

SENZORY III.

Ing. Imrich Andráš

KEMT FEI TUKE

2015

Snímanie lineárnej a uhlovej polohy

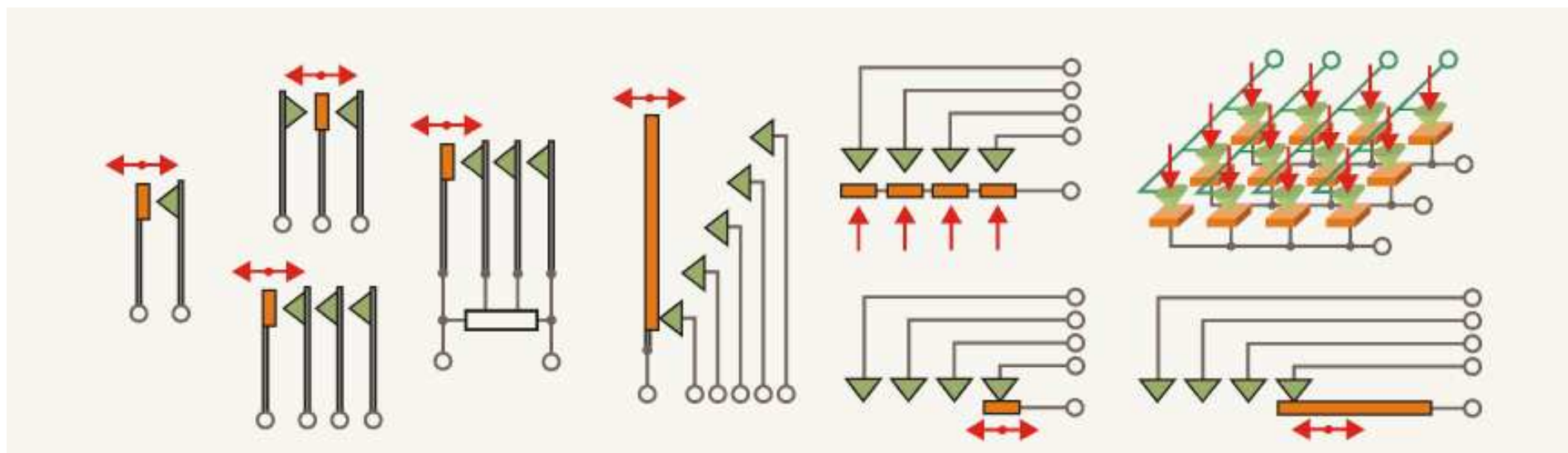
Snímače:

- odporové
- kapacitné
- indukčnosťné
- indukčné
- Hallove

1. Odporové snímače

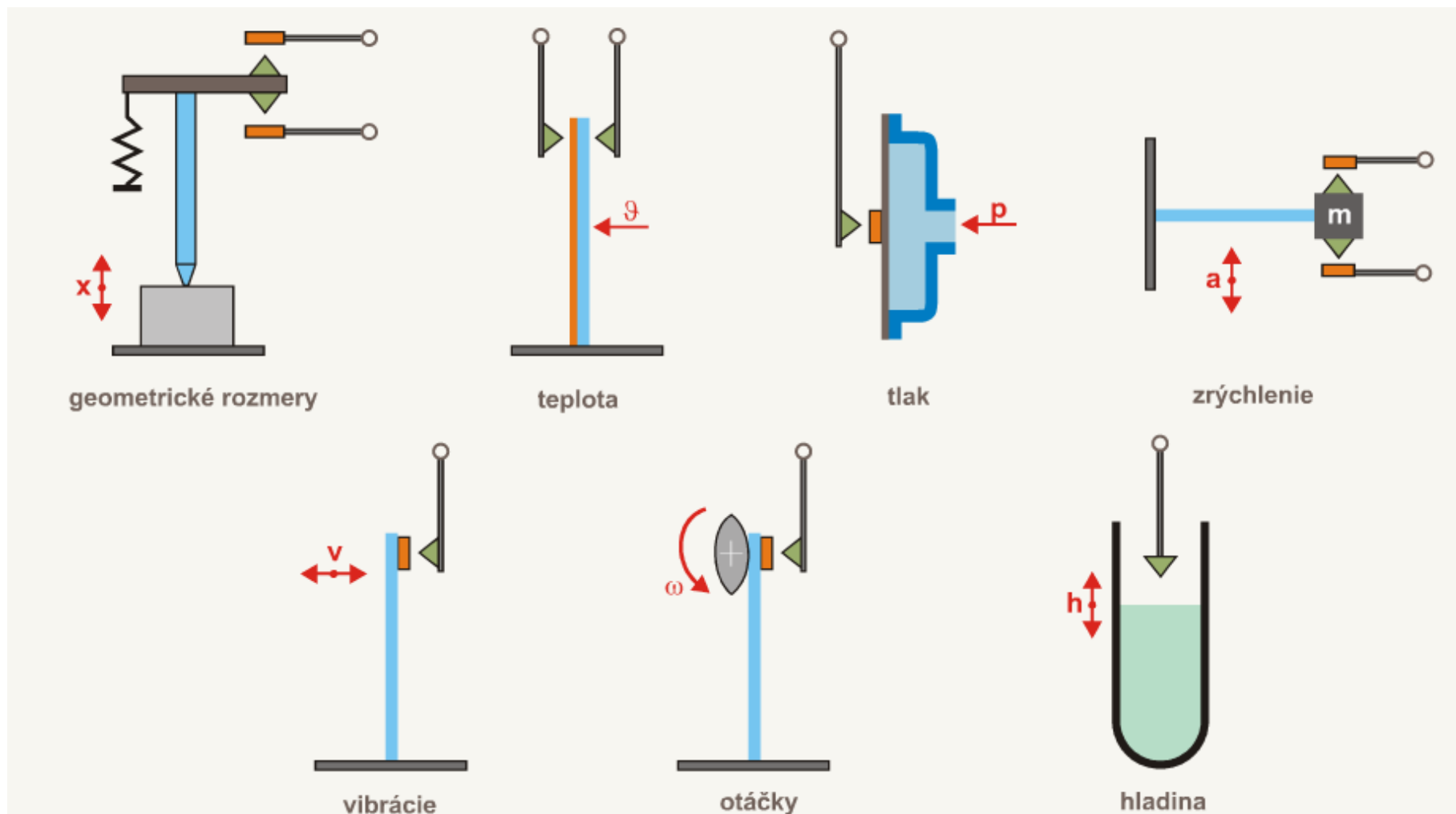
- Pasívne, zmena polohy resp. inej neelektrickej veličiny vyvolá zmenu elektrického odporu. Je nimi možné merať väčšinu neelektrických veličín.
- Diskrétny výstup – elektrokontaktové snímače
- Spojitý výstup:
 - meraná veličina nepôsobí na štruktúru odporového materiálu – reostatové a potenciometrické snímače
 - pôsobenie meranej veličiny na štruktúru odporového materiálu – termistory, tenzometre, fotorezistory, magnetorezistory, chemirezistory...

1.1 Elektrokontaktové snímače

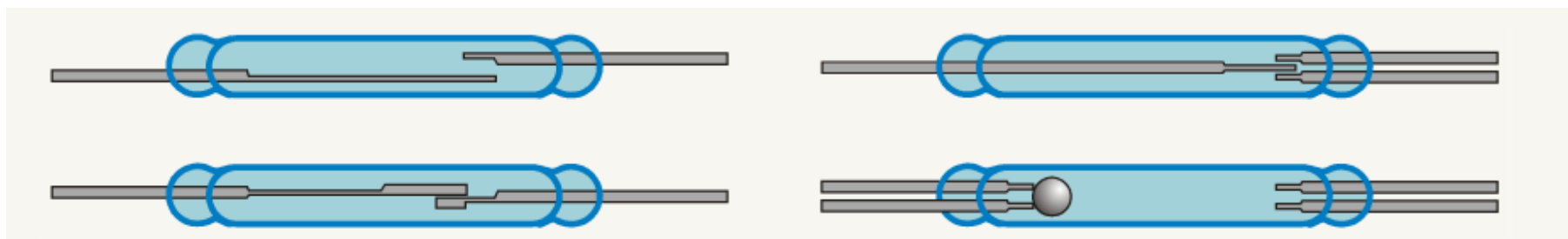


Meraná veličina môže ovládať kontakt priamo (meranie polohy), alebo nepriamo (transformácia inej veličiny na zmenu polohy). Kontakty bývajú vyrábané zo vzácnych kovov, životnosť typ. 10^6 zopnutí, pri zapuzdrení s inertným plynom až 10^8 zopnutí.

1.1 Elektrokontaktové snímače - použitie

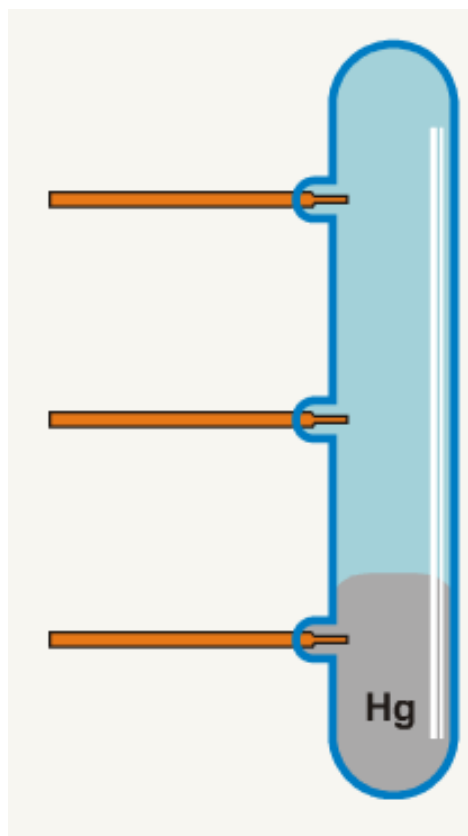


1.1 Elektrokontaktové snímače jazýčkové



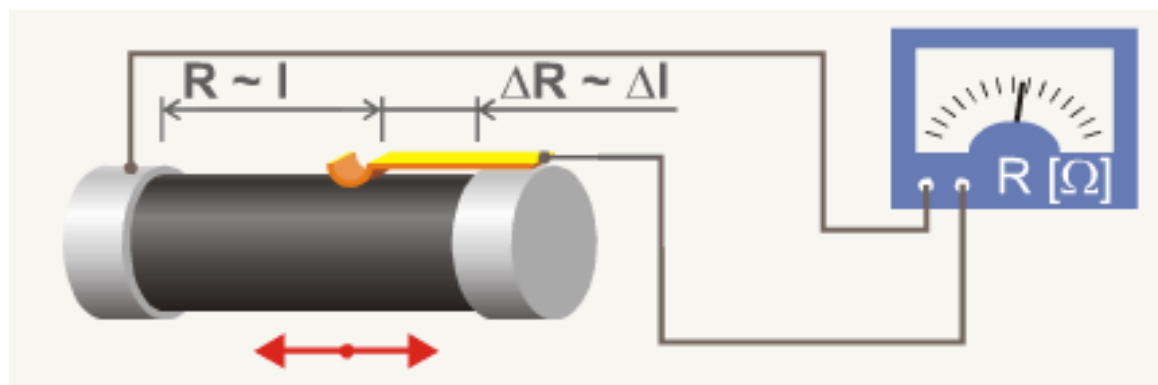
Jazýčkové spínače – pliešky z magneticky mäkkého materiálu uzavreté v sklenej trubičke naplnenej inertným plynom. Pôsobením mag. poľa sa pliešky priťahujú a dochádza k zopnutiu kontaktu.

1.1 Elektrokontaktové snímače ortuťové



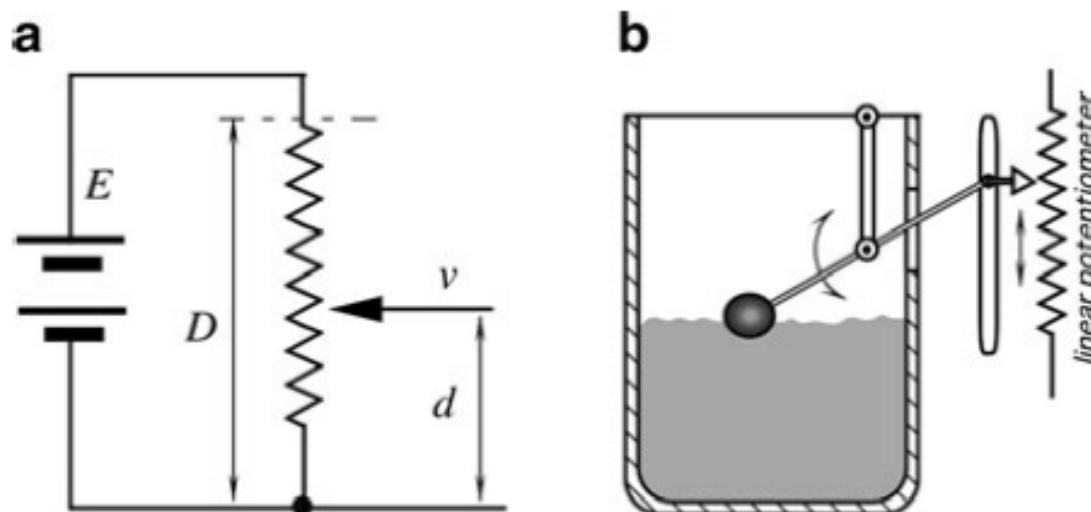
Spínače s kvapalinovým kontaktom (Hg) – snímanie teploty, náklonu.

