



Fakulta elektrotechnická

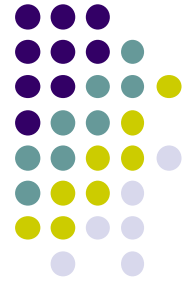
Katedra technologií a měření

KET/RJTD

11. přednáška – Základní diagnostické metody (pokračování)



8.1.3 Magnetická defektoskopie a magnetická zařízení (pokračování)



- pozn. 1
- příklad měření **ss mag. napětí** U_{mAB}
Rogowskiho potenciometrem RP
- RP - cívka s N závitů stejné plochy S je navinuta na ohebný pásek nebo pevné jádro z neferomag. a nevodivého materiálu

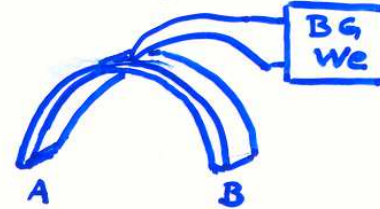
- magnetické napětí
$$U_{mAB} = \int_A^B \overline{H} d\overline{l}$$

a pro napětí v homogenním mag. poli platí

$$U_{mAB} = Hl_{AB}$$

2.3. MĚŘENÍ U_m Rogowskiho potenciometrem

R.p.: cívka s N závitů stejné plochy S navinutá na ohebný pásek nebo pevné jádro z neferomagnet. a nerozvodného materiálu.



mg. napětí: $U_{mAB} = \int_A^B \vec{H} d\vec{C}$

AB = vzdálenost bodů

v homog. poli: $U_{mAB} = H \cdot l_{AB}$

Platí vztah $Q = \int_0^{t_1} i dt = \frac{1}{R_c} \int_0^{t_1} u dt = \frac{\phi_c}{R_c}$

mg. napětí: $U_{mAB} = H \cdot l_{AB} = \frac{B}{\mu_0} \cdot l_{AB} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\phi_c}{N \cdot S} \cdot l_{AB} = \frac{l_{AB}}{\mu_0} \cdot \frac{R_c \cdot Q}{N \cdot S}$

$$R_c \cdot Q = Q_u = \begin{cases} K_{Qu} \cdot \alpha_{1m} & \text{BG} \\ K_F \cdot \alpha_F & \text{webermetrem} \end{cases}$$

$\frac{l_{AB}}{\mu_0 N S} = K_{RP}$... konstanta Rog. potenciometru

mg. napětí: $U_{mAB} = K_{RP} \cdot K_{Qu} \cdot \alpha_{1m} \quad [A]$

$U_{mAB} = K_{RP} \cdot K_F \cdot \alpha_F \quad [A]$

- proudový impuls je dán vztahem

$$Q_i = \int_{t_1}^{t_2} i dt = \frac{1}{R_C} \int_{t_1}^{t_2} u dt = \frac{\Phi_C}{R_C}$$



- dosazením do vztahu pro mag. napětí

$$U_{mAB} = H l_{AB} = \frac{B}{\mu_0} l_{AB} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Phi_C}{NS} l_{AB} = \frac{l_{AB}}{\mu_0} \frac{R_C Q_i}{NS}$$

$$R_C Q_i = Q_u = \dots$$



a) **Balistický galvanometr** (viz časový průběh)

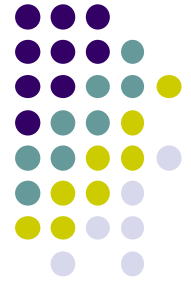
$$Q_u = R_C Q_i = K_{Q_u} \alpha_{1\max}$$

b) **Webermetr** (viz časový průběh)

$$Q_u = K_F \alpha_F$$

● **konstanta Rogowskiho potenciometru**

$$K_{RP} = \frac{l_{AB}}{\mu_0 NS}$$



- **ss mg.napětí** měříme
balist.galvanoměrem nebo webermetrem

$$U_{mAB} = K_{RP} K_{Qu} \alpha_{1\max}$$

$$U_{mAB} = K_{RP} K_F \alpha_F$$

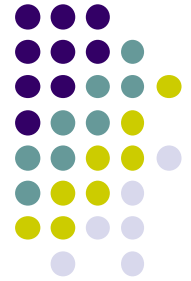
- **pozn. 2**
- **ss mg.pole** lze měřit i **voltmetrem**, ale:
- **výchylka = α** jen v okamžiku změny mg.toku,
- **výchylka = 0**, pokud se mg.pole nemění (voltmetr není integračním přístrojem)

