

# A folyamatműszerezés érzékelői

## Az érzékelők statikus és dinamikus tulajdonságai – 2.

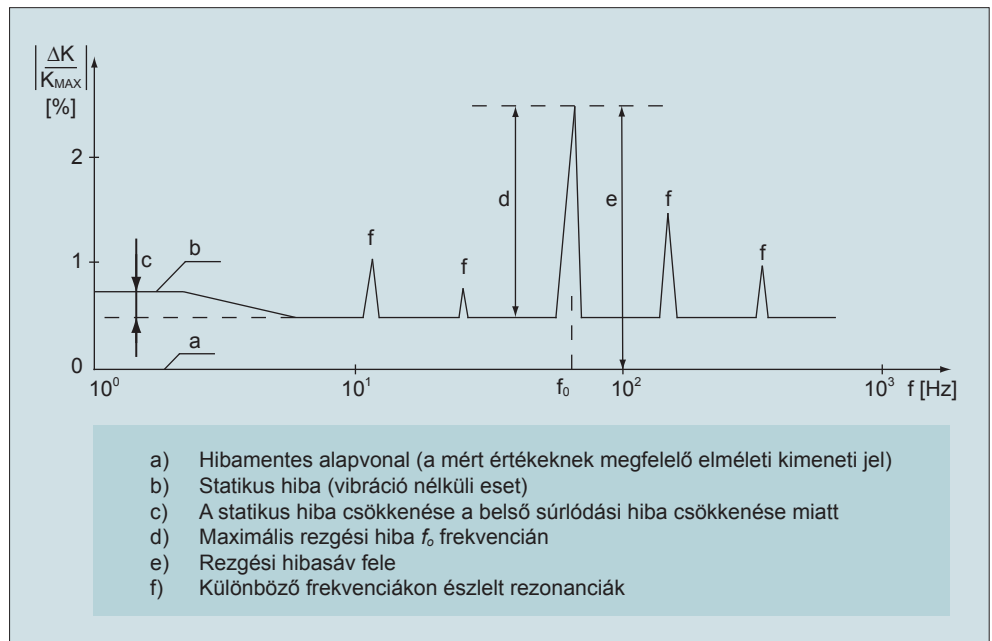
Dr. Fock Károly

A folyamatműszerezés érzékelőivel foglalkozó cikksorozat soron következő részében az érzékelők statikus és dinamikus tulajdonságát leíró karakterisztikák tárgyalásának keretében a környezeti hatásokkal és azok csökkentési vagy kiküszöbölési lehetőségeivel foglalkozunk.

### Környezeti hatások a statikus karakterisztikára

Az érzékelők működését leíró statikus karakterisztika módosulni fog, ha a mérési körülmények megváltoznak, vagyis azok a paraméterek, amelyek az érzékelők kimeneti jelének megváltozásában a bemeneti jel mellett még szerepet játszanak, nem állandóak. Ezzel a valóságos viszonyok között számolnunk kell.

Az előző részben részletesen foglalkoztunk a **működési környezeti hatások** között a **hőmérséklettel**. A továbbiakban újabb hatásokkal ismerkedünk meg. Az érzékelő konkrét felépítése és működési elve határozza meg a zavaró mennyiségekre vonatkozó érzékenységet.



### Gyorsulási hiba

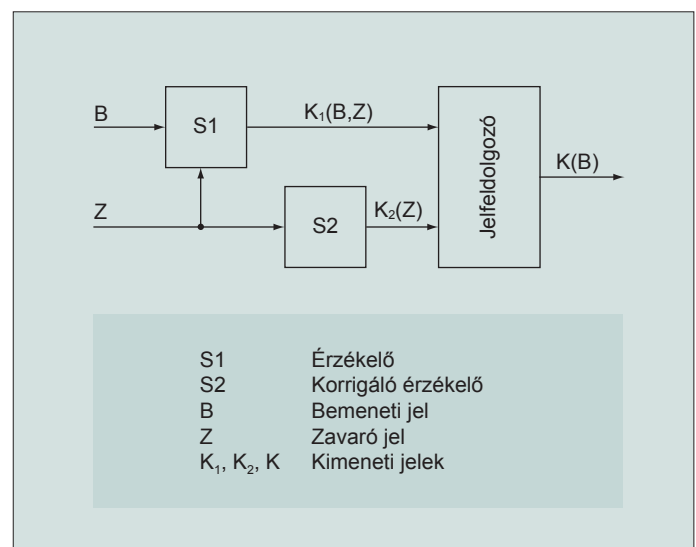
A gyorsulás vektormennyiség, és ha hatását vizsgálni kívánjuk, akkor a gyorsulásvektort az érzékelőhöz rögzített koordináta-rendszerben kell elhelyeznünk, és az érzékelő gyorsulásérzékenységét is – mint zavaró környezeti hatást – ebben a koordináta-rendszerben kell vizsgálnunk. Az érzékelők ugyanis nem azonosan viselkednek a gyorsulással szemben a különböző irányokban. Ennek belső mechanikai szerkezeti okai vannak. Az érzékelőben található tömeggel, rugóval és csillapítással rendelkező alkatrészek ugyanis mechanikai lengő rendszerek, amelyek kényszermozgása a gerjesztés frekvenciáján kívül annak irányától is függ.