1.2 Reostatový snímač



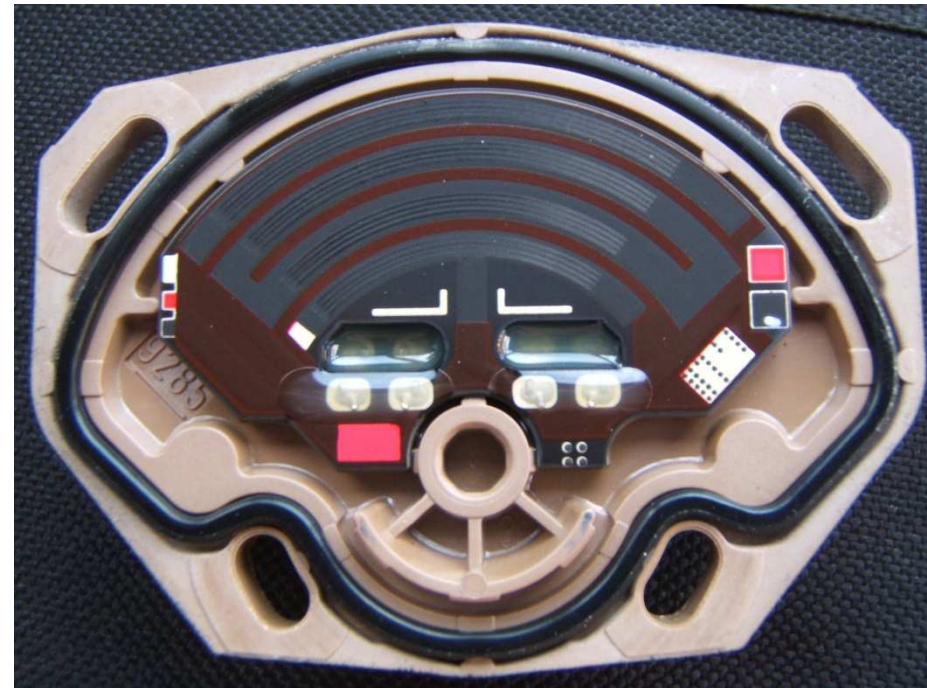
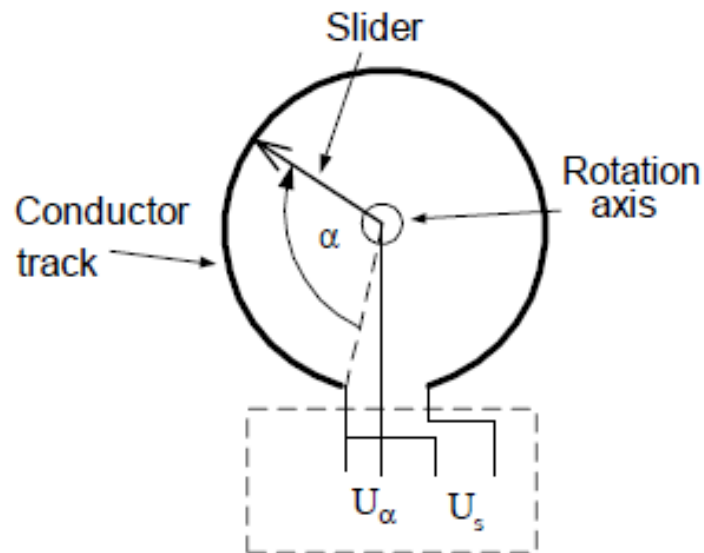
Posunom bežca sa mení dĺžka účinnej odporovej dráhy. Zmena odporu je úmerná zmene polohy, pri napájaní prúdovým zdrojom lineárna závislosť výstupného napätia od polohy.

1.2 Potenciometrický snímač



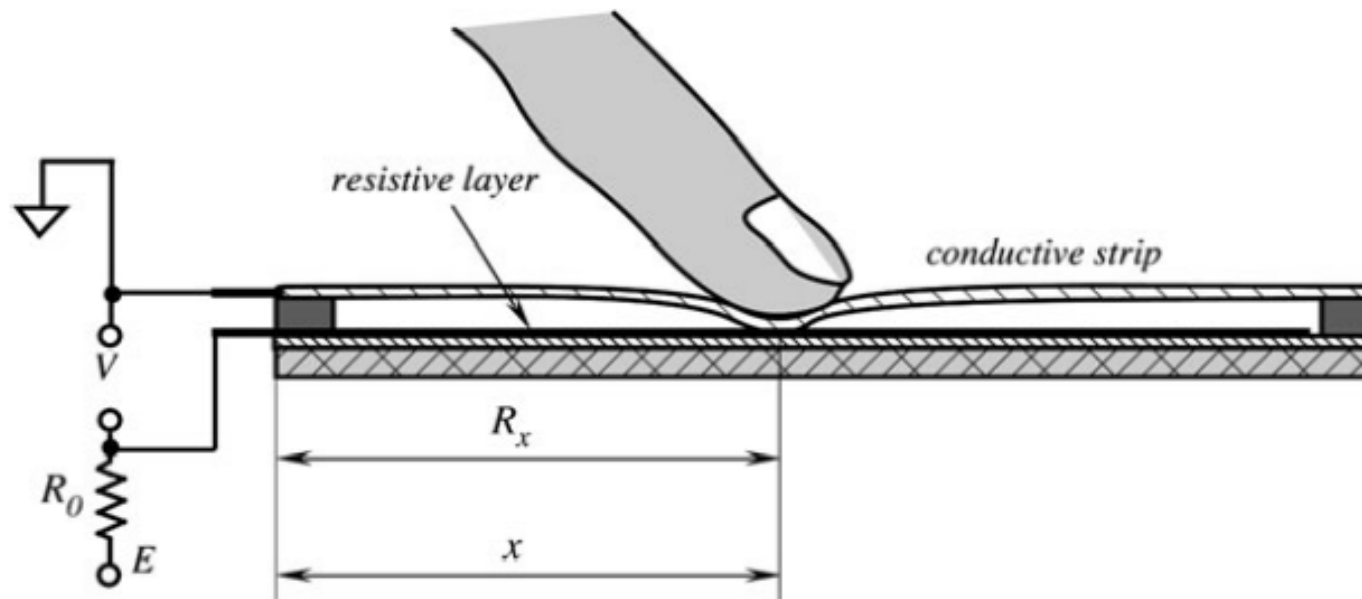
Posunom bežca sa mení výstupné napätie odporového deliča, napätie je priamo úmerné zmene polohy. Príklad – meranie výšky hladiny.

1.2 Potenciometrický snímač uhlovej polohy



Typická aplikácia – poloha škrtiacej klapky. Snímač môže byť potenciometrický aj reostatový.

1.2 Potenciometrický snímač - dotykový

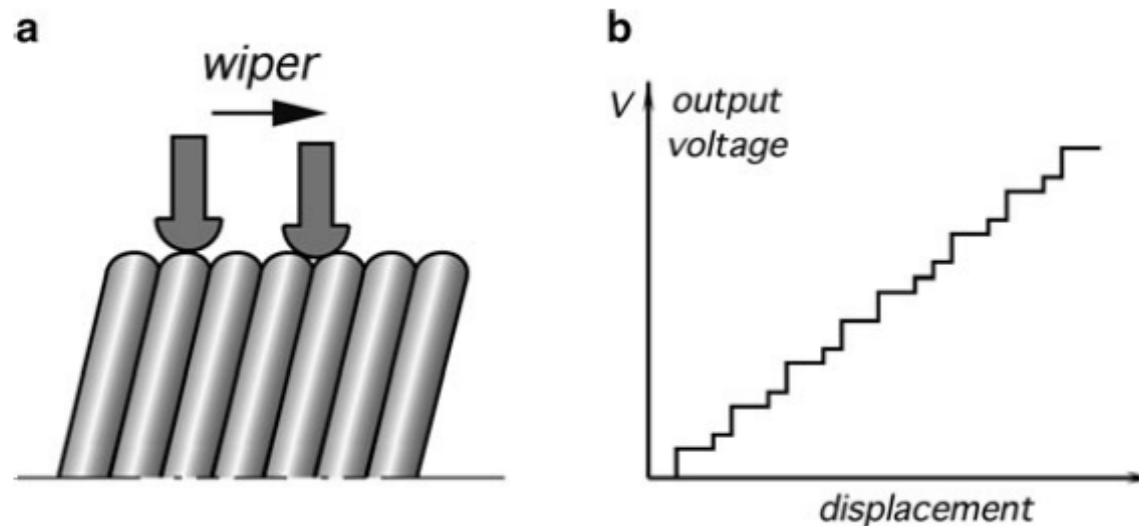


- Pôsobením vonkajšieho tlaku dôjde ku kontaktu odporovej vrstvy a vodivej fólie, výstupné napätie je pritom závislé od miesta kontaktu.

1.2 Reostatové a potenciometrické snímače – odporová dráha

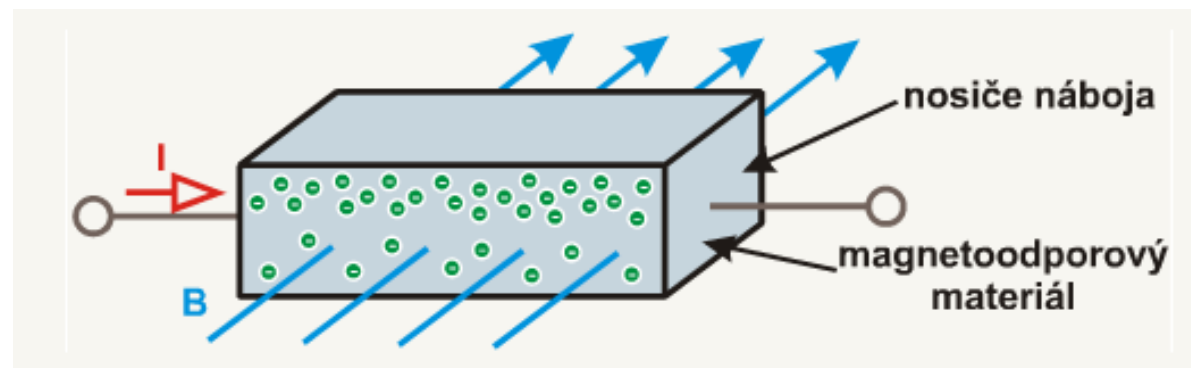
Bežne používané dva druhy:

- Hrubovrstvové (uhlík) – lacné, veľký rozsah merných odporov
- Drôtové – väčšie výkonové zaťaženie, odolnosť voči opotrebeniu, chemická odolnosť, lepšia linearita, avšak schodovitý výstup

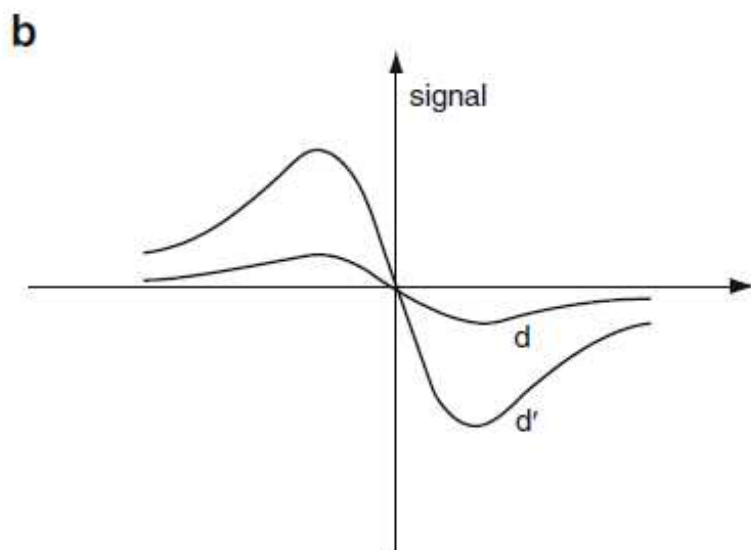
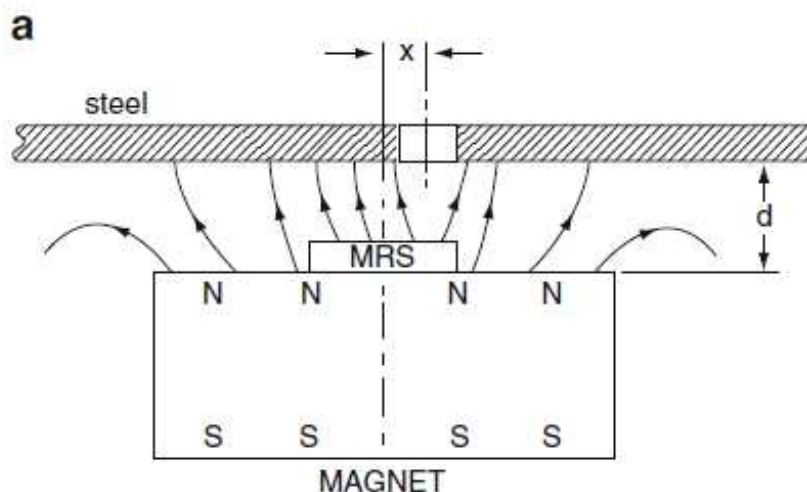


1.3 Magnetorezistor

- Ak na vzorku ktorou preteká elektrický prúd pôsobí kolmo magnetické pole, dochádza vplyvom Lorentzovej sily k vychýleniu voľných nosičov náboja, čo má za následok vznik priečného elektrického poľa. Stáčanie prúdových siločiar sa prejaví zmenou elektrického odporu.

