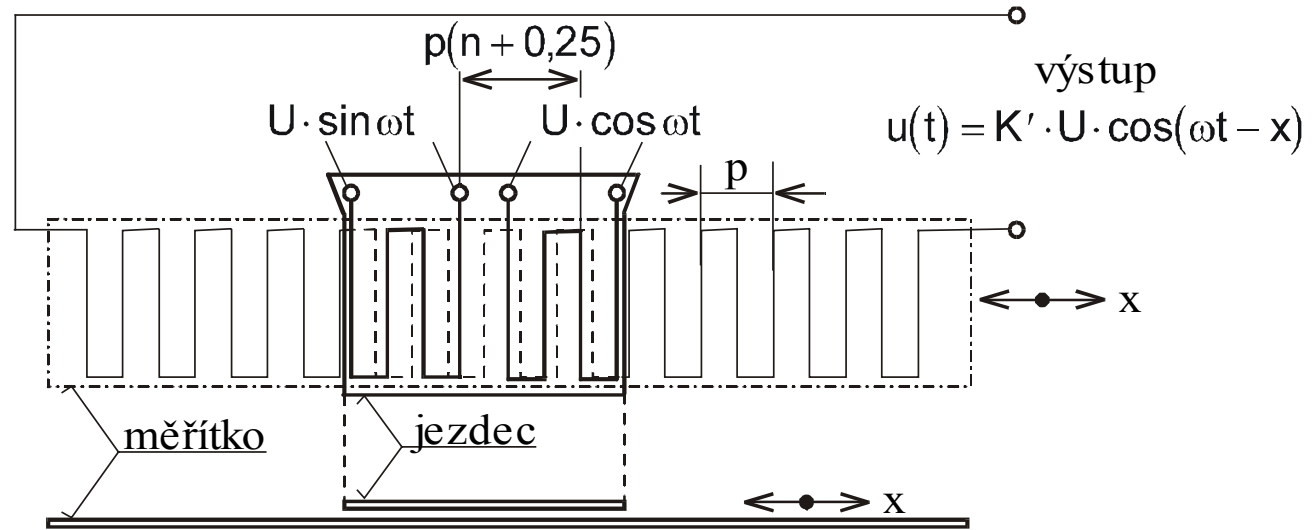


Induktosyn



napájení do 1 jezdcce

$$U_2 = KU \cos\left(2\pi \frac{x}{p}\right) = KU \cos\varphi \quad \text{vzáj.indukčnost } M \sim \cos\varphi$$

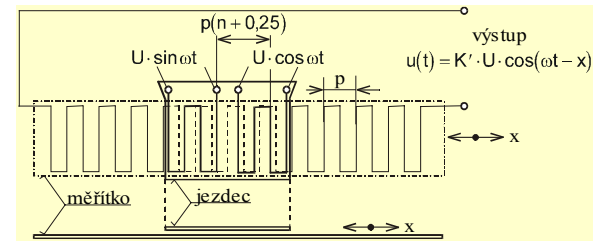
$$U = \cos \omega t \Rightarrow u_2(t) = KU \cos \varphi \cos \omega t$$

napájení do 2 jezdců

$$u_2(t) = u_{21}(t) = u_{22}(t) = KU (\cos \varphi \cos \omega t + \sin \varphi \sin \omega t) = KU \cos(\omega t - \varphi)$$

hrubá stupnice: inkrementální, jemná: měření fáze

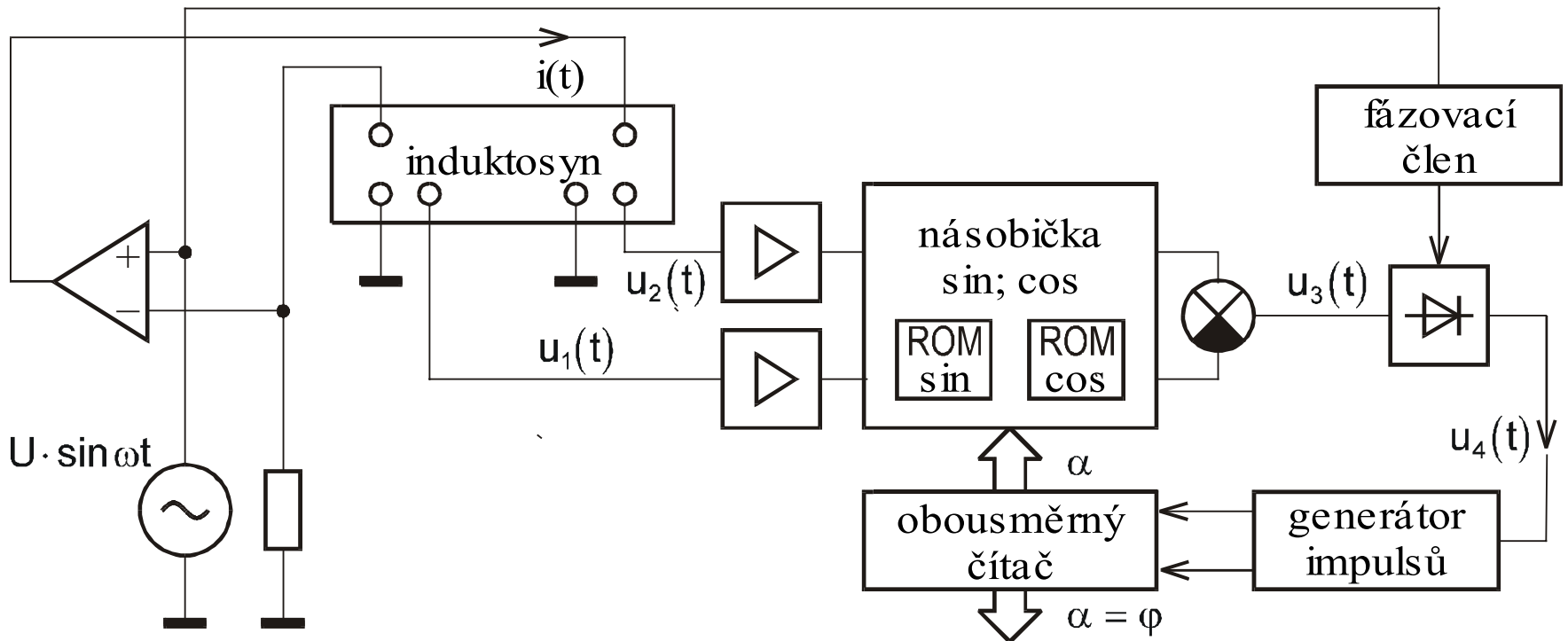
Induktosyn - napájení do měřítka



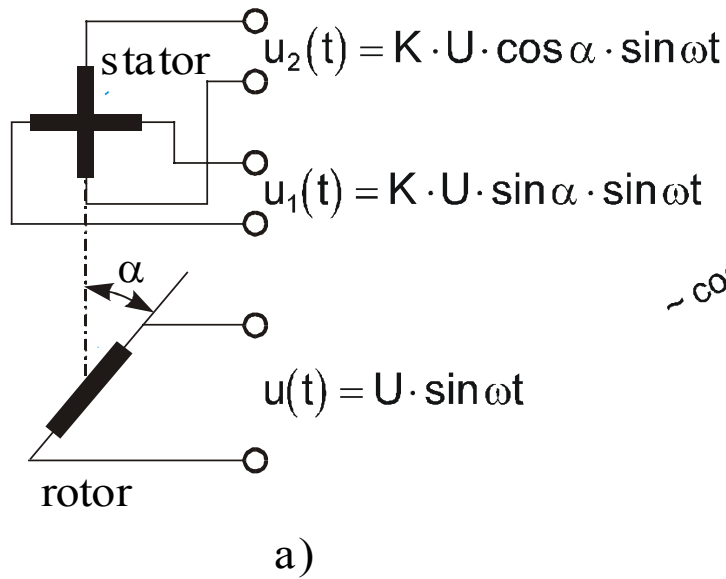
$$u_{21}(t) = KU \sin \varphi \sin \omega t$$

$$u_{22}(t) = KU \cos \varphi \sin \omega t$$

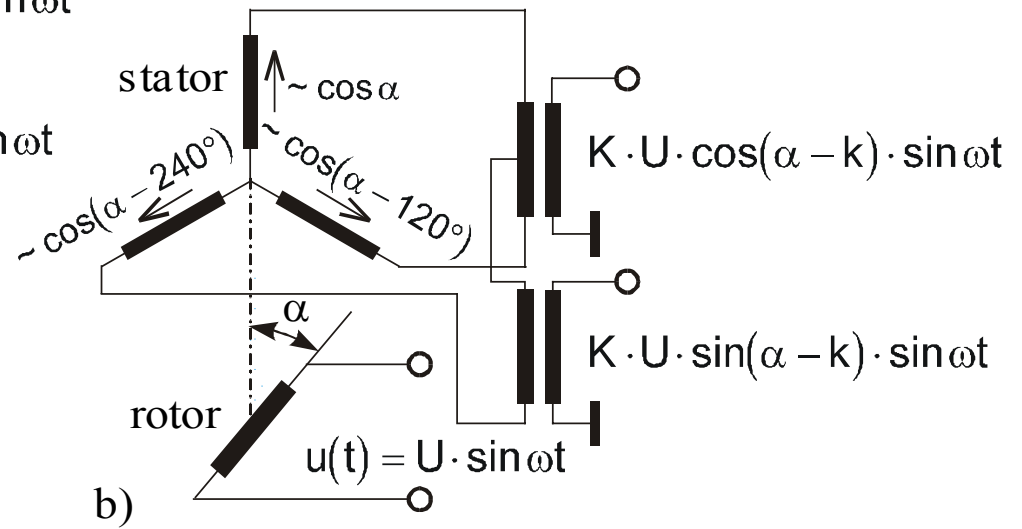
$$u_3(t) = KU(\sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha) \sin \omega t = KU \sin(\varphi - \alpha) \sin \omega t$$