2) měření magnetického střídavého pole



- při těchto měření se měří mag. veličiny pomocí veličin elektrických:
- **magnetické veličiny** - maximální hodnota,
- **elektrické veličiny** - efektivní a střední hodnota



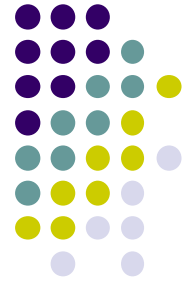


- *magnetické pole harmonické*
- pro harmonické pole platí

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t$$

- k měření se používá **měřicí cívka a voltmetr**, který měří pravou efektivní hodnotu (true)
- mag. tok prochází kolmo k vinutí cívky (ne mezi závity)
- v cívce se indukují **napětí**:

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} = N\Phi_m \omega \sin \omega t = NB_m S \omega \sin \omega t$$



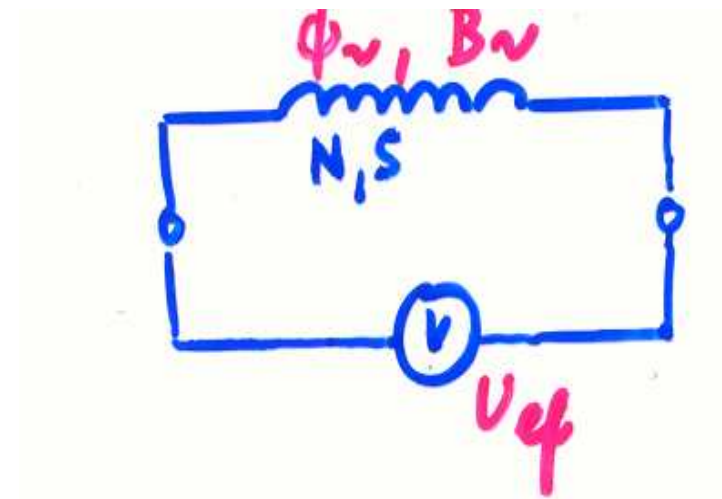
- maximální a efektivní hodnota napětí:

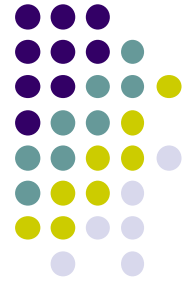
$$U_m = NSB_m 2\pi f$$

$$U_{ef} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} NSB_m f = 4,44 NSB_m f$$

- maximální hodnota indukce magnetického pole:

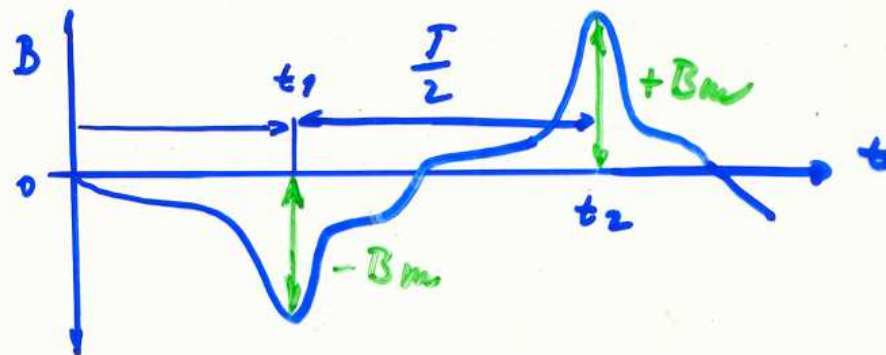
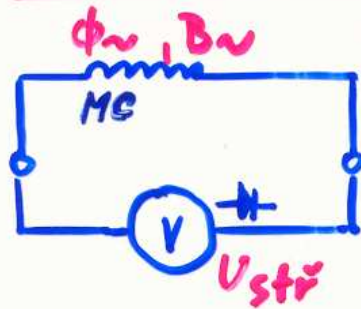
$$B_m = \frac{U_{ef}}{4,44 NSf}$$





- *magnetické pole neharmonické
(symetrický průběh, není uplatněna
nulová složka)*
- k měření se používá **měřicí cívka a voltmetr**
(magnetoelektrický systém s usměrňovačem)
- **Princip:**
- **měří se střední hodnota**, ale **voltmetr** má stupnici
cejchovanou **v efektivní hodnotě pro sinusový
průběh** (tzn. je cejchován v efektivních hodnotách
pro harmonické napětí)