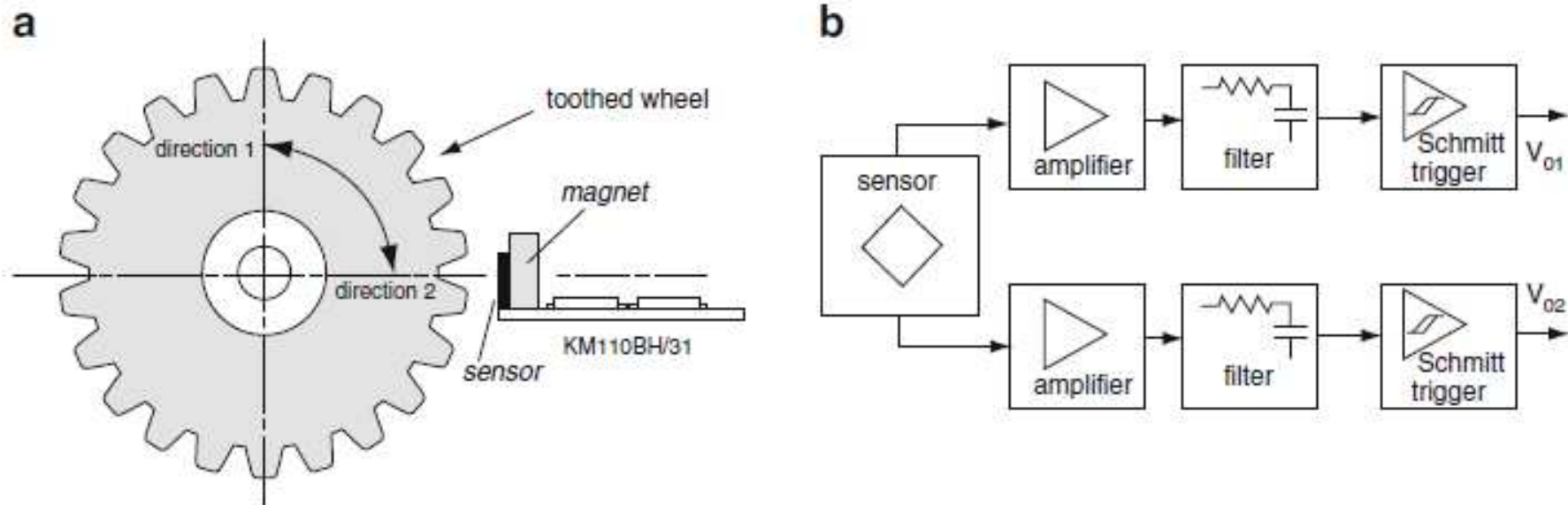


1.3 Magnetorezistívny snímač polohy



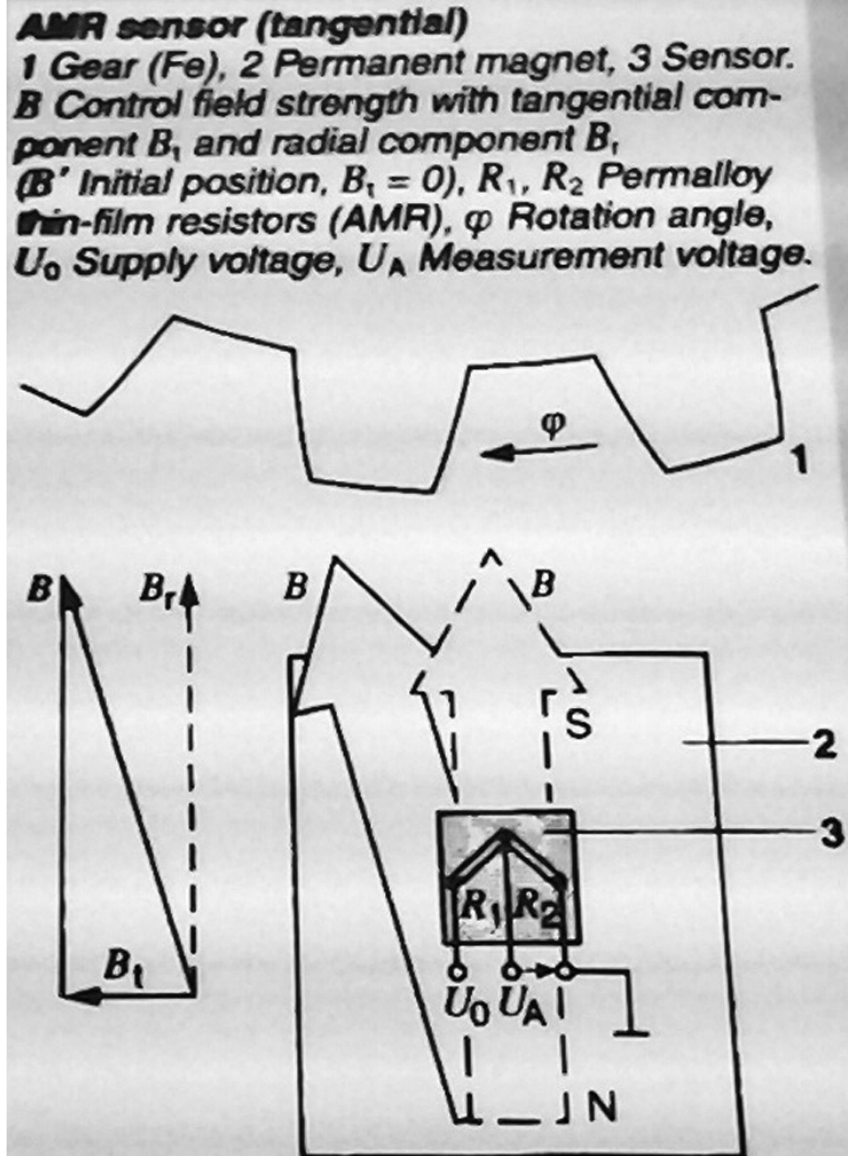
Magnetorezistor je citlivý na malé zmeny indukcie. Štrbina deformuje inak homogénne magnetické pole medzi magnetom a posúvaným feromagnetickým pásom. Ohyb siločiar spôsobuje zmenu odporu.

1.3 Magnetorezistívny snímač otáčok



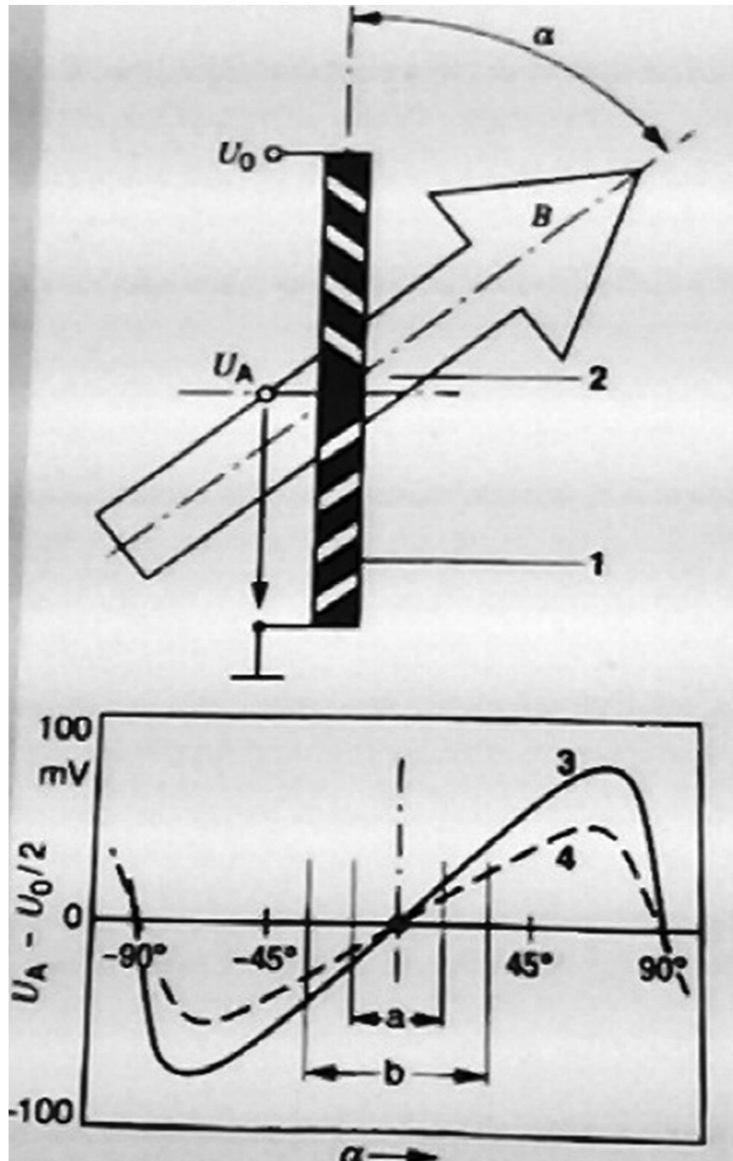
Magnetické pole permanentného magnetu je ovplyvňované polohou feromagnetického kolesa (magnet – zub alebo magnet - zárez). Zmeny indukcie vyvolávajú zmeny odporu magnetorezistora.

1.3 Magnetorezistívny snímač uhlovej polohy



Zmena odporu magnetorezistora je závislá nielen od veľkosti indukcie, ale aj od jej smeru. Pre jednoznačné zmeranie uhla v rozsahu -90° až 90° sú dva magnetorezistory zapojené v polovičnom mostíku vzájomne pootočené o 90° , a pre zvýšenie citlivosti môže byť viacero magnetorezistorov rozmiestnených do „barber's pole“.

1.3 Magnetorezistívny snímač uhlovej polohy

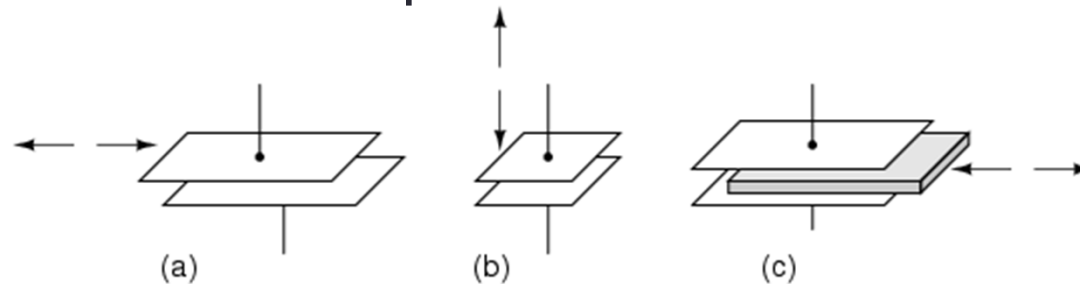


Zmena odporu magnetorezistora je závislá nielen od veľkosti indukcie, ale aj od jej smeru. Pre jednoznačné zmeranie uhla v rozsahu -90° až 90° sú dva magnetorezistory zapojené v polovičnom mostíku vzájomne pootočené o 90° , a pre zvýšenie citlivosti môže byť viacero magnetorezistorov rozmiestnených do „barber's pole“.

2 Kapacitné snímače

Tvorí dvoj- alebo viacelektrodový systém fungujúci na princípe kondenzátora. Pre kapacitu doskového kondenzátora vo všeobecnosti platí:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

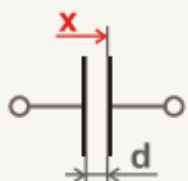


Kapacitu teda možno meniť zmenou aktívnej plochy elektród (a), zmenou vzdialenosti elektród (b) alebo zmenou dielektrika (c).

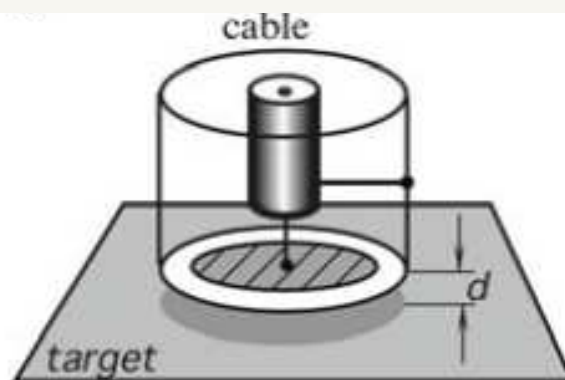
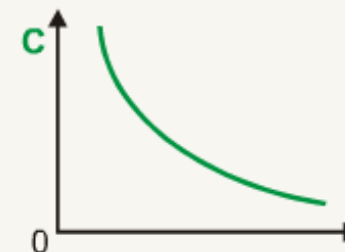
Kapacitné snímače sú často vyrábané MEMS technológiou (meranie tlaku, zrýchlenia, mikrofóny).

2.1 Kapacitný snímač s premenlivou medzerou

jednoduchý doskový kapacitný snímač s premenlivou medzerou

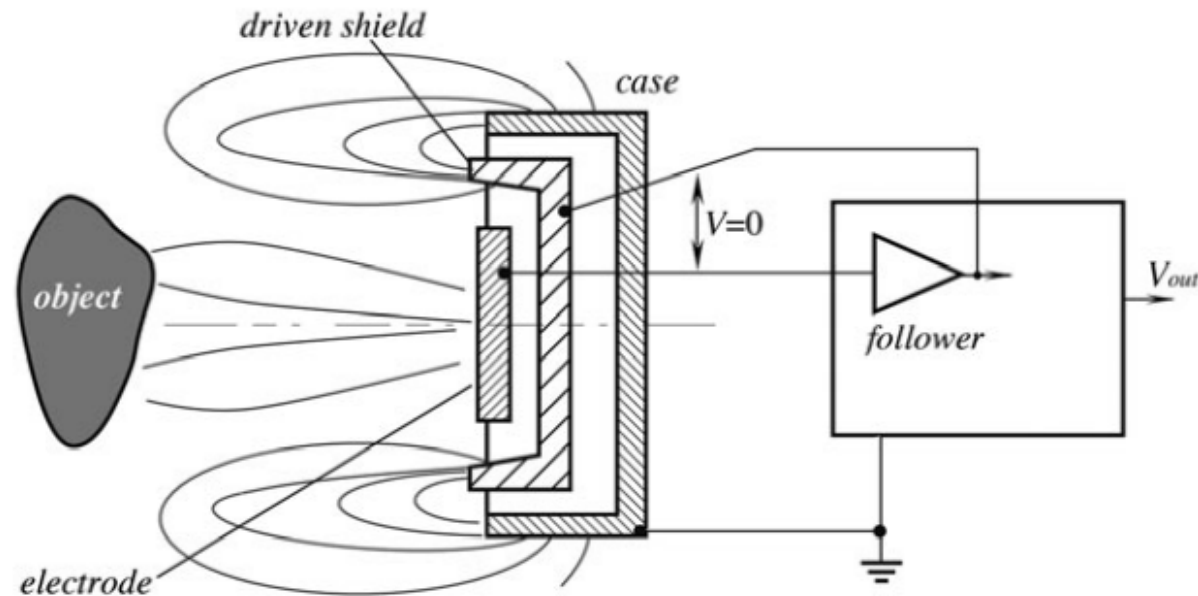


$$C = \varepsilon \frac{S}{d(x)} \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \cong -\frac{S}{d(x)} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$$



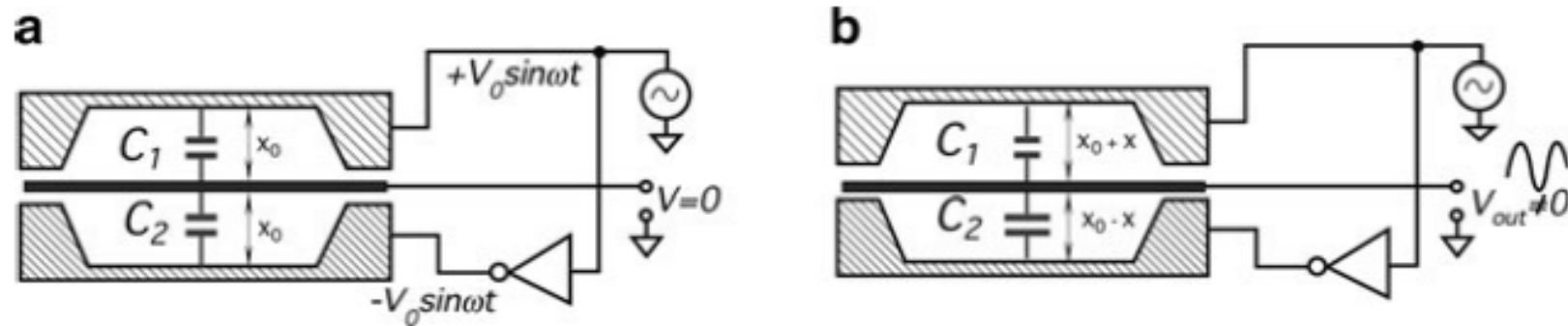
- Kapacitná sonda – obsahuje iba jednu elektródu, druhá je tvorená detekovaným objektom.