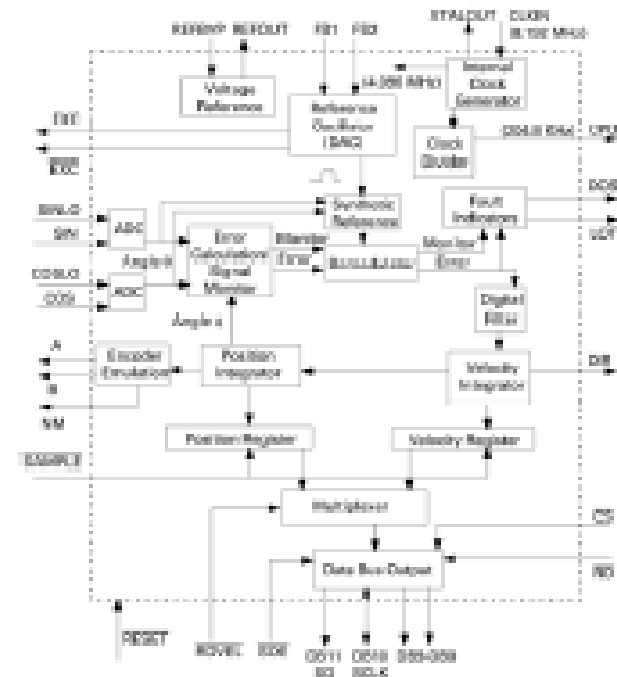
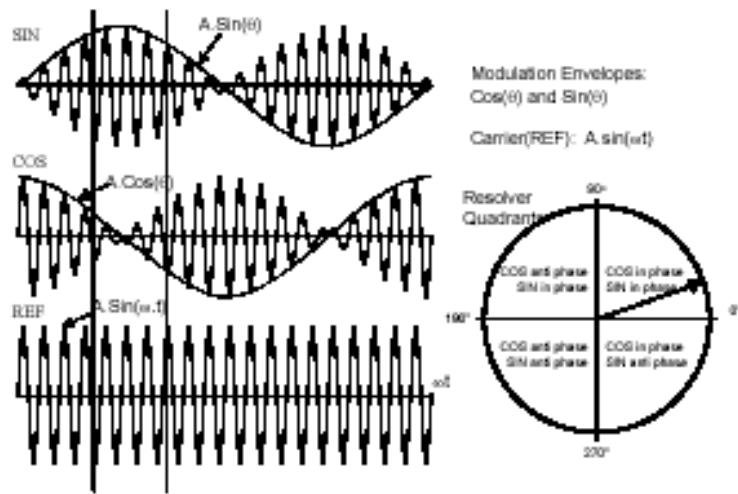
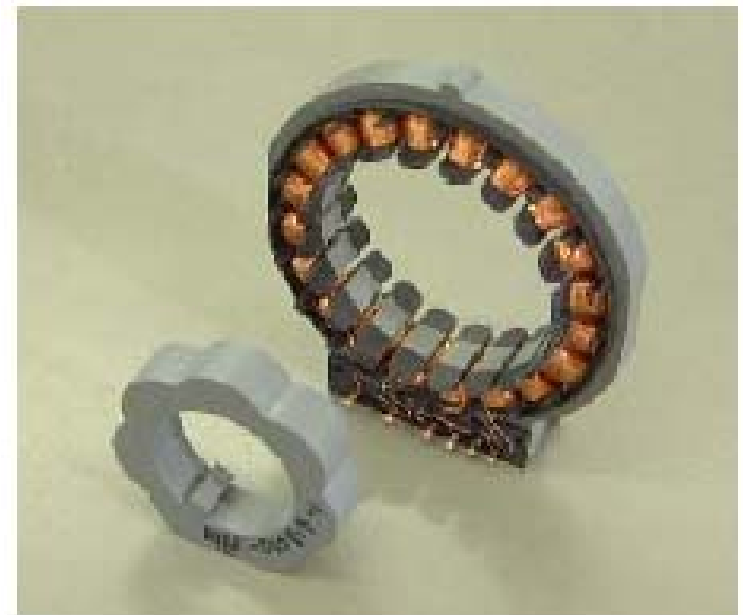
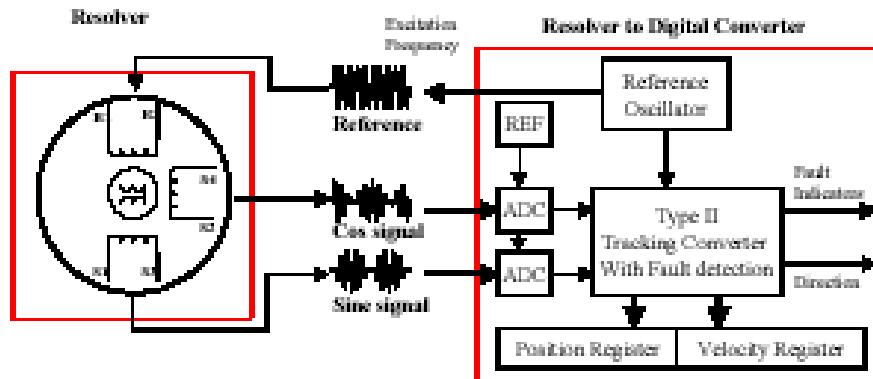
Resolver



Selsyn



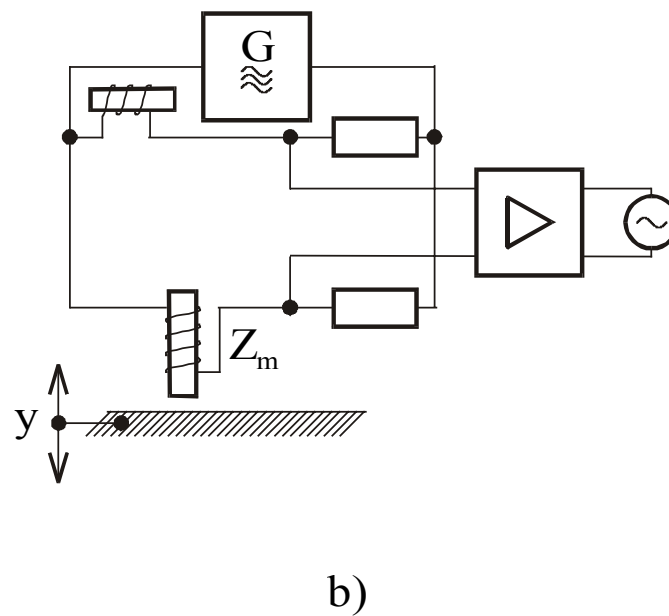
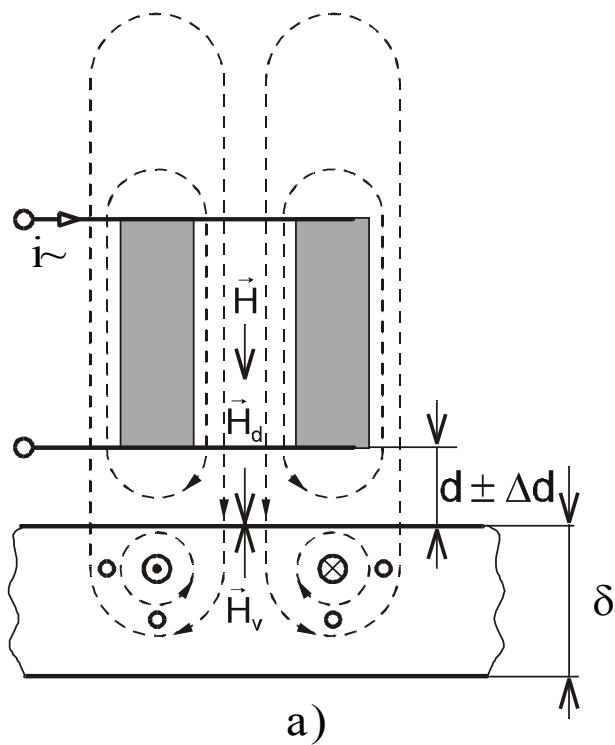
R/D converter : AD2S1200