B. Pole neharmonické (průběh symetrický)



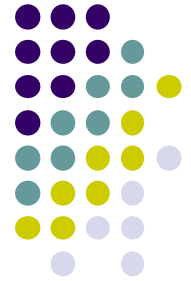
střední hodnoty:

$$U_{str} = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} u \cdot dt = 2fNS \int_{-B_m}^{+B_m} dB = 4fNS B_m$$

indukce mg. pole: 1) $B_m = \frac{U_{str}}{4fNS}$ nebo

2) $B_m = \frac{U_{ef}}{4 \cdot k_t f NS}$ *známe-li \$k_t\$!*

ad 2) Chyba metody: voltmetr bývá esychován pro harmonické napětí



- střední hodnota napětí

$$U_{stř.} = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} u dt = 2NSf \int_{-B_m}^{+B_m} dB = 4NSB_m f$$

- indukce magnetického pole

- a) s využitím střední hodnoty napětí

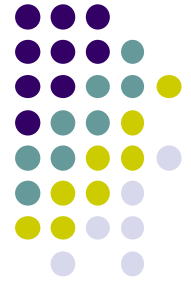
$$B_m = \frac{U_{stř.}}{4NSf}$$



b) s použitím efektivní hodnoty napětí a konstanty činitele tvaru k_t

$$B_m = \frac{U_{ef}}{4k_t N S f} \quad \text{kde} \quad k_t = \frac{U_{ef}}{U_{stř.}}$$

- uplatňuje se **chyba metody** – voltmetr bývá cejchován pro harmonické napětí (viz výše)
- **konstanta k_t** je různá pro různé průběhy, např.:
- harmonický = 1,11
- Trojúhelníkový = $2 / \sqrt{3}$
- Obdélníkový = ?? - *doplňte*



- *pozn.*
- pokud měříme obdélníkový průběh a změříme voltmetrem (tzn. jedná se o efektivní hodnotu) 11,1 V;
- Efektivní hodnota obdélníkového průběhu :

$$\frac{U_{ef}}{k_t} = \frac{11,1}{k_{t_harm}} = U_{stř.}$$

$$U_{stř.} k_{t_obdél} = U_{ef_obdél}$$

3) měření magnetických vlastností materiálů (feromagnetik)