2.1 Kapacitný snímač – aktívne tienenie



Problém u kapacitných snímačov – veľmi malé kapacity v porovnaní s parazitnými (tinenie), a pritom náchylnosť k rušeniu (nutné tieniť). Riešenie – aktívne tienenie, medzi činnou elektródou a tienením je nulové elektrické pole.

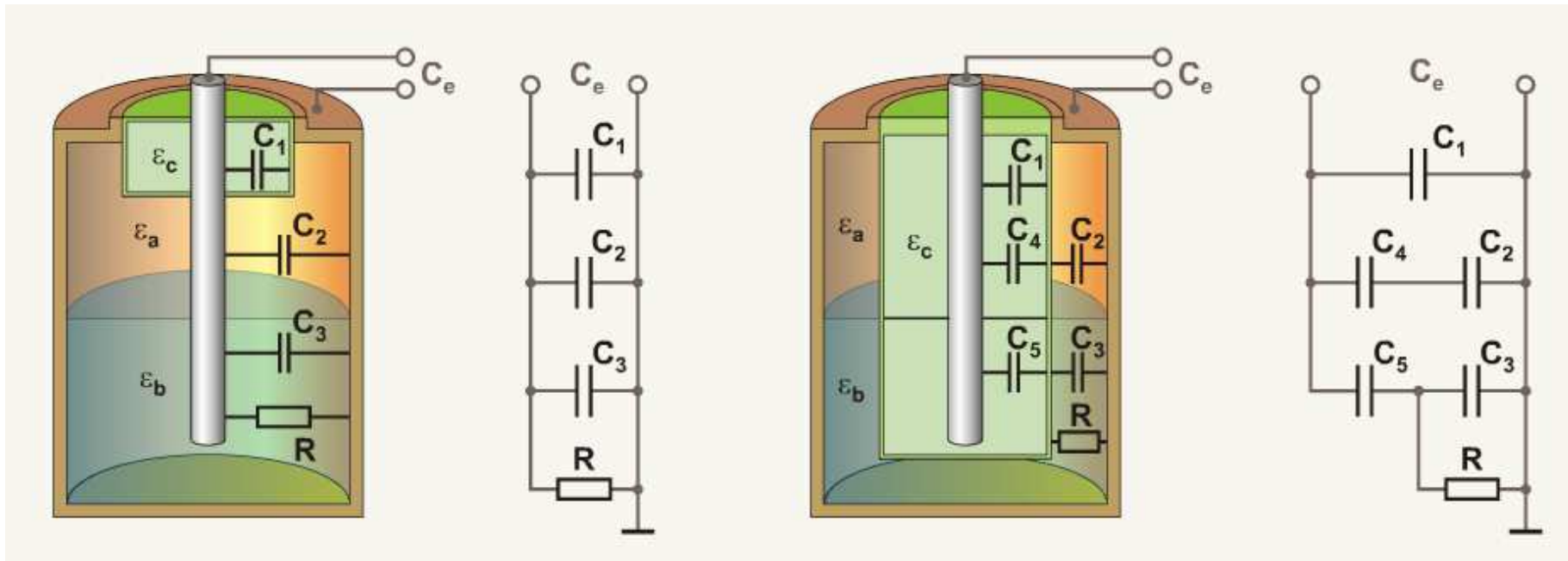
2.1 Kapacitný snímač s premenlivou medzerou – diferenčné usporiadanie



Pohyblivá prostredná doska tvorí s okrajovými pevnými doskami dva kondenzátory – kapacitný delič. Je možné merať kladnú i zápornú výchylku, pri malých zmenách dobrá linearita.

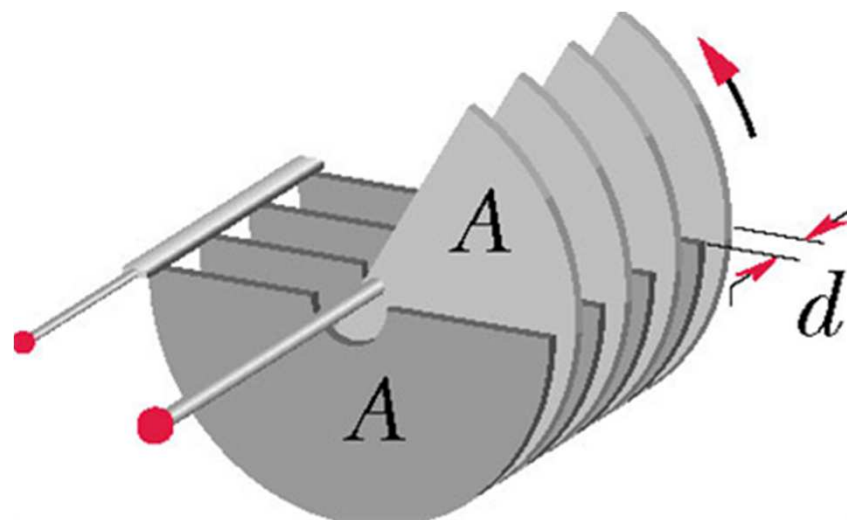
$$V_{out} = V_0 \left(-\frac{x}{x_0 + x} + \frac{\Delta C_0}{C_0} \right)$$

2.2 Kapacitný snímač s premenlivým dielektrikom

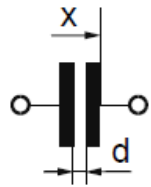
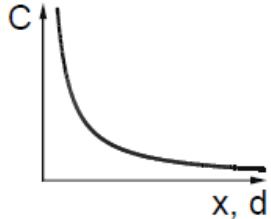
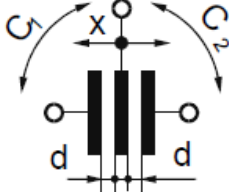
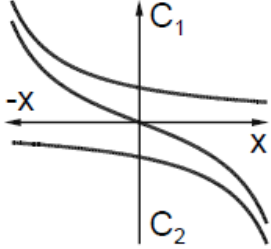
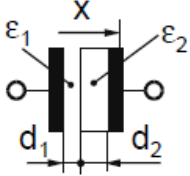
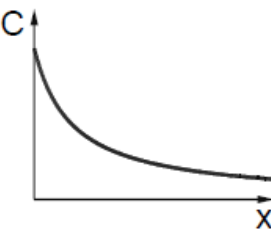
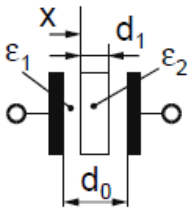
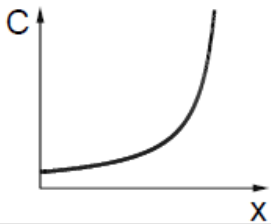
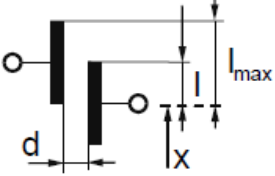
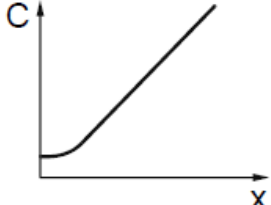


Kapacitný hladinomer, vľavo pre nevodivé materiály, vpravo pre vodivé – izolovaná tyčová elektróda.

2.3 Kapacitný snímač s premenlivou aktívnou plochou



Prevedenie pre meranie uhlovej polohy – v závislosti od uhla natočenia hriadeľa sa mení prekrytie elektród a tým ich účinná plocha.

Type of sensor	Schematic symbol	Mathematical description	Transfer characteristic
single plate sensor with variable airgap		$C = \varepsilon \frac{S}{d(x)}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$	
differential plate sensor with variable airgap		$C_1 = \varepsilon \frac{S}{d(x)};$ $C_2 = \varepsilon \frac{S}{d(x)};$ $\frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
plate sensor with dielectric layer and variable airgap		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1(x) + \frac{d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}};$ $N = \frac{\varepsilon_2 (d_1 + d_2)}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$ $\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{N - \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2}}$	
plate sensor with variable thickness of dielectric layer		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}$	
plate sensor with variable area of overlapping		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \doteq -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d}\right)$	

3. Indukčnosťné snímače

- Pasívne snímače, zmena polohy resp. inej neelektrickej veličiny vyvolá zmenu indukčnosti.
- Indukčnosť cievky je konštanta úmernosti medzi prúdom pretekajúcim vinutím a magnetickým tokom

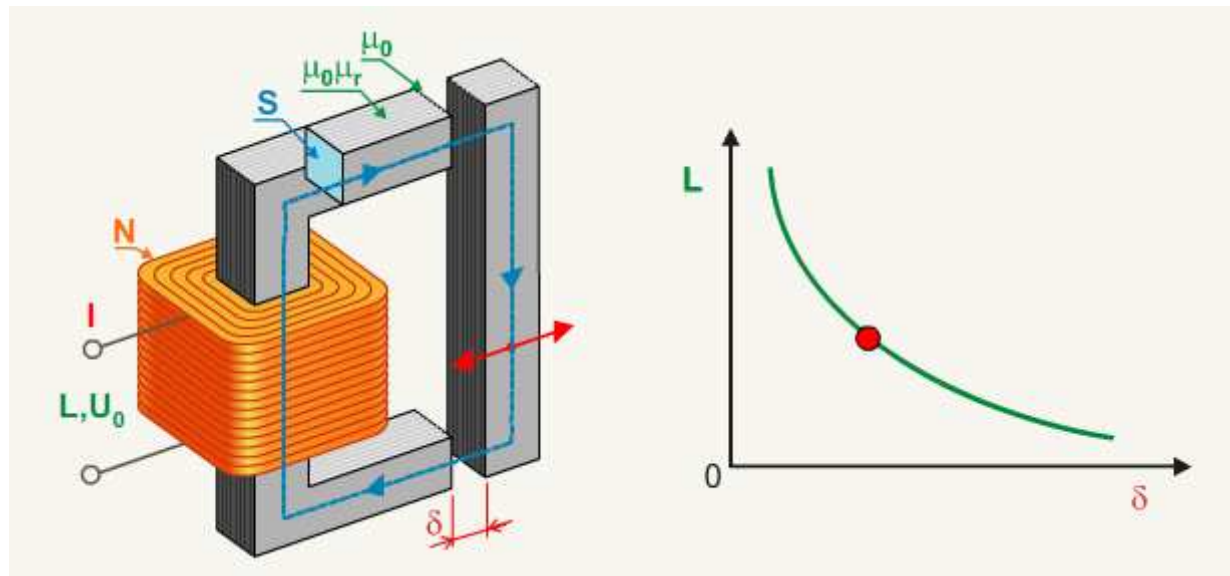
$$\Phi = LI$$

- Pre indukčnosť cievky s N závitmi platí

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

kde R_m je magnetický odpor (reluktancia).

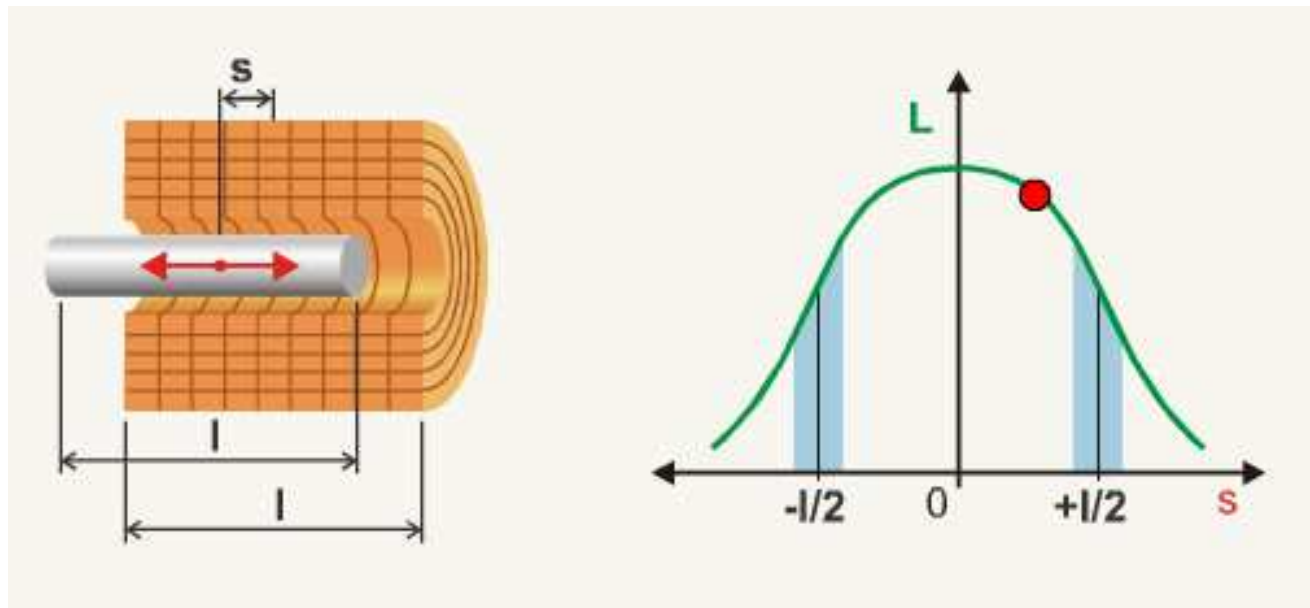
3.1 Indukčnosťný snímač so vzduchovou medzerou



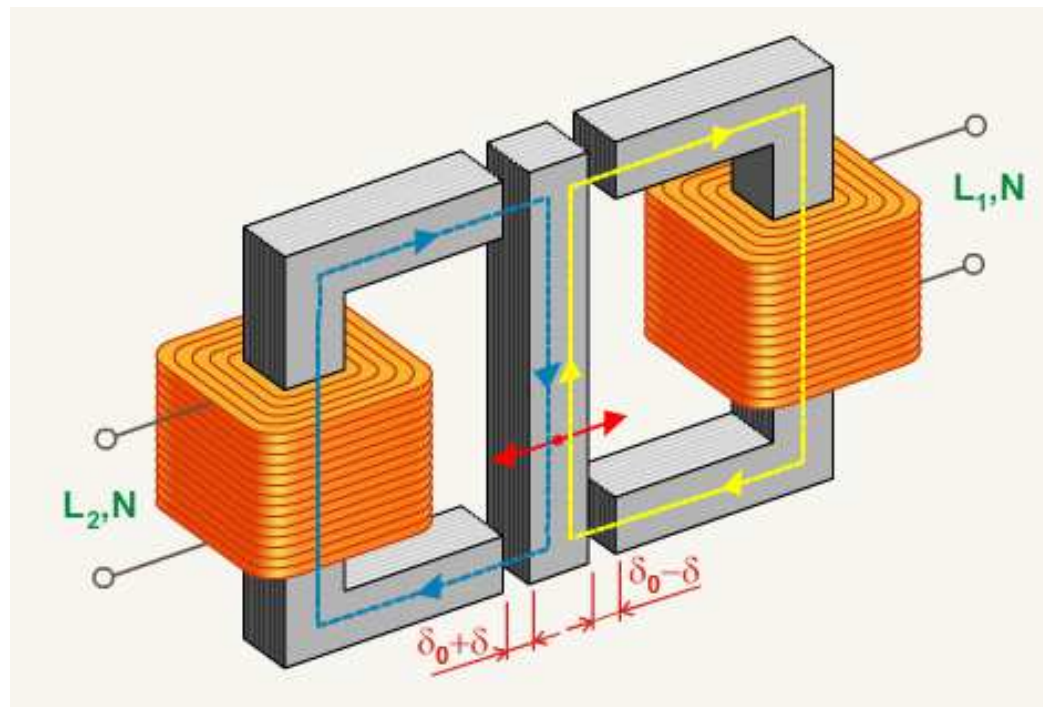
$$L = N^2/R_m = (\mu_0 \cdot S \cdot N^2)/(2 \cdot \delta)$$

