



7.

SENZORY S INDUKČNOSTÍ

(Induktivní, Indukční, magnetické)

Přednášející: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

husak@fel.cvut.cz,

<http://micro.feld.cvut.cz>

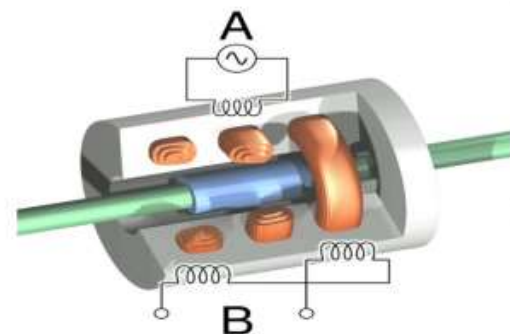
tel.: 2 2435 2267

Cvičící:

Ing. Adam Bouřa, Ph.D.

Ing. Alexandr Laposa, Ph.D...

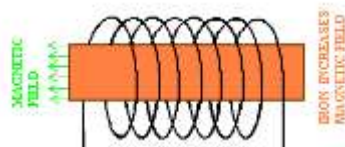
Linear variable differential
transducer (LVDT)



Senzory s indukčností – princip činnosti

Zkouška

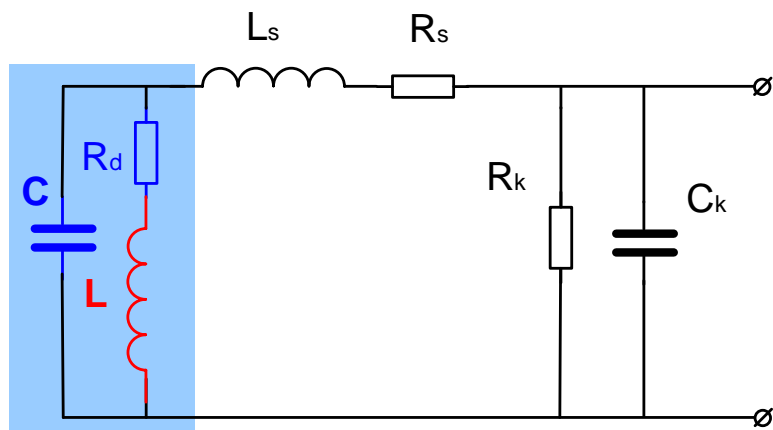
$$L = f(S, l, N, \mu)$$



$$dL = \frac{\partial L}{\partial S} dS + \frac{\partial L}{\partial l} dl + \frac{\partial L}{\partial N} dN + \frac{\partial L}{\partial \mu} d\mu$$

Indukčnost závisí na řadě parametrů

Změna indukčnosti je dána změnou parametrů



Náhradní zapojení senzoru s indukčností a jeho připojení k vyhodnocovacímu obvodu

Pracovní kmitočet – odvození intervalu

$$R_d, R_s, \omega L_s \leq \omega L \leq \frac{1}{\omega C}, \frac{1}{\omega C_k}, R_k$$

? Senzory s indukčností: Napište základní rovnici pro výpočet indukčnosti L a k ní napište diferenciální rovnici pro určení změny indukčnosti. Nakreslete náhradní elektrické zapojení senzoru s L s připojením k vyhodnocovacímu obvodu. Z náhradního elektrického obvodu odvoďte nerovnici pro určení rozmezí pracovních frekvencí.



Rozdělení senzorů s indukčností

$$L = f(S, l, N, \mu)$$

A) Indukčnostní (Induktanční)

pasivní indukčnost, napájení
ze střídavého zdroje,
měření impedance L
statické - vzdálenost

B) Indukční (magnetoinduktivní)

aktivní, permanentní magnet,
indukce napětí v L změnou B,
měření induk. napětí v L
dynamické - změna např. B

C) Magnetoelastické

Změna μ jádra cívky
pasivní i aktivní provedení,
Měření impedance L

D) Magnetostrikční

aktivní, při deformaci jádra a
při působení kruhového mg.
pole se vytváří podélné mg.
pole, měření induk. napětí
statické - torze

E) Magnetoanizotropní

aktivní, změna geometrie mg.
pole, napájení ze střídavého
zdroje, měření indukovaného
napětí
statické - síla, tlak



A) Indukčnostní (Induktanční)

A) Indukčnostní (Induktanční)

pasivní indukčnost, napájení
ze střídavého zdroje,
měření impedance L
statické - vzdálenost



A) Indukčnostní (Induktanční) – princip činnosti

Zkouška

$$L = f(S, l, N, \mu)$$

S průřez jádra

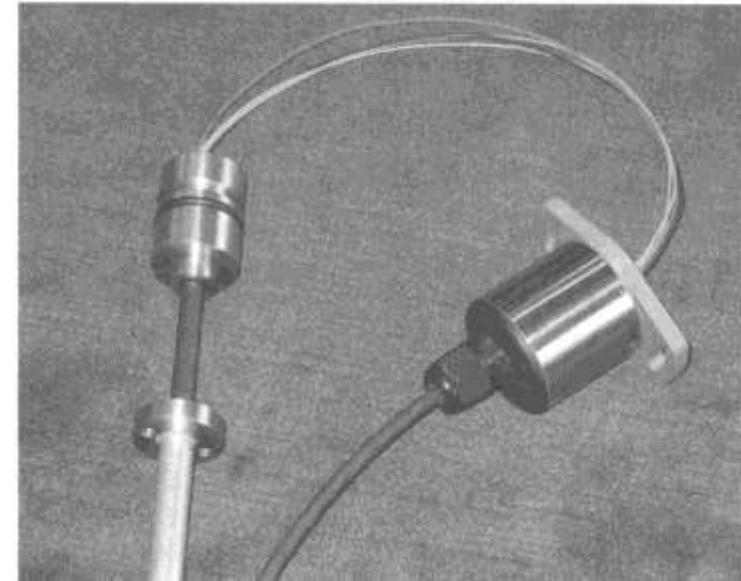
l délka závitů

N počet závitů

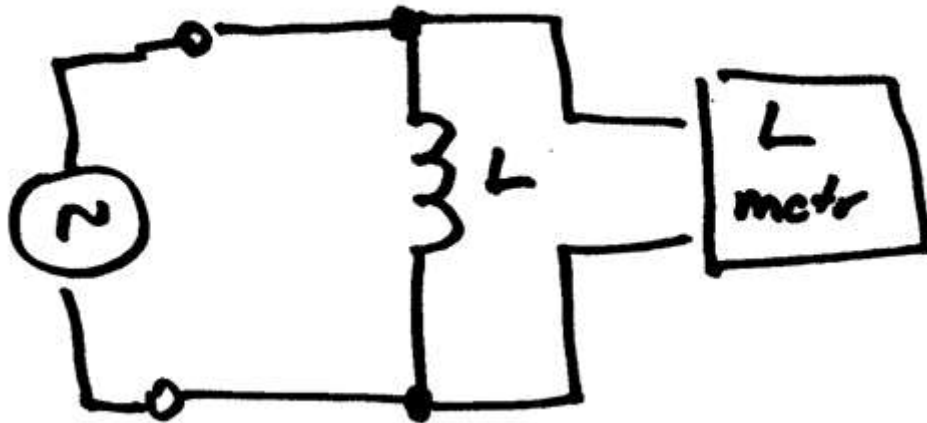
μ permeabilita

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

- Změna parametrů indukčnosti L vede ke změně impedance L .
- Impedance je funkcí měřené veličiny



ωL



? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní):
Nakreslete princip činnosti, napište, na
kterých parametrech je indukčnost L závislá.

A) Indukčnostní (Induktanční) – realizace



snímače s pouzdry z plastů
(vazební - flush device)



snímače s pouzdry z kovu
(nevazební - Non-flush device)



senzor s upevňovacím závitem

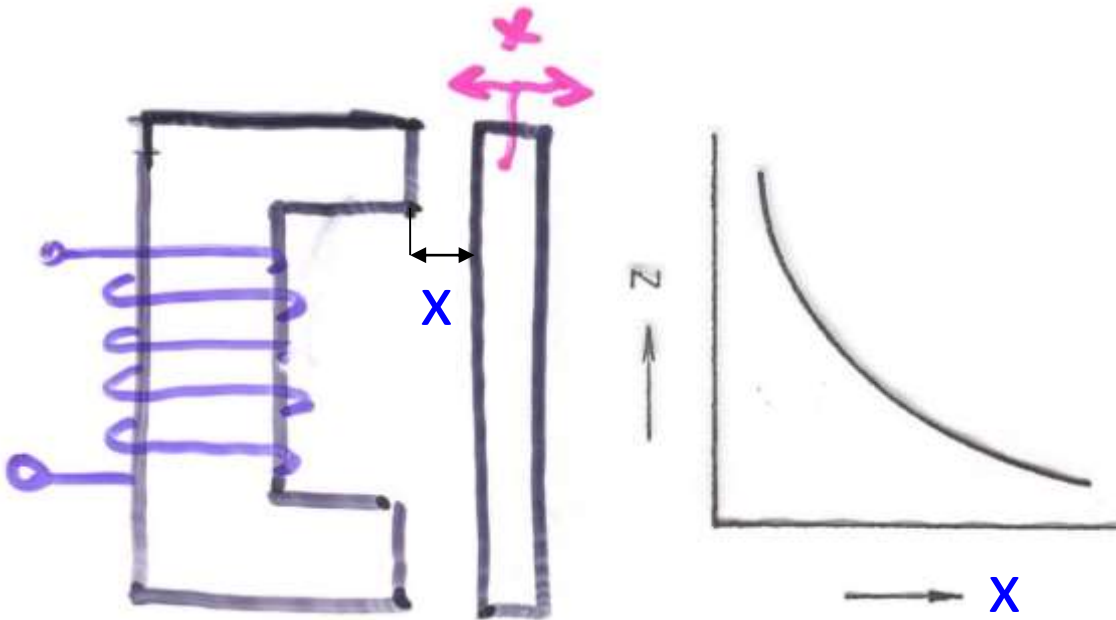


senzor bez závitu - hladké

A) Indukčnostní – změna vzduchové mezery

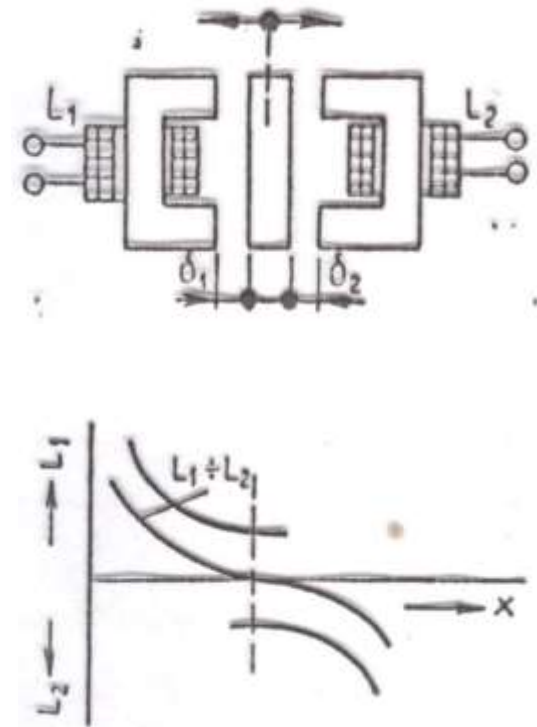
a) Malá vzduchová mezera – rozsah $3\ \mu\text{m}$ - $5\ \mu\text{m}$

- Změna vzduchové mezery, tj. vzdálenosti mezi jádrem a pohyblivým třmenem
- Pohyb ve směru x



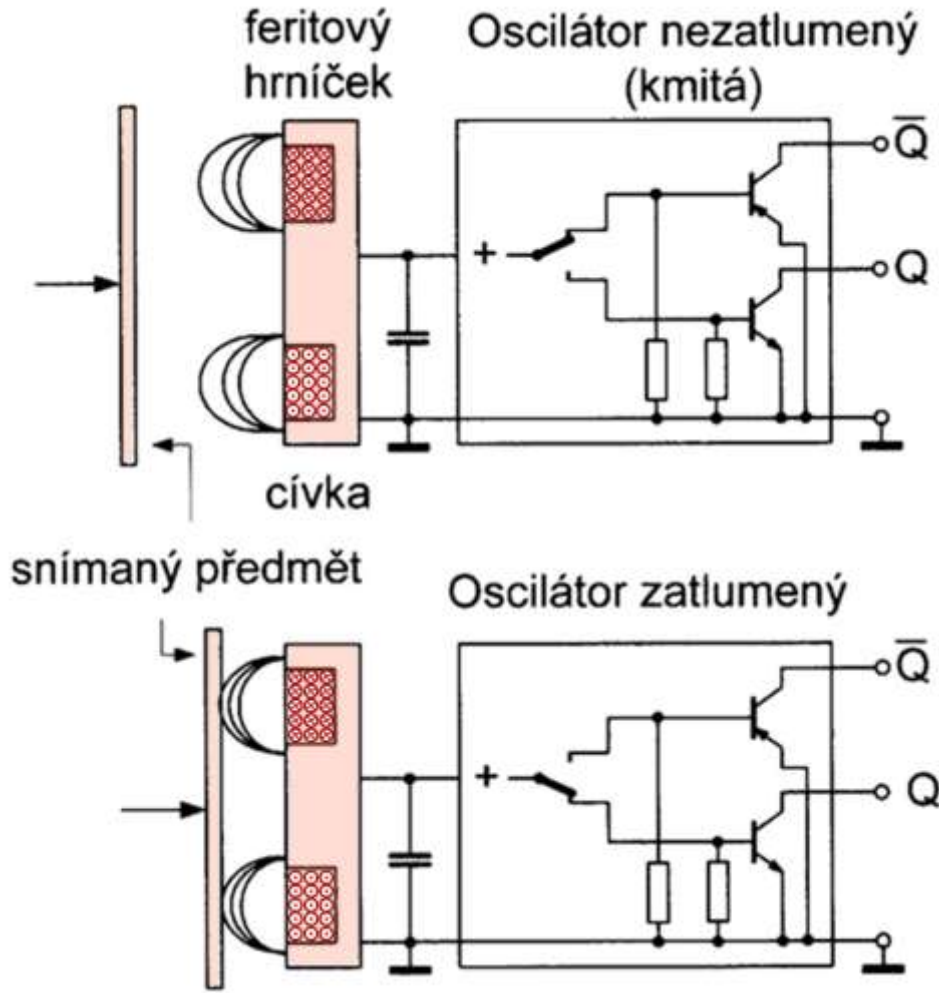
? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s malou vzduchovou mezerou: Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu indukčnosti se změnou vzduchové mezery