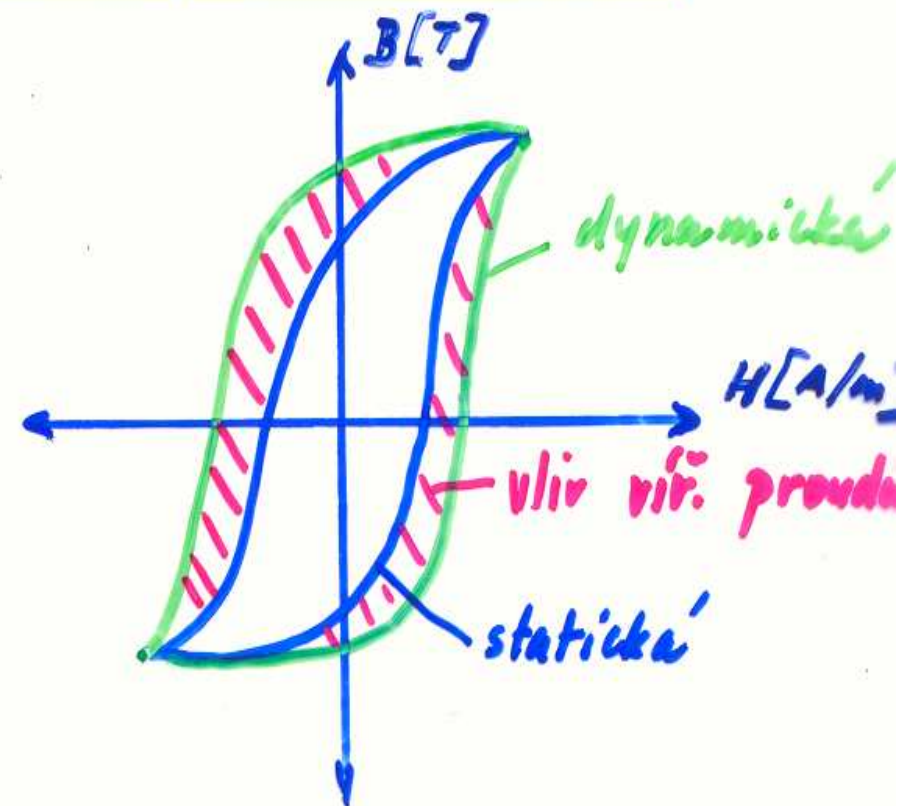
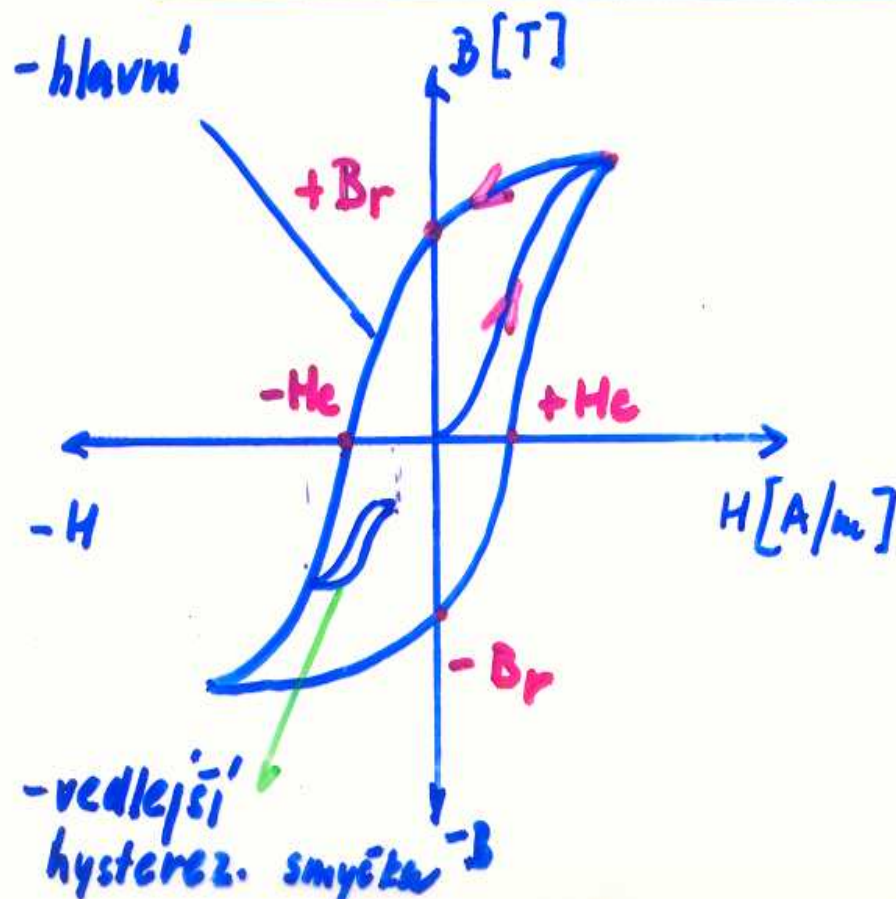
- v elektrotechnice je důležité znát mag. vlastnosti materiálů
- *měření při stejnosměrné magnetizaci*
- při stejnosměrné magnetizaci se určuje hysterezní statická smyčka
- smyčka se měří pomalu a je **úměrná hysterezním ztrátám**
- **statická smyčka je menší než dynamická**

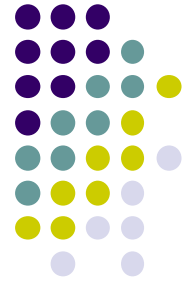
Pozn.: Toto je i u obhajob TE – materiály feromagnetické !!



4. MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ FEROMAGNETIK

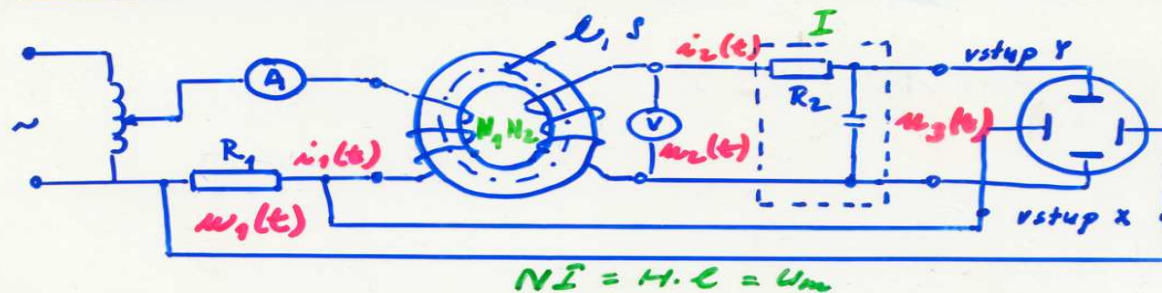
Statické charakteristiky, dynamické char.:





- *měření při střídavé magnetizaci*
- určuje se hysterezní smyčka dynamická, její plocha je úměrná hysterezním ztrátám + ztrátám vířivými proudy!
- pozn.
- viz měření dynamické hysterezní smyčky osciloskopem na uzavřeném vzorku

4.1. Měření dynamické hysterzní smyčky osciloskopem na uzavřeném vzorku



$$u_1(t) = R_1 \cdot i_1(t) = R_1 \cdot \frac{l}{N_1} H = k_1 \cdot H(t) \quad (\sim \text{okamž. hodnoty } H)$$

$$u_2(t) = - \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 S \frac{dB}{dt} \Rightarrow \text{nutná integrace}$$

$$\text{Je-li } R_2 \gg \frac{1}{\omega C}, \text{ pak } i_2 = \frac{u_2}{R_2}$$

$$U_C \cdot C = Q = \int i \, dt$$

$$u_C(t) = u_3(t) = \frac{1}{C} \int i_2 \, dt = \frac{1}{C R_2} \int u_2 \, dt = \frac{N_2 S}{C R_2} \int dB$$

$$= k_2 B(t) \quad (\sim \text{okamžité hodnoty } B)$$

Dejchování osciloskopu, výpočet měřítel:

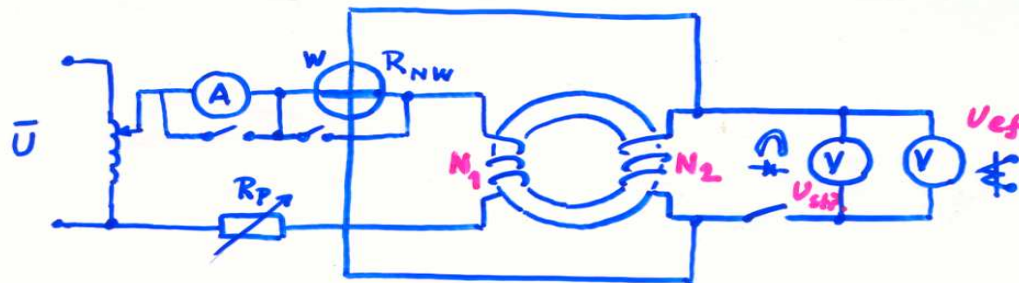
$$H_m = \frac{\sqrt{2} U_1 N_1}{R_1 \cdot l}$$

$$(N \cdot I = H \cdot l)$$

$$B_m = \frac{U_2}{4,44 N_2 S f}$$

$$\text{Ztráty ve vzorku: } \Delta P_{Fe} = V \cdot f \cdot S_h$$

4.2. Měření ztrát v Fe uzavřeném vzorku W-metru



Střídavé magnetování způsobí ve feromg. látce ohřev.
Použití různých feromagnetik závisí na ztrátovém výkonu, kt. vyvolá ohřev materiálu (silnoproud. technika)

Celkový ztrát. výkon
$$P_{Fe} = \frac{1}{T} \int_0^T u_1 i_1 dt = f \cdot V \cdot \int H dB$$

střední hodnota:
$$U_{2stř} = 4 f B_m \cdot S \cdot N_2$$

změřené ztráty:
$$\Delta P_{Fe} = P_W \cdot \frac{N_1}{N_2} - \frac{U_2^2}{R_{Nc(W)}}$$

ztráty hysterezní:
$$\Delta P_H = k_H \cdot V \cdot f \cdot B_m^n$$

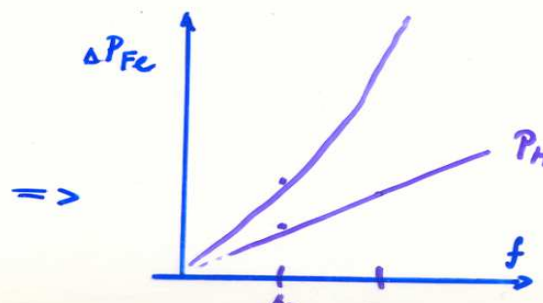
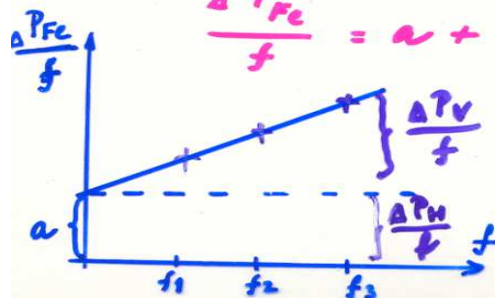
 $n = 1,6 \div 2,2$
 (typem materiálu)

ztráty víř. proudy:
$$\Delta P_V = k_V \cdot V \cdot f^2 \cdot k_t^2 \cdot B_m^2$$