(Charakteristika ako u kapacitného senzora s premenlivou medzerou a vloženým pevným dielektrikom – slide 24)

3.1 Indukčný snímač s otvoreným magnetickým obvodom

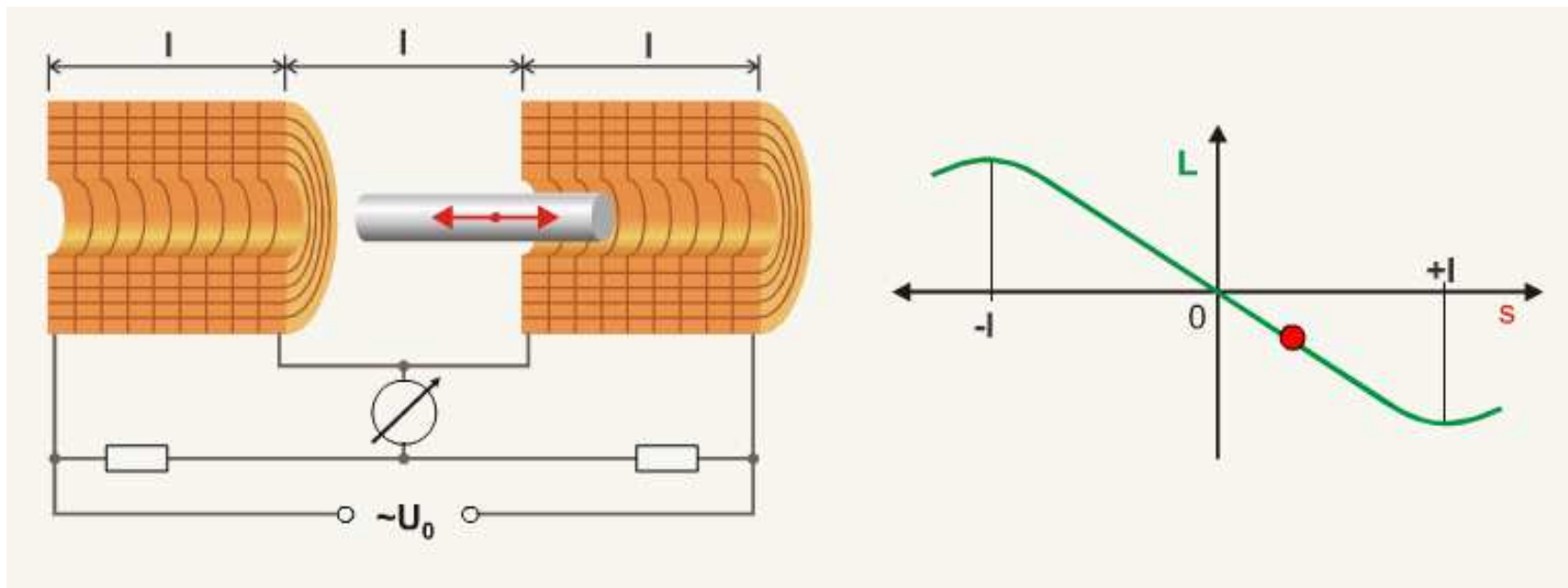


3.2 Diferenčný indukčný snímač so vzduchovou medzerou

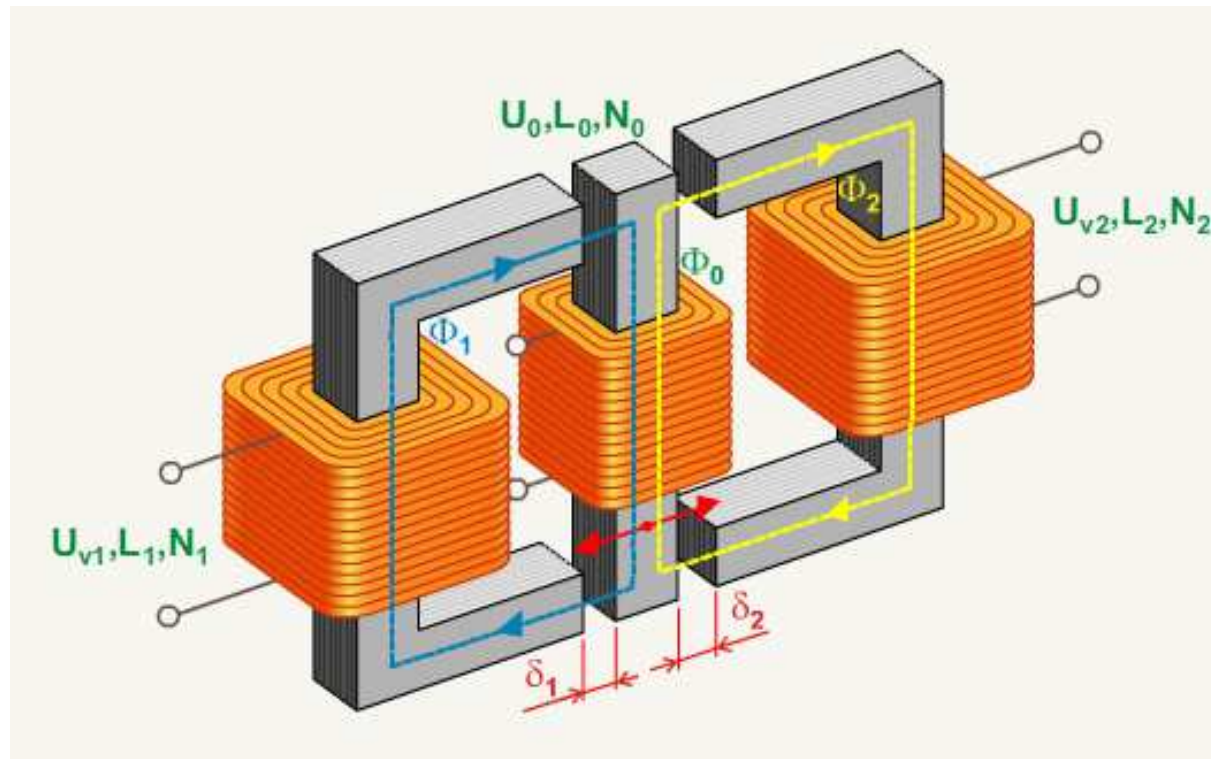


(Charakteristika ako u diferenčného kapacitného senzora s premenlivou medzerou– slide 24)

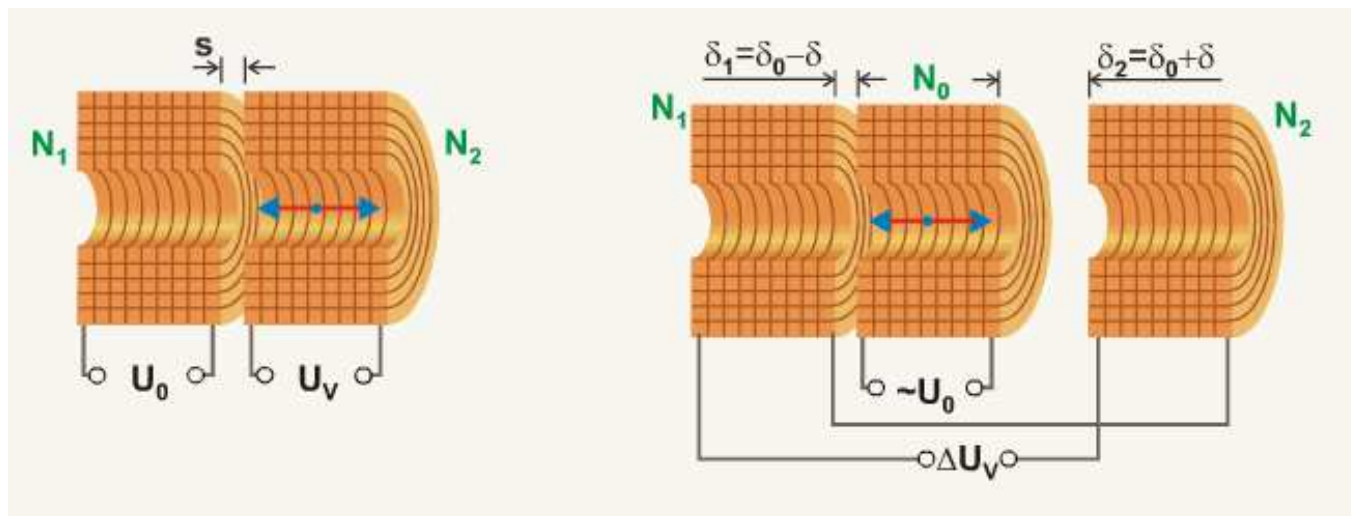
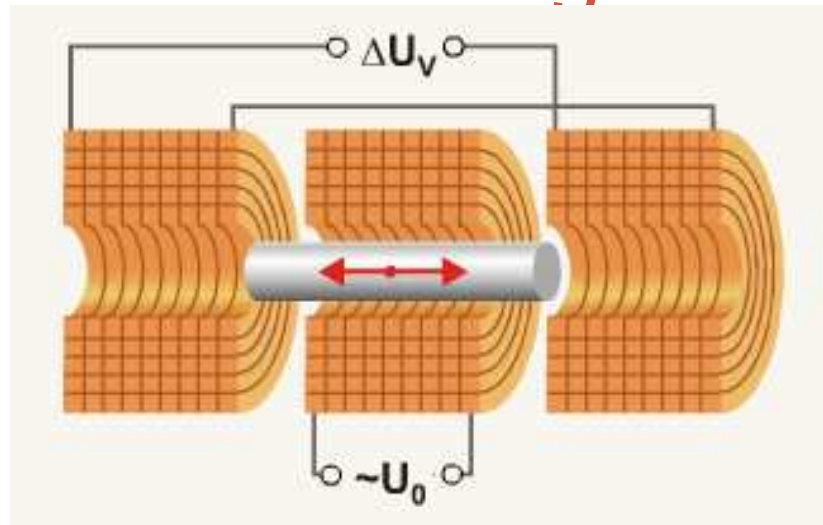
3.2 Diferenčný indukčnosťný snímač s otvoreným magnetickým obvodom