Diferenciální zapojení



A) Indukčnostní – změna vzduchové mezery, aplikace

Cívka s feritovým jádrem (vyšší kmitočet)



Hrníčkové jádro

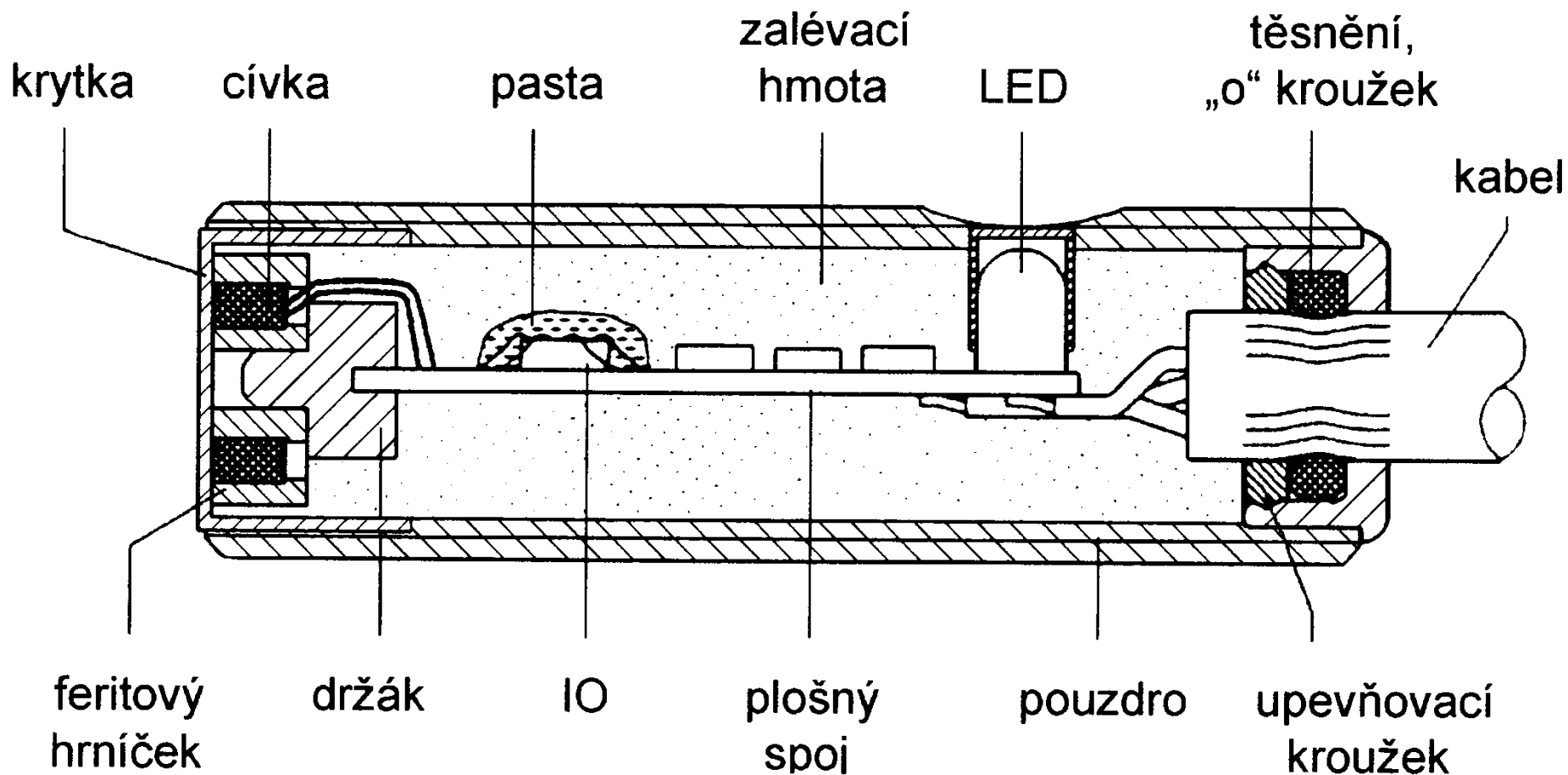


Logická funkce

Oscilátor	Výstupy	
	Q	\bar{Q}
nezatlumený	H	L
zatlumený	L	H

A) Indukčnostní – změna vzduchové mezery, aplikace

Cívka s feritovým jádrem – reálný senzor

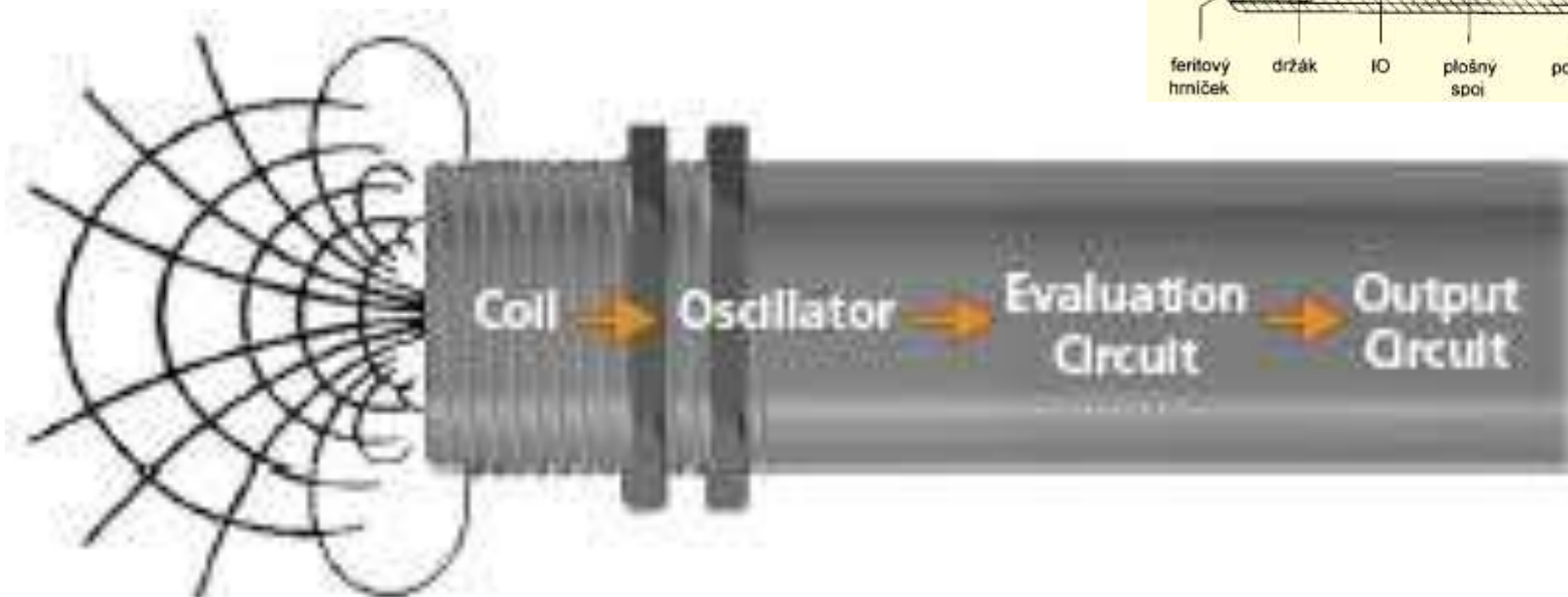
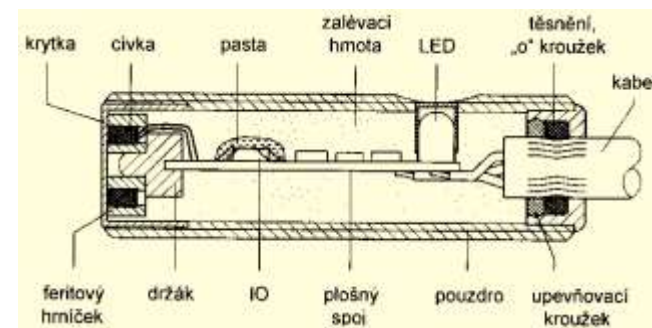


A) Indukčnostní – změna vzduchové mezery, aplikace

Cívka s feritovým jádrem – reálný senzor

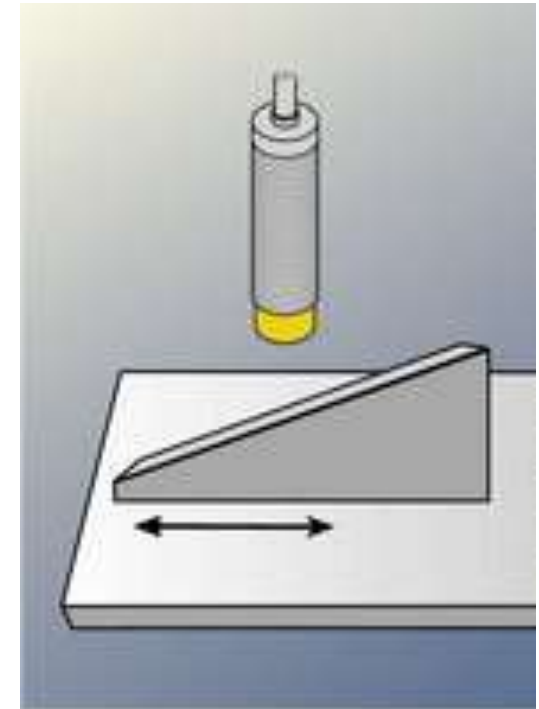
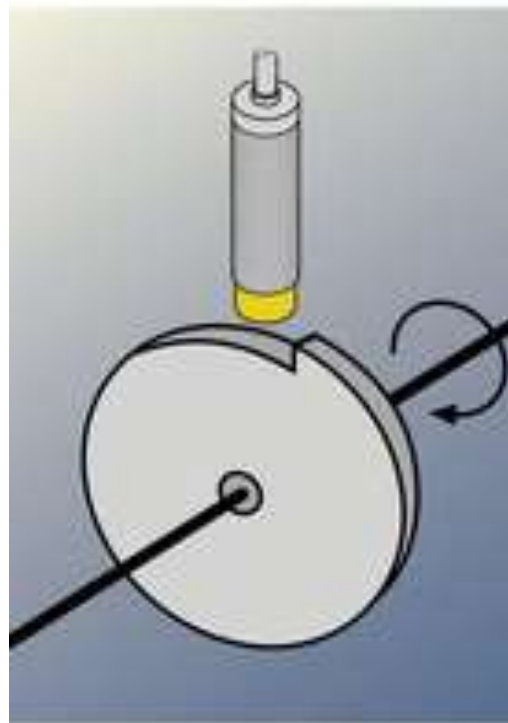
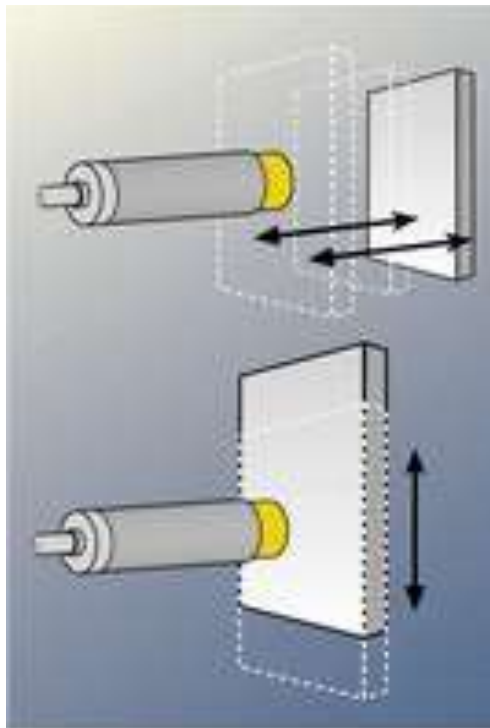
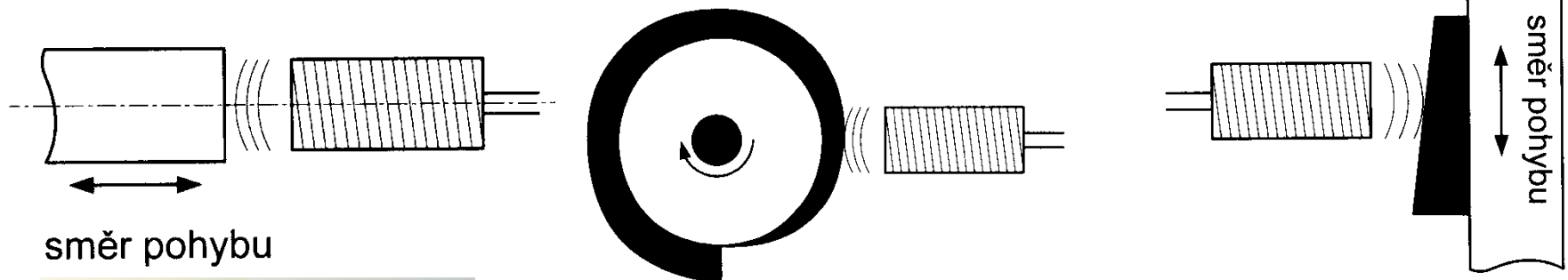
Senzor přiblížení má několik za sebe řazených elektrických bloků