R/D converter : AD2S1200

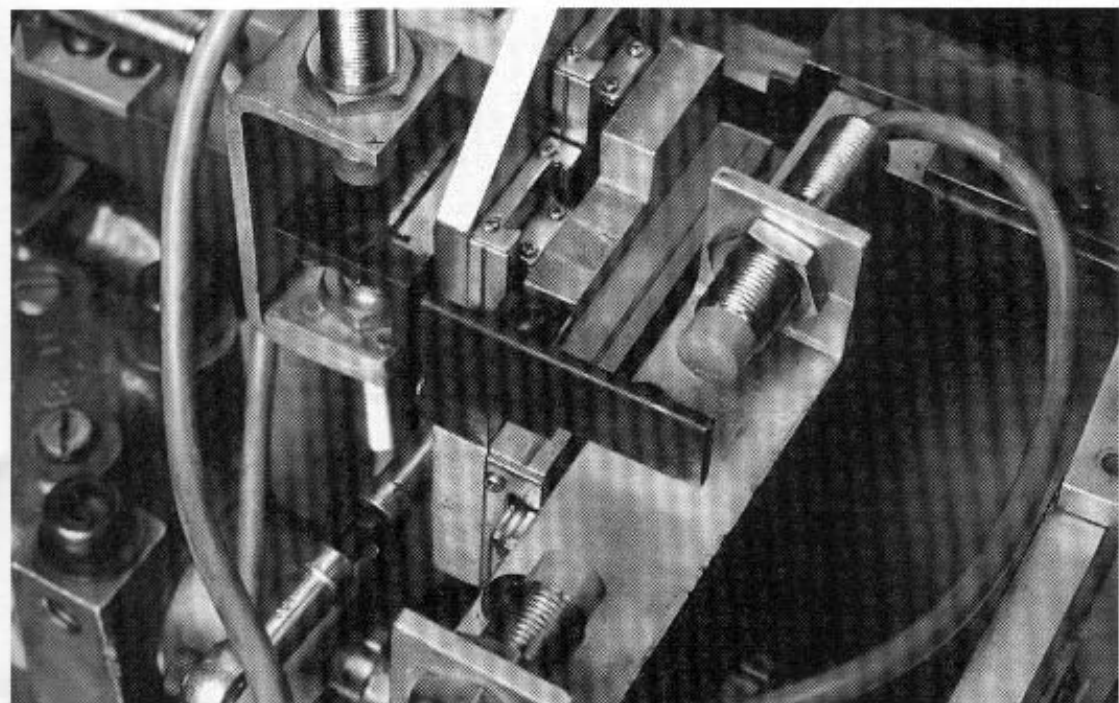
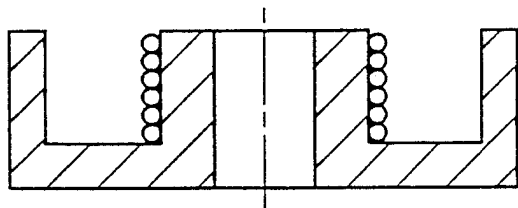
Senzory s vířivými proudy

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \quad \dots \text{ zeslabení na } 1/e = 0.37$$



Senzory s vířivými proudy: konstrukce

fokusace pole: feritové jádro, ev. stínicí kryt



Senzory s vířivými proudy: vyhodnocovací obvody

- místkové a transformátorové obvody
(kompenzační senzor)
- rezonanční obvody LC : f, Q**
- impulsní buzení - defektoskopie

Nízké f: změna $\text{Re}(Z)$

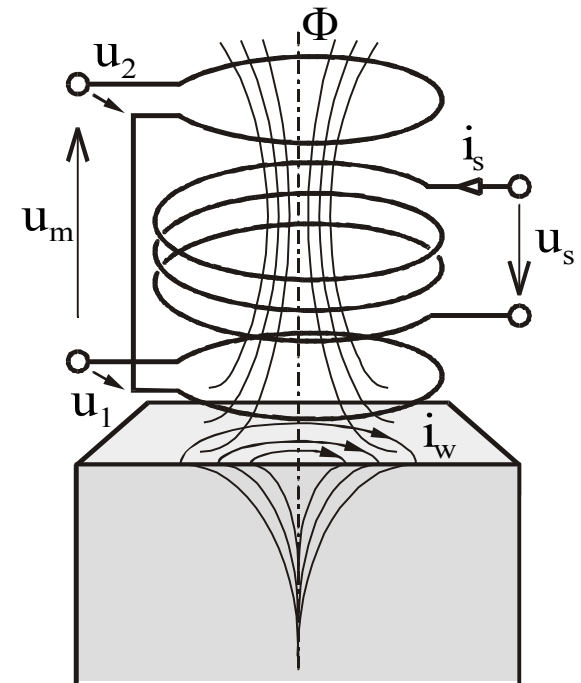
Vysoké f: změna L

Senzory s vířivými proudy: aplikace

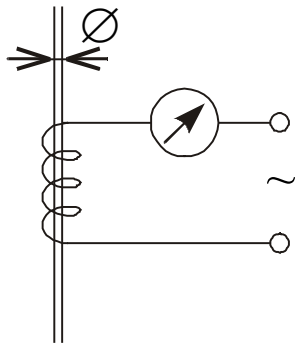
- lineární senzory polohy
- dvoustavové senzory polohy (proximity switch)
- detekce vozidel (a vodivých objektů - miny, potrubí, kabel)
- diagnostika
 - trhliny
 - složení materiálu



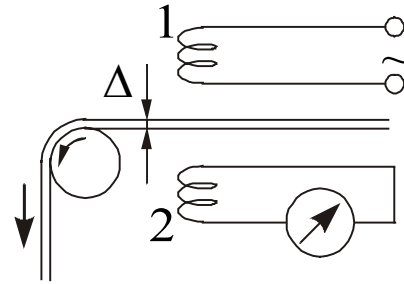
- ☺ bezkontaktní
- ☺ odolné špíně
- ☺ terčik nemusí být feromagnetický, jen vodivý
- ☺ málo závisí na jeho parametrech (pokud $d > \delta$)



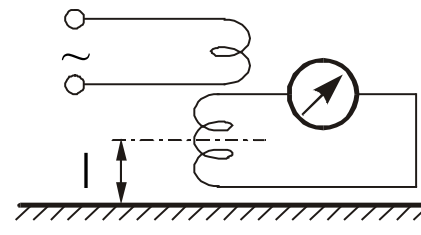
Senzory s vířivými proudy: aplikace



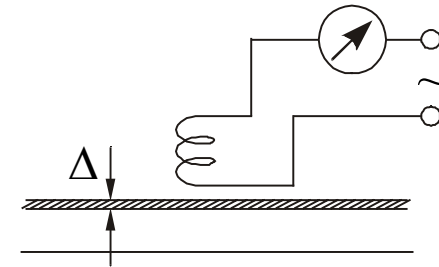
a)



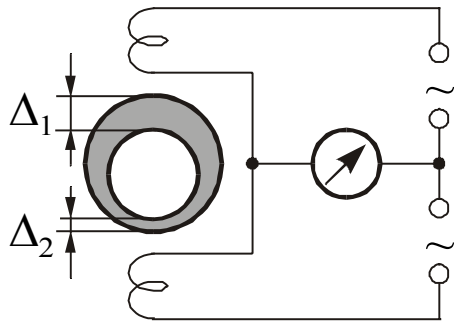
b)



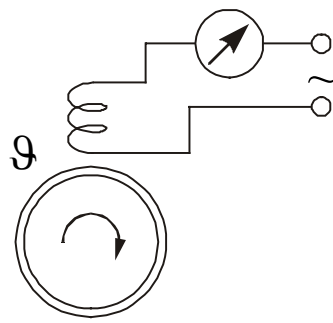
c)



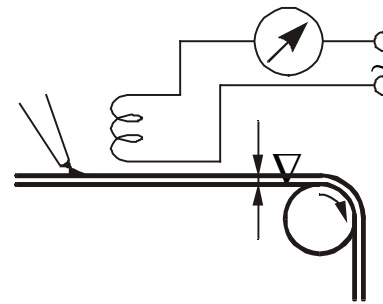
d)



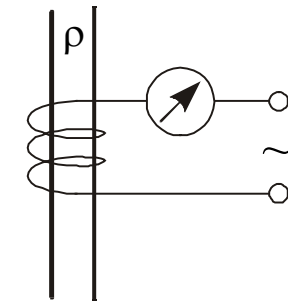
e)