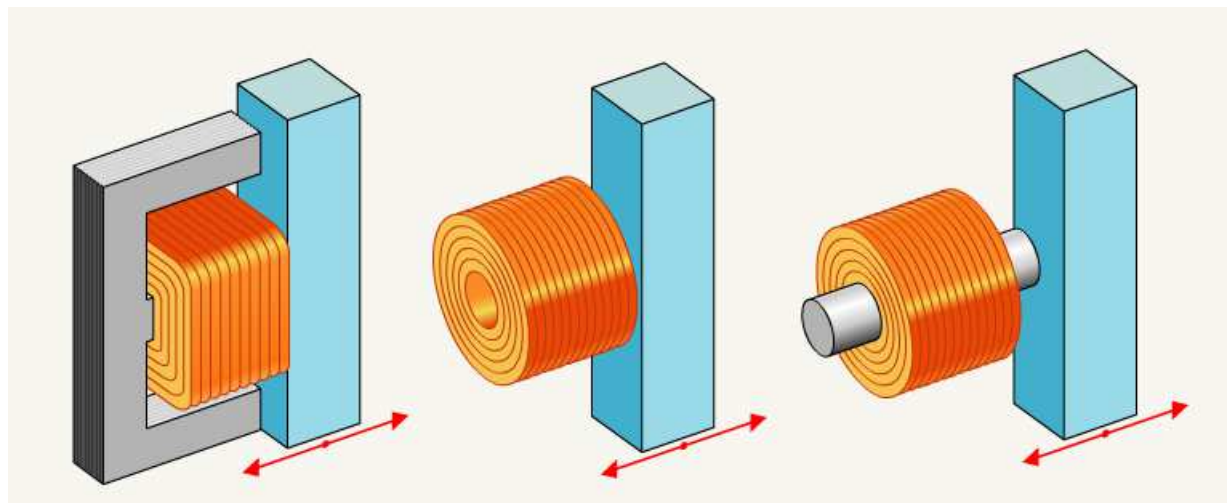
3.3 LVDT



3.3 LVDT s otvoreným magnetickým obvodom a bez feromagnetika



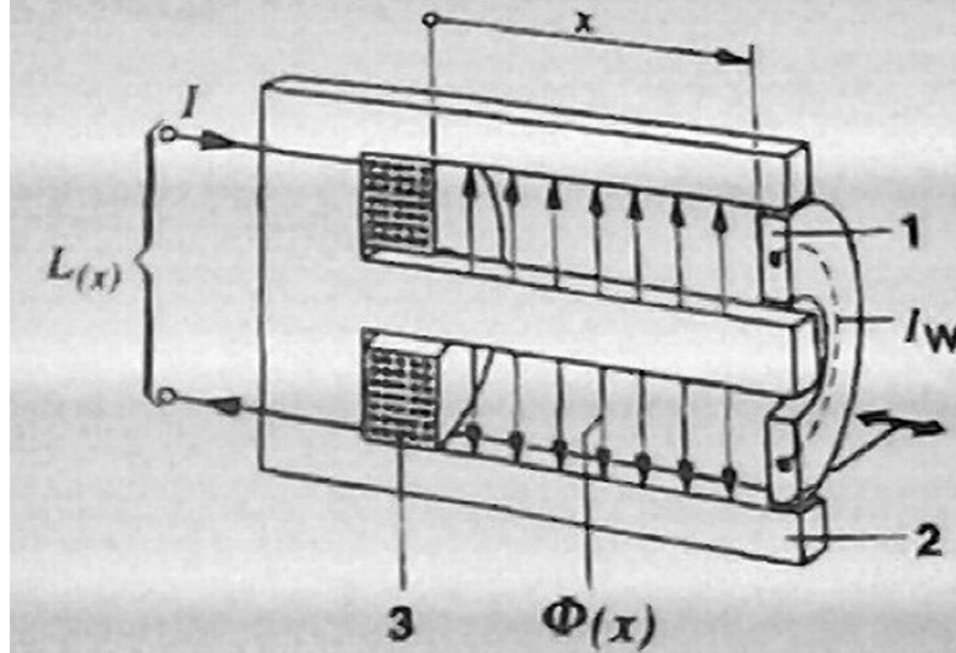
3.4 Indukčný snímač s potlačeným poľom



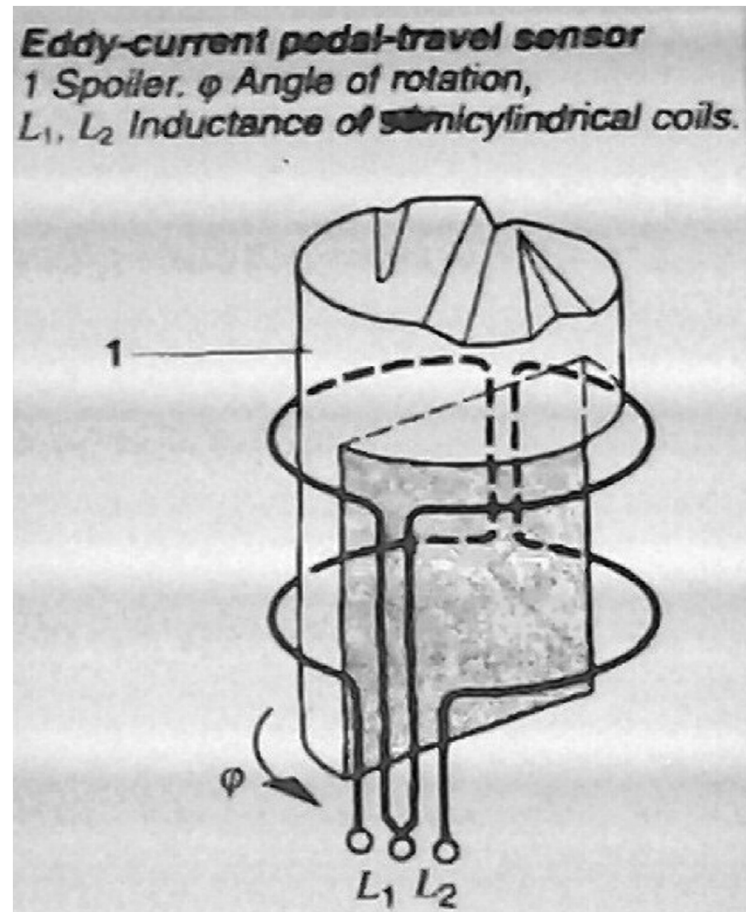
Pri zmene prúdu prechádzajúceho cievkou sa vytvára magnetické pole, ktoré vo vodivých predmetoch indukuje vírivé prúdy. Tie vytvárajú magnetické pole pôsobiace proti poľu, ktoré ich vyvolalo, čím dochádza k zníženiu intenzity magnetického poľa. Pri zmene napríklad vzdialenosti predmetu od cievky alebo hrúbky vodivej dosky, dochádza aj k zmene impedancie cievky.

3.4 Indukčný snímač s potlačeným pólom so skratovacím prstencom

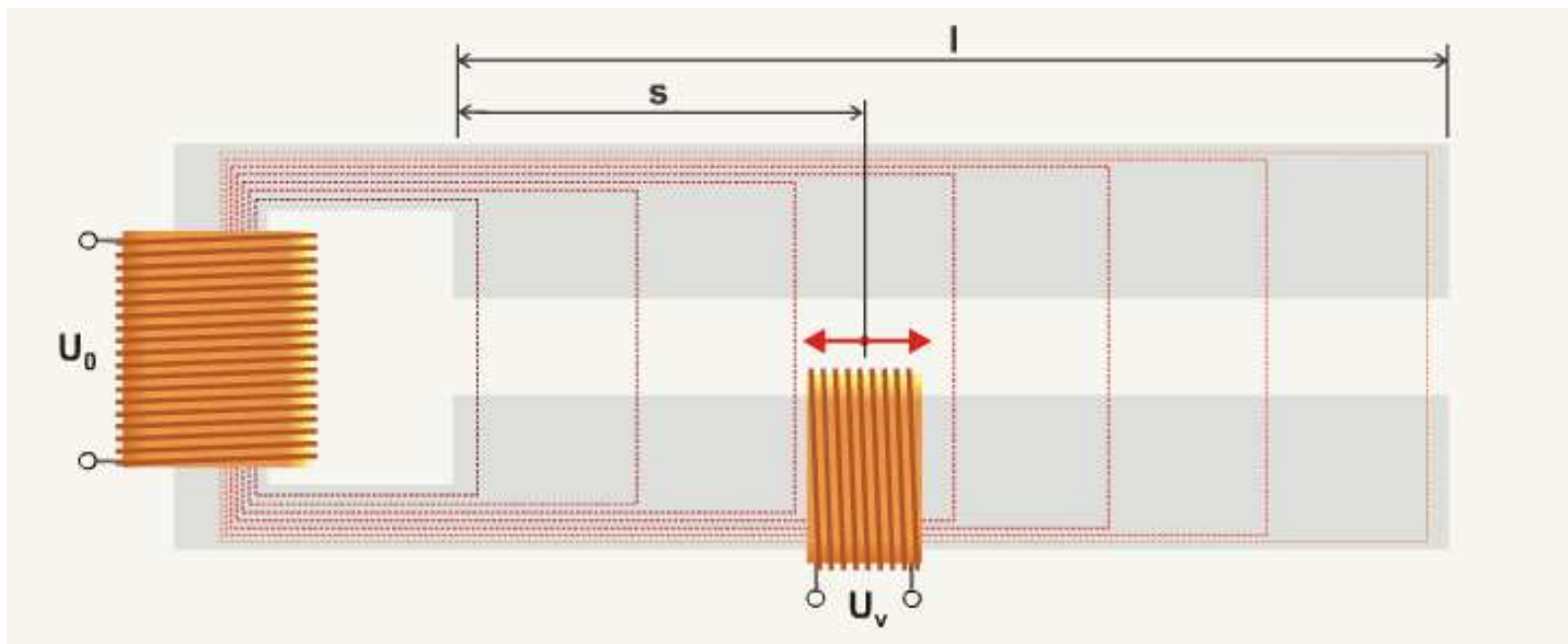
Short-circuiting ring sensor
1 Short-circuiting ring (movable), 2 Soft magnetic core, 3 Coil.
 I Current, I_w Eddy current, $L(x)$ Inductance and $\Phi(x)$ magnetic flux at travel x .



3.4 Diferenčný indukčnosťný snímač s potlačeným poľom



3.5 Indukčný snímač s pevným magnetickým obvodom a pohyblivou cievkou



Transformátorový princíp, vhodné na meranie veľkých posunutí.

$$U_v = kU_0(1 - s/l)$$

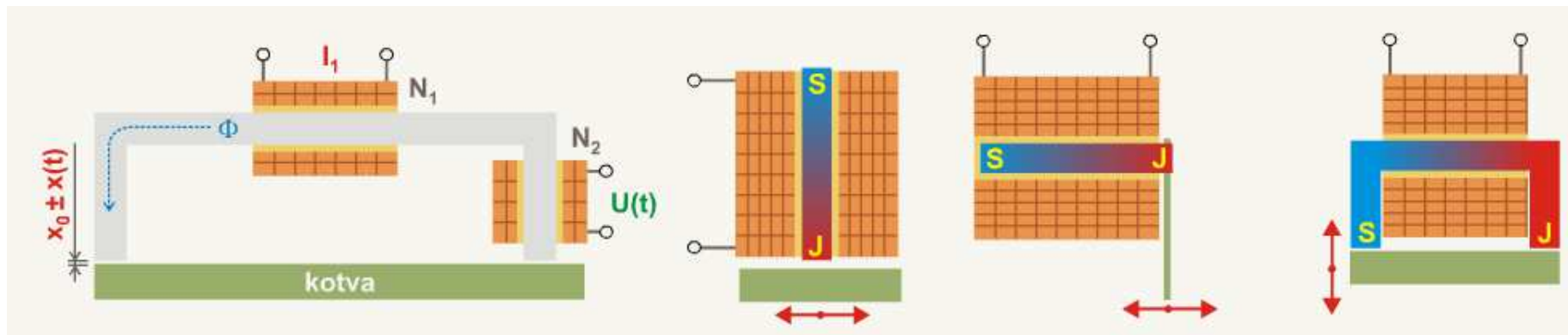
4 Indukčné snímače

- Na rozdiel od indukčnosťných snímačov sú indukčné snímače aktívne – energiu zmeny vstupnej veličiny (polohy) priamo premieňajú na energiu výstupného signálu.
- K činnosti využívajú Faradayov zákon – vznik indukovaného napätia v cievke, ktorá sa nachádza v premenlivom magnetickom poli:

$$u(t) = -N \cdot (d\Phi/dt)$$

- Magnetický tok môže byť vytvorený permanentným magnetom alebo elektromagnetom. U elektromagnetických snímačov meraná veličina mení magnetický tok, u elektrodynamických meraná veličina pohybuje vodičom v stacionárnom magnetickom poli.

4.1 Elektromagnetické snímače

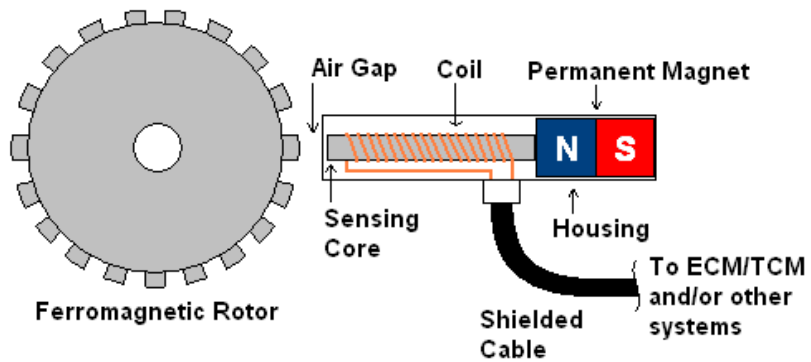


- Zmena magnetického toku je realizovaná zmenou magnetického odporu, napr. meraná veličina pohybuje kotvou, čím mení vzduchovú medzeru. Na výstupnej cievke sa indukuje napätie

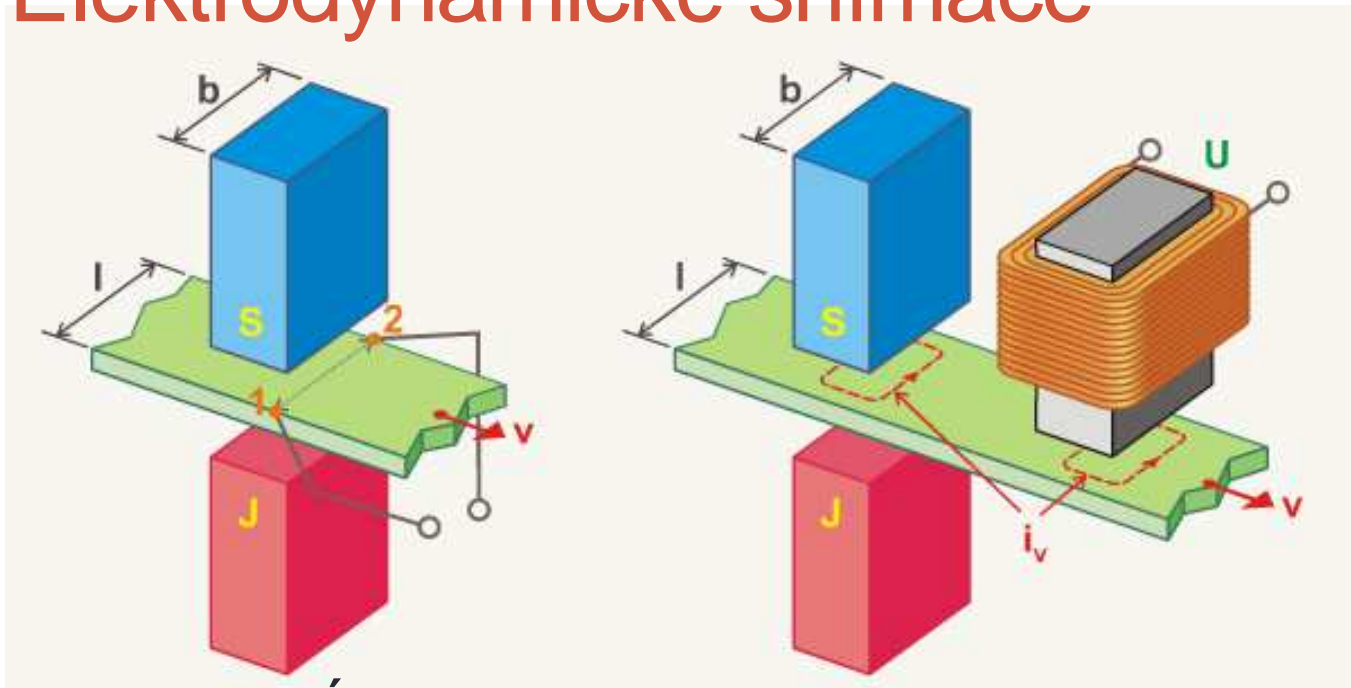
$$u(t) = [(2 \cdot N_1 \cdot I_1 \cdot N_2) / (\mu_0 \cdot S \cdot R_{m,0})] \cdot (dx/dt).$$

Výstupné napätie je úmerné rýchlosti pohybu dx/dt kotvy.

4.1 Elektromagnetický snímač otáčok pre ABS



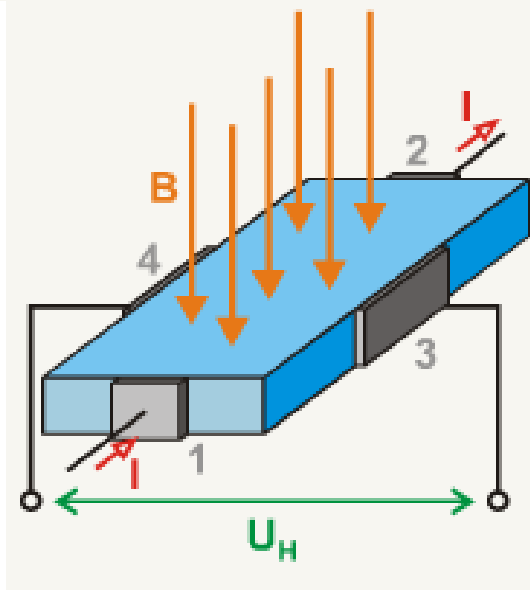
4.2 Elektrodynamické snímače



- Ak sa vodič s dĺžkou l pohybuje v magnetickom poli s indukciou B rýchlosťou v v smere kolmom na siločiaru, indukuje sa v ňom napätie $U=Blv$, ktoré je možno odoberať zberacími kontaktmi, alebo pomocnou cievkou. Typickým takýmto snímačom je elektrodynamický mikrofón.

5 Hallov senzor

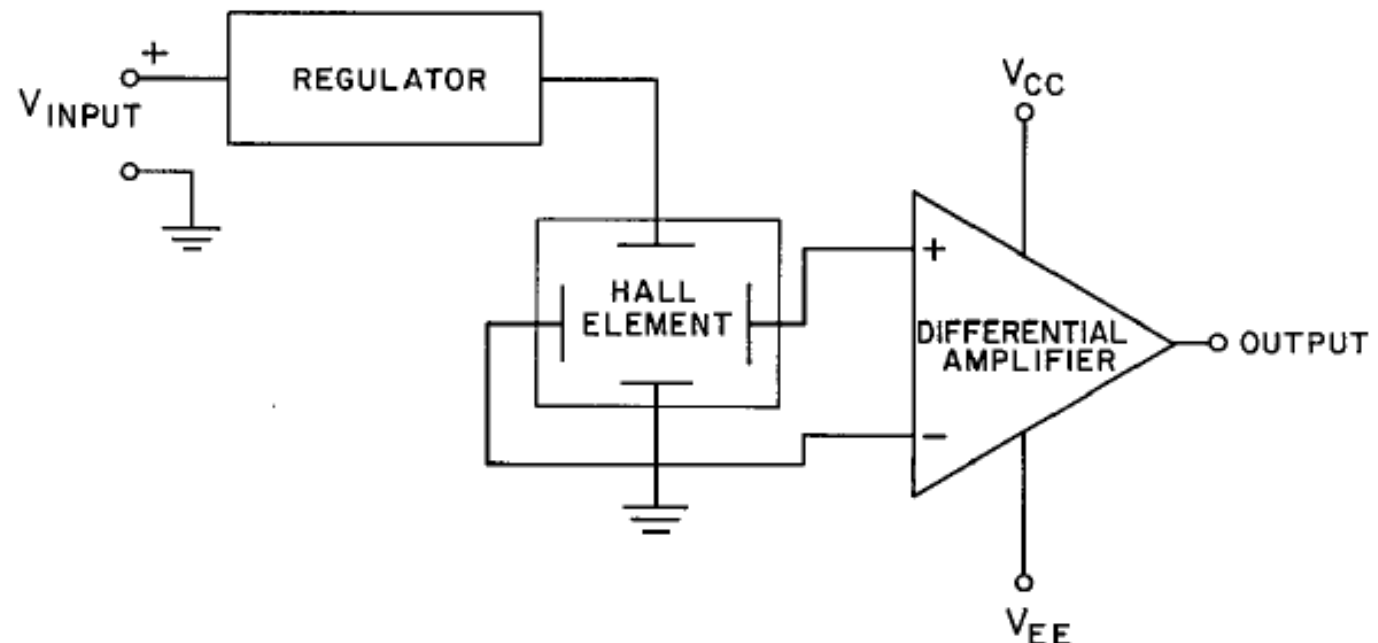
Ak na polovodičovú doštičku, ktorou prechádza v pozdĺžnom smere prúd I , kolmo pôsobí magnetické pole s indukciou B , pôsobením Lorentzovej sily dochádza k priečnemu vychýľovaniu pohybujúcich sa nosičov náboja. V priečnom smere tak vzniká gradient koncentrácie nosičov náboja, ktorý sa prejavuje ako Hallovo napätie U_H .



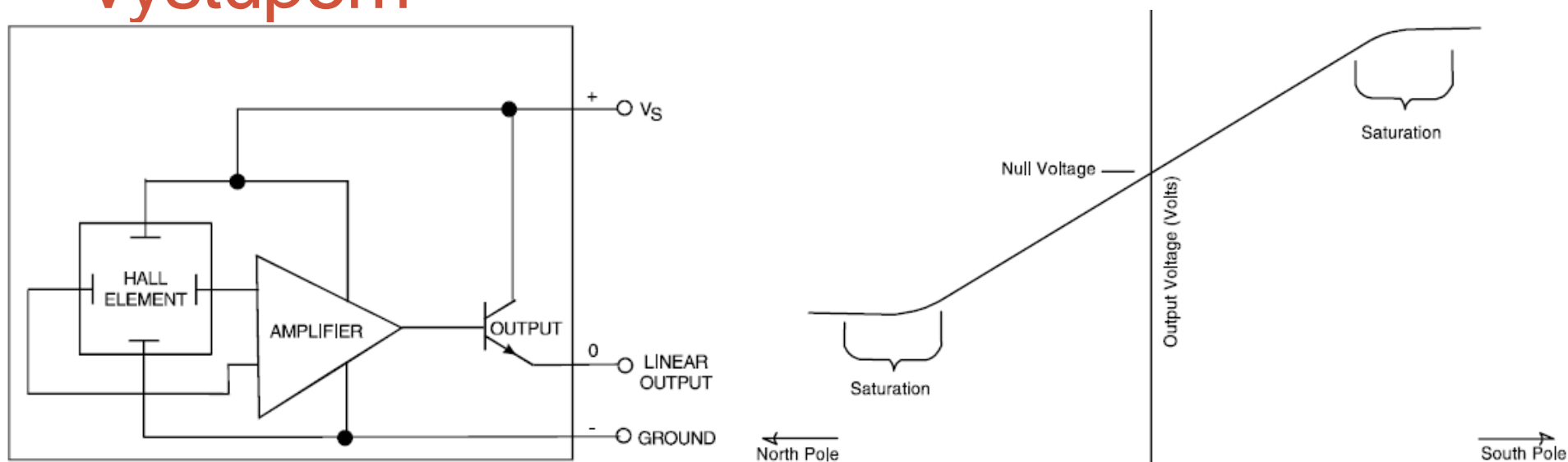
$$U_H = \frac{R_H}{d} \vec{I} \times \vec{B}$$

5 Hallov senzor

- Citlivosť je rádovo stovky $\mu\text{V}/\text{mT}$, nutný diferenčný zosilňovač.
- Hallov senzor je kompatibilný s CMOS technológiou – senzor aj obvody predspracovania signálu na jednom čipe.



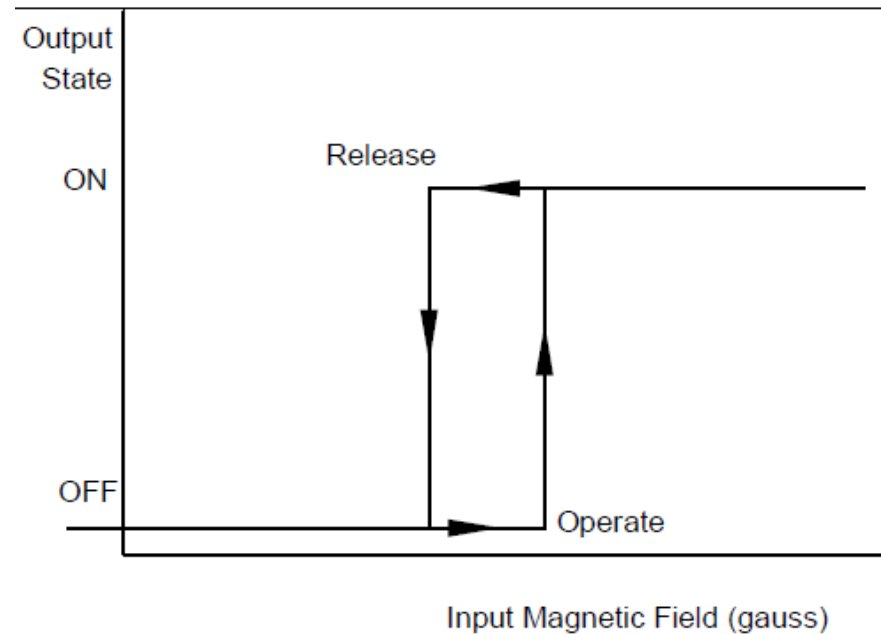
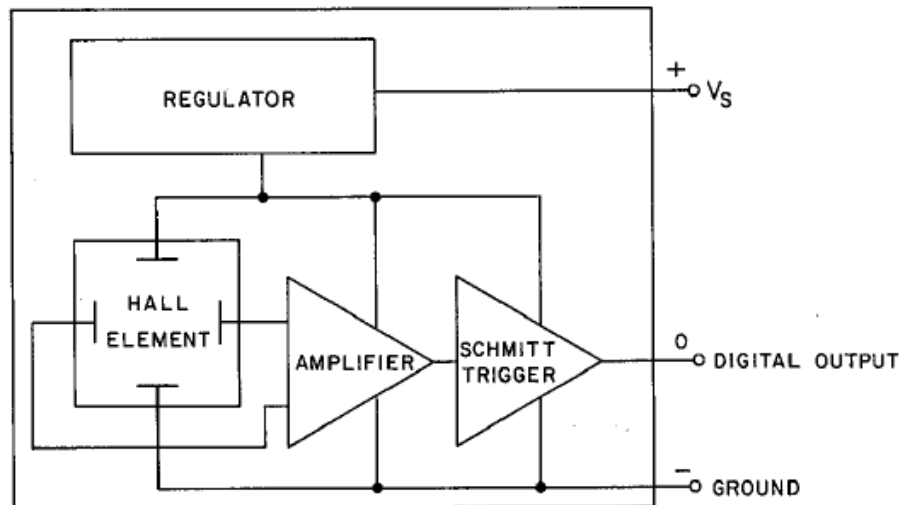
5.1 Hallov snímač s analógovým výstupom



Výstupné napätie je úmerné indukčii (jej zložke kolmej na senzor), kladné i záporné hodnoty – buď nutné symetrické napájanie, alebo nastavený offset.

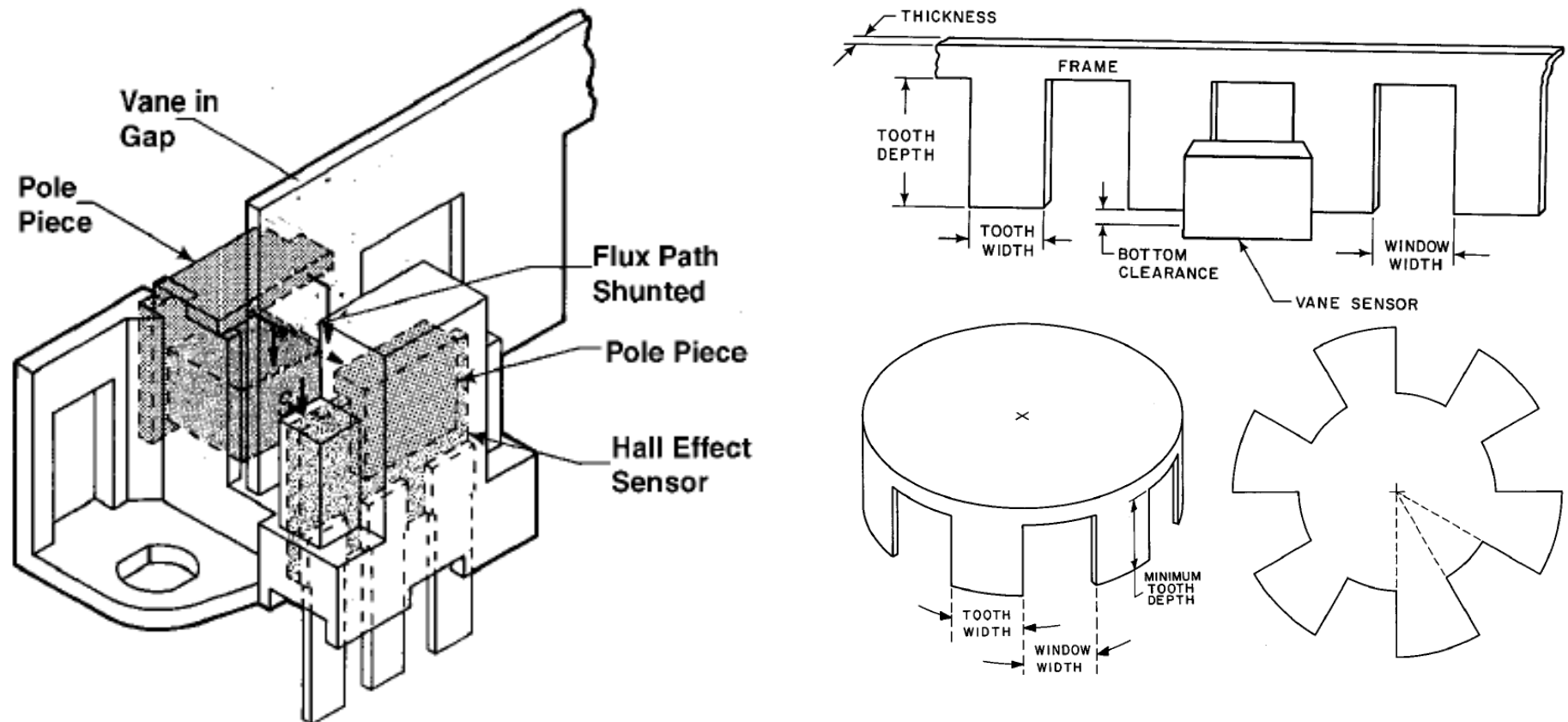
Veľké hodnoty indukcie sú merateľné samotným senzorom, avšak zosilňovač sa môže dostať do saturácie.

5.2 Hallov snímač s tvarovaným výstupom



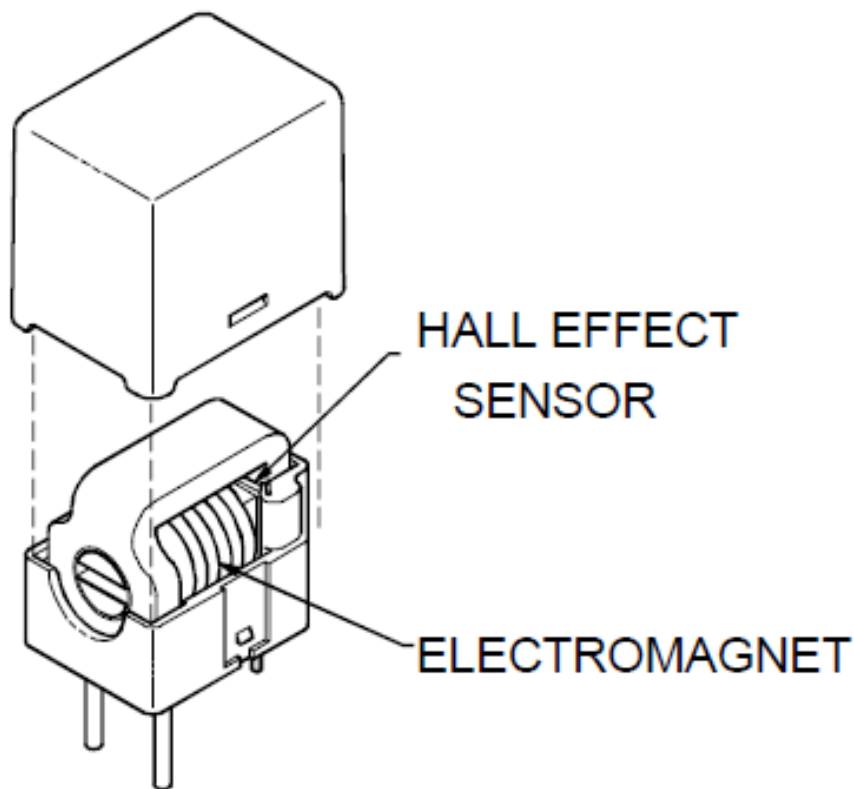
Má len dva stavy – L a H, analógový snímač doplnený o komparátor s prednastavenou referenciou a hysteréziou. Vhodné na snímanie otáčok, diskkrétne snímanie polohy a pod.

5.3 Hallov snímač - použitie



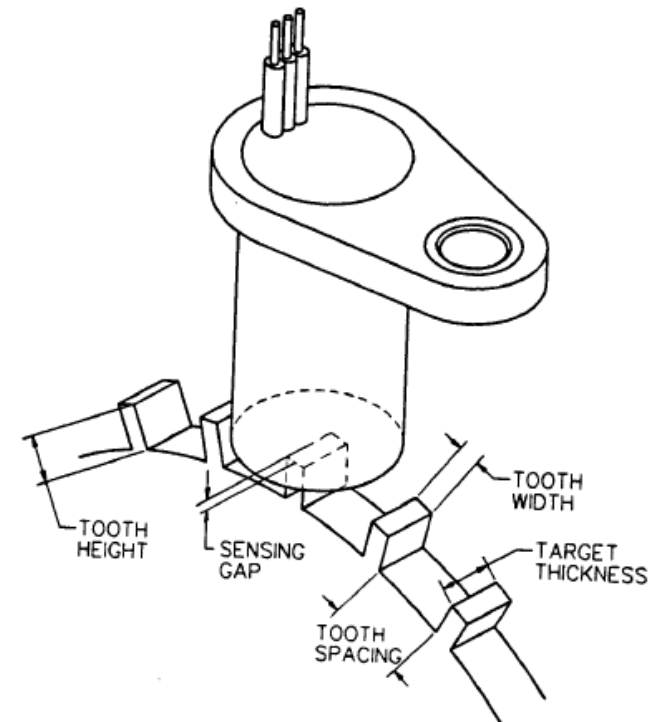
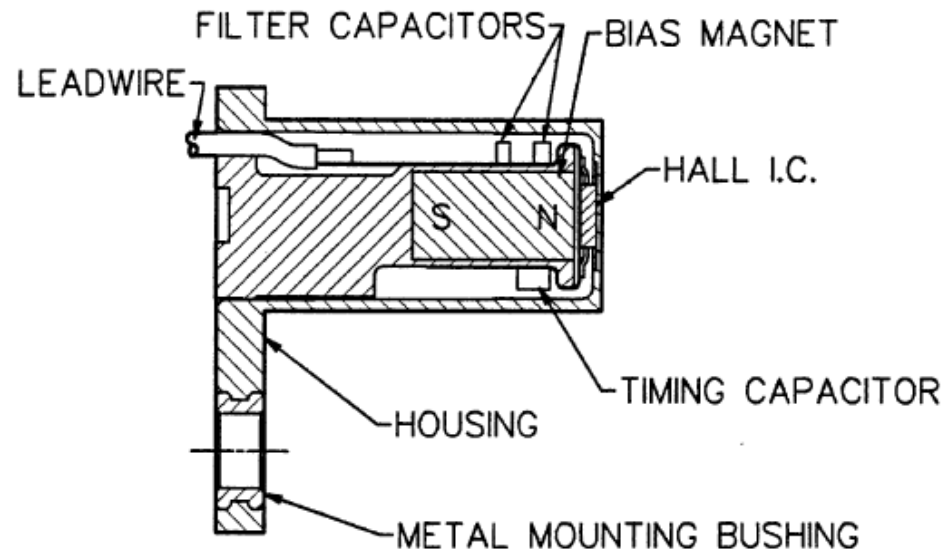
Lopatkový snímač – obyčajne s tvarovaným výstupom, meranie lineárnej a uhlovej rýchlosti.

5.3 Hallov snímač - použitie



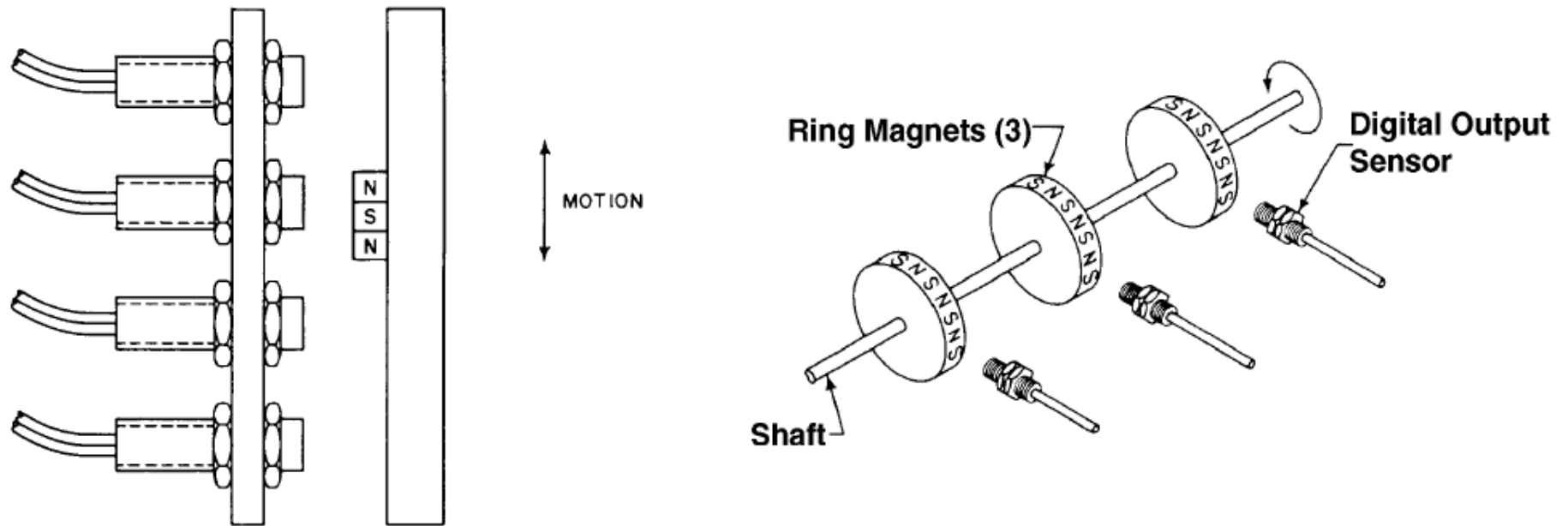
Snímanie prúdu – meraný prúd prechádza elektromagnetom, v medzere magnetického obvodu je Hallov senzor. Ak analógový výstup - možno merať veľké prúdy (aj striedavé), ak tvarovaný výstup – detekcia určitej úrovne (prúdového preťaženia)

5.3 Hallův snímač - použití



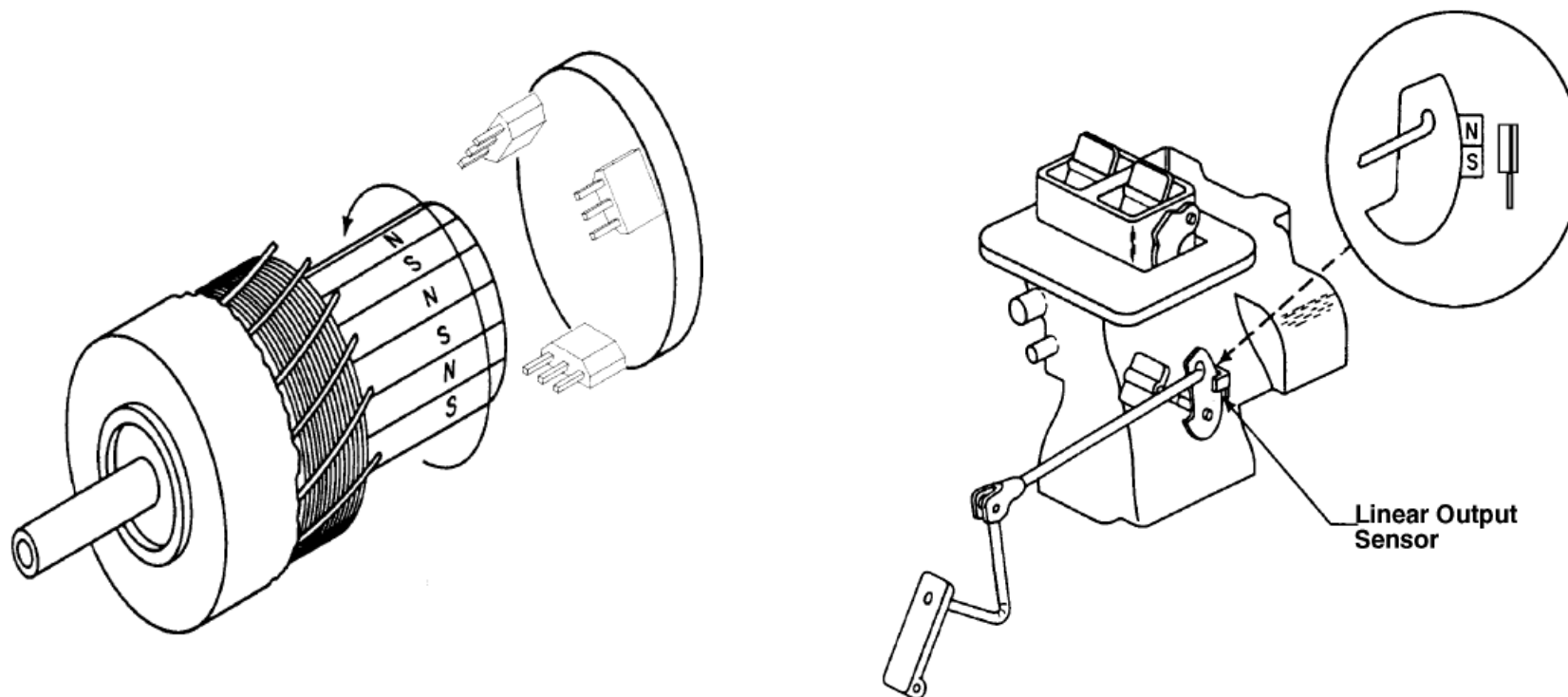
Snímač otáčok – náhrada elektromagnetického resp. indukčného snímača, výhodou je tvarovaný výstup.

5.3 Hallov snímač - použitie



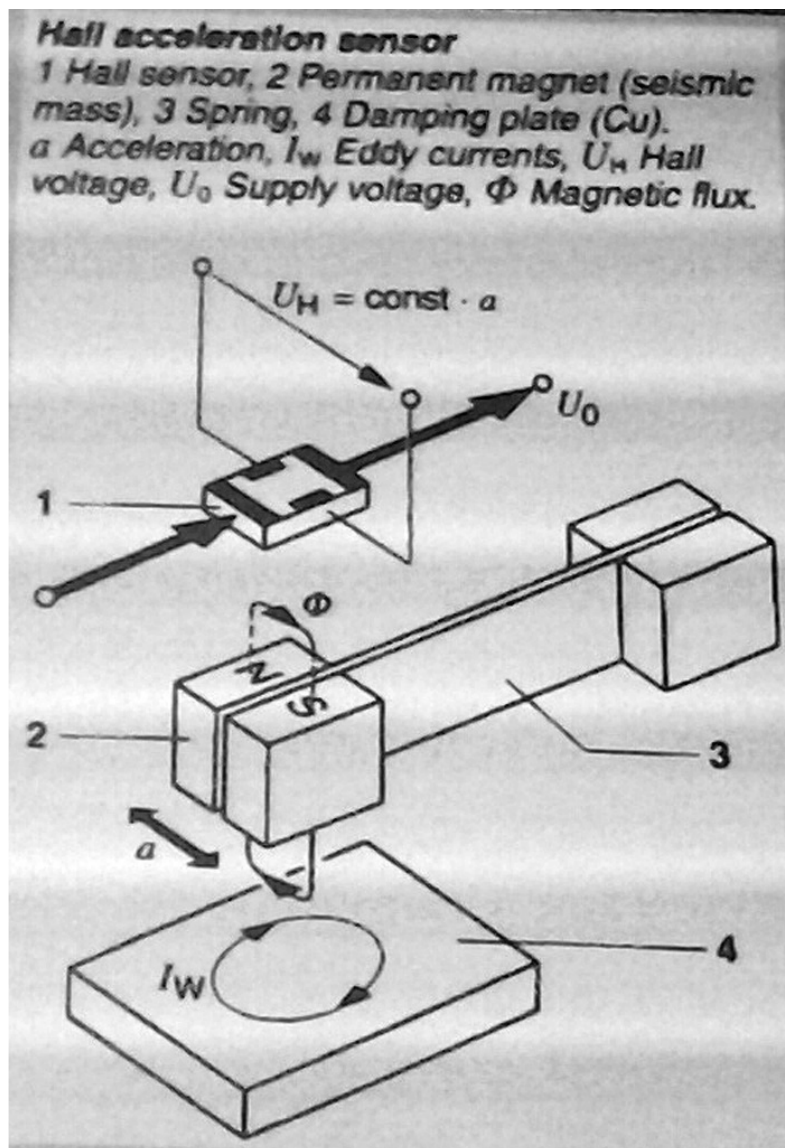
Snímanie lineárnej a uhlovej polohy viacerými senzormi – možnosť zostaviť aj enkodér

5.3 Hallov snímač - použitie



Snímanie uhla natočenia – poloha a rýchlosť rotora (synchronne stroje), otvorenie škrtiacej klapky

5.3 Hallov snímač - použitie



Akcelerometer s lineárnym
Hallovým snímačom