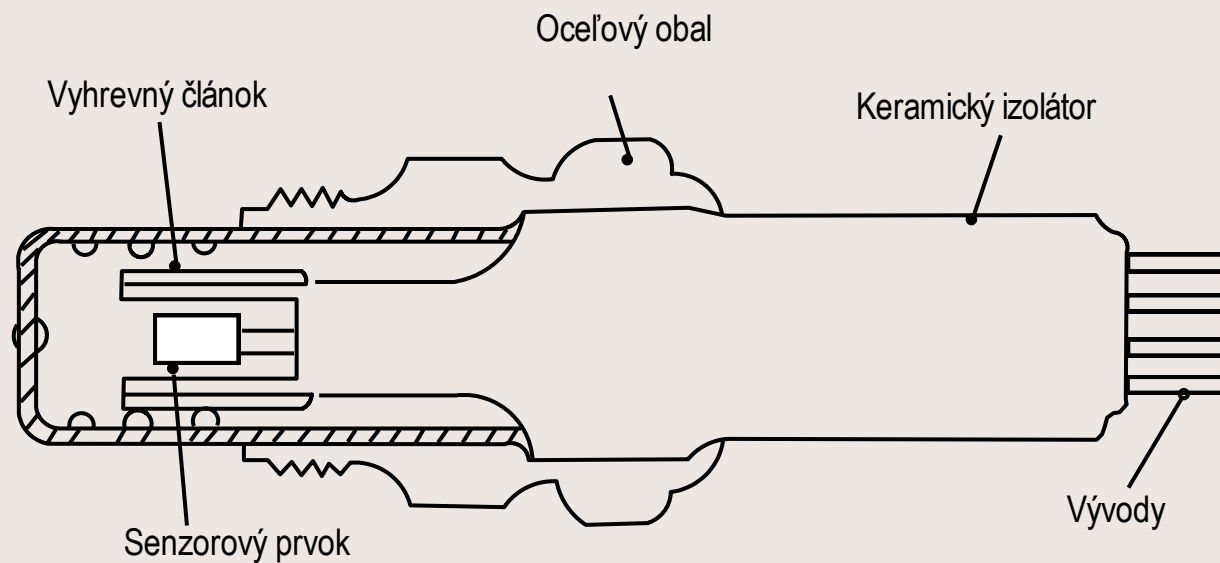
V prípade polovodiča typu N , ak nie sú prítomné molekuly kyslíka a pri vysokej teplote sú všetky elektróny z valenčnej sféry vo vodivostnej a materiál vykazuje nízky odpor. V prípade, ak je prítomný kyslík s nízkou koncentráciou a polovodičový materiál je vystavený pôsobeniu takejto zmesi plynov, odpor materiálu okamžite vzrastie. Tento fenomén je spôsobený zmenou pohyblivosti nosičov náboja na povrchu materiálu molekulami kyslíka. Monitorovaním štruktúry (granulometria) senzora je možné meniť jeho citlivosť.

Ak sú v zmesi plynov prítomné redukčné prvky aj kyslík, tie reagujú navzájom. Iba nadbytočné molekuly kyslíka reagujú s polovodičovým oxidom, čím menia jeho odpor. V prípade ak redukčné komponenty prevyšujú početnosť molekúl kyslíka, potom polovodičový oxid vykazuje odpor ako keby kyslík nebol prítomný. Preto pri prechode od prevahy redukčných komponentov (bohatá zmes) k stavu keď prevláda kyslík (chudobná zmes) je zmena odporu najvýraznejšia.

Tieto materiály umožňujú realizáciu prvkov s veľmi jednoduchou a lacnou štruktúrou, pričom sa využíva hrubovrstvová alebo tenkovrstvová technológia na keramických podložkách.

V súčasnosti sú komerčne dostupné, avšak menej rozšírené titánové senzory (TiO_2) (). Majú dobré chemorezistívne vlastnosti a vykazujú pri chudobnej zmesi vyšší odpor. V počiatkoch sa vyrábal tento senzor ako dvojjvývodový neskôr bol rozšírený o vyhrievací prvok. Súčasné alternatívne materiály sú Ga_2O_3 , SrTiO_2 a BaTiO_3 . Často sú vyrábané tenkovrstvovou technológiou.

Titanový senzor O_2



1. Kontakty, 2. Keramický izolátor, 3. Prívody, 4. Oceľové uchytenie,
5. TiO_2 prvok, 6. kryt

Článok koncentrácie

Senzory ako články koncentrácie sú založené na elektrochemických vlastnostiach zirkónu (ZrO_2). Tento je značne rozšírený. Známy je ako Lambda sonda. Meno pochádza z pomeru

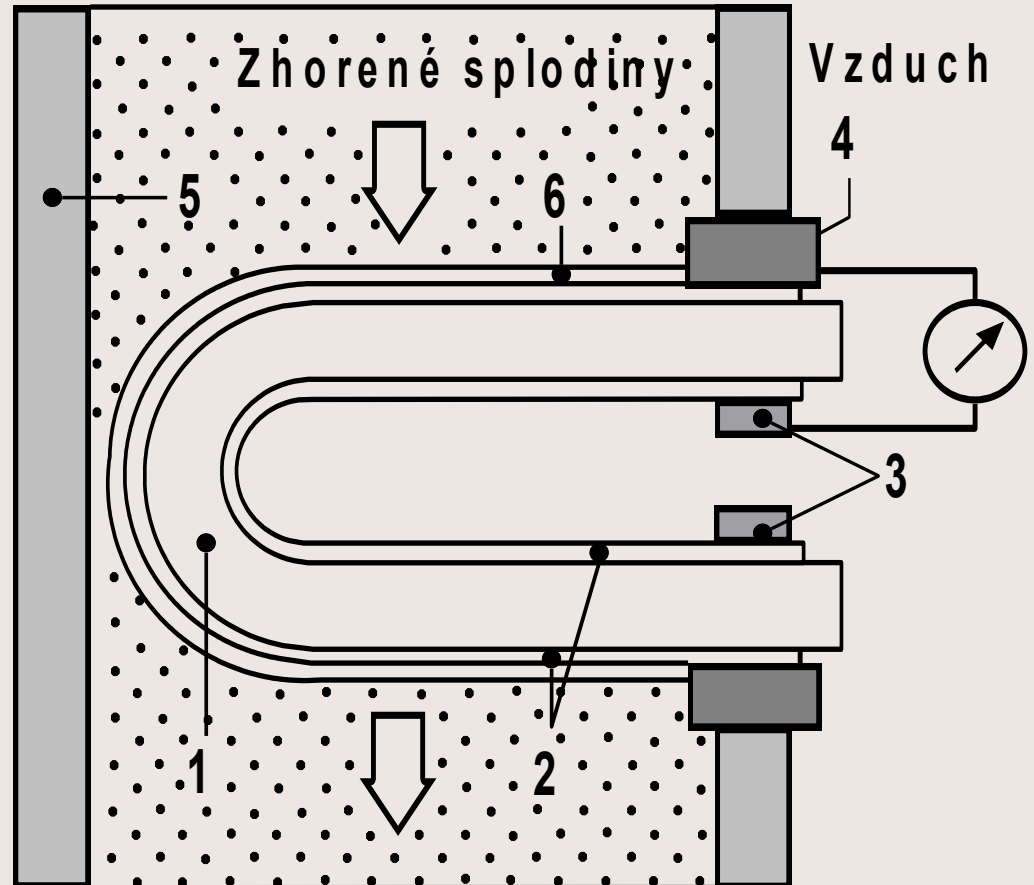
$$\lambda = \frac{A/F(\text{REAL})}{A/F(\text{STECHEIOMETRIC})}$$

ktorý je v automobilovej oblasti bežne používaný.

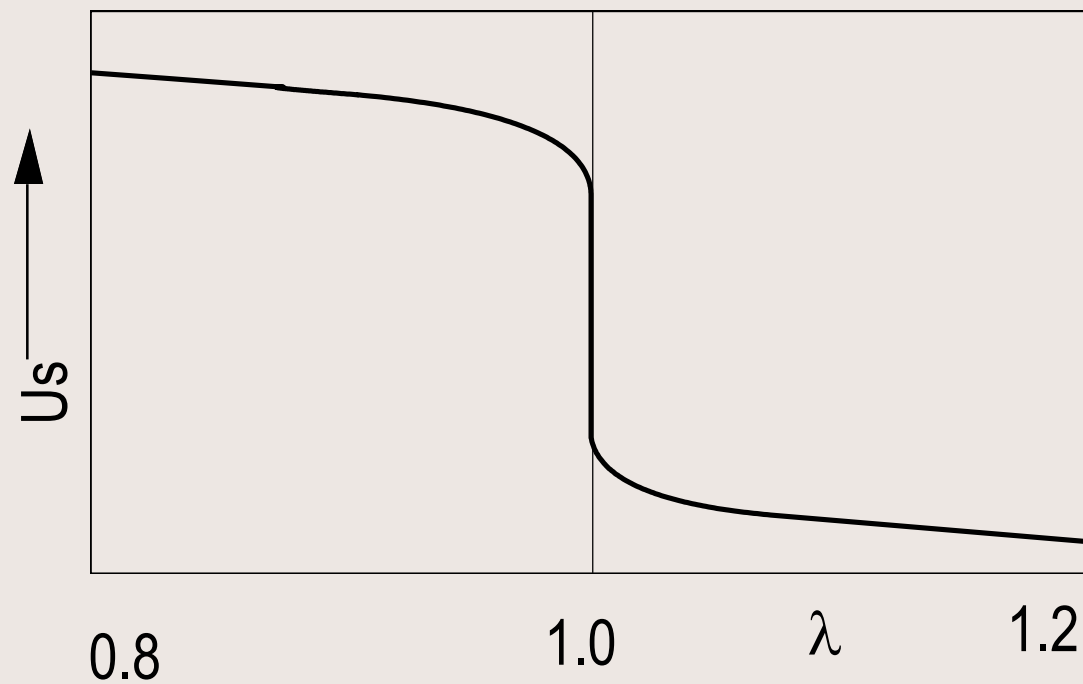
Ak prvok z oxidu zirkónu, ktorý má dva povrchy vystavené dvom plynom s odlišnou koncentráciou kyslíka, objaví sa medzi týmito povrchmi napätie. Na tom, ktorý je vystavený vyššej koncentrácii kyslíka, je pozitívny potenciál. Tento jav je umocňovaný zvýšenou teplotou. Fyzika tohto javu ešte nie je úplne ozrejmená do všetkých detailov. Štruktúra tohto senzora bola v počiatkoch jednoduchá, neskôr bola rozšírená o vyhrievanie. V súčasnosti je dôraz kladený na výkon senzorov hrubovrstvovou technológiou na keramickej podložke. ([obr.](#))

Senzor O_2 vo výfukovom potrubí

1. Keramický senzor,
2. Elektródy,
3. Kontakty,
4. Kontakt uloženia,
5. Výfukové potrubie,
6. Ochranný keramický povlak (porézny)