- ❑ Oscilátor (Oscillator)
- ❑ Vyhodnocovací obvody (Evaluation Circuit)
- ❑ Koncový stupeň (Output Circuit)



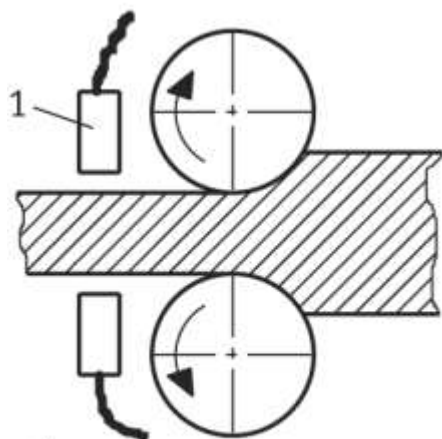
A) Indukčnostní – změna vzduchové mezery, aplikace

Základní a nejběžnější principy detekce přiblížení kovového předmětu



A) Indukční – změna vzduchové mezery, aplikace

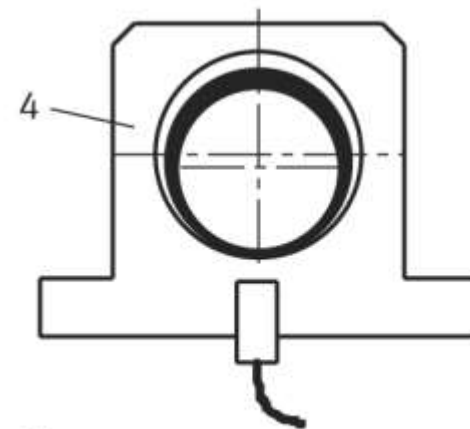
Příklady použití indukčních senzorů přiblížení



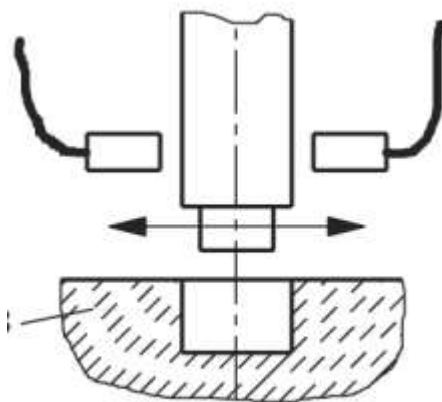
a) tloušťka



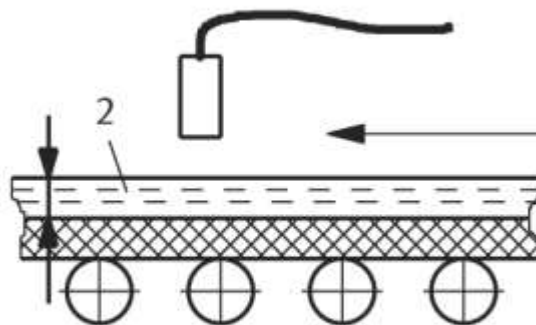
b) vychýlení



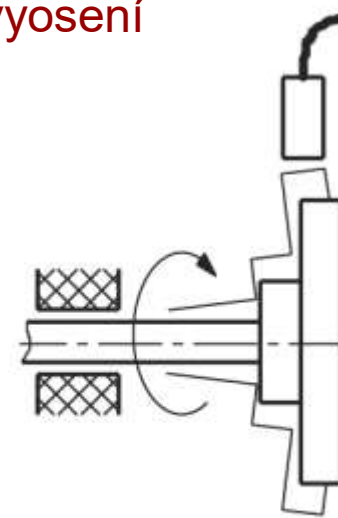
c) vyosení



d) mezery



e) tloušťka



f) vychýlení

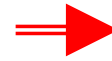
A) Indukčnostní – změna průřezu magnetického pole

Zkouška

b) Posunutí jádra (změna S)

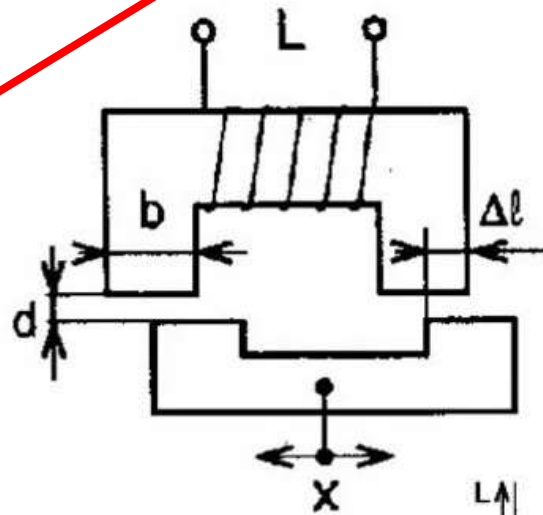
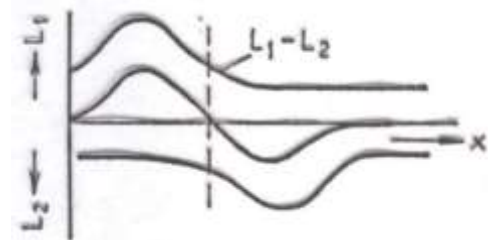
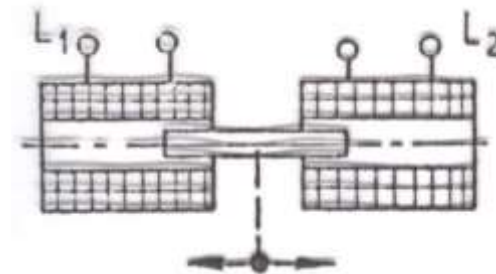
– rozsah 3 μm - 100 mm (úpravou konstrukce)

$$L = f(S, l, N, \mu)$$

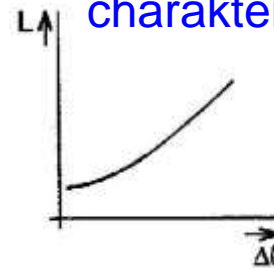


$$L = \mu_0 \frac{SN^2}{2d} \cdot \frac{\Delta l}{b}$$

Diferenciální zapojení
(pro informaci, ne ke ZK)



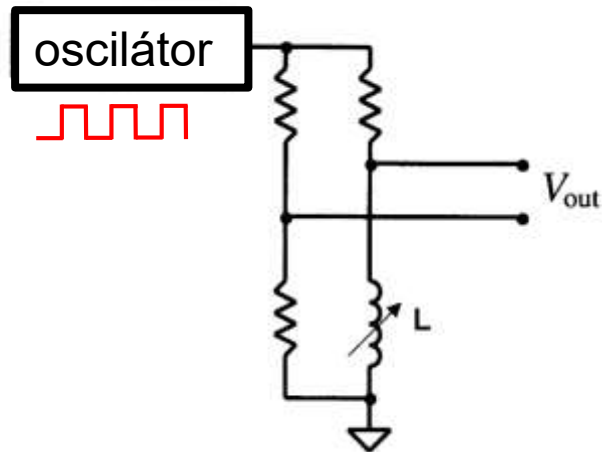
Převodní
charakteristika



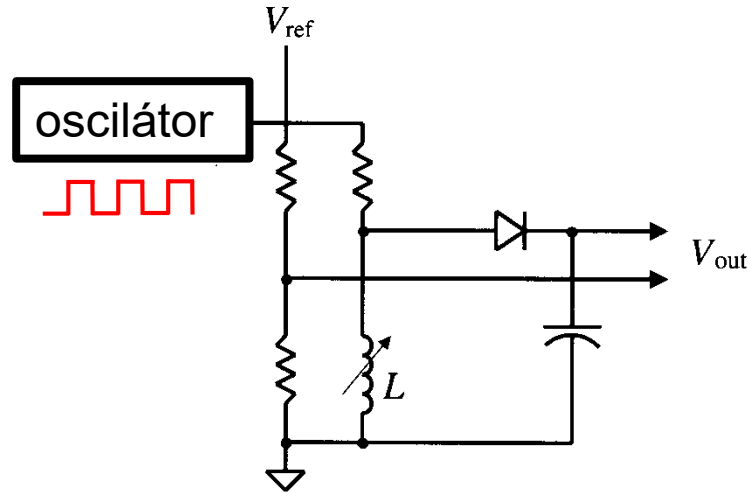
? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s posunutím jádra: Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku L jako funkci posunutí třmene



A) Indukčnostní – vyhodnocovací obvody, můstek

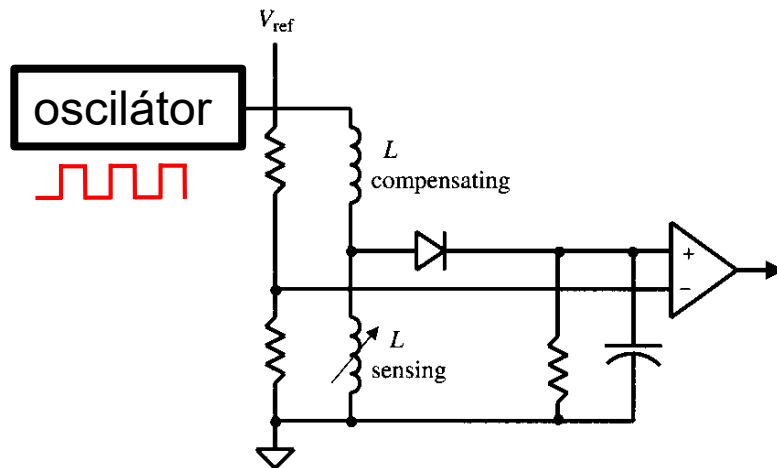


výstup - střídavé napětí

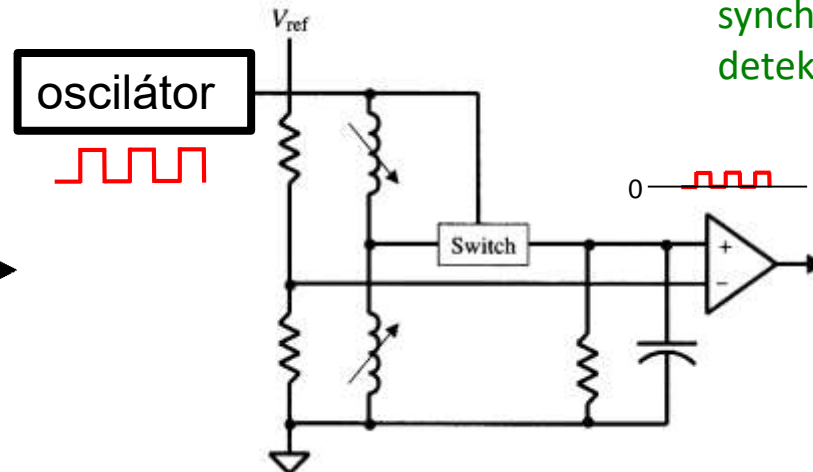


výstup - stejnosměrné napětí

? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní): Nakreslete můstková zapojení pro vyhodnocování senzorových signálů (výstupem je střídavý signál, stejnosměrný signál, zapojení se synchronním detektorem).