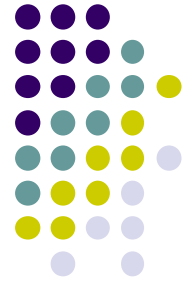
Je-li $k_t = \text{konst}$, pak celkové ztráty:

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_H + \Delta P_V = a \cdot f + b \cdot f^2$$

$$\frac{\Delta P_{Fe}}{f} = a + b f$$



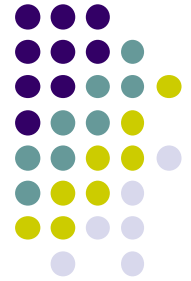
Vnitřní (objemové) metody



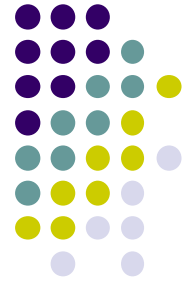
8.1.4 Ultrazvuková defektoskopie (str.137)

- patří mezi nejrychleji se rozvíjející metody nedestruktivního zkoušení materiálu





- principem ultrazvukové defektoskopie je **interakce mech. kmitání s diagnostikovaným prostředím**, ve kterém se dané vlny šíří
- **detekce odražené ultrazvukové vlny** v testovaném materiálu
- vzniká jen za předpokladu, že se v materiálu nachází prasklinky vyplněné plynem
- na **rozhraní pevná látka / plyn** dochází prakticky k úplnému odrazu mech. kmitání



- pro **harmonické kmitání** hmotných částic platí **vlnová rovnice**

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

kde y ... výchylka, pro kterou platí

$$y = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

A ... amplituda

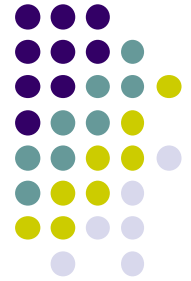
c ... rychlost šíření vlny

x ... souřadnice polohy částice



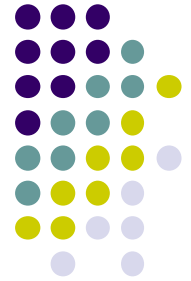
- **ultrazvuk** je definován od 20 kHz výše
- **rozsah frekvencí:**
 - a) pro **laboratorní metody** 100 kHz – 30 MHz
 - b) pro **provozní metody** 100 kHz – 15 MHz
- **typy ultrazvukových sond:**
 - přímá jednoduchá,
 - dvojité,
 - úhlová a
 - speciální





- dělení kmitání podle směru kmitání částic vůči směru šíření vlny
- **podélné** kmitání (longitudinální) – index **L**
(vyskytuje se u kapalin a plynů)
- **příčné** (transverzální) – index **T**
- **povrchové** (Rayleighovy vlny) – index **R**
(částice kmitají po eliptických drahách)
- **deskové** (Lambovy vlny) – index **D**

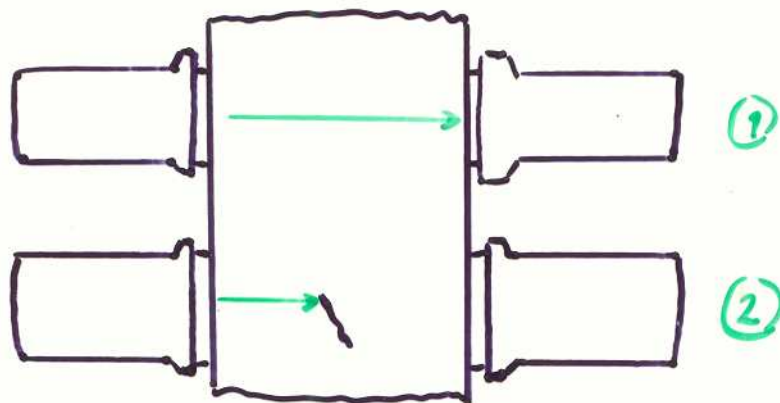
metody ultrazvukové defektoskopie



- *metoda průchodová (srovnávací)*
- testovaný vzorek porovnává se vzorkem, který je bez závad
- ke každému materiálu se přiloží **2 dvojice piezoel. sond** (vysílací a přijímací) a měří se pokles akustického tlaku
- můžeme pouze odhalit, zda se v materiálu vyskytují defekty - **detekce**, ale **nelze lokalizovat** jejich podobu.

