

7. Laboratóriumi gyakorlat

KIS ELMOZDULÁSOK MÉRÉSE KAPACITÍV ÉS INDUKTÍV MÓDSZERREL

1. A gyakorlat célja

Kis elmozdulások (0.1mm – 10cm) mérésének bemutatása egyszerű felépítésű érzékelőkkel. Kapacitív és induktív távolságmérés elvének bemutatása, az $L=f(x)$ és $C=f(x)$ karakterisztikák felrajzolása.

2. Elméleti bevezető

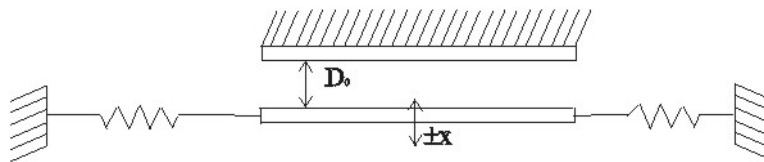
2.1. Kapacitív elmozdulásmérés

Az elmozdulás-mérő kapacitív érzékelők alapja a sík vagy hengerkondenzátor. A síkkondenzátor kapacitásképlete a következő:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d} \quad (1)$$

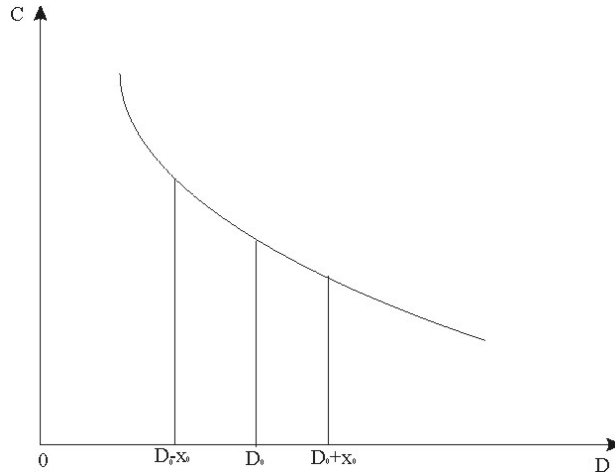
A képletből kitűnik, hogy a kapacitást meghatározó három komponens – a fegyverzetek közti távolság (d), a fegyverzetek területe (S), a dielektrikum permittivitása – bármelyikének változása befolyásolhatja az elmozdulást.

A fegyverzetek közti távolság változtatásával csak szűk, maximum 2–3mm hosszúságú elmozdulás mérhető. A kapacitás-változás nem lineáris, értéke csökken a fegyverzetek közti távolság növekedésével, egy adott távolság elérése után a traduktor nem elég érzékeny a távolságváltozásra.



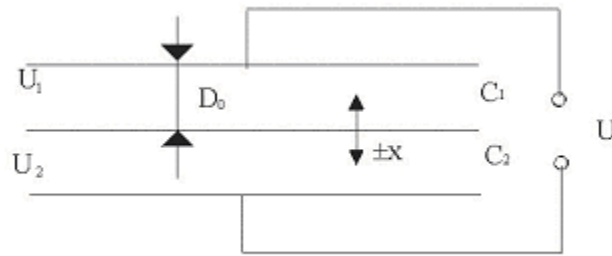
1. Ábra. A kapacitás változása a fegyverzetek közötti távolság változásával

A kapacitás $C = \frac{\epsilon \cdot S}{d_0 \pm x}$ képletéből kifejezhető a traduktor érzékenysége:
 $s = \frac{\Delta C}{\Delta d} = -\frac{\epsilon \cdot S}{d^2}$. Az érzékenység változása nem lineáris, értéke erősen csökken a távolság növekedésével, μm nagyságrendű változás esetén viszont magas.