výstup - stejnosměrné zesílené napětí



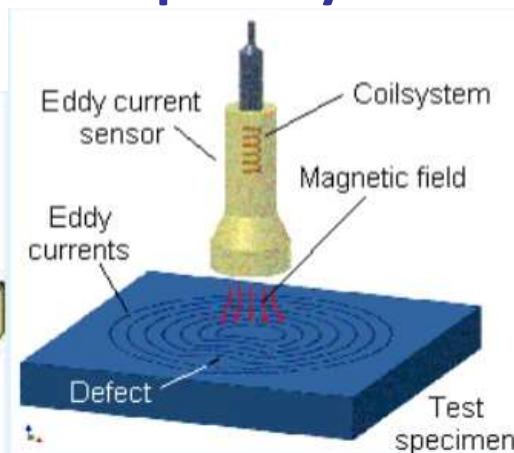
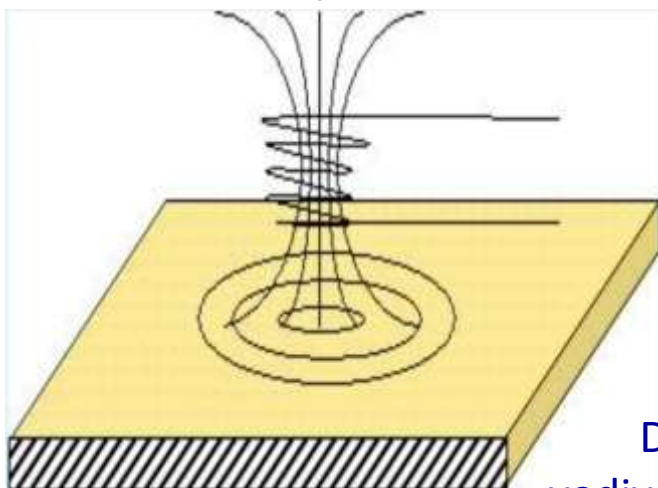
výstup – synchronní detektor (stejnosměrné napětí)



A) Indukčnostní - potlačené mg. pole (vířivé proudy)

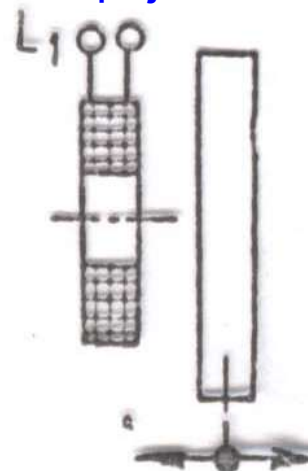
c) Potlačené mg. pole – vířivé proudy

– rozsah 3 μm - 5 mm

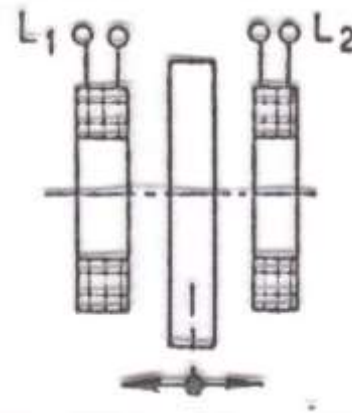


Deska musí být elektricky vodivá – vznik vířivých proudů

Základní
zapojení



Diferenciální
zapojení



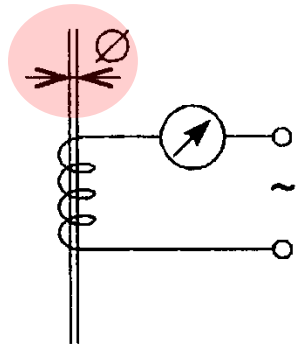
Vyhodnocení informace

Cívkový systém má jedno vinutí a vyhodnocuje se změna impedance cívky Z

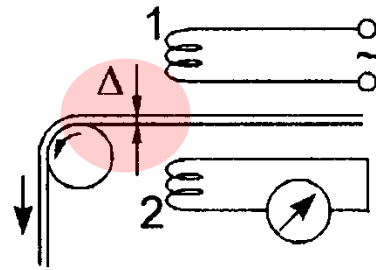
? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s potlačeným magnetickým polem: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti.



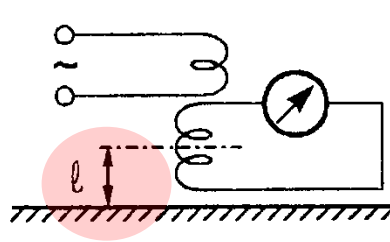
A) Indukčnostní - potl mg. pole (vířivé proudy), aplikace



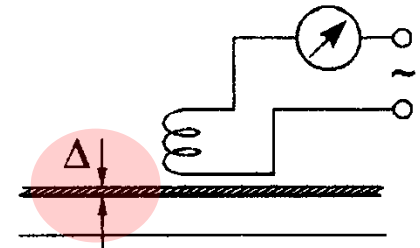
a)



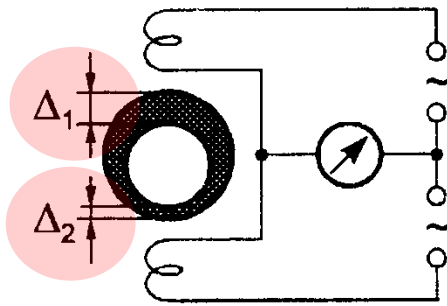
b)



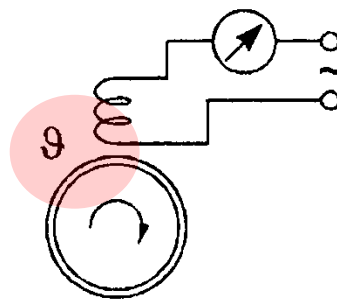
c)



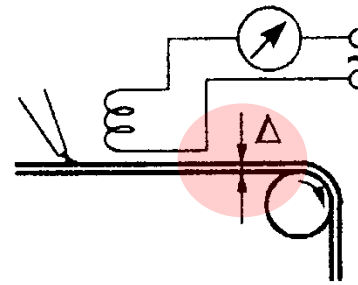
d)



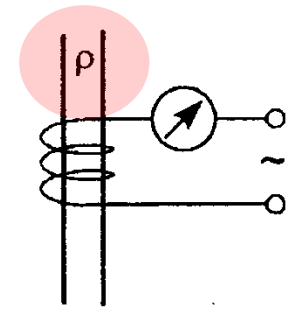
e)



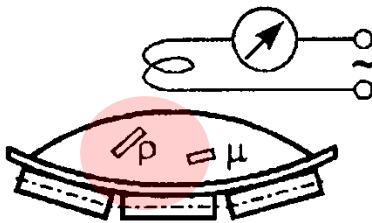
f)



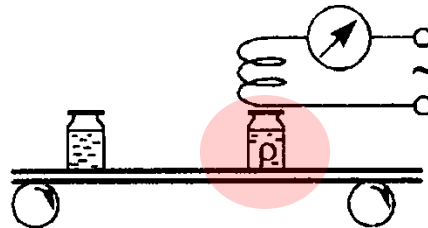
g)



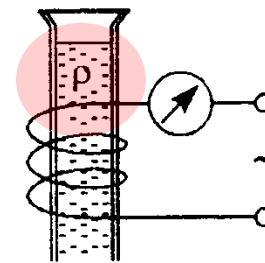
h)



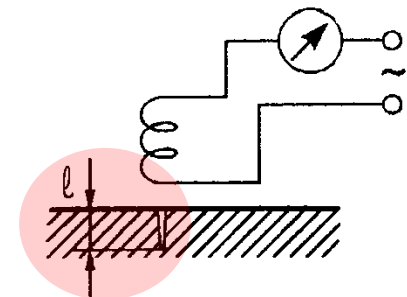
i)



j)



k)



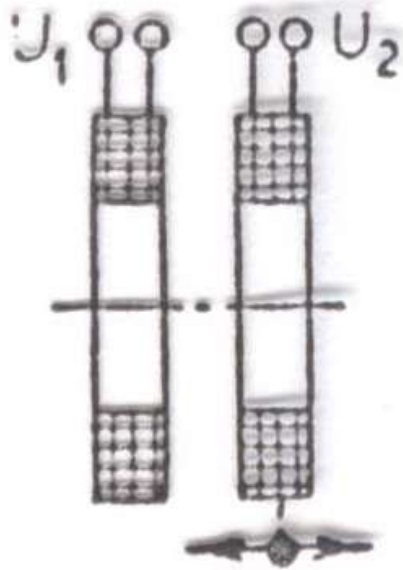
l)

A) Indukčnostní – vzájemná indukčnost

Zkouška

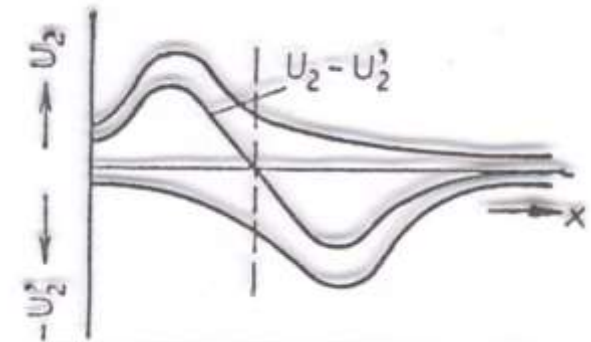
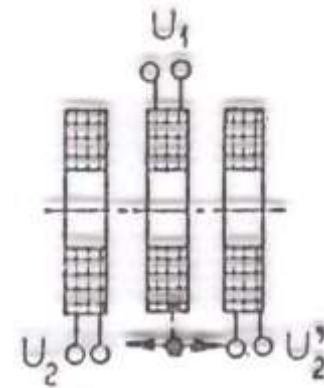
d) Vzájemná indukčnost

rozsah $3\ \mu\text{m}$ - $3\ \text{mm}$



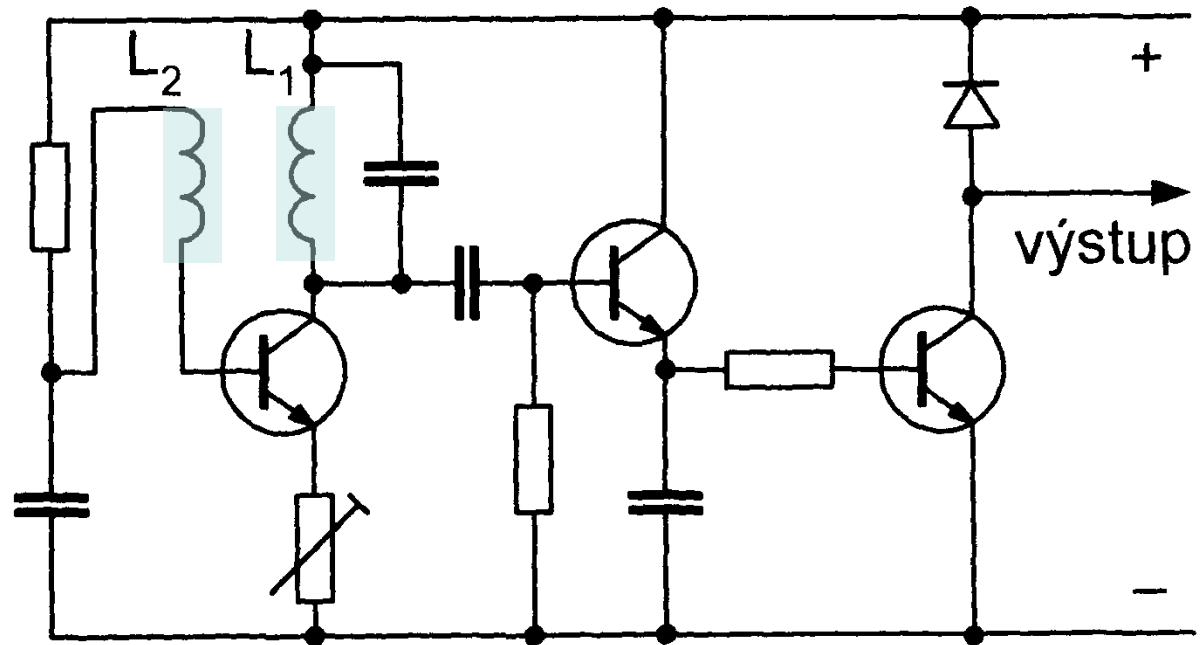
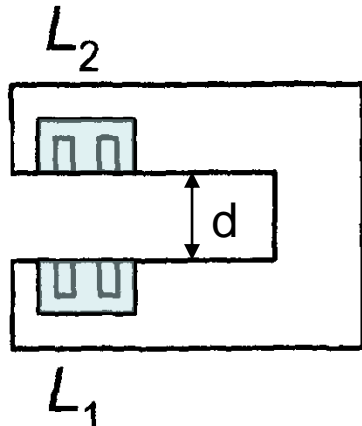
? Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní), vzájemná indukčnost: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru

Diferenciální zapojení
(pro informaci, ne ke ZK)



A) Indukčnostní – vzájemná indukčnost, aplikace

Aplikace: zářezový senzor (induktivní závora)



Princip:

Vzájemná indukčnost L_1 a L_2 nastavena bez jádra tak, aby OSC kmital

Zasunutím jádra se změní vzájemná indukční vazba – OSC přestane kmitat, změna amplitudy na výstupu

A) Indukční – aplikace

Použití:

- ☐ Bezdotykové **koncové spínače** na strojích
- ☐ Detekce **natočení a otáčení**,
- ☐ Měření a detekce **přiblížení** kovového předmětu, detekce vyosení
- ☐ Detekce **pohybu a posuvu** - dopravníky, soustruhy ...
- ☐ Detekce a řízení prakticky veškerého mechanického pohybu, s analogovým nebo diskretním výstupem.
- ☐ **Automobilový** průmysl - detekce pohybu kol automobilů (ABS, ESP) ...
- ☐ **Strojní průmysl** - obráběcí stroje, řízení svářečích robotů, dopravníků, detekce posunu, dorazy, detekce tloušťky materiálu ...
- ☐ **Potravinářský průmysl** - míchací stroje, balící stroje, plnící stroje, posuvné dopravníky ...
- ☐ **Dřevoobráběcí stroje**
- ☐ **Montážní linky**
- ☐ **Textilní stroje**



A) Indukčnostní – výhody, nevýhody

☺ Výhody:

- ❑ **Velká odolnost** proti nepříznivým okolním pracovním podmínkám (prach, olej, voda, vlhkost, elmg. rušení, teplota).
- ❑ Proto je **lze přímo, bez přídavné ochrany** použít na místech vystavených nepříznivým podmínkám (v dopravních prostředcích, výrobních provozech těžkého strojírenství, venkovní provozy apod.)