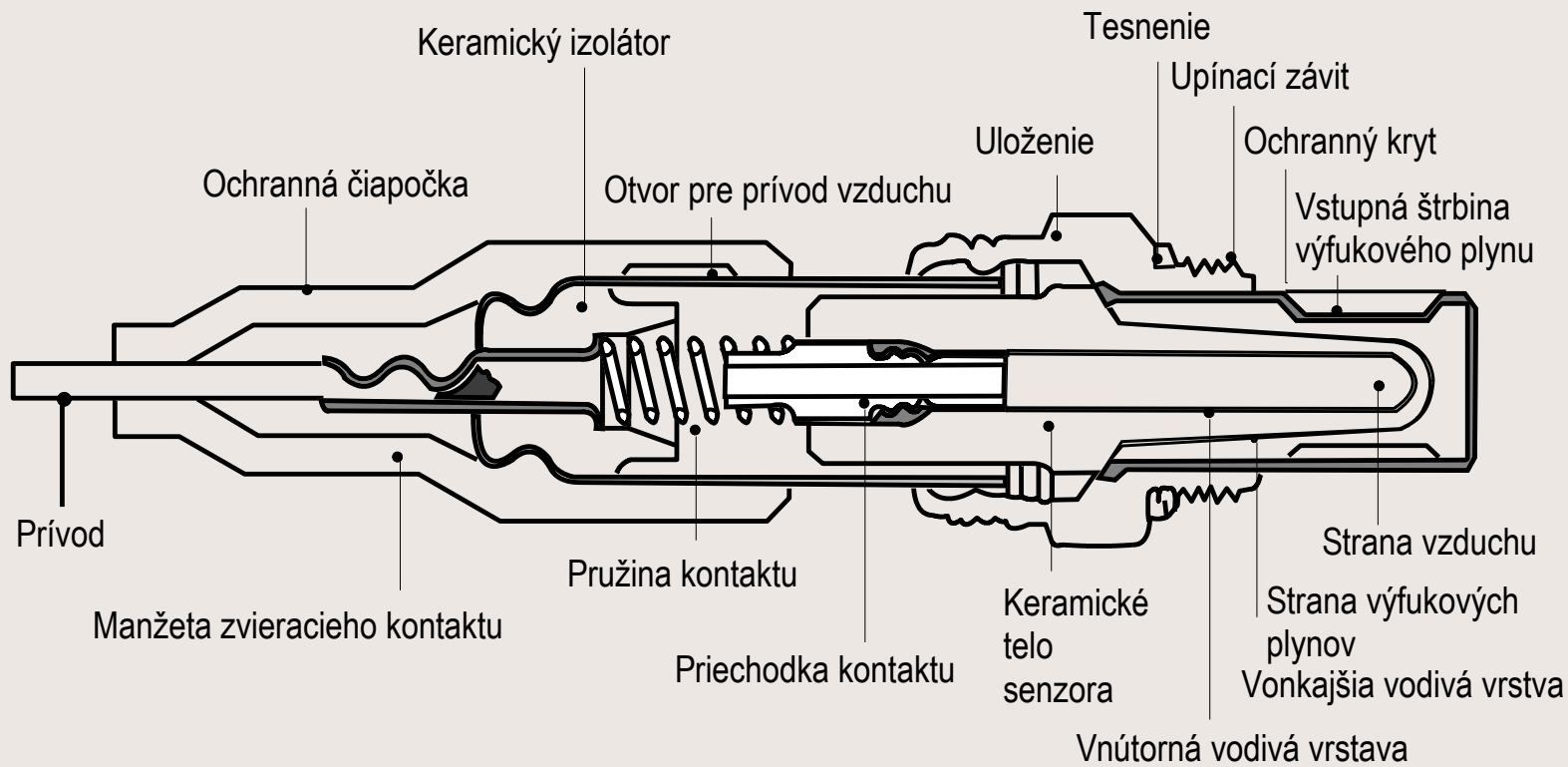


Charakteristika senzora



λ Prebytok vzduchu, U_s Napätie senzora

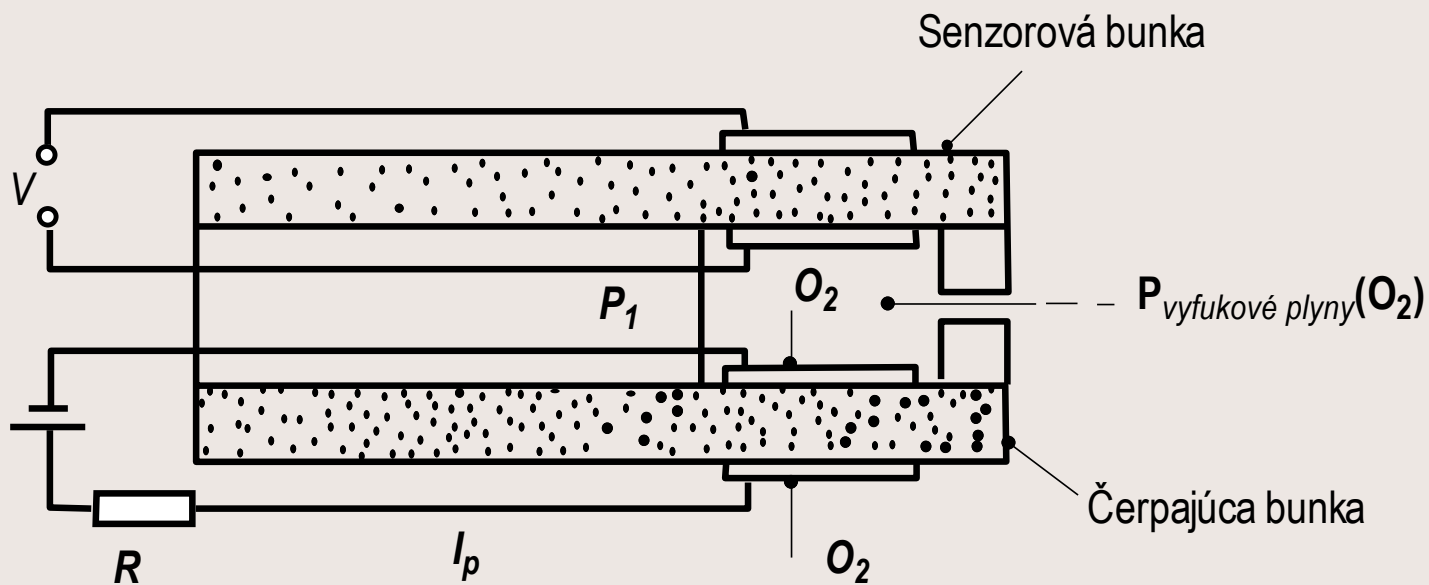
Štruktúra reálneho senzora O_2



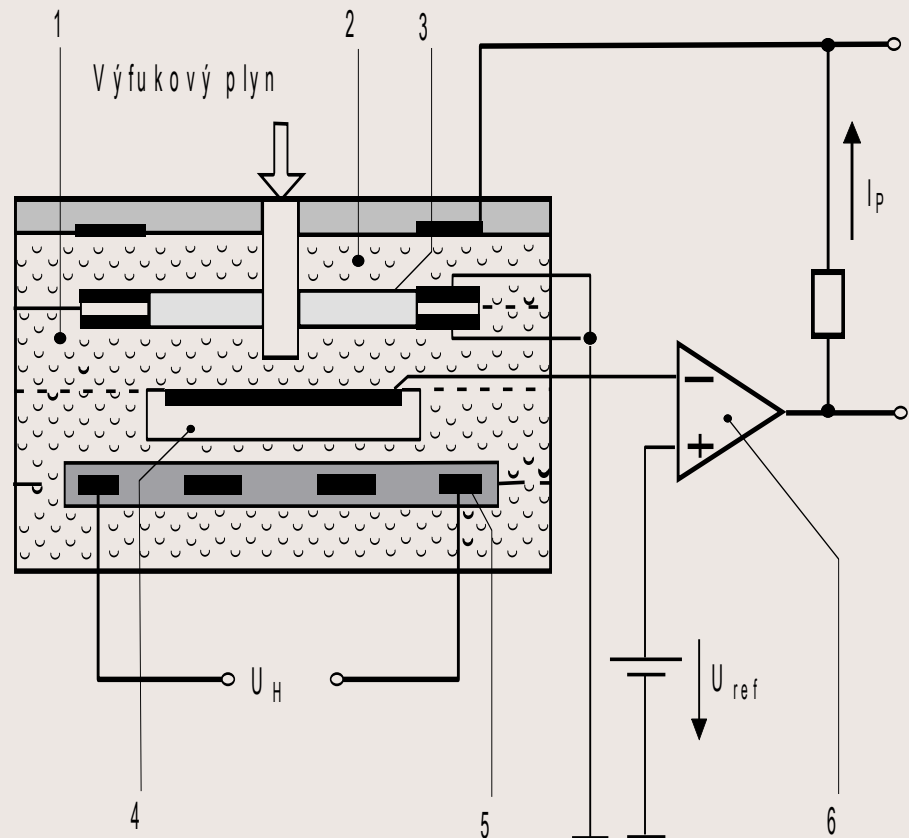
Senzory založené na elektrochemických pumpách

Ak je na kysličník zirkónu priložené napätie, to spôsobí pumpovanie kyslíka cez tuholátkový elektrolyt od katódy ku anóde. Senzor založený na tomto fenoméne je zložený z prvku zo zirkónu s dvoma elektródami a z prvku, ktorý obmedzuje difúziu kyslíka z vonkajšej strany katódy (obr.). Princíp činnosti umožňuje meranie koncentrácie kyslíka aj v prípade, ak A/F je vysoké, a preto sú vhodné pre použitie v systémoch s chudobnou zmesou.

Principiálna schéma senzora založeného na elektrochemickej pumpe

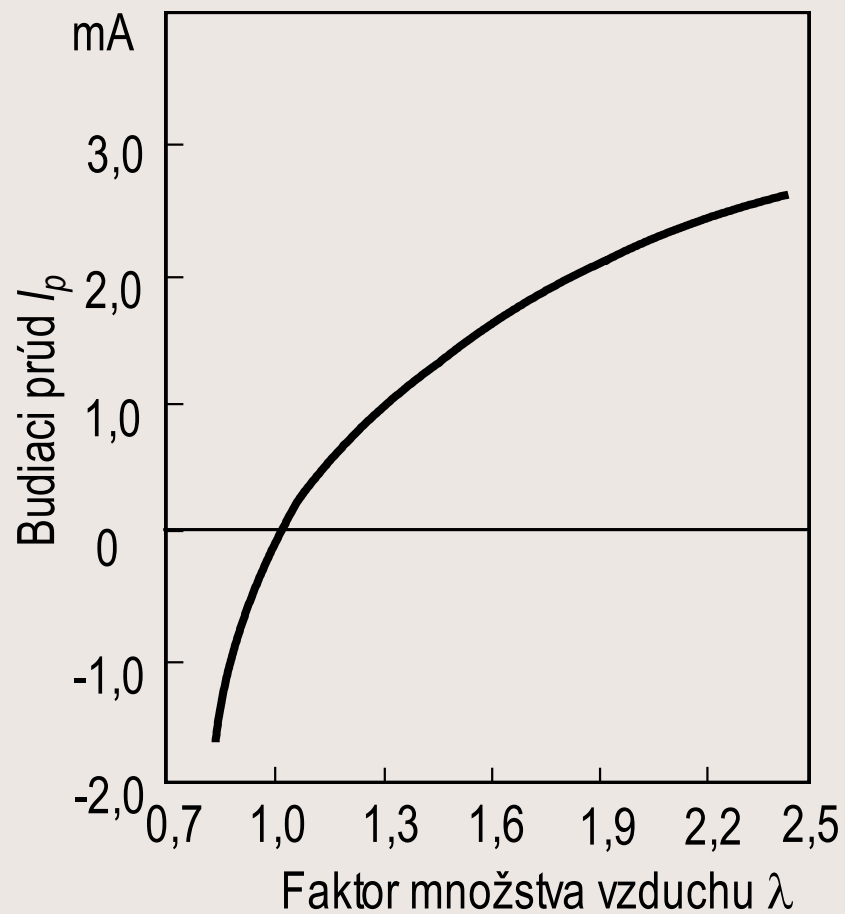


Senzor založený na elektrochemickej pumpe (štruktúra)



1. Tuholátkový elektrolyt,
 2. Bunka pumpujúca kyslík,
 3. Difúzna štrbina,
 4. Referenčný vzduchový kanál,
 5. Žeraviace vlákno,
 6. Riadiaci obvod
- I_p Prúd pumpy, U_H Žeraviace napätie,
 U_{ref} Referenčné napätie

Závislosť pumpujúceho prúdu širokopásmového senzora O_2



Senzory pre automobilové aplikácie sú vyrobené hrubovrstvovou technológiou. Zirkonový prvok s elektródami po oboch stranách a porézny prvok sú umiestnené medzi katódu a plyny. Anóda je v kontakte so vzduchom okolia. Privedením napätia na elektródy tečie prúd, ktorý odpovedá prenosu kyslíka zo zmesi plynov do okolitého prostredia. Prúd dosiahne saturáciu pri danom napätí, ak množstvo pumpovaného kyslíka je obmedzené difúznym procesom cez poréznu prepážku. Za týchto podmienok je elektrický prúd funkciou koncentrácie kyslíka v zmesi plynov.