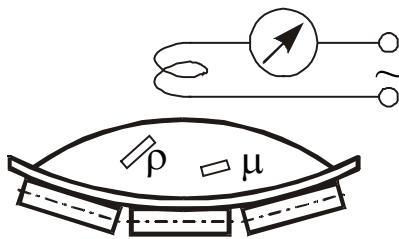
f)



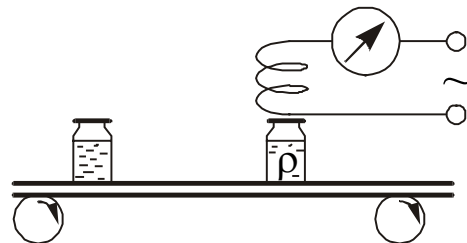
g)



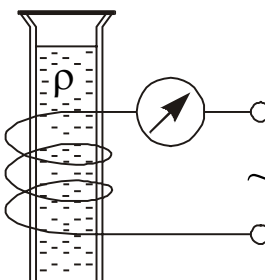
h)



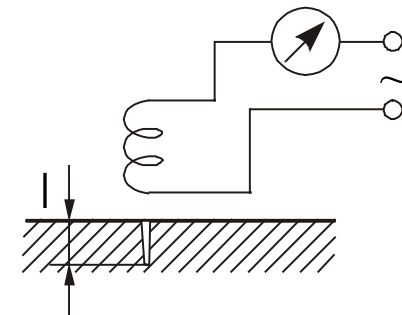
i)



j)



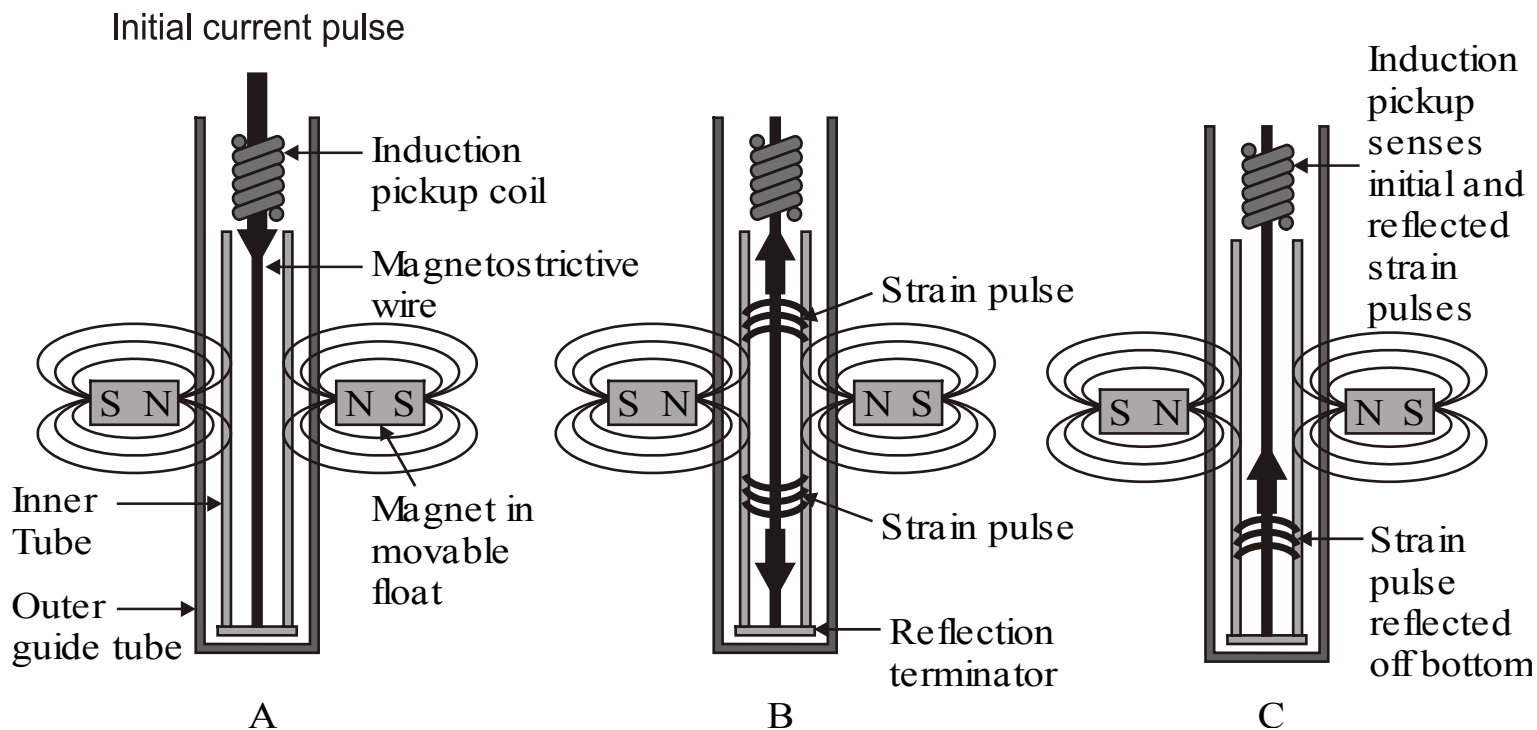
k)



l)

Magnetostrikční senzory polohy

elastická vlna ... $v = 3000 \text{ m/s} = 3 \mu\text{m} / \text{ns}$ (původně zpoždovací linka)



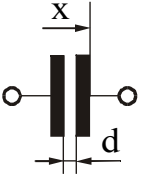
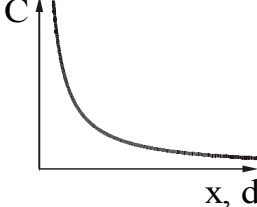
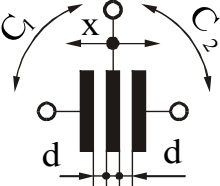
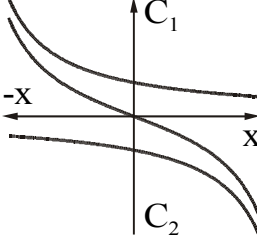
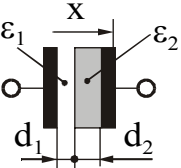
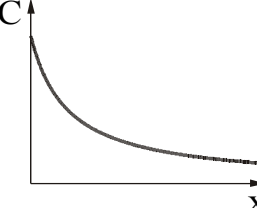
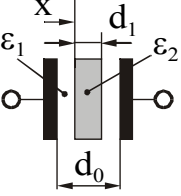
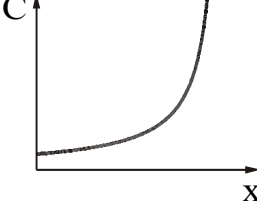
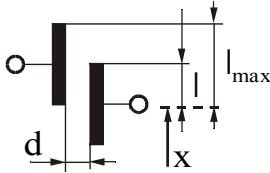
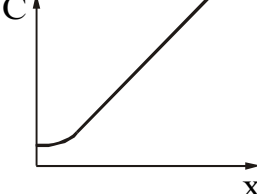
☺ max. délka až 4 m (útlum)

☺ hystereze 0.4 μm

☺ linearita 0.02 %

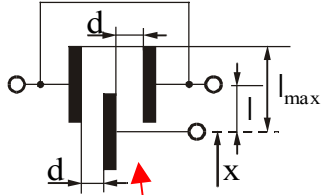
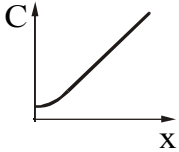
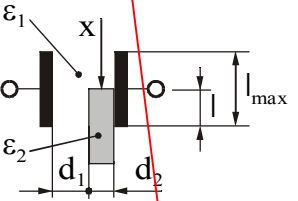
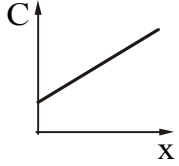
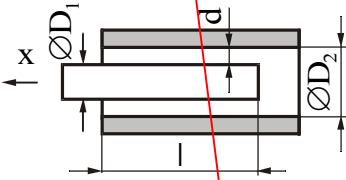
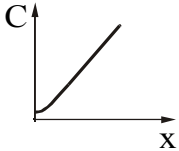
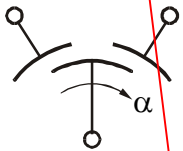
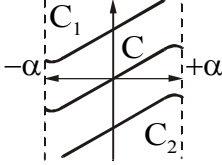
Kapacitní senzory

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

Typ snímače	schema	funkční vztahy	charakteristika
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \epsilon \frac{S}{d(x)}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d} \right)$	
deskový diferenční s proměnnou mezerou		$C_1 = \epsilon \frac{S}{d(x)};$ $C_2 = \epsilon \frac{S}{d(x)};$ $\frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
deskový s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou		$C = \frac{\epsilon_1 S}{d_1(x) + \frac{d_2 \epsilon_1}{\epsilon_2}};$ $\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{N - \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2}}$ $N = \frac{\epsilon_2 (d_1 + d_2)}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2}$	
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\epsilon_1 S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right)}$	
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \doteq -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d} \right)$	

Kapacitní senzory

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$

Typ snímače	schema	funkční vztahy	charakteristika
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \doteq -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí dielektrika		$C = \frac{\epsilon_1 S}{d_1 + d_2} \left[1 + \frac{l(x)}{l_{\max}} \cdot \frac{1 - \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}{\frac{d_1}{d_2} + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} \right]$	
válcový s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{2\pi \cdot l(x)}{\ln \frac{D_1}{D_2}}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \doteq -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \epsilon \frac{S(\alpha)}{d}$	

nezávisí na d

Kapacitní senzor s proměnnou vzduchovou mezerou

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}, \quad \Delta C = \varepsilon S \left(\frac{1}{d + \Delta d} - \frac{1}{d} \right) = Cd \left(\frac{1}{d + \Delta d} - \frac{1}{d} \right) = C \frac{-\frac{\Delta d}{d}}{1 + \frac{\Delta d}{d}}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{-\frac{\Delta d}{d}}{1 + \frac{\Delta d}{d}} \quad y = f(x) = f(x_0) + x \left[\frac{\delta f}{\delta x} \right]_{x_0} + \frac{1}{2!} x^2 \left[\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} \right]_{x_0} + \frac{1}{3!} x^3 \left[\frac{\delta^3 f}{\delta x^3} \right]_{x_0} \dots$$

Taylorova řada

$$x = \frac{\Delta d}{d} \quad f(x) = -\frac{x}{1+x} \quad f(0) = 0, \quad \frac{\delta f}{\delta x} = \frac{1}{(1+x)^2}, \quad \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = -\frac{2}{(1+x)^3}, \quad \frac{\delta^3 f}{\delta x^3} = \frac{3 \cdot 2}{(1+x)^4}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 - \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^3 + \dots$$

Kapacitní senzor s proměnnou vzduchovou mezerou

$$\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 - \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^3 + \dots$$

$$d_1 = d + \Delta d \quad \dots \quad \frac{\Delta C_1}{C} = -\frac{\Delta d}{d} + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 - \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^3 + \dots$$

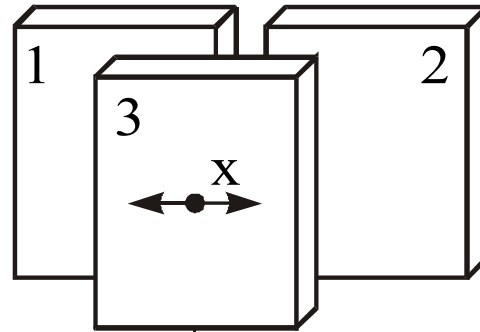
$$d_2 = d - \Delta d \quad \dots \quad \frac{\Delta C_2}{C} = -\frac{-\Delta d}{d} + \left(\frac{-\Delta d}{d}\right)^2 - \left(\frac{-\Delta d}{d}\right)^3 + \dots$$

$$C_1 = C + \Delta C_1, \quad C_2 = C + \Delta C_2 \quad C_1 - C_2 = \Delta C_1 - \Delta C_2$$

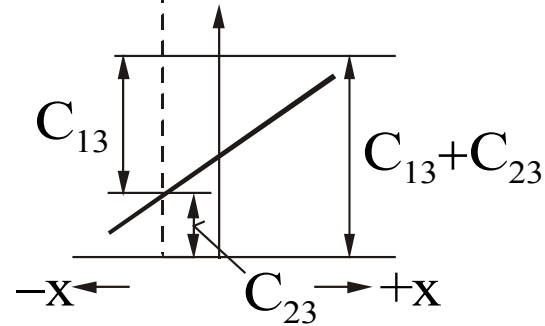
$$\frac{C_1 - C_2}{C} = \frac{\Delta C_1}{C} - \frac{\Delta C_2}{C} = -2\frac{\Delta d}{d} - 2\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^3 - \dots$$

Kapacitní senzor s proměnnou plochou překrytí

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$



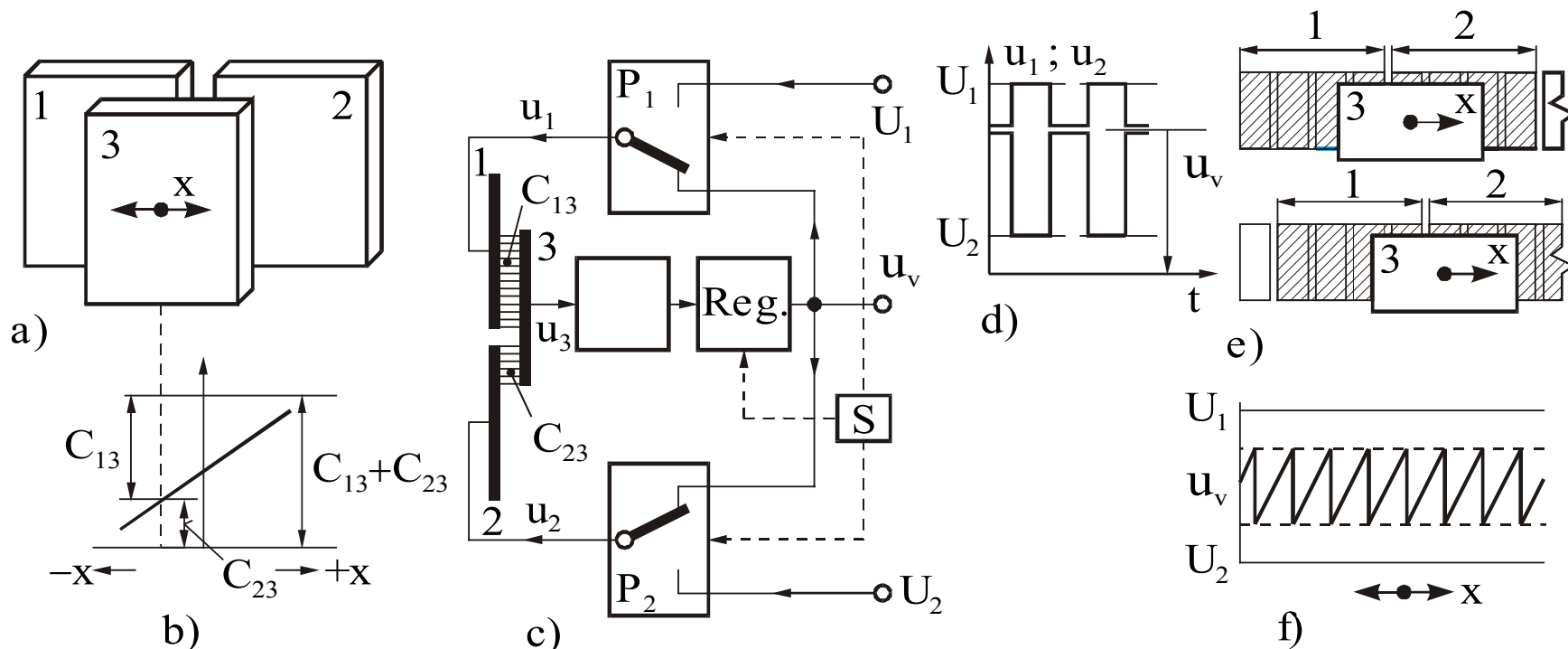
a)



b)

poměrové měření : $\frac{C_{23} - C_{13}}{C_{23} + C_{13}}$ nezávisí na d, ϵ

Kapacitní senzor s proměnnou plochou překrytí



$$U_1(j\omega)j\omega C_{13} + U_2(j\omega)j\omega C_{23} = 0 \Rightarrow U_1(j\omega)C_{13} = -U_2(j\omega)C_{23}$$

$$(u_v - U_1)C_{13} = -(u_v - U_2)C_{23}$$

jestliže $U_1 = U, U_2 = -U$

$$(u_v - U)C_{13} = -(u_v + U)C_{23} \Rightarrow u_v = U \frac{C_{13} - C_{23}}{C_{13} + C_{23}}$$

rozlišovací schopnost: 1 μm , chyba 5 μm

Moderní obvody pro kapacitní senzory

Hlavní problém -

kapacity přívodů (napěťový zdroj, měření proudu)

nábojová pumpa (charge pump)

☺ lze realizovat obvodem CMOS

☺ nejsou třeba transformátory

převodník C/f

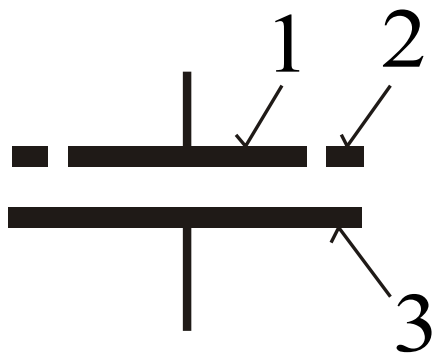
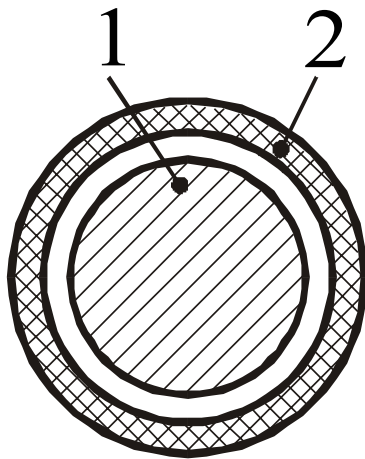
☺ odpadne ADC

převodník C/U

☺ kapacitní ZV odstraní frekvenční závislost

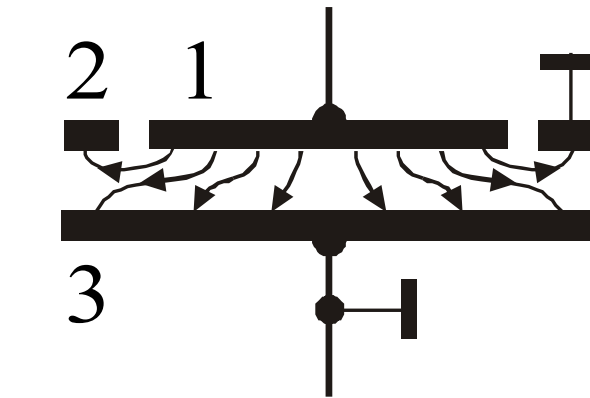
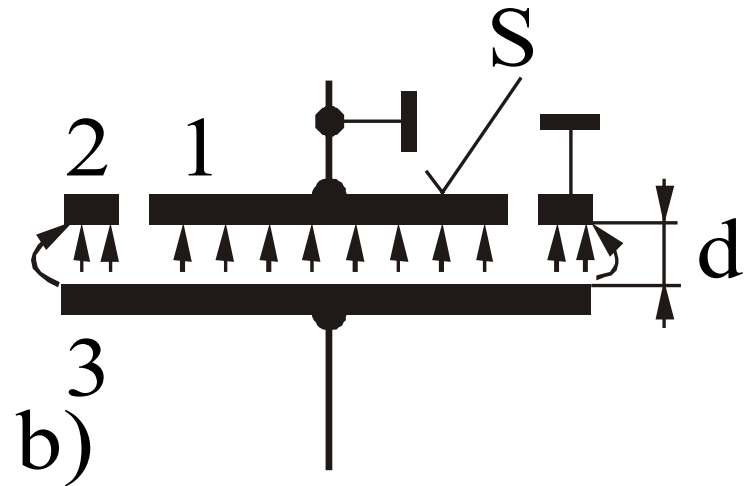
transformátorové můstky

☹ drahé, nelze integrovat



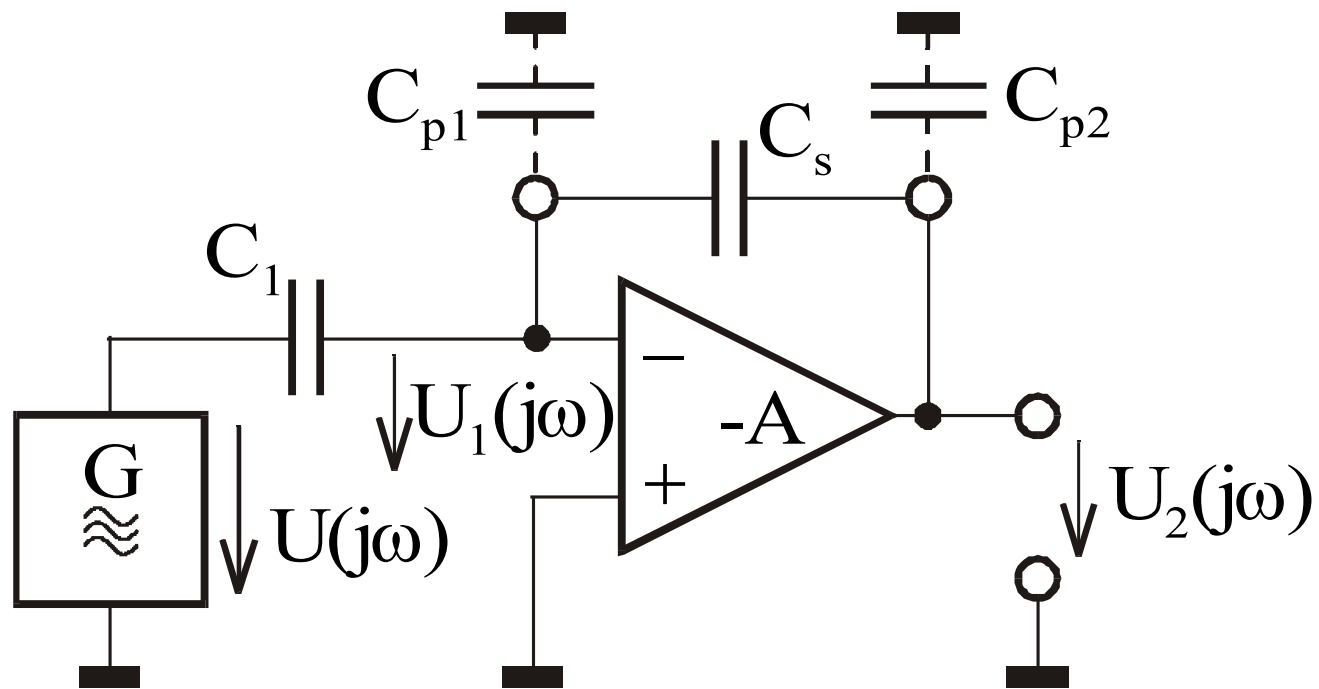
a)

2.... Kelvinův kroužek

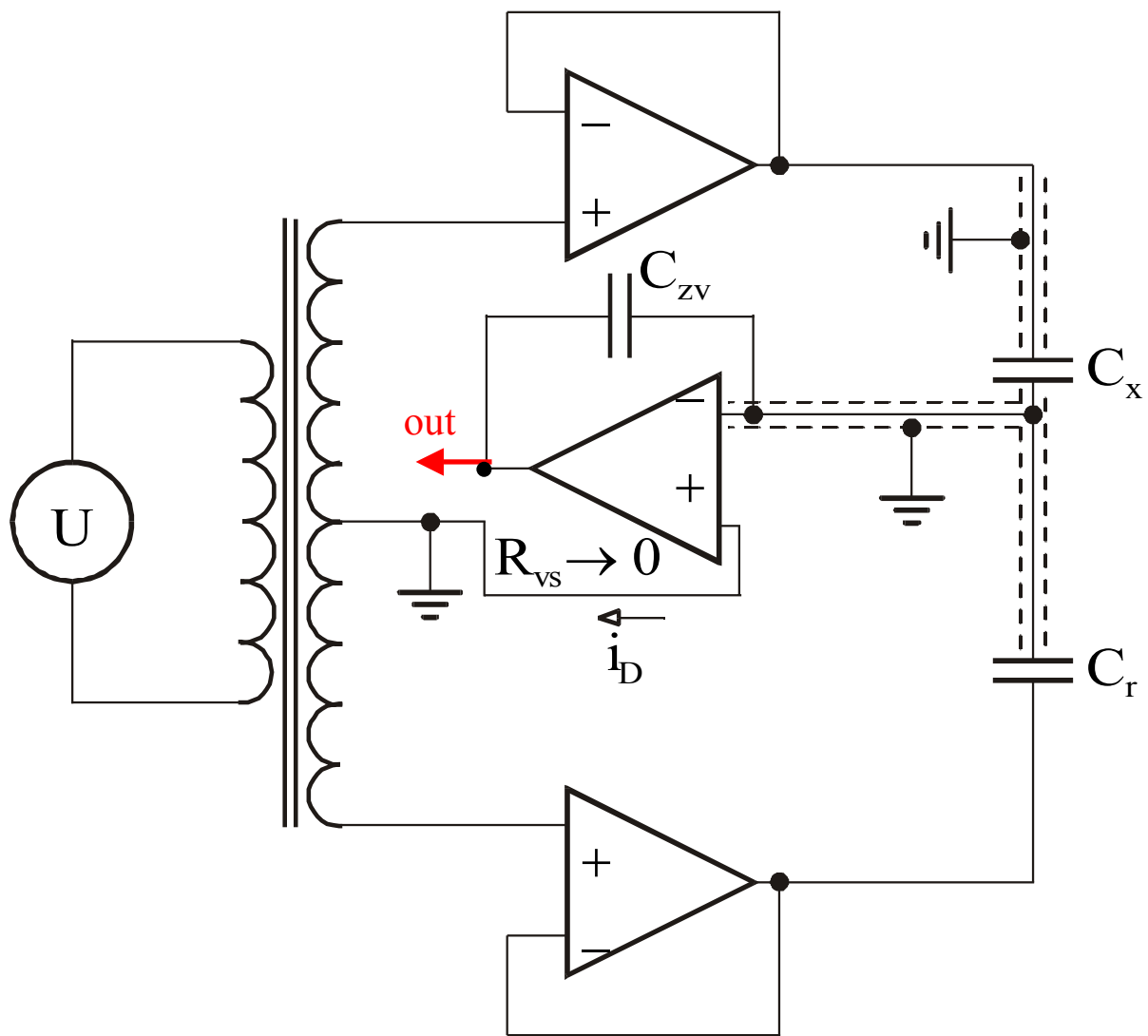


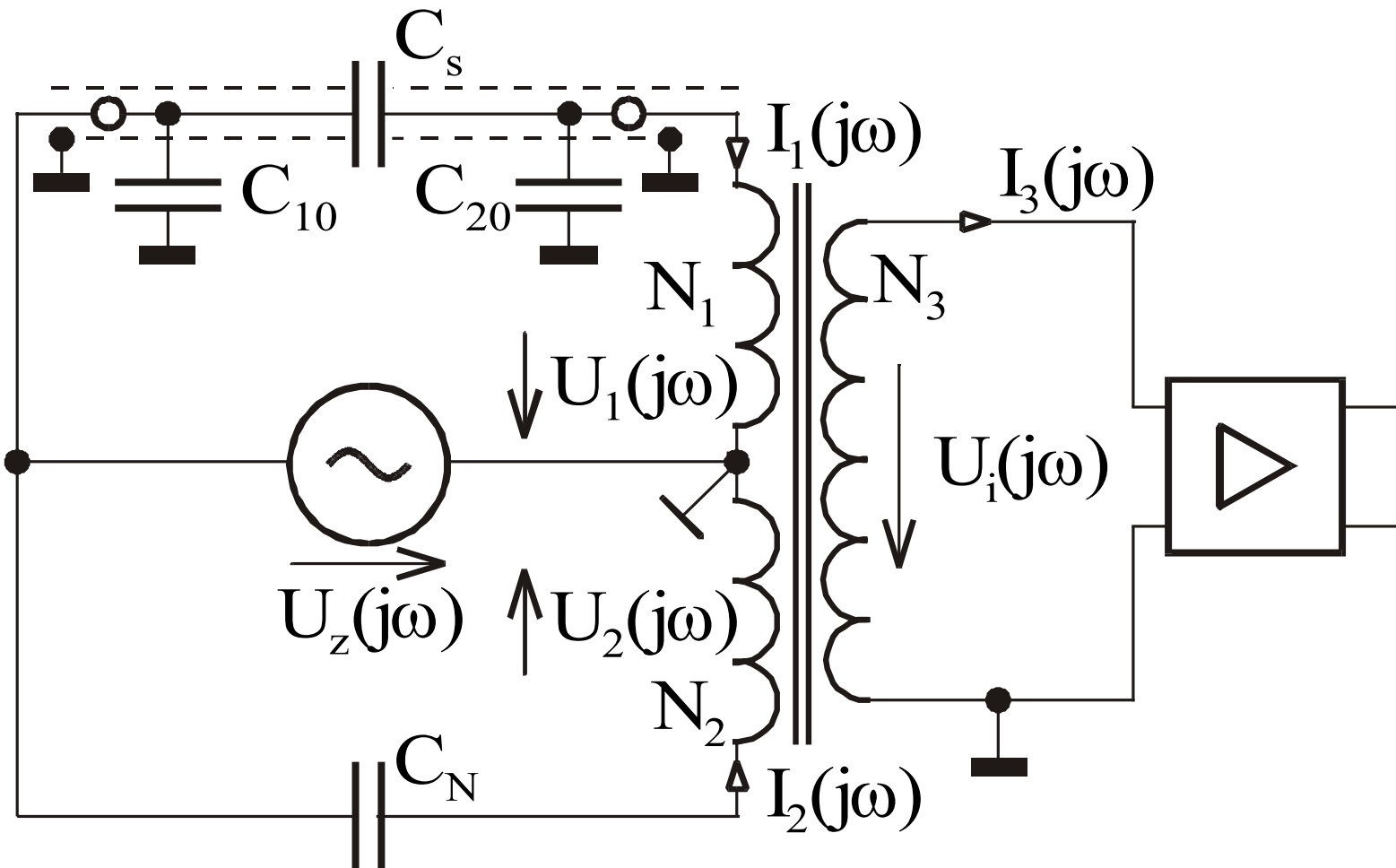
c)

výpočet C z rozměrů
i pro nehomogenní pole... c)



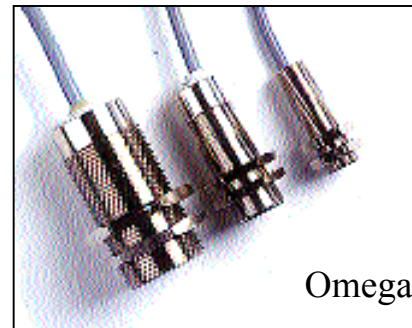
lineární i pro mezerový C_s





Kapacitní čidla ~~senzory, snímače~~ Kapacitní snímání všech materiálů

Honeywell



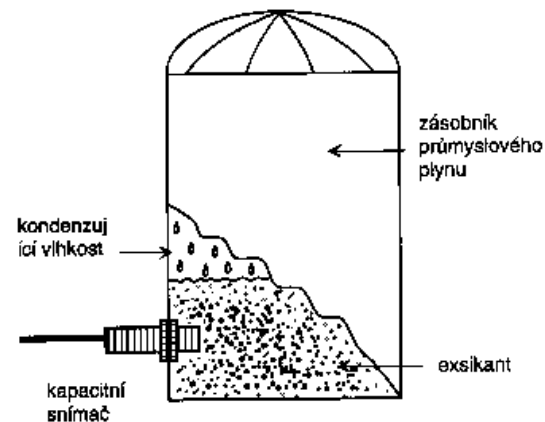
Omega

TYPICKÉ APLIKACE

- Snímání úrovně plnění nádrží.
- Kontrola obsahu výrobku v obalech.
- Snímání hladiny tekutin v nádobách nebo v láhvích.
- Snímání prášku nebo granulovaného materiálu v násypce.
- Snímání nekovových předmětů na páslech dopravníků.

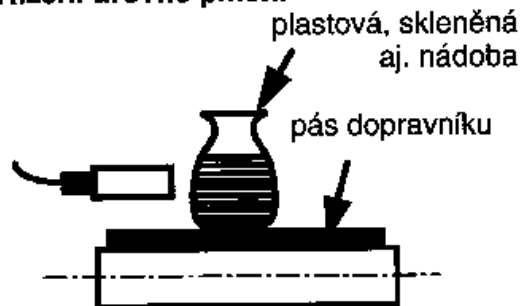
Snímání vlhkosti vysoušecího materiálu

Snímání vlhkosti vysoušecího materiálu



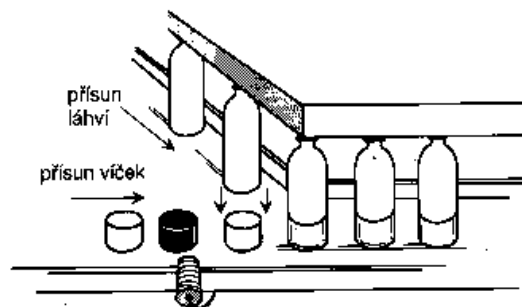
Citlivost je nařízena na zjištění určité úrovně zvlhnutí.

Řízení úrovně plnění



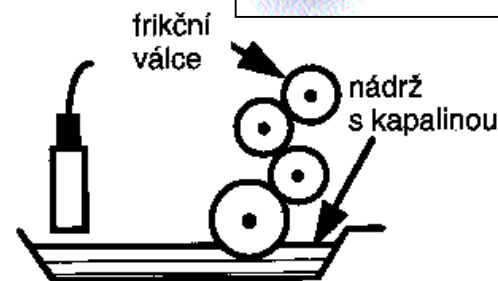
Kontrola úrovně v balicím, potravinářském, chemickém průmyslu.

Montáž plastových láhví



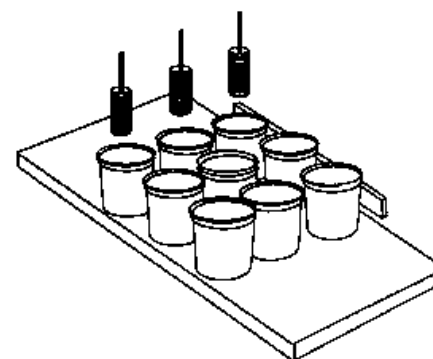
Citlivost seřizena tak, aby snímač sepnul těsně před naplněním.