☹ Nevýhody:

- ❑ Vysoká cena
- ❑ Robustní provedení

B) Indukční (magnetoinduktivní)

B) Indukční (magnetoinduktivní)

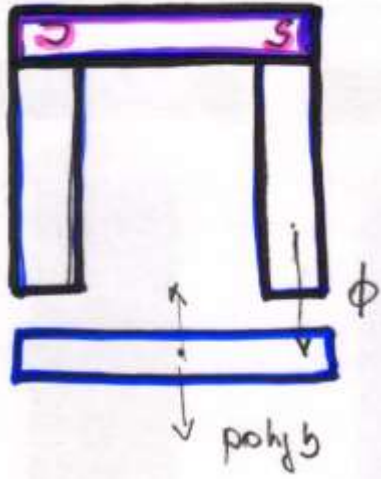
aktivní, pemanentní magnet,
indukce napětí v L změnou B,
měření induk. napětí v L
dynamické - změna např. B



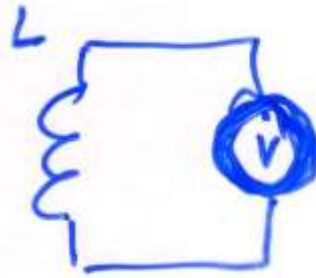
B) Indukční (magnetoinduktivní) - elektromagnetický

Zkouška

a) elektromagnetický princip



$$u = -N \frac{d\phi}{dt}$$

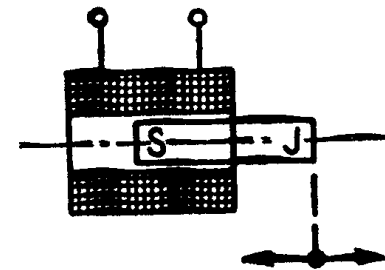
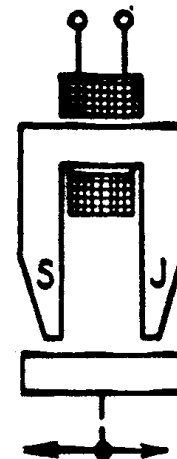
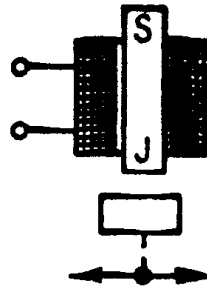
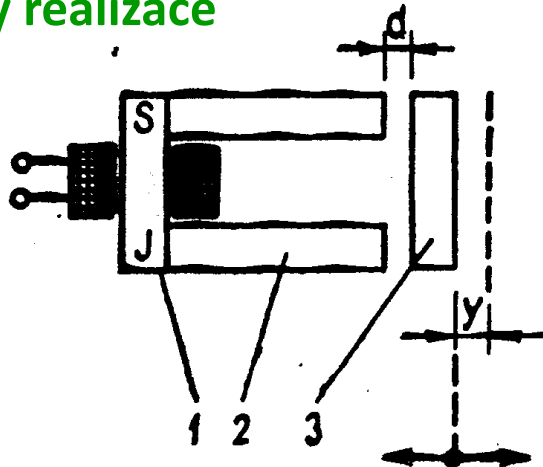


Indukční zákon pro cívku s N závitů

Vyhodnocování výstupního signálu - zjednodušený obvod

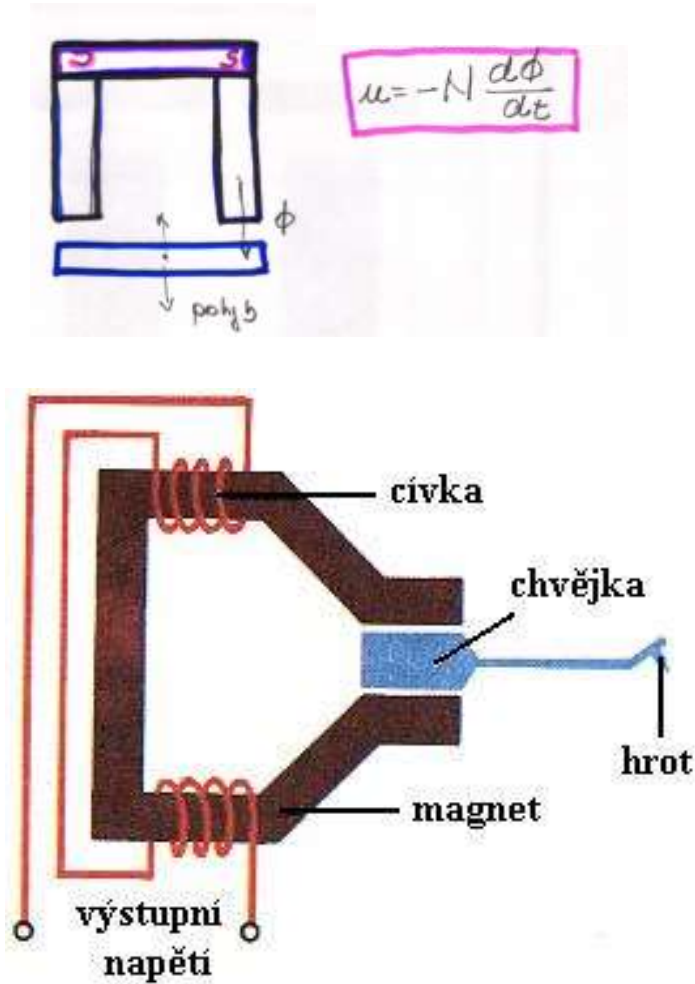
? Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektromagnetický (aktivní): Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru, napište rovnici indukčního zákona pro cívku s N závitů, nakreslete princip (zjednodušený obvod) pro vyhodnocování výstupního signálu.

Příklady realizace



B) Indukční (magnetoinduktivní) - elektromagnetický

a) elektromagnetický princip



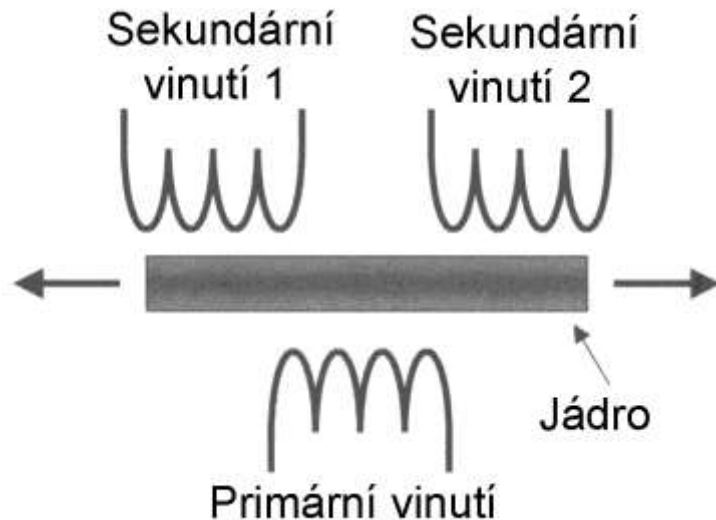
Magnetodynamická přenoska gramofonu

B) Indukční (magnetoinduktivní) – transformátorový senzor polohy (LVDT)

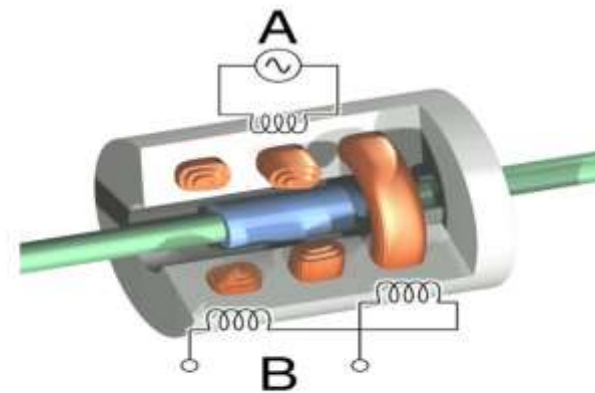
Zkouška

LVDT - změna indukční vazby (transformátor s proměnnou vazbou)

(LVDT – Linear Variable Differential Transformer)



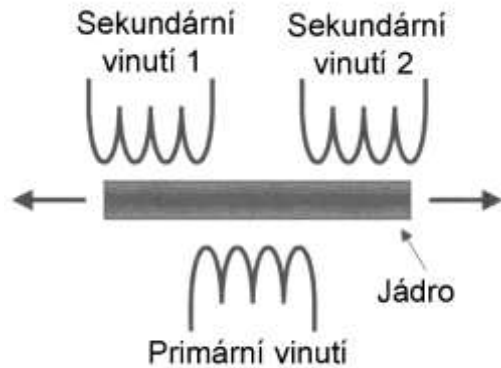
Linear variable differential transducer (LVDT)



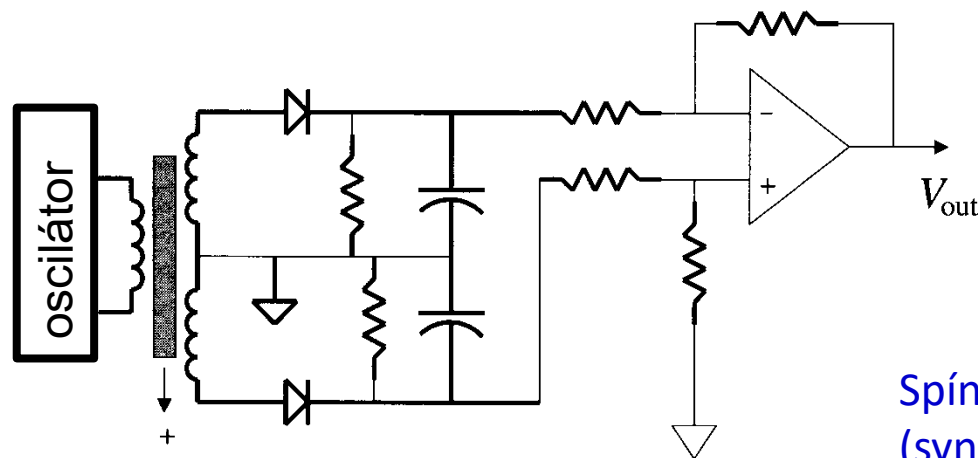
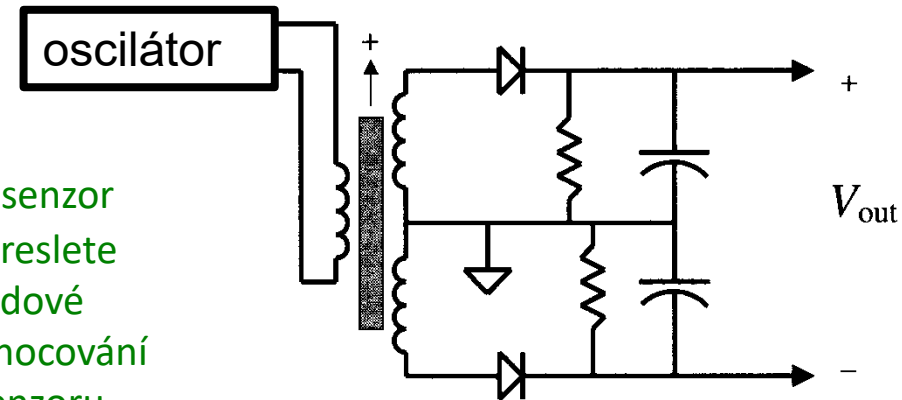
? Transformátorový senzor polohy (LVDT): Nakreslete princip činnosti