Senzory vlhkosti

Uplatnenie:

- monitorovanie sušiča vzduchu vzduchových brzd
- monitorovanie vonkajšej vlhkosti pre varovný systém námrazy na vozovke
- výpočet rosného bodu v interiéri vozidla (riadenie klimatizácie, monitorovanie parametrov ovzdušia interiéru, zamedzenie zahmlievania okien).

Pre meranie relatívnej vlhkosti sú často používané kapacitné senzory. Senzory tohto typu sú založené na technológii využívajúcej tenkovrstvové polyméry pokovované z oboch strán. Kapacita týchto kondenzátorov je modifikovaná nepriamo úmerne množstvu absorbovanej vlhkosti. Typická časová konštanta je 30s. Rosný bod sa vypočítava zohľadňovaním teploty vzduchu. Pri inštalácii pre riadenie kvality vzduchu je senzor chránený teflónovou membránou pred vplyvom škodlivých látok.

Všeobecne povedané, jednotka riadenia kvality vzduchu obsahuje predovšetkým CO a NO_x senzory, najčastejšie na báze tenkovrstvových rezistorov (SnO_x), ktoré absorpciou meraného média menia svoj odpor v širokom rozsahu (1-100kΩ) .

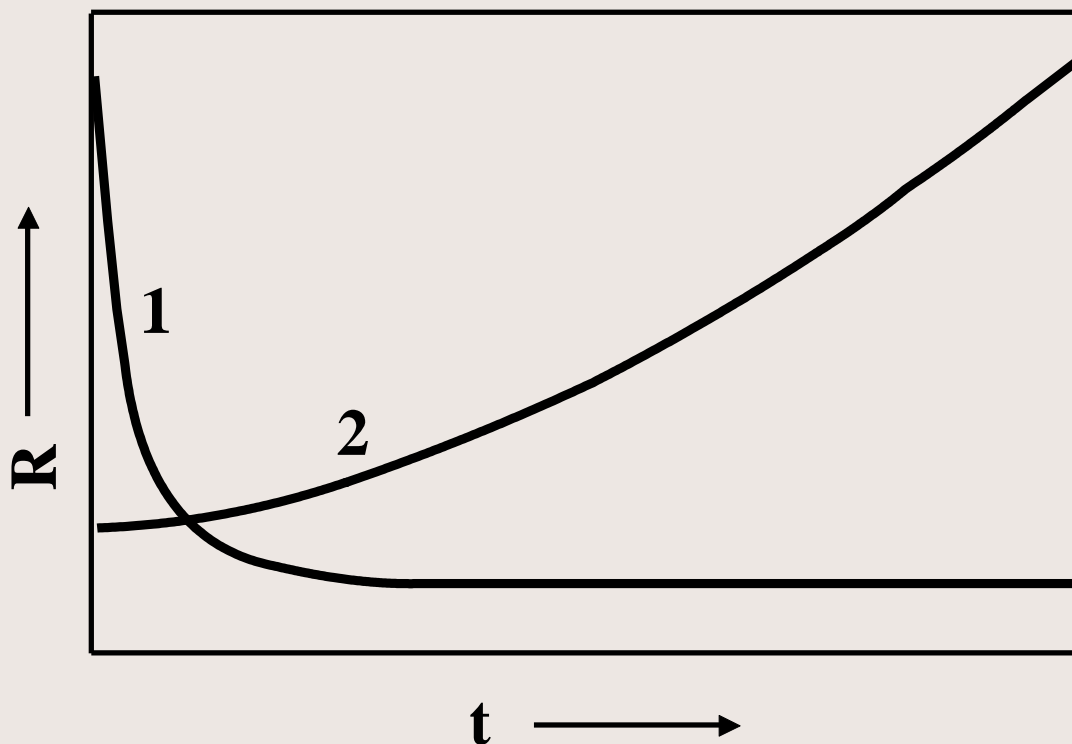
Senzory teploty

Príklad teplotnej závislosti

1. 1- NTC závislosť odporu
2. - PTC závislosť odporu

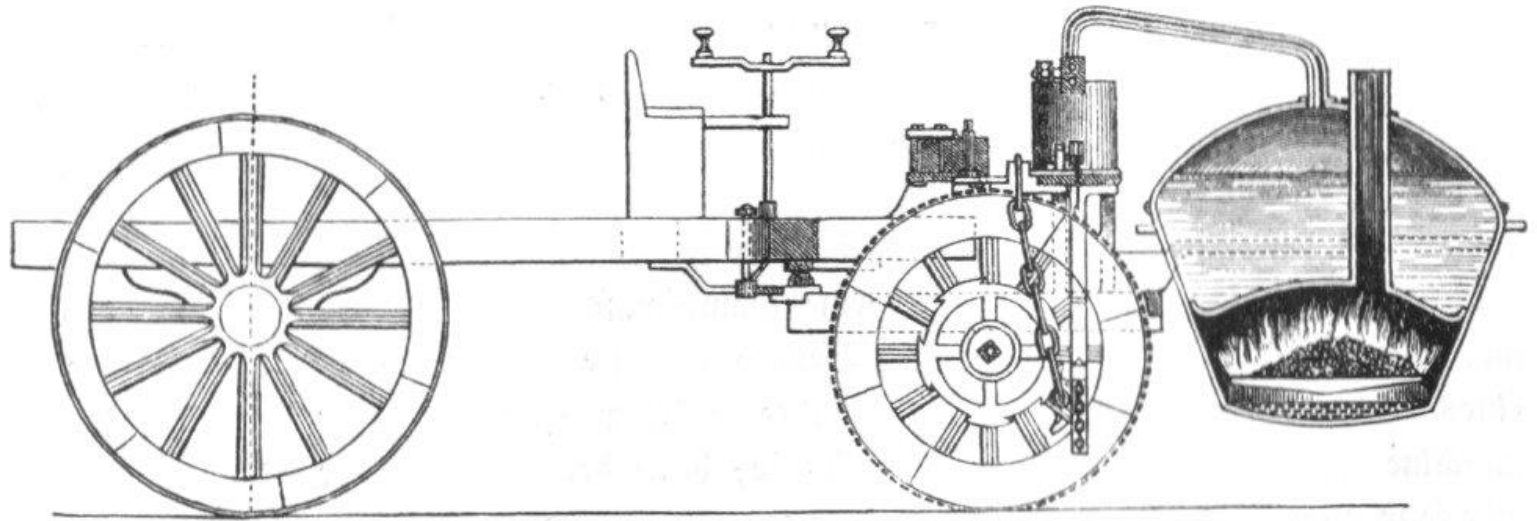
t - teplota

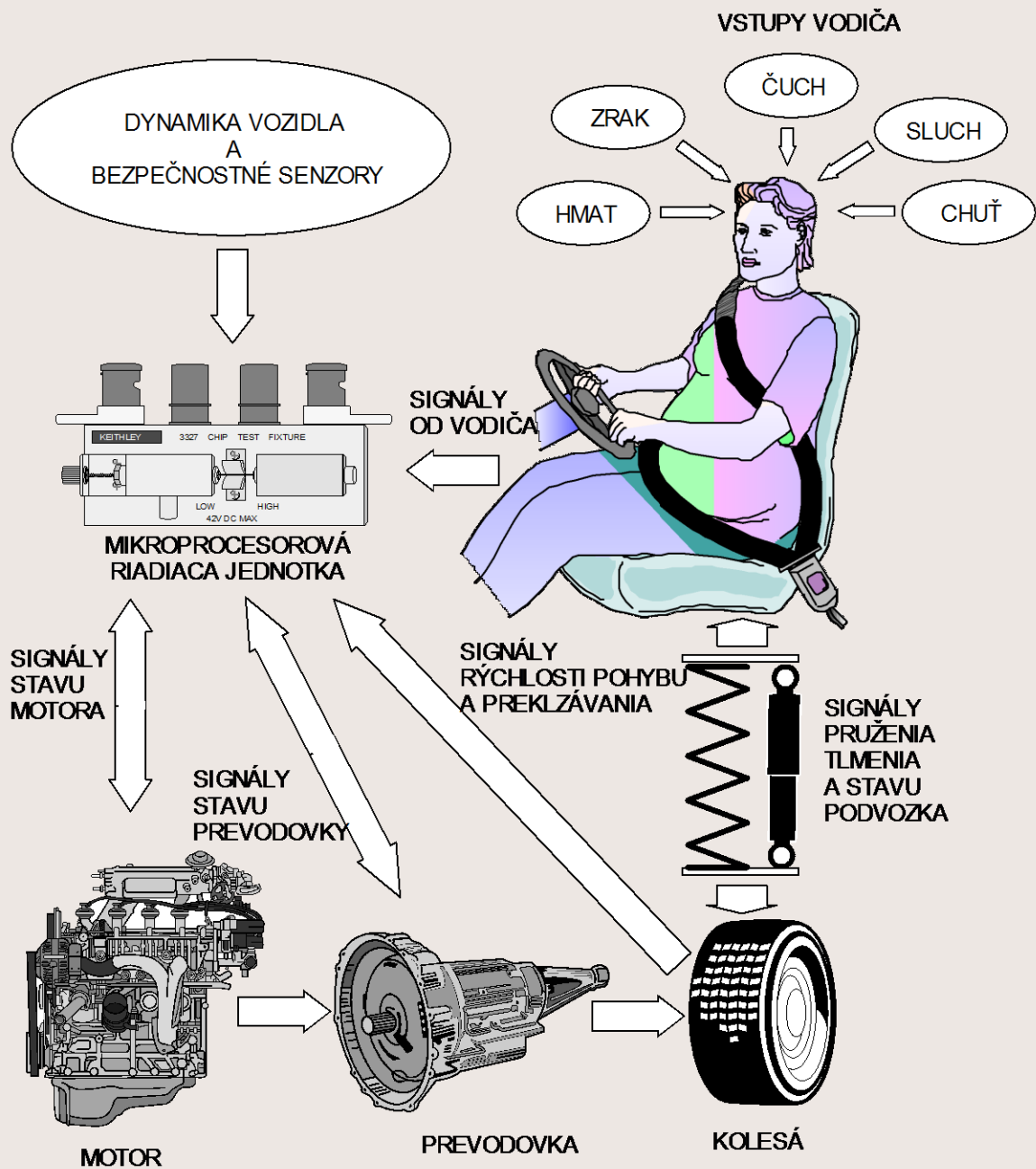
R - odpor



Použitá literatura

- [1] Ronald K. Jurgen: Automotive Electronics Handbook (2nd ed.). McGraw-Hill Professional, 1999, ISBN 0-07-034453-1.
- [2] Bosch: Automotive Handbook (8th ed.). Bentley Publishers, 2011, ISBN 978-1-119-97556-4.
- [3] Uwe Kiencke, Lars Nielsen: Automotive Control Systems. Springer, 2005, ISBN 978-3-642-06211-7.
- [4] Christopher O. Nwagboso: Automotive Sensory Systems. Chapman & Hall, 1993, ISBN 0-412-45880-2.
- [5] Ernest O. Doebelin: Measurement Systems – Application and Design (3rd ed.). McGraw-Hill, 1983, ISBN 0-07-017337-0.
- [6] Jürgen Valldorf Wolfgang Gessner: Advanced Microsystems for Automotive Applications 2003, Springer, 2003, ISBN 3-540-00597-8.
- [7] Firemná literatura koncernu Volkswagen.





Použitie:

- príprava zmesi paliva,
- podtlak v nasávacom potrubí - riadenie časovania zapalovania,
- hodnota tlaku - zaťaženie motora. (zaťaženie motora stúpa → otáčky motora klesajú → podtlak v nasávacom potrubí sa približuje k hodnote atmosferického tlaku, to je zvýraznené stlačením akceleračného pedálu a následným potvorením škrtiacej klapky).

V minulosti-mechanické metódy merania tlaku, v súčasnosti najčastejšie-piezorezistívne kremíkové membrány

Použitie:

- Od polohy (uhla natočenia) kl'ukového hriadel'a sa odvíja časovanie vstrekovania a zapal'ovania. Pre zist'ovanie uhla natočenia kl'ukového hriadel'a sa najčastejšie používajú senzory založené na Hallovom a Wiegandovom jave, optické senzory a indukčné senzory.

Výkonnosť a ekonomickosť chodu motora je možné optimalizovať časovaním zapálenia zmesi - nutnosť optimalizácie procesu horenia v presne definovanej uhlovej polohe krúkového hriadeľa (referencia - horná úvrat').

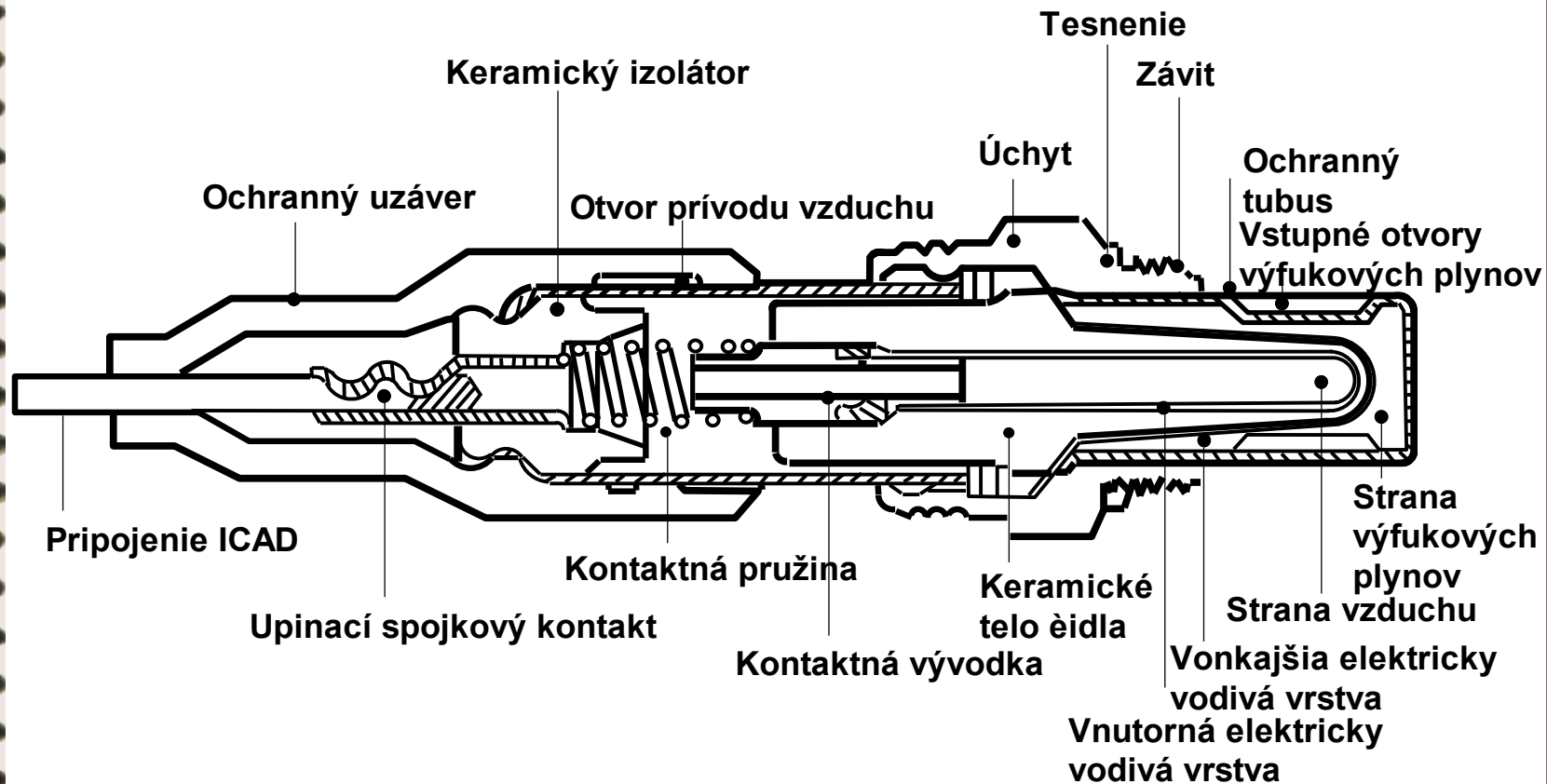
Ak proces horenia začne skôr vznikne v motore klepanie alebo detonácie.

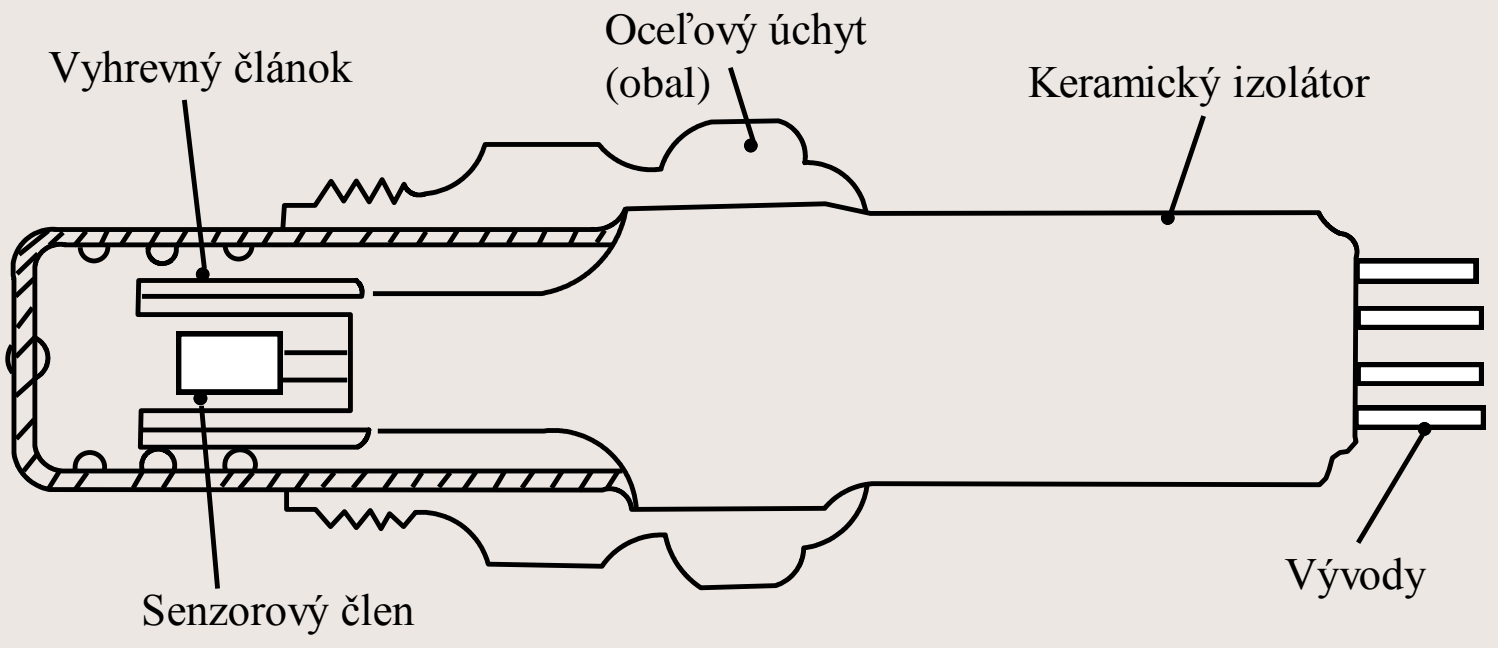
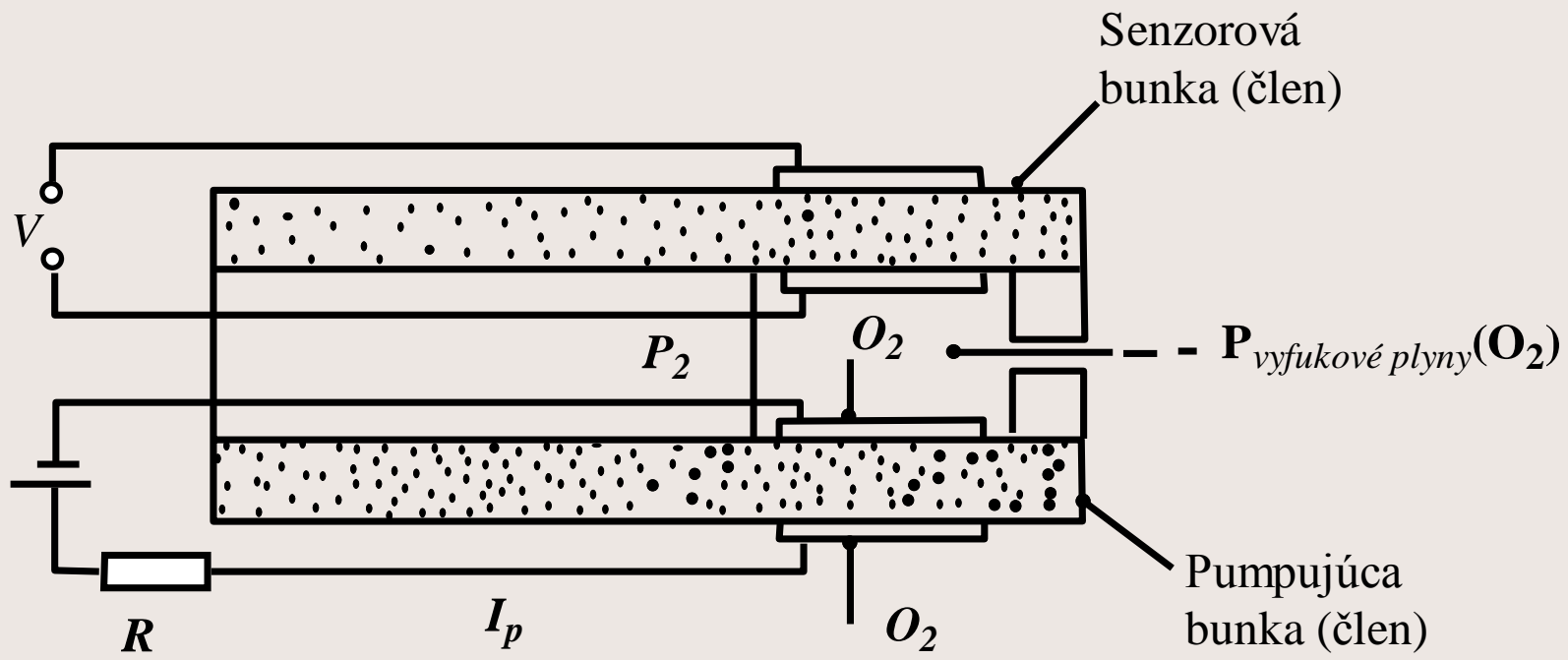
Naopak, ak proces horenia začne neskôr, vytvorí sa vo valci menší tlak a tým sa znižuje účinnosť motora.

Časovanie ovplyvňuje aj splodiny horenia.

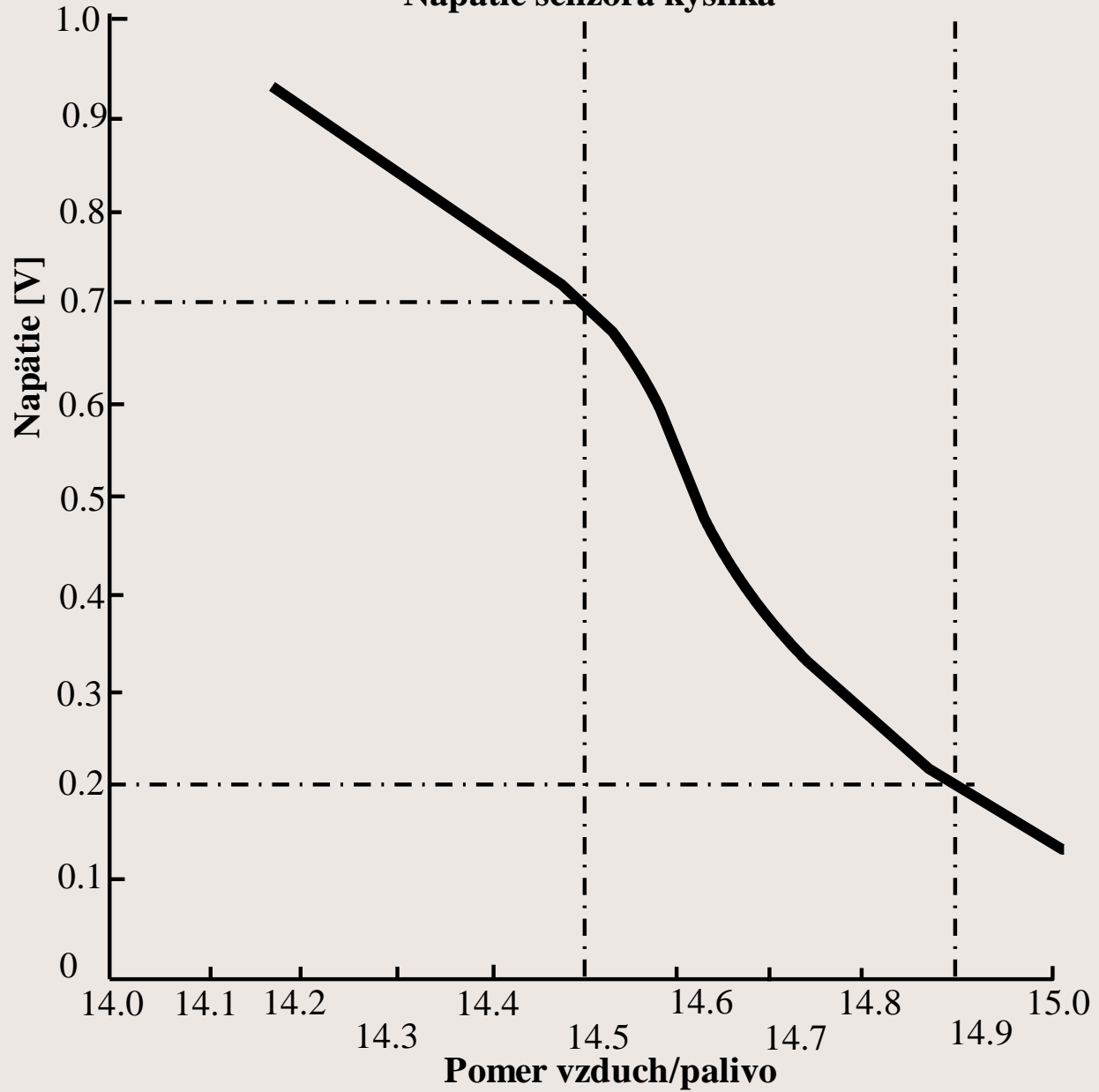
Použitie:

- Signál z týchto senzorov je použitý pre riadenie pomeru paliva a vzduchu privádzaného do motora. Najčastejšie sa používajú anemometre na báze žeraveného drôtika



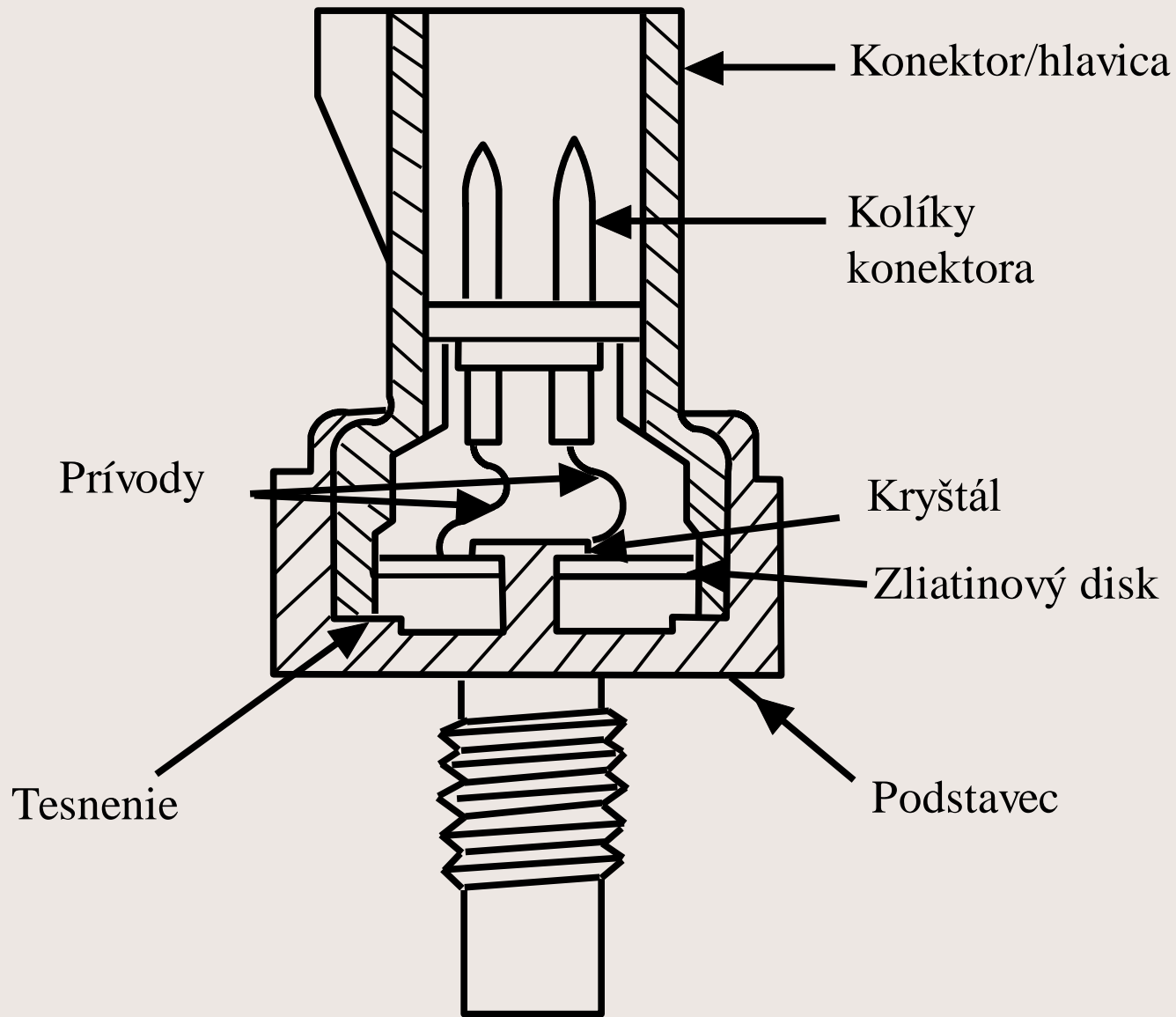


Napätie senzora kyslíka



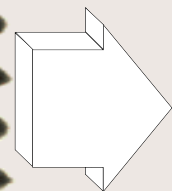
Aj napriek vyspelej technike riadenia zapalovania, môžu nastať podmienky, počas ktorých je motor náchylný ku klepaniu alebo detonáciám. Detonácie vedú k fyzickému poškodeniu priestoru horenia a komponentov prenosu síl – ložiská, ojnice atď.

Väčšina senzorov klepania je založená na piezoelektrických senzoroach, ktoré pracujú ako merače akcelerácií resp. vibrácií spôsobených detonáciami.



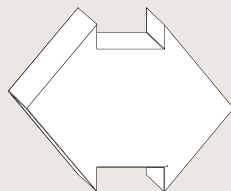
Senzor pre monitorovanie klepania pri zapalovaní

Iným prístupom je zisťovanie podmienok vzniku klepania meraním ionizačného prúdu v blízkosti zapalovacej sviečky po zážihu. Vývoj posledných rokov smeruje k monitorovaniu horenia pomocou optických vlákien a vysoko rýchlostných kamier, alebo tlakových senzorov umiestnených v priestore horenia, prípadne senzorov ionizačného plameňa.

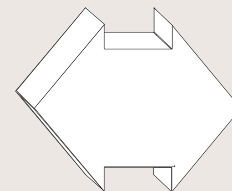


Otáčky
výkonnej
jednotky

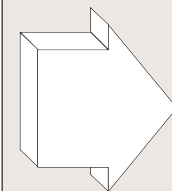
Výkon
a krútiaci
moment
motora



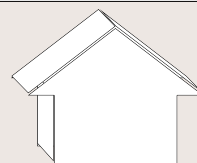
Výkon
a krútiaci
moment
uplatnením
prevodového
pomery
prevodovky