Schéma zapojení (lepší obr. ve skriptech):

ad a)



Testovaný vzorek se porovnává se vzorkem
bez vad

2 piezoelektrické sondy (přijímač a vysílač) měří
pobles akustického tlaku.

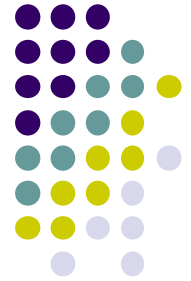
Nevýhoda: identifikujeme defekt, ne jeho polohu
(trav)

vysílačí
impuls



1 - materiál bez vady

2 - " s defektem

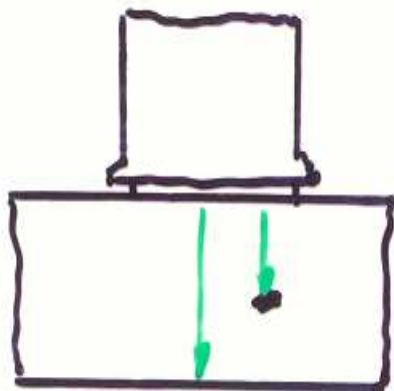


- *metoda impulsová odrazová*
- snímání odrazů signálu
- používá se jen **1 sonda (kombinovaná)**
- horizontální systém osciloskopu - čas. základna s generátorem impulsů
- sonda - přes zesilovač připojena k vertikálnímu systému osciloskopu
- na obrazovce se zobrazuje tzv. **vadové echo** (impuls), které značí výskyt defektu – detekce,
- podle jeho tvaru a polohy lze lokalizovat geometrii defektu.

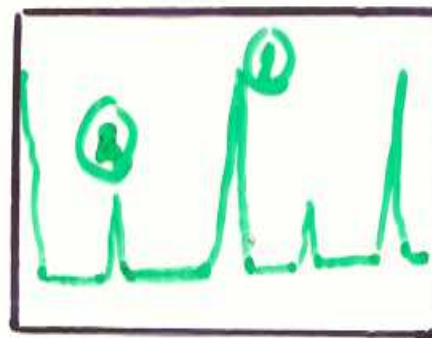
Schéma zapojení (lepší obr. ve skriptech):



ad b)



vyšloví
impuls



① koncový echo
② vstřední echo

princip: měření odrazu signálu
1 sonda

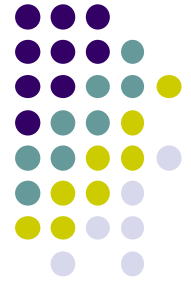
Podle tvaru a polohy vodorovného echo detekujeme
geometrii defektu.

8.2 Vibrodiagnostický systém (str. 138)



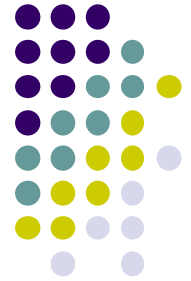
- vibrodiagnostické systémy detekují mechanické kmitání - vibrace
- mechanické kmitání –
- vratný pohyb hmotných bodů kolem své klidové rovnovážné polohy
- popis polohovým vektorem (amplituda a fáze v daném okamžiku)