Řízení úrovně

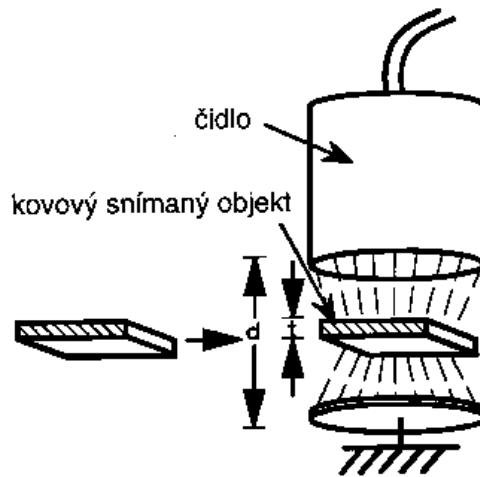
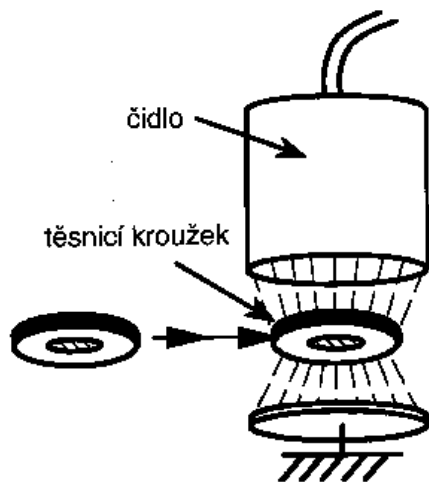


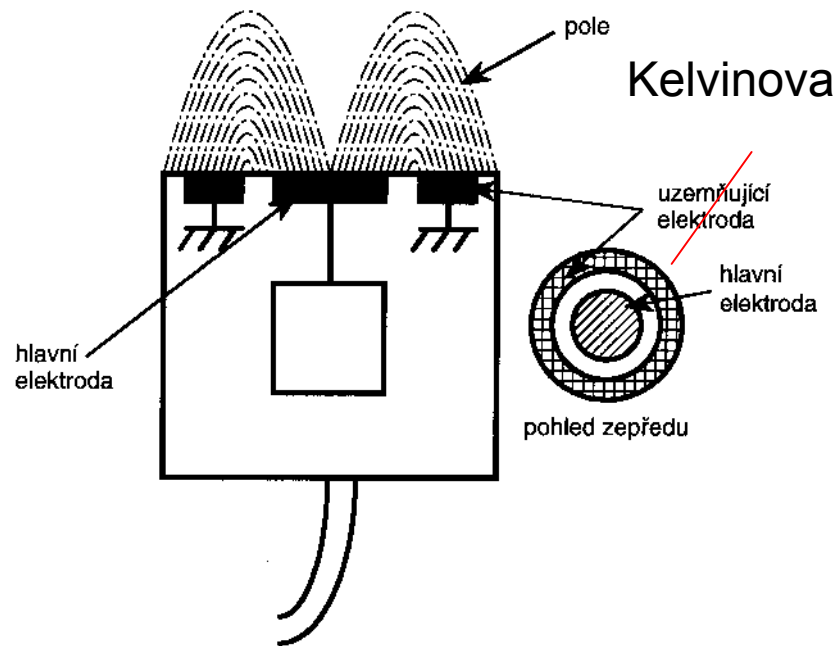
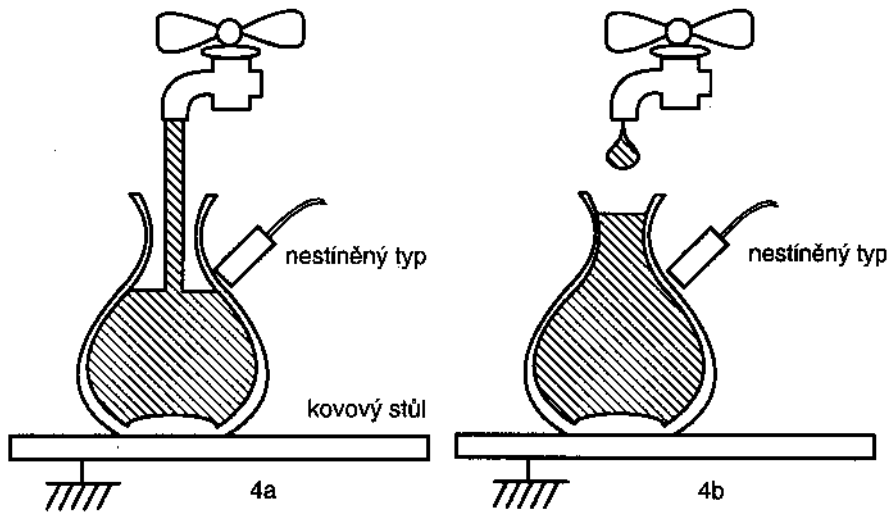
Kontrola hladiny kapalin v nádržích na kliš, barvy, tekutou čokoládu aj.

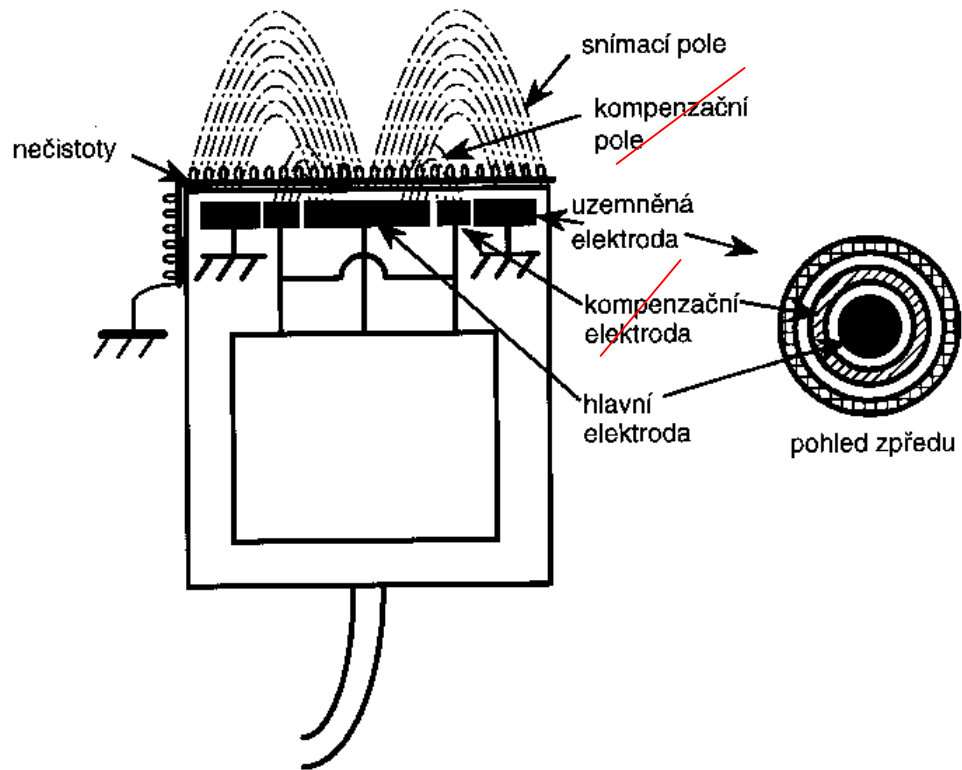
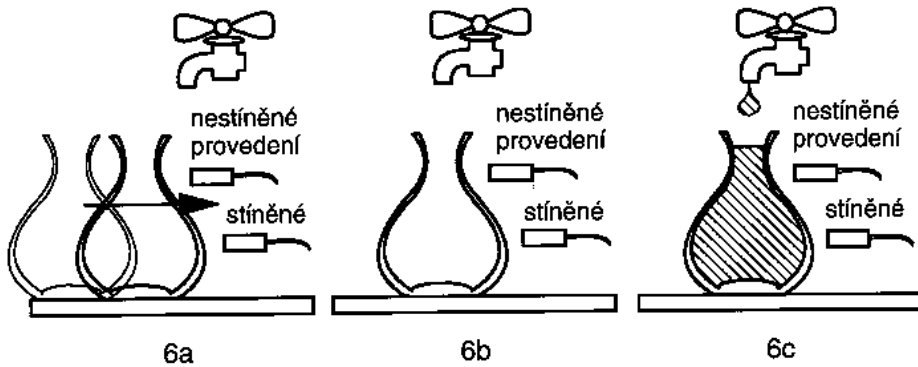
Naplnění spotřebních balení



Snímání úrovně náplně přes stěny uzavřených balení.







Honeywell

Krouticí moment

$$M_k = Fr$$

M_k ... Krouticí moment

F ... Síla

r ... rameno

Hookův zákon

$$\sigma = E\varepsilon$$

$\sigma = F/S$... mechanické napětí

$\varepsilon = \Delta l/l$... deformace

E = Youngův modul pružnosti