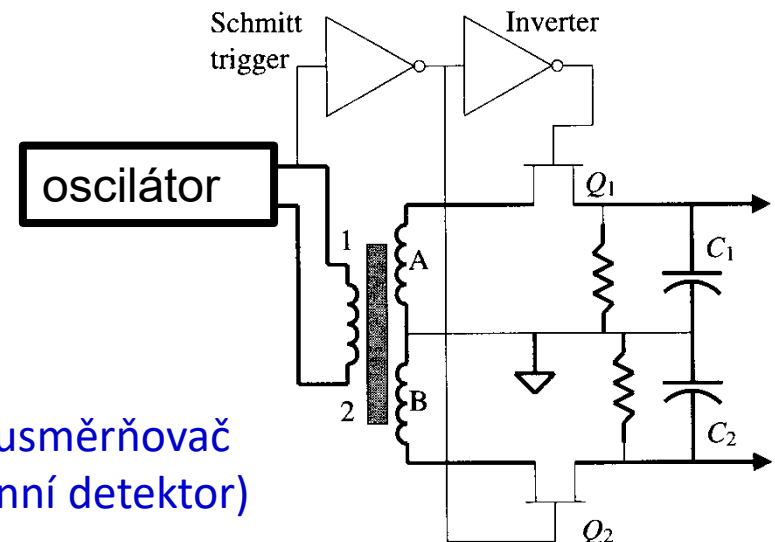
Zkouška



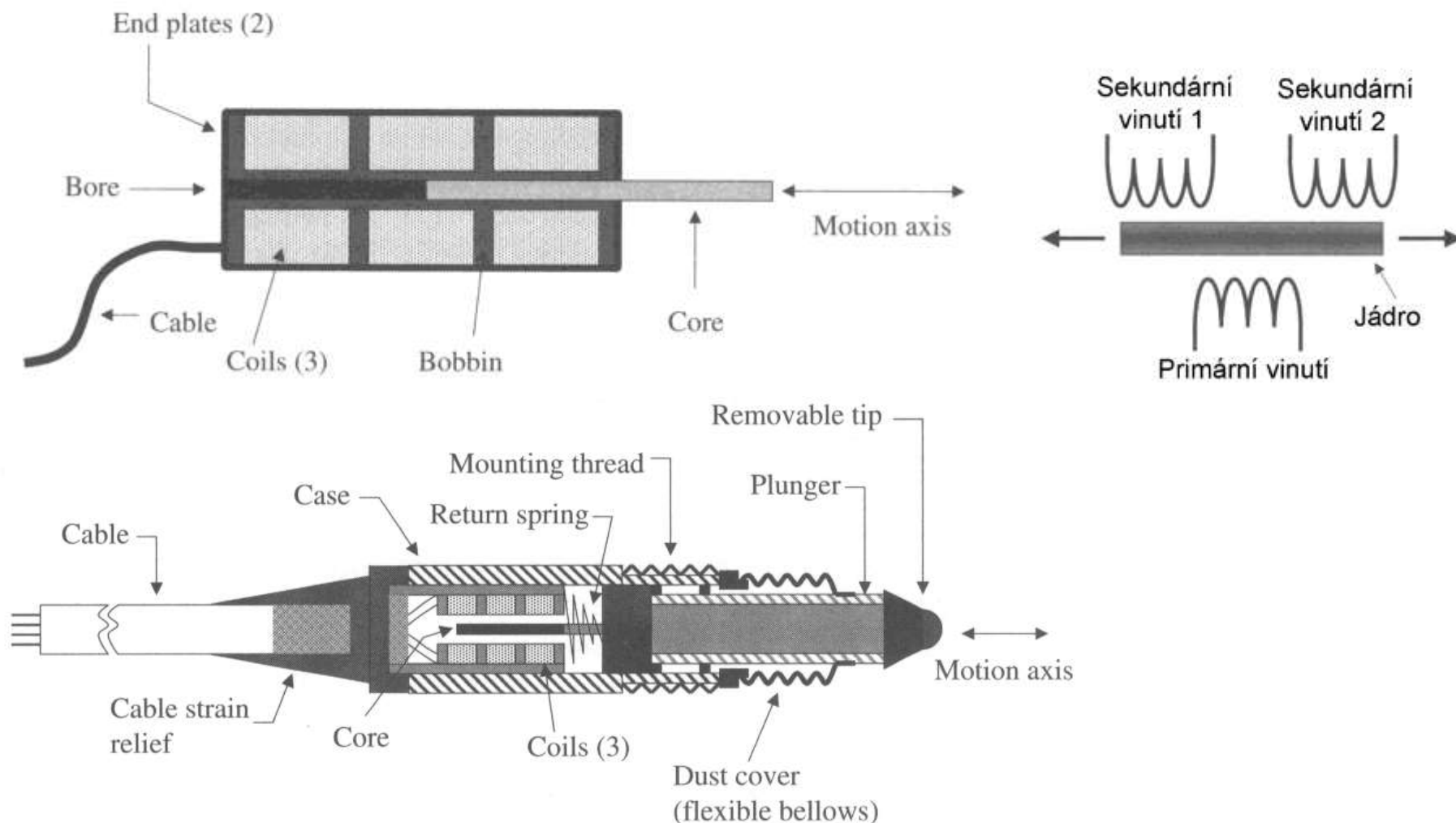
? Transformátorový senzor polohy (LVDT) : Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování informace z LVDT senzoru



Spínaný usměrňovač (synchronní detektor)



B) Indukční (magnetoinduktivní) – transformátorový senzor polohy (LVDT), realizace

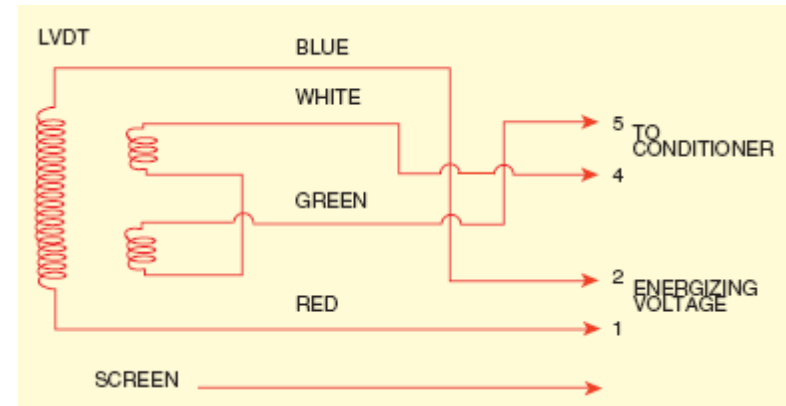


B) Indukční (magnetoinduktivní) – transformátorový senzor polohy (LVDT), katalog

LVDT GLOSSARY



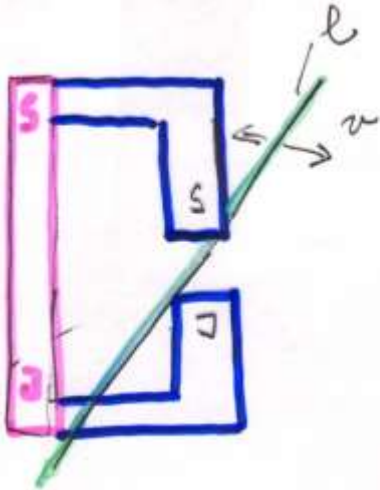
Asymmetry
Asymmetry is either side of physical difference of the LVDT coil.



B) Indukční (magnetoinduktivní) - elektrodynamický

b) elektrodynamický princip

Elektrodynamický princip



Magnetoinduktivní rovnice

$$u = B v l$$

Princip vyhodnocování signálu



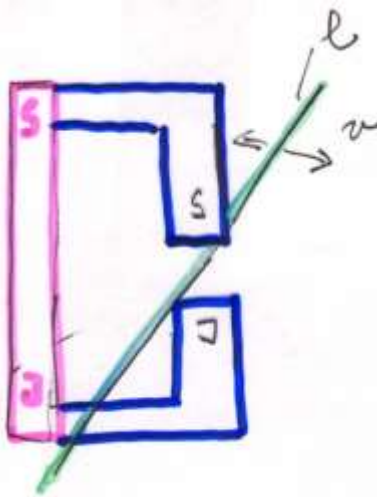
Využití

- Elektrodynamický mikrofon
- Reproductor

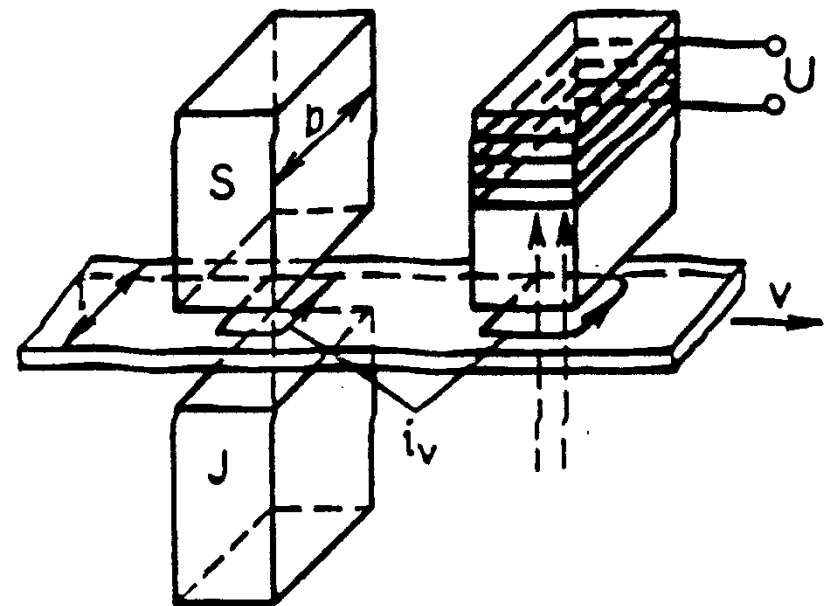
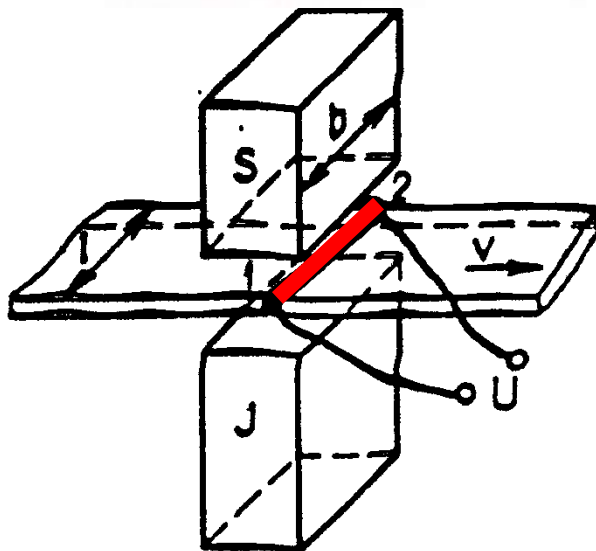
? Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektrodynamický (aktivní) : Nakreslete princip činnosti senzoru, napište magnetoinduktivní rovnici pro výstupní napětí, nakreslete zjednodušený obvod pro vyhodnocování výstupního signálu

B) Indukční (magnetoinduktivní) - elektrodynamický

b) elektrodynamický princip

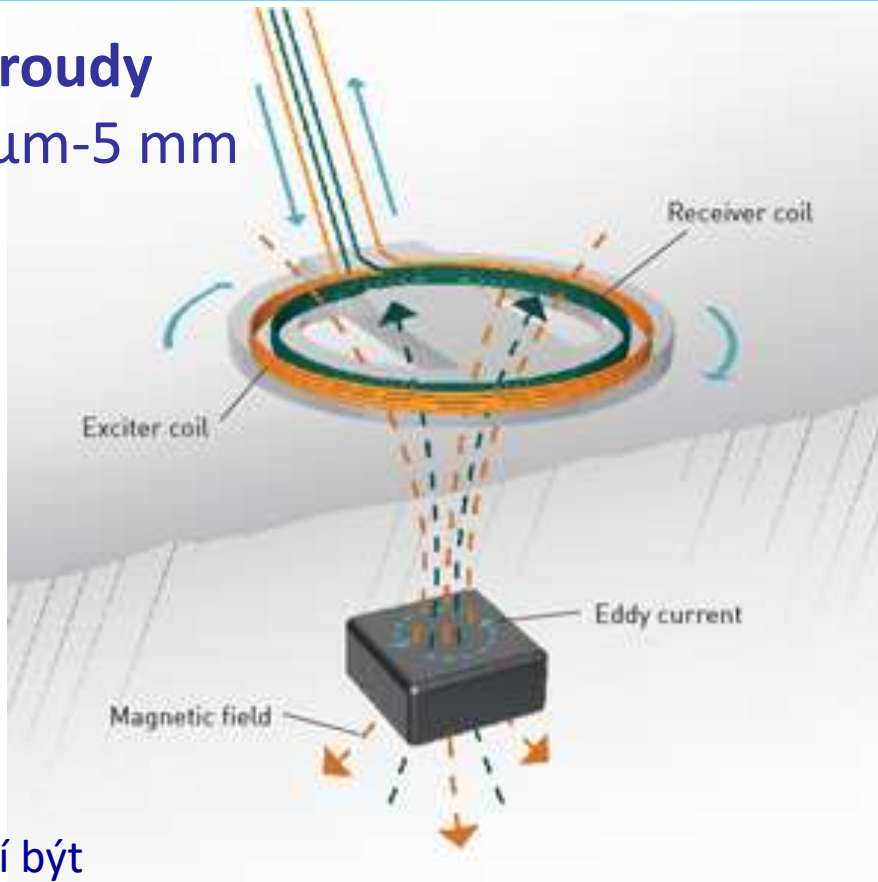


$$\mathcal{E} = B v l$$

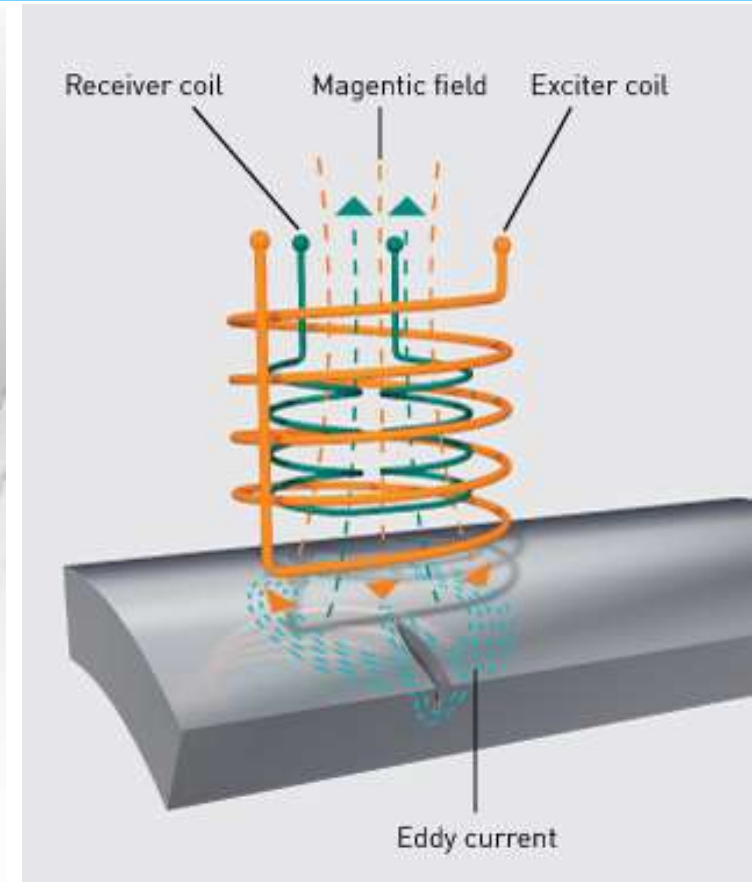


B) Indukční - vířivé proudy (metoda s průchozí cívkou)