2 Ábra. A kapacitás változása a távolság függvényében

Differenciálerősítő beépítésével javíthatjuk a jelleggörbe linearitását (3. ábra). A távolság változásával a C_1 kapacitás növekszik, és C_2 csökken, vagy fordítva. A két kondenzátor egy híd párhuzamos sarkaira van kötve.



3. Ábra. Differenciális kapacitásmérés

A fix fégyverzeteken a potenciál a következő:

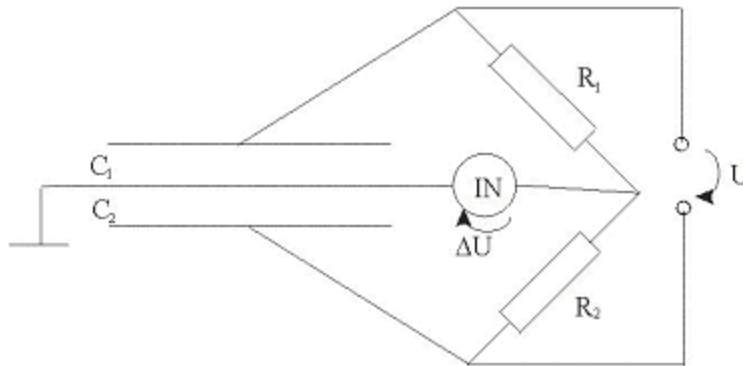
$$U_1 = U \cdot \frac{d_0 + x}{2d_0} \quad U_2 = U \frac{d_0 - x}{2d_0} \quad (2)$$

A fegyverzetek közti feszültség:

$$U_d = U_1 - U_2 = U \frac{d_0 + x - d_0 + x}{2d_0} = \frac{U}{d_0} x \quad (3)$$

tehát a karakterisztika lineáris.

A kapacitásváltozás feszültségváltozássá alakítása Sauty híddal történhet. A két kondenzátort a híd párhuzamos ágaiba kötjük, a másik két ágba azonos értékű ellenállások kerülnek. A híd akkor van kiegyenlítve, ha a mozgó fegyverzet a fix fegyverzetek közti távolság felénél van, a műszer által mutatott kitérés, feszültségkülönbség zérus. A mozgó fegyverzet elmozdulásakor a híd kizökken az egyensúlyi helyzetből.



4. Ábra Diferenciális kondenzátor mérése Sauty híddal

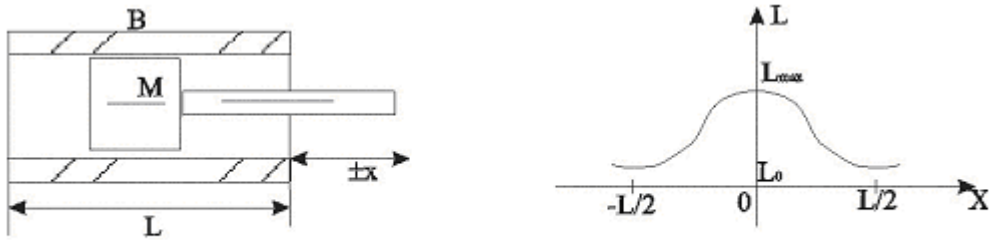
A túl nagy elmozdulás, valamint a fix és mozgó fegyverzet közti rövidzár elkerülése végett dielektrikum réteget helyeznek a fegyverzetek közé. Ezért a kapacitásképletben két új fixkapacitás jelenik meg a változókapacitásoknak megfelelően. Szigetelőként kvarcot ($\epsilon_R=4-5$), porcelánt ($\epsilon_R=6-7$) lehet használni. A hidat 5kHz frekvenciájú szinuszos feszültséggel lehet táplálják.