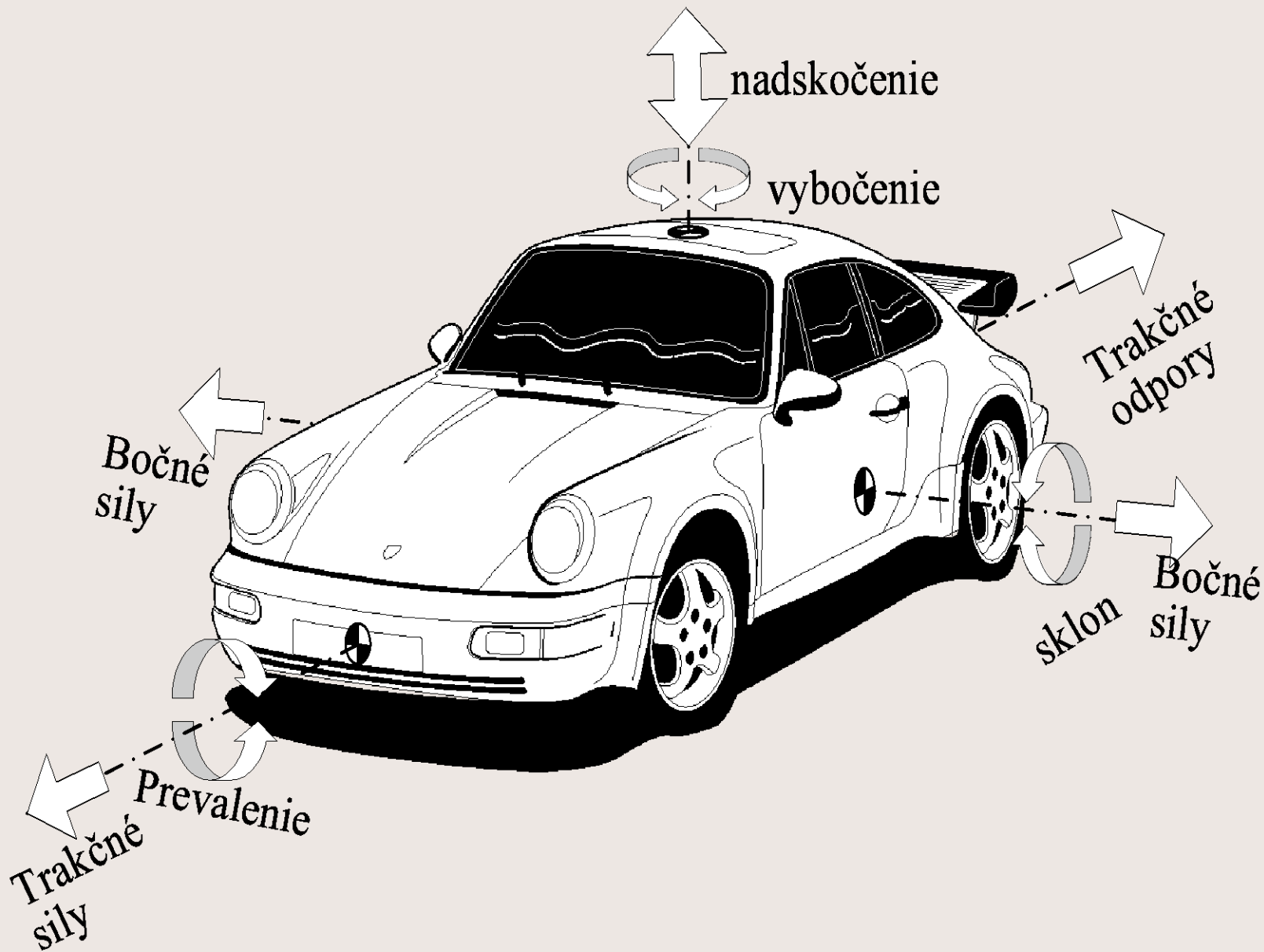
Výkon
a krútiaci
moment
na kolesách
hnacej
nápravy

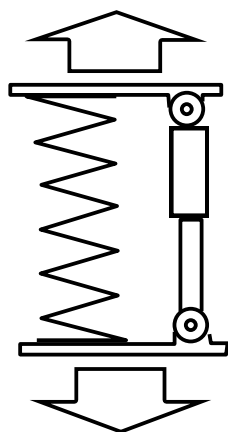
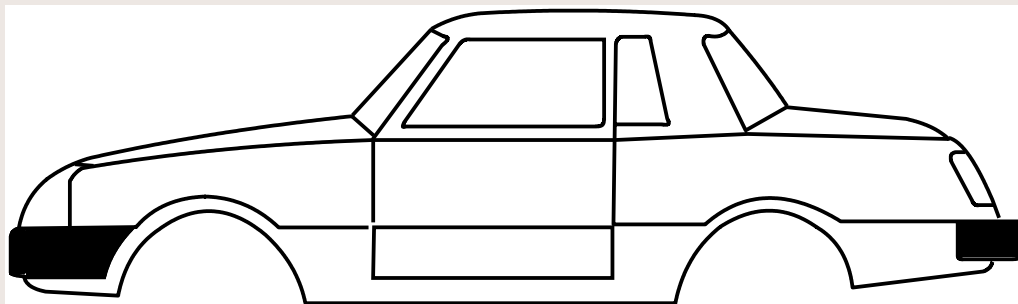