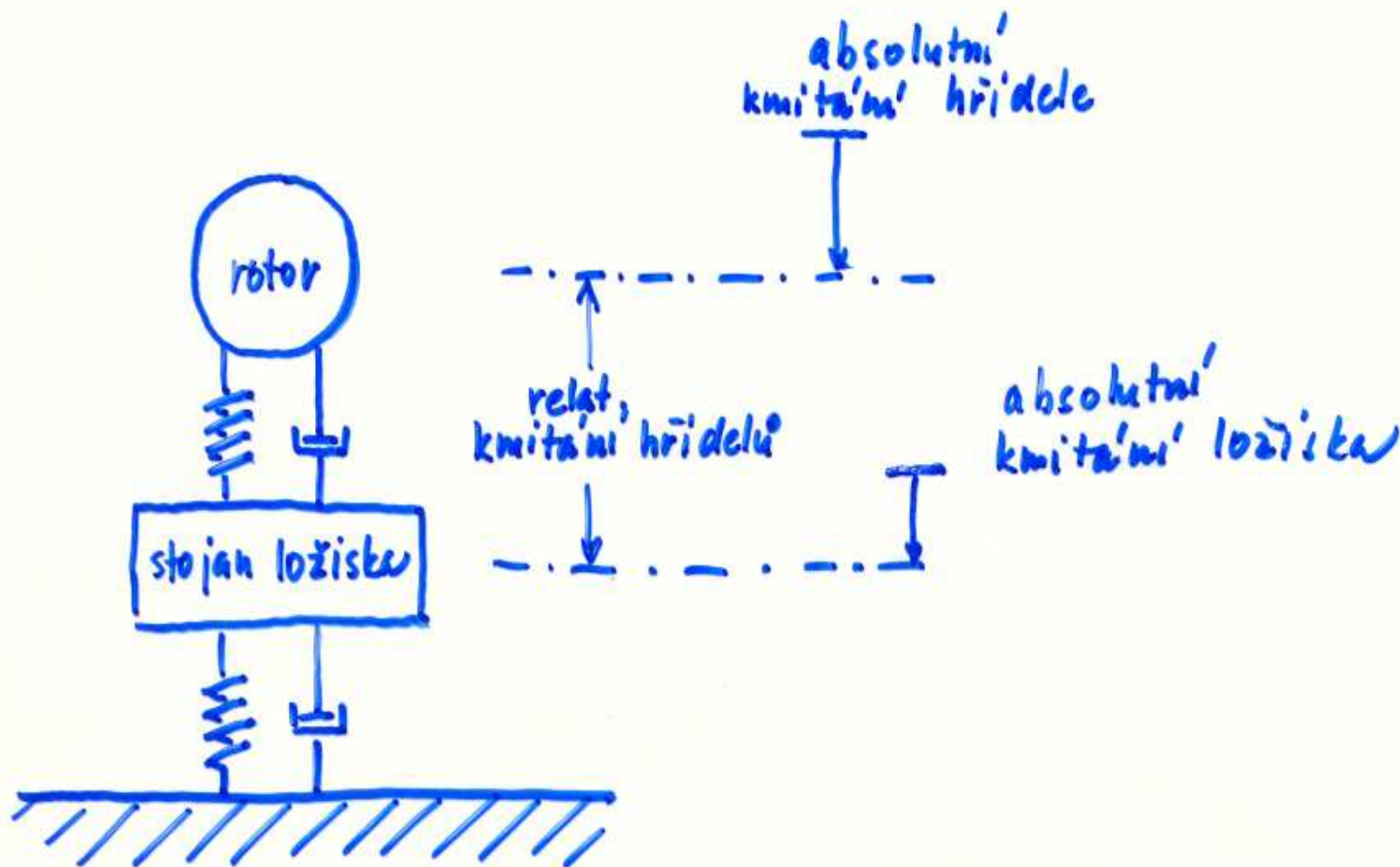
- vlnění —
šíření postupné vlny pružným prostředím
(jednotlivé body kmitají s různou výchylkou a fází)
- stojaté vlnění —
vlnění, které vzniká tak, že se vlivem odrazu
superponují dvě vlnění stejného druhu
(rozložení maxim a minim se v čase nemění)

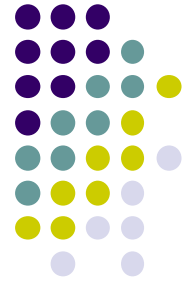




- metody pro vyhodnocování kmitání
- metoda **absolutní** –
- pohyb tělesa je vztažen k pevnému fixnímu bodu (umístěném jen v gravitačním poli),
- **tzv. seismické hmotě**, která je v absolutním klidu
- metoda **relativní** –
- pohyb tělesa je vztažen **k reálnému bodu**, který může také kmitat (referenční bod, který je na jiné části měřeného zařízení)

Schéma zapojení (lepší ve skriptech):





- *Poznámka:* opakujeme z předmětu EM vlastnosti analogových přístrojů:
- Měřicí ústrojí:
pevná a pohyblivá část, ukazovatel a stupnice
- Zjednodušení – model (soustředěné parametry)
-
- Ustálený stav – většinou tyto 2 momenty v rovnováze
$$M_P + M_d = 0$$
- Přechodový děj – rovnováha 4 momentů
$$M_J + M_b + M_d + M_P = 0$$

(moment setrvačný, brzdicí, direktivní a pohybový) –
popsat každý moment matematicky



DĚKUJI ZA POZORNOST