2.2. Induktív elmozdulásmérés

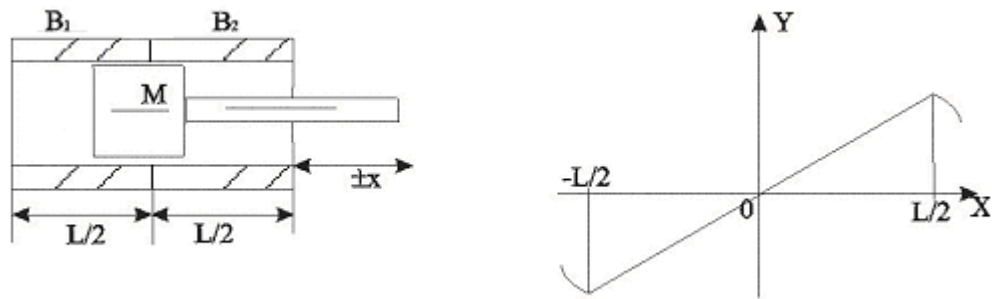
A pozíció-változást kétféleképpen mérhetjük: saját- vagy mutuális induktivitás változással, amely a tekercsben lévő vasmag elmozdulása miatt változhat vagy a vasmag vastagságának megváltozásának tulajdonítható indukcióváltozással.

Pozíciómérés mozgó vasmaggal: a vasmag a mozgó rendszerrel össze van kapcsolva, így a rendszer mozgása maga után vonja a vasmag mozgását, azaz a mágneses indukció nemlineáris megváltozását (lásd 5. Ábra). A mágneses kör nyitott. 5-30 mm-es tartományban használható elmozdulásmérésre.

A parazita hatások kiküszöbölésére valamint a karakterisztika linearizálására a differenciális változatot használhatjuk. Ez két egymás melletti tekercsből áll. Amikor a vasmag elmozdul, akkor behatol az egyik tekercsbe, miközben kicsúszik a másikkól. Ezek nagy érzékenységű traduktorok kétirányú elmozdulást mérhetünk vele feltételezve, hogy a zero pozíció a két tekercs találkozásánál van (lásd 5. Ábra). Mérési tartomány: $\pm 10 - \pm 150$ mm.

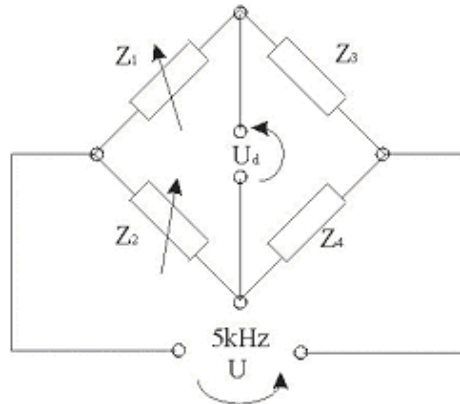


5 Ábra. Pozíciómérés mozgó vasmaggal



6 Ábra. Differenciális pozíciómérés mozgó vasmaggal

Az induktív mérésre váltóáramú híd használhatunk. A két tekercset a híd két egymás melletti ágába helyezük. A híd nem kiegyensúlyozva használjuk így a mért feszültség arányos lesz az elmozdulással.



7 Ábra. Indukciómérésre használatos váltóáramú híd

E két tekercs impedanciája x elmozdulásra:

$$Z_1(x) = j\omega(L + \Delta L) + r \quad Z_2(-x) = j\omega(L - \Delta L) + r \quad (4)$$

A hídon mért feszültség az alábbi lesz:

$$U_d = U \frac{2j\omega \Delta L R}{(j\omega L + r + R)^2 + \omega^2 (\Delta L)^2} \quad (5)$$

Az (5) összefüggésből látszik, hogy minél nagyobb a ΔL induktivitás változás, a híd kimenetén mért feszültség (U_d) annál nagyobb. Az induktivitás változás, illetve az ezt előidéző elmozdulás változás és a kimeneti feszültség közötti összefüggés nem lineáris.