Otáčky
kolies
hnacej
nápravy

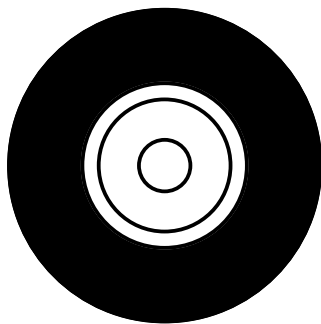


Prevodový
momer
prevodovky
a hnacej nápravy



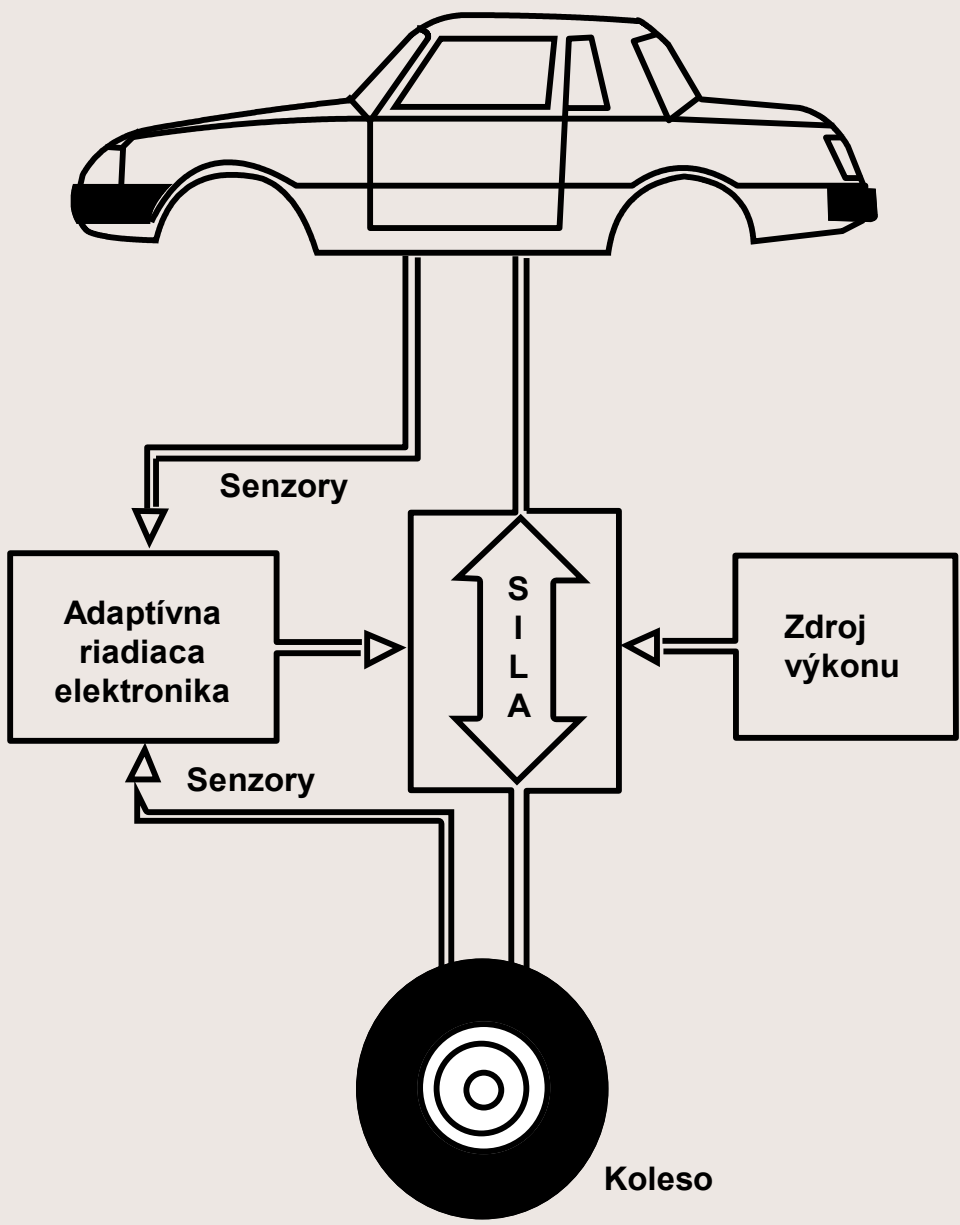


Pruženie
a tlmenie

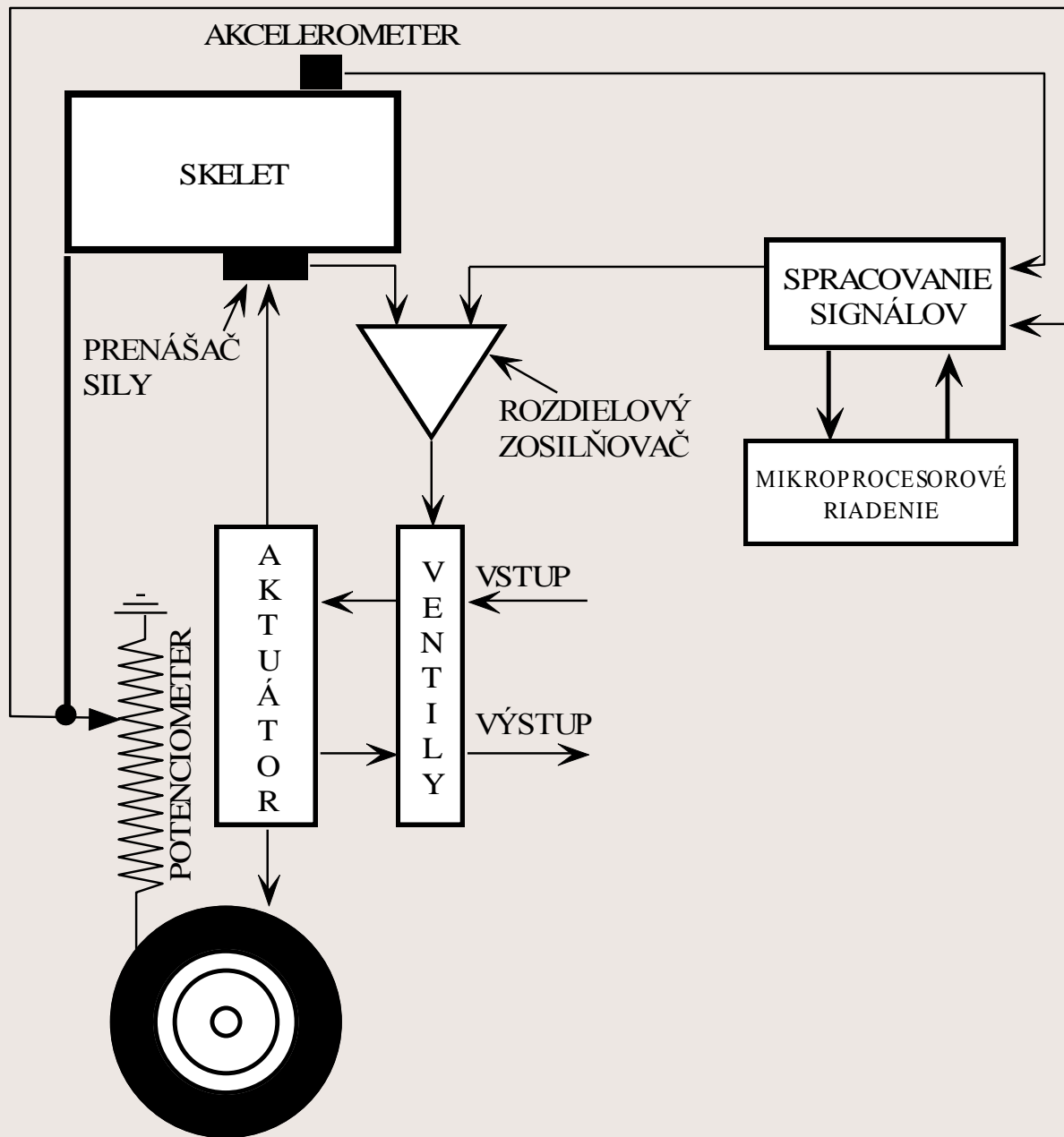


Koleso

Pasívne zavesenie kolies



Aktivne zavesenie kolies



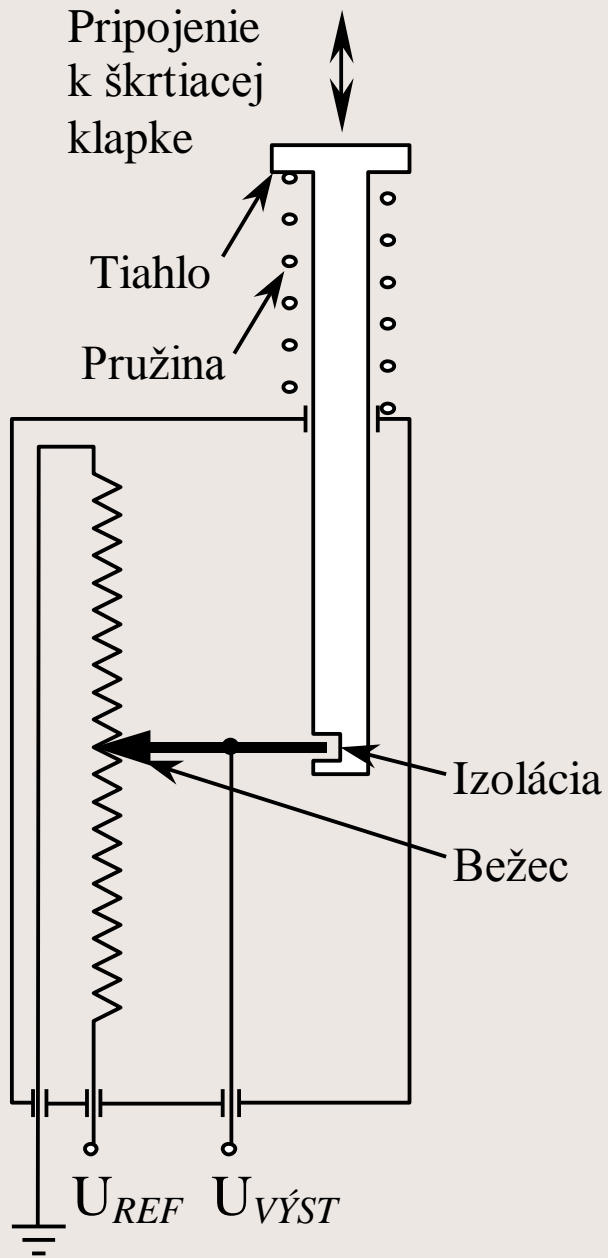
Pripojenie
k škrtiacej
klapke

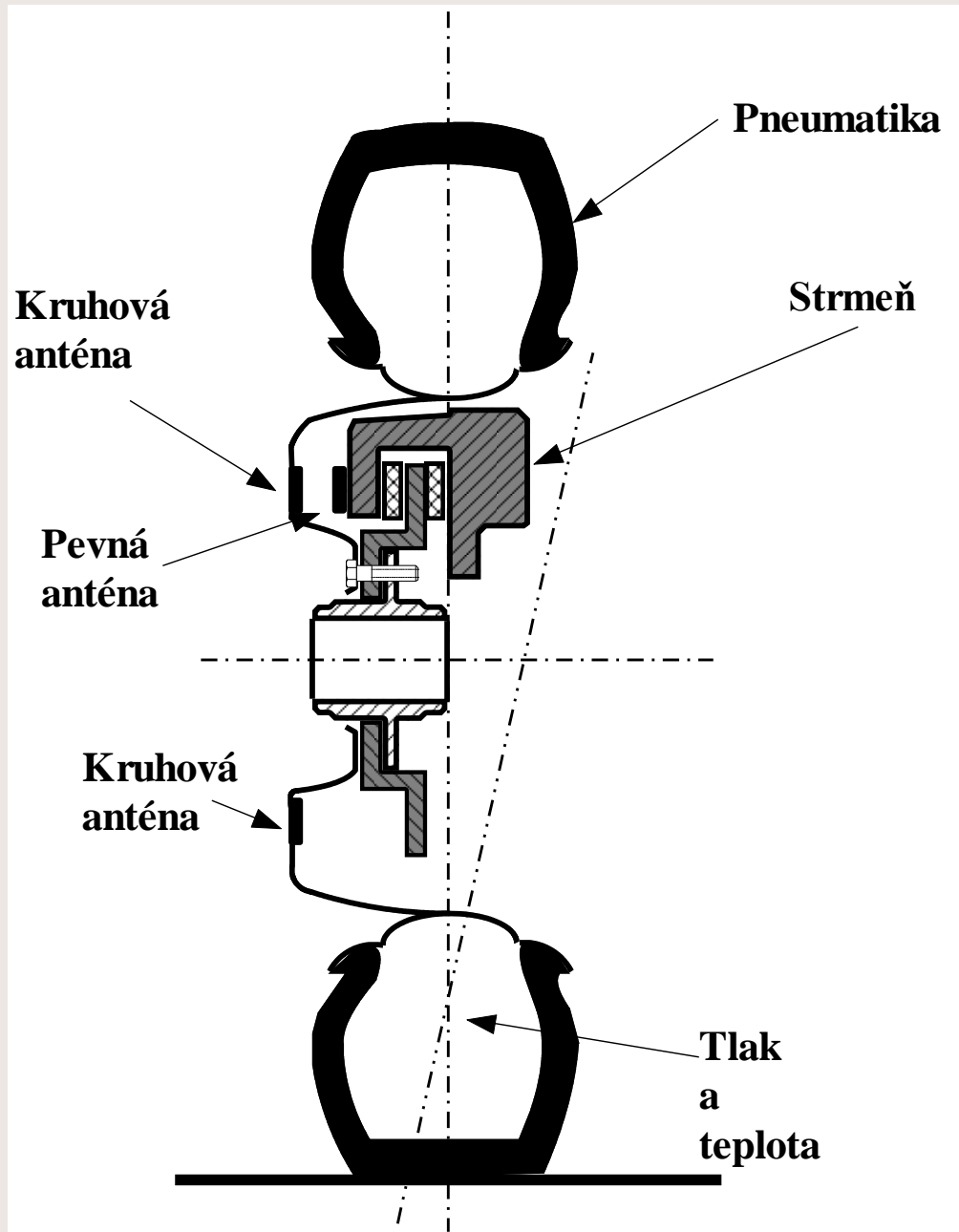
Tiahlo

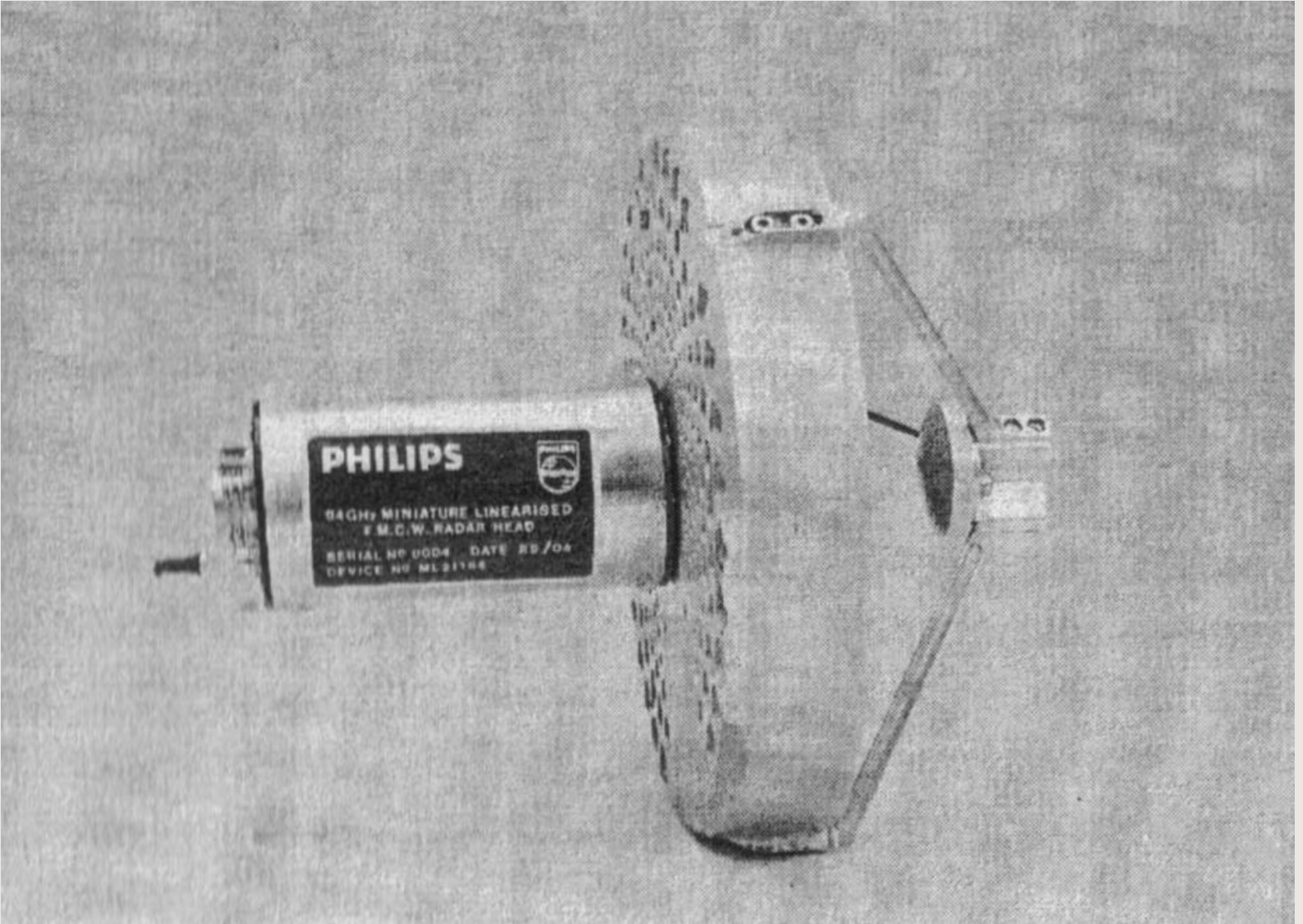
Pružina

Izolácia

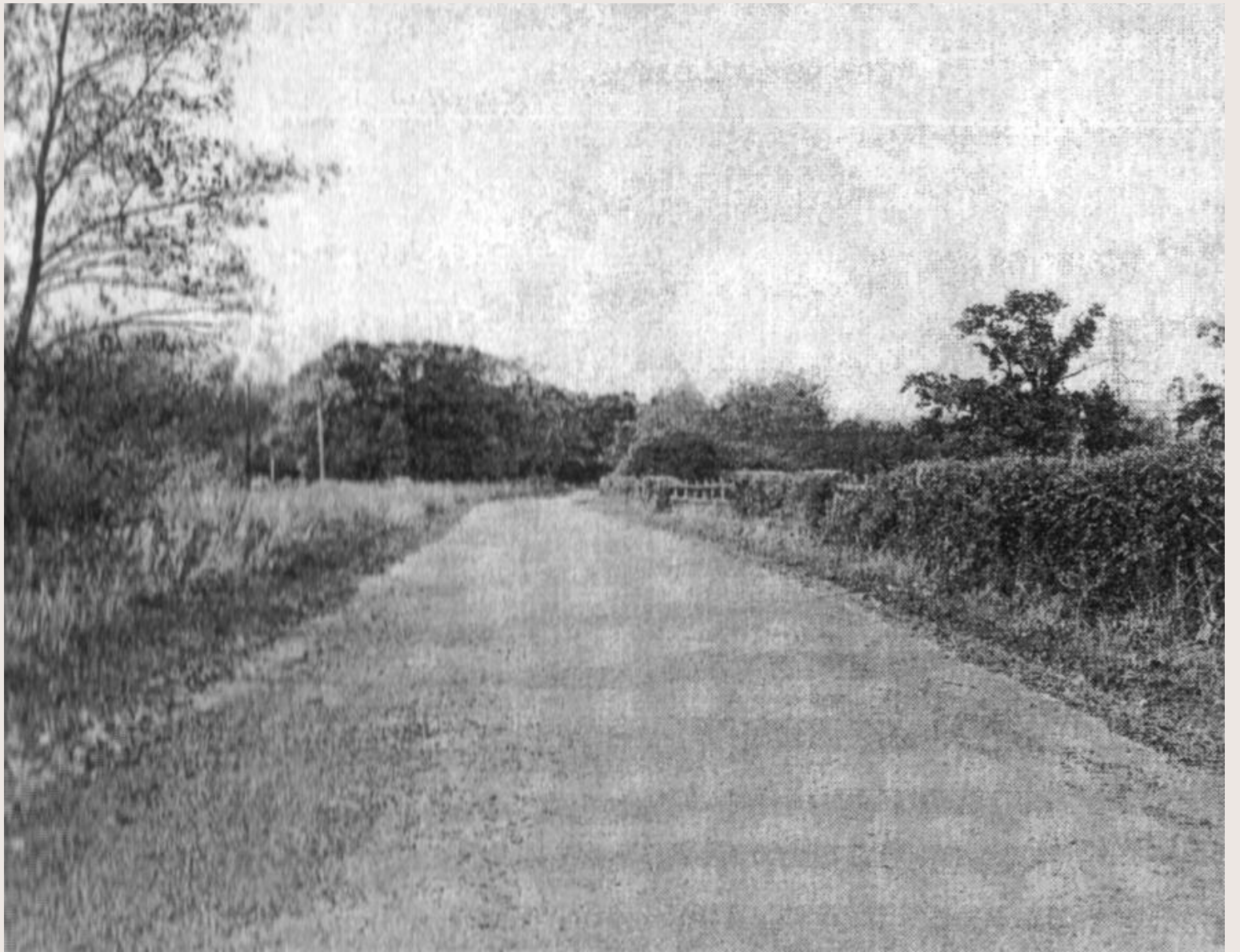
Bežec



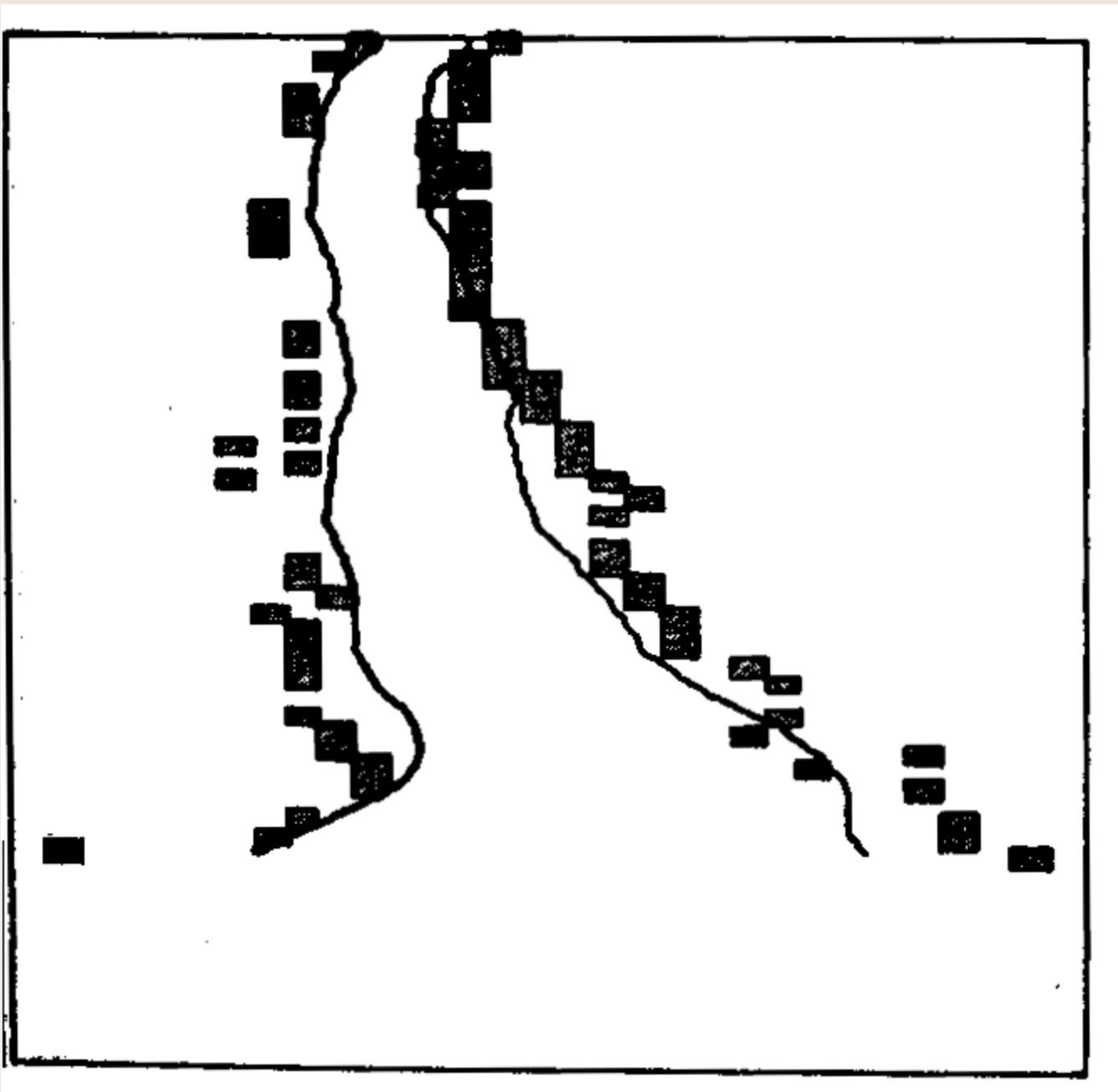


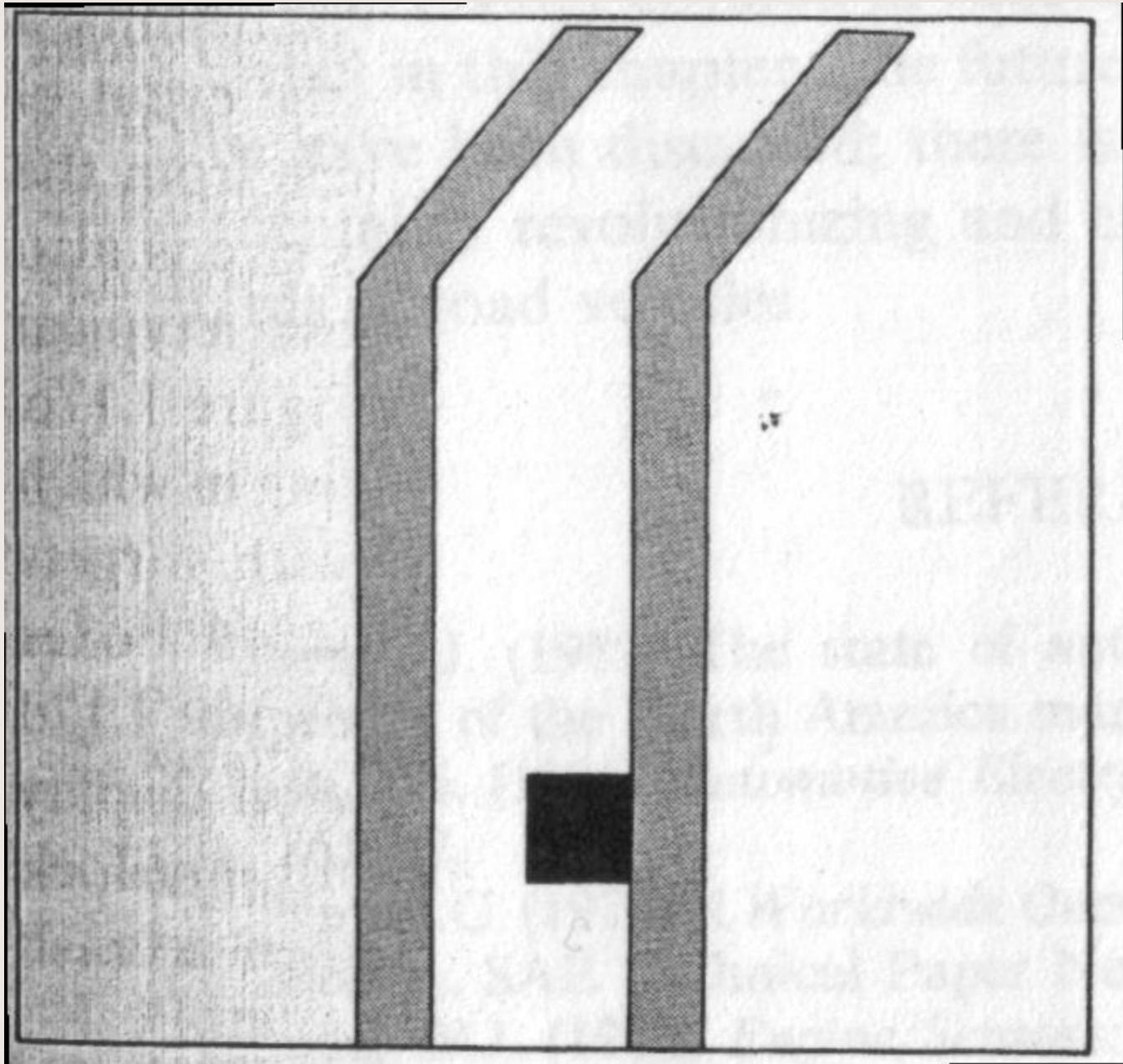


PHILIPS
94GHz MINIATURE LINEARISED
F.M.C.W. RADAR HEAD
SERIAL NO 0004 DATE 28/04
DEVICE NO ML2196









Použitá literatura

- [1] Ronald K. Jurgen: Automotive Electronics Handbook (2nd ed.). McGraw-Hill Professional, 1999, ISBN 0-07-034453-1.
- [2] Bosch: Automotive Handbook (8th ed.). Bentley Publishers, 2011, ISBN 978-1-119-97556-4.
- [3] Uwe Kiencke, Lars Nielsen: Automotive Control Systems. Springer, 2005, ISBN 978-3-642-06211-7.
- [4] Christopher O. Nwagboso: Automotive Sensory Systems. Chapman & Hall, 1993, ISBN 0-412-45880-2.
- [5] Ernest O. Doebelin: Measurement Systems – Application and Design (3rd ed.). McGraw-Hill, 1983, ISBN 0-07-017337-0.
- [6] Jürgen Valldorf Wolfgang Gessner: Advanced Microsystems for Automotive Applications 2003, Springer, 2003, ISBN 3-540-00597-8.
- [7] Firemná literatura koncernu Volkswagen.