c) vířivé proudy rozsah 3 μm -5 mm



Deska musí být
elektricky vodivá (Cu)–
vznik vířivých proudů



Vyhodnocení informace

- 2 cívky, budicí a snímací.
- Vyhodnocení indukovaného napětí ve snímací cívce, měří se amplituda a fáze indukovaného napětí



B) Indukční - vířivé proudy (metoda s průchozí cívkou)

Použití u všech druhů elektricky vodivých materiálů (neferomagnetických i feromagnetických).

Výhody umožňuje sledovat vlastnosti zkoušeného tělesa, jejichž změny ovlivňují elektrickou vodivost nebo průřez nebo vzdálenost

bezdotyková metoda, výstupní informací je elektrický signál

Vířivé proudy mohou být použity pro: zjišťování trhlin, tloušťky materiálu, tloušťky nátěrů, vodivosti, materiálové identifikace, detekce tepelného poškození, stanovení hloubky pláště, kontroly tepelného zpracování

Diferenciální cívky uspořádané za sebou Vysoký koeficient plnění cívek

Vysoká zkušební rychlost, protože se snímač nedotýká zkoušeného předmětu

Možnost zkoušení i za vysokých teplot pomocí speciálních chlazených snímačů

Při zkoušení trubek jsou velmi dobře indikovány drobné díry přes celou tloušťku stěny, takže je možno u trubek tímto zkoušením nahradit zkoušku vnitřním přetlakem.

Indikace dlouhých vad je méně spolehlivá. Pokud vada zasáhne do obou diferenciálních cívek, signál vady se alespoň částečně vyruší.

Dlouhé vady bývají indikovány převážně na koncích, pokud nemají příliš pomalý náběh



C) Magnetoelastické – změna μ_r (změna vlastností jádra)

C) Magnetoelastické

Změna μ jádra cívky
pasivní i aktivní provedení,
Měření impedance L

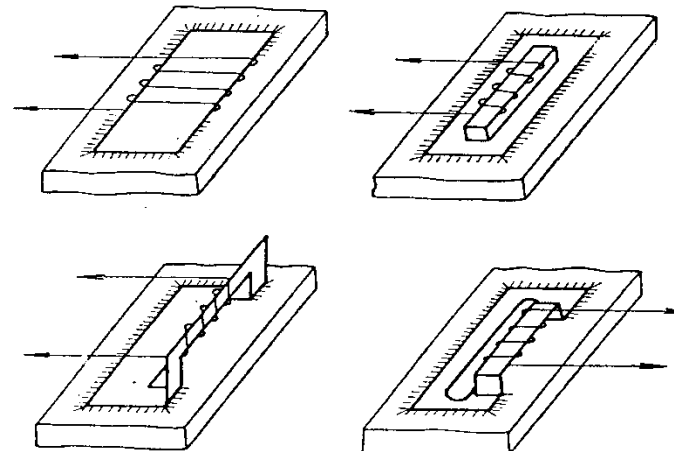
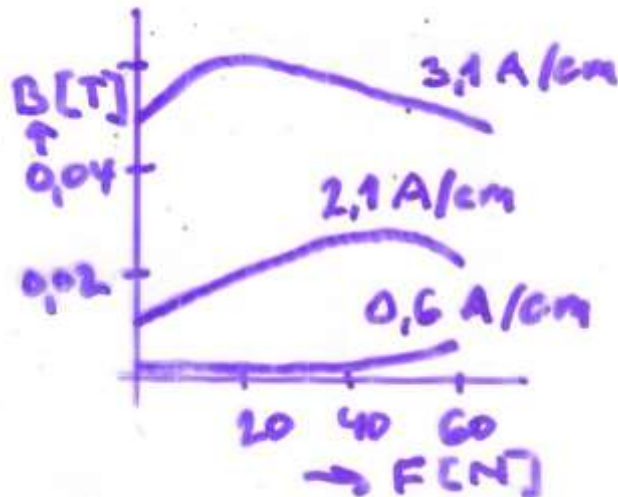
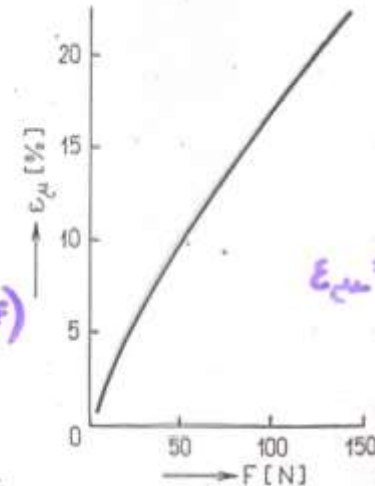
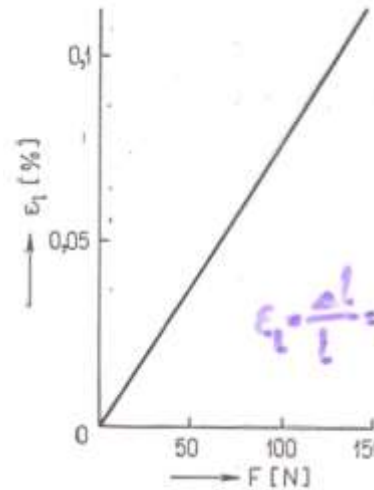
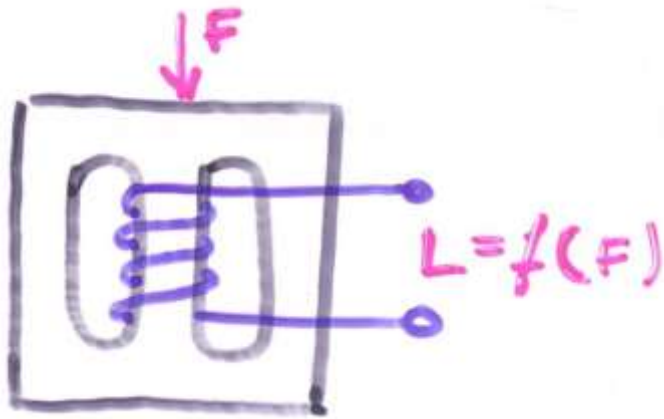


C) Magnetoelastické – změna μ_r (změna vlastností jádra)

Zkouška

$$L = f(\mu_r)$$

$$\mu_r = f(\text{změna fyzikálních veličin})$$



? Magnetoelastický senzor:
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti. Nakreslete příklad závislosti permeability, resp. indukčnosti na působící síle (mechanickém namáhání). Nakreslete příklad konstrukce magnetoelastických (lístkových) tenzometrů.



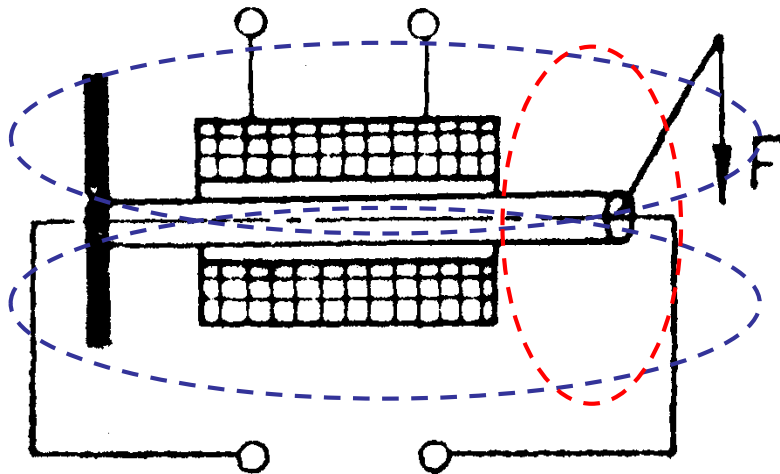
D) Magnetostrikční

aktivní, kruhové a podélné mg.
pole, napájení ze střídavého
zdroje, měření indukovaného
napětí
statické - torze

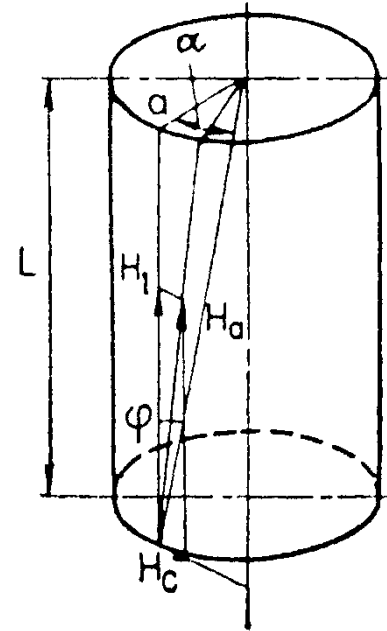
D) Magnetostrikční (inverzní k Wiedemanovu jevu)

Zkouška

Princip činnosti



? Magnetostrikční senzor:
Nakreslete a vysvětlete
princip činnosti



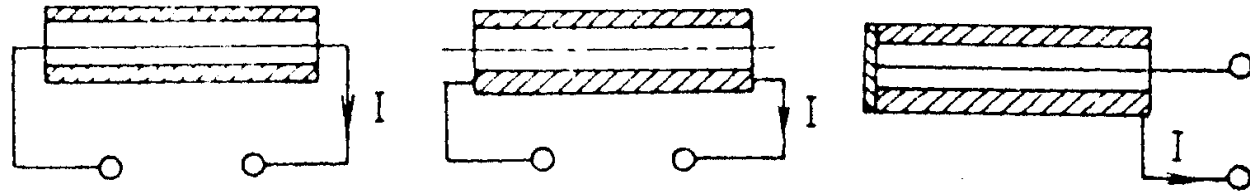
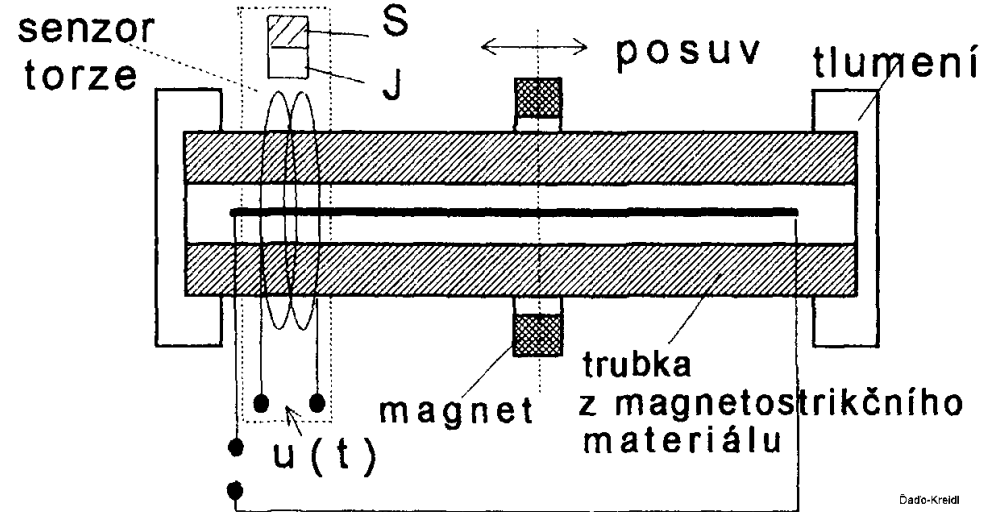
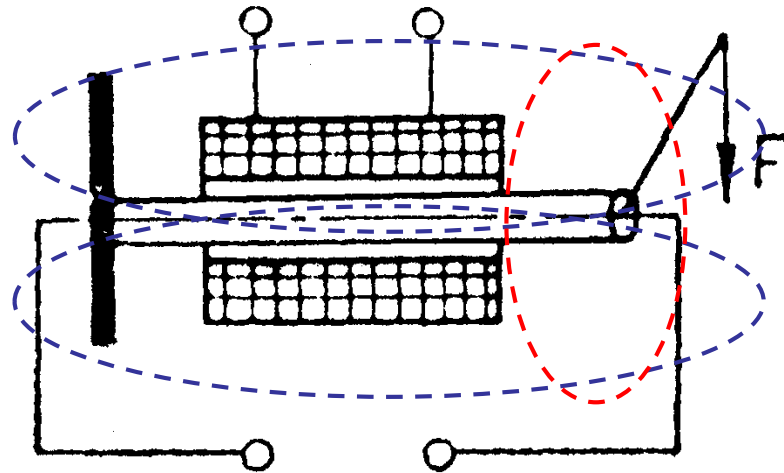
Torzní deformace tyče