A kiselmozdulások mérésére használt síkkondenzátor passzív érzékelő, ezért működtetésére kondicionáló áramkört használunk. A kapacitív szintérezékelőknél használt kondicionáló áramkört itt is felhasználhatjuk. A kapacitív elmozdulás érzékelőt mint változtatható kondenzátort az astabil multivibrátor megfelelő bemeneteire kapcsolva, a kimeneteken a négyesögjel frekvenciája arányos lesz az elmozdulással.

3. A gyakorlat menete

3.1. Induktív távolságmérés

A vasmagra helyezett tekercset 5 mm –ként végigvezetjük a vasmagon. A tekercs kivezetésein mérjük az induktivitást és kitöltjük az 1. táblázatot. Ábrázoljuk a mért induktivitást a távolság függvényében $L=f(x)$.

3.1. Kapacitív távolságmérés

A használt kondenzátor síkkondenzátor.

A kondenzátorlapok méretei:

- szélesség: $L = 0.115 \text{ mm}$
- magasság: $h = 0.095 \text{ mm}$

A fegyverzetek közötti távolság (x) változtatható.

Ismert a vákuum permittivitása: $\epsilon_0 = 8.854E-12$, a levegő relatív permittivitása $\epsilon_r = 1$.

A mérések előtt kalibráljuk az induktivitás mérőt (nullpont kompenzálás).

A kapacitív távolságmérő kivezetéseit a kondenzátormérőre, valamint a CD4047 astabil multivibrátor 1-es és 3-as bemenetei közé csatlakoztatjuk. A fegyverzetek közötti távolságot 0.5 mm-ként változtatjuk 0-5 mm-ig és leolvassuk a kondenzátor értékét és az astabil multivibrátor kimenetén a frekvenciát. Kitöltjük a 2 táblázat első három sorát. A távolságot tovább változtatjuk, míg a kondicionáló áramkör kimeneti frekvenciája nem

változik, vagy nagyon kis mértékben módosul. Lejegyezzük cm-ként a távolságot és a megfelelő frekvencia értéket, meghosszabbítva a táblázatot.

A kondenzátor értéke az alábbi összefüggés alapján változik:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{x} \quad (6)$$

ahol S a kondenzátorlap felülete. Kiszámítjuk a kondenzátor értékét az (6) összefüggésből. Az eredményeket a 2. táblázat 4-ik sorába írjuk.

Kiszámoljuk az abszolút mérési hibát az alábbi összefüggésből:

$$\epsilon_{abs} = |C_{számított} - C_{mért}| \quad (7)$$

Az adatokat a 2 táblázat 5-ik sorába írjuk.

Ábrázoljuk a kondenzátor kapacitásának értékét, valamint az astabil multivibrátor kimeneti frekvenciáját az elmozdulás függvényében.

Megfordítjuk a mozgó fegyverzetet és így a kondenzátor fémrétegei közé ϵ_r relatív permittivitású és d vastagságú szigetelőréteg kerül. Megismétejük a mérést és kitöltjük a 3. táblázatot. Ábrázoljuk a kondenzátor értékének változását és a frekvencia változást az elmozdulás függvényében.

Induktív távolságmérés

1. Táblázat.

X [mm]														
L mért [mH]														

Kapacitiv távolságmérés szigetelőréteg nélkül

2. Táblázat

X [mm]														
C mért [pF]														
F [kHz]														
C₁ számított [pF]														
ε [pF]														

Kapacitív távolságmérés szigetelőréteggel

3. Táblázat.

X [mm]														
C mért [pF]														
F [kHz]														

4. Kérdések és feladatok:

1. Milyen mérőáramkört, kondicionáló áramkört javasolna az induktív távolságmérés esetében az induktivitás mérésére?
2. Magyarázza el a kondenzátormérésre használt Sauty híd működését, vezesse le az egyensúly feltételeket!
3. Mi az előnye a szigetelőréteggel végzett kapacitív elmozdulásmérésnek a szigetelőréteg nélkül végzett méréssel szemben?
4. Amennyiben az ábrázolt karakterisztikák nem lineárisak, keressenek megfelelő linearizáló áramkört!