Wiedemannův jev: Feromagnetická tyč (Fe, Co, Ni) se torzně deformuje, pokud tyčí protéká elektrický proud (kruhové mg. pole) a tyč je umístěna v podélném magnetickém poli (cívka s feromagnetickou tyčí)

Inverzní Wiedemannův jev: tyč je v kruhovém mg. Poli (protéká proud), tyč je torzně deformovaná, v cívce okolo tyče se objeví napětí (výstupní signál)



D) Magnetostrikční (inverzní k Wiedemanovu jevu)



Aplikace

- měření polohy a vzáj. polohu objektů vůči jinému bodu, rychlosti, vzdálenosti, výšky hladiny, náklon, úhel natočení, sklon
- Inklinoměry s gyroskopem fungují na gyroskopickém principu, MEMS technologie
- Činnost i v extrémních podmínkách (prach, vlhké i znečištěném prostředí)



E) Magnetoanizotropní (změna směru mg. pole)

E) Magnetoanizotropní

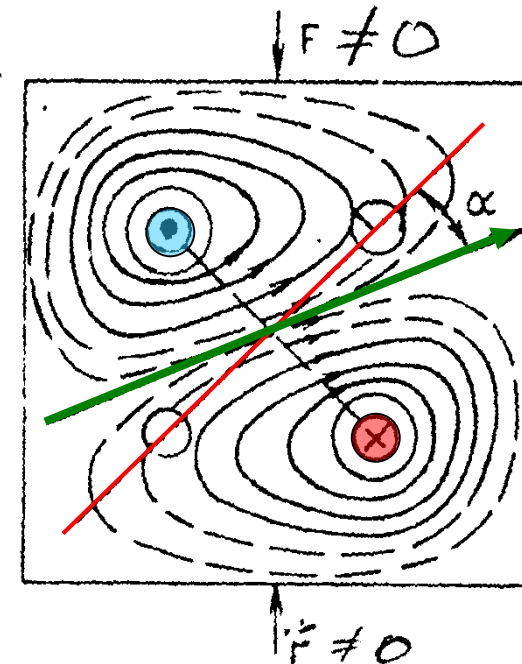
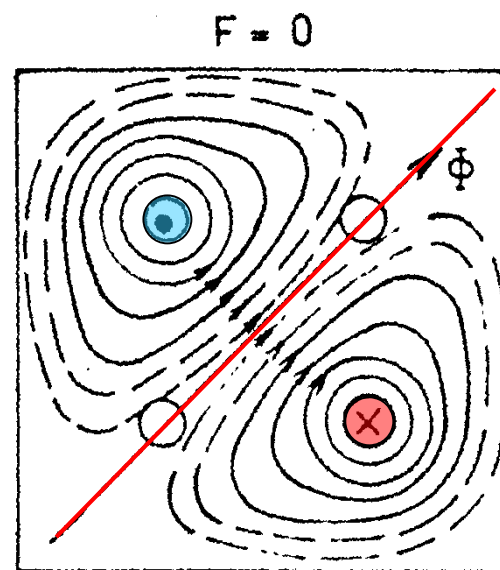
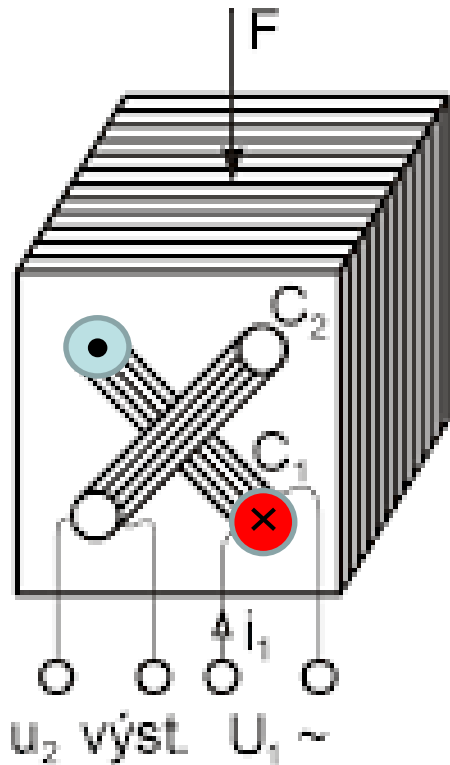
aktivní, změna geometrie mg.
pole, napájení ze střídavého
zdroje, měření indukovaného
napětí
statické - síla, tlak



E) Magnetoanizotropní (změna směru mg. pole)

Zkouška

- Magnetoanizotropie označuje deformaci magnetického pole při mechanickém namáhání
- Magnetoanizotropní senzor je vyroben buď z plného materiálu nebo z plechů, kolem středu symetrické čtyři otvory, umístěno primární a sekundární vinutí.
- Senzor bez zatížení: mg. tok primárního vinutí nezasahuje do sekundární cívky
- Senzor je zatížený: mechanická deformace vytvoří magnetickou anizotropii, zvýší se vazba mezi primárním a sekundárním vinutím a na výstupu se objeví napětí.



? Magnetoanizotropní
senzor: Nakreslete a
vysvětlete princip činnosti

Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: Magnetoinduktivní senzor

- ❑ Typické aplikace – především potrubní čisticí elementy nebo řízení dveří a vrat.
- ❑ Magnetoinduktivní senzory jsou aktivovány externími magnetickými poli, dosahují vysokých spínacích vzdáleností až **90 mm**.



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: Zářezové senzory

- ☐ Pouzdro zářezových senzorů má U-tvar, aktivní plocha je mezi vidlicemi
- ☐ Aktivace zářezových senzorů probíhá zasunutím objektů do senzoru
- ☐ Jsou schopny spolehlivě snímat objekty, jejichž vzdálenost od aktivní plochy postranní přiblížení není přesně určena



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: se selektivním chováním

- ❑ Selektivní senzory **rozlišují feritové kovy od neferitových**
- ❑ Aplikace jsou např. rozlišování součástek a nástrojů nebo obrobků z různých materiálů jakož i jednoduché kódovací úlohy



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: s integrovaným hlídačem otáček

- ☐ Senzor a vyhodnocovací zařízení jsou v jednom pouzdře
- ☐ Nastavitelným vyhodnocovacím zařízením může být kontrolováno podkročení nebo překročení rozsahu otáček od 0...3000 ot/min
- ☐ Pomocí periodického zatlumování senzorů na hřídeli umístěnou kovovou clonkou nebo přímým snímáním zubů na ozubeném kole



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: s analogovým výstupem

- ❑ Jednoduché regulační aplikace
- ❑ Analogový výstup - dodávají proudový, napěťový a frekvenční signál
proporcionální měřené vzdálenosti



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: pro vysoké tlaky

- ❑ Použití v hydraulických systémech
- ❑ Speciální těsnění v přední části senzoru a dodatečné vnější utěsnění např. pomocí O-kroužku



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: Senzory odolné vůči magnetickému poli

- ❑ Senzory odolné vůči magnetickému poli, indukční senzory s feritovým jádrem
- ❑ Speciální pouzdro (např. teflonovaný závit nebo svařovacímu poli odolný duroplastový kryt) pro použití ve svařovnách



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: pro potravinářský průmysl

- V mlékárnách, pivovarech, pekárnách, mrazírnách nebo při balení a plnění potravin
- Umožňují optimalizaci procesů a snížení nákladů



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: Senzory odolné vůči tlaku a mořské vodě

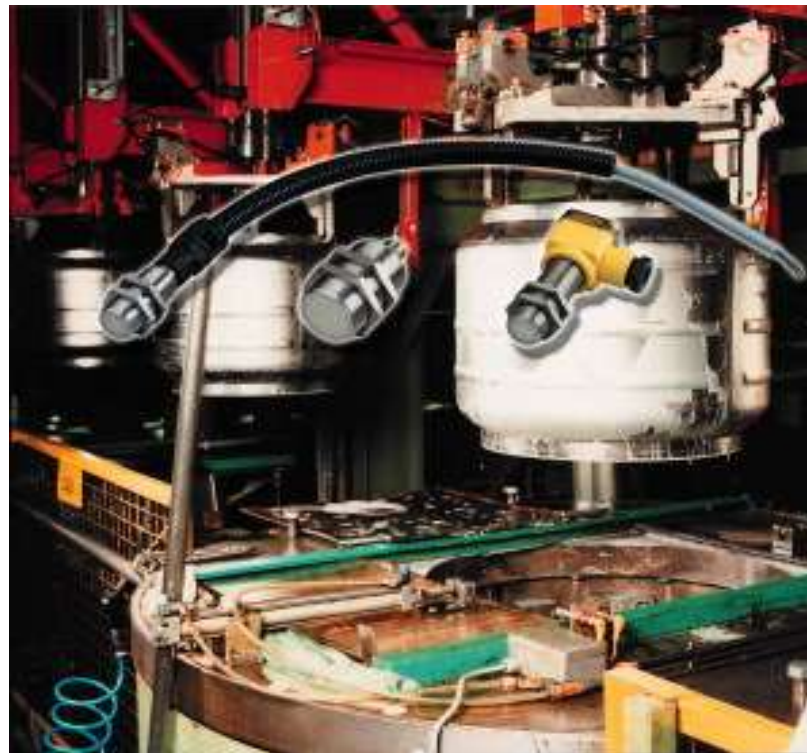
- ☐ Speciální pouzdra odolné vůči tlaku a mořské vodě
- ☐ Senzory lze trvale používat až v hloubce 500 m
- ☐ Dalšími oblastmi využití jsou jezy, zdymadla a pobřežní aplikace.



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: pro extrémní okolní podmínky

- ❑ Aplikace v potravinářském průmyslu a strojírenství
- ❑ Senzory naprosto nepropustné a odolné vůči čisticím prostředkům, chladicím a mazacím kapalinám, řezným a brusným olejům
- ❑ Spolehlivé utěsnění, robustní pouzdra, nerezová pouzdra.



Senzory s indukčností - aplikace

Příklad: pro extrémní mechanické zatížení

- ❑ Speciální čelní kryt chrání senzor před extrémním mechanickým zatížením
- ❑ Umožňuje použití senzoru v prostředích s tvrdými údery nebo krátkodobými vysokými teplotami (svařování, špony při obrábění).



Zkouškové otázky

1. Sensory s indukčností: Napište základní rovnici pro výpočet indukčnosti L a k ní napište diferenciální rovnici pro určení změny indukčnosti. Nakreslete náhradní elektrické zapojení senzoru s L s připojením k vyhodnocovacímu obvodu. Z náhradního elektrického obvodu odvoďte nerovnici pro určení rozmezí pracovních frekvencí.
2. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní): Nakreslete princip činnosti, napište, na kterých parametrech je indukčnost L závislá.
3. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s malou vzduchovou mezerou: Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu indukčnosti se změnou vzduchové mezery
4. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s posunutím jádra: Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku L jako funkci posunutí třmene
5. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s potlačeným magnetickým polem : Nakreslete a vysvětlete princip činnosti
6. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní), vzájemná indukčnost: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru
7. Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní): Nakreslete můstkové zapojení pro vyhodnocování sensorových signálů (výstupem je střídavý signál, stejnosměrný signál, zapojení se synchronním detektorem).
8. Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektromagnetický (aktivní): Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru, napište rovnici indukčního zákona pro cívku s N závitů, nakreslete princip (zjednodušený obvod) pro vyhodnocování výstupního signálu.
9. Transformátorový senzor polohy (LVDT): Nakreslete princip činnosti
10. Transformátorový senzor polohy (LVDT) : Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování informace z LVDT senzoru
11. Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektrodynamický (aktivní) : Nakreslete princip činnosti senzoru, napište magnetoinduktivní rovnici pro výstupní napětí, nakreslete zjednodušený obvod pro vyhodnocování výstupního signálu
12. Magnetoelastický senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti. Nakreslete příklad závislosti permeability, resp. indukčnosti na působící síle (mechanickém namáhání). Nakreslete příklad konstrukce magnetoelastických (lístkových) tenzometrů
13. Magnetosktrichní senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti
14. Magnetoanizotropní senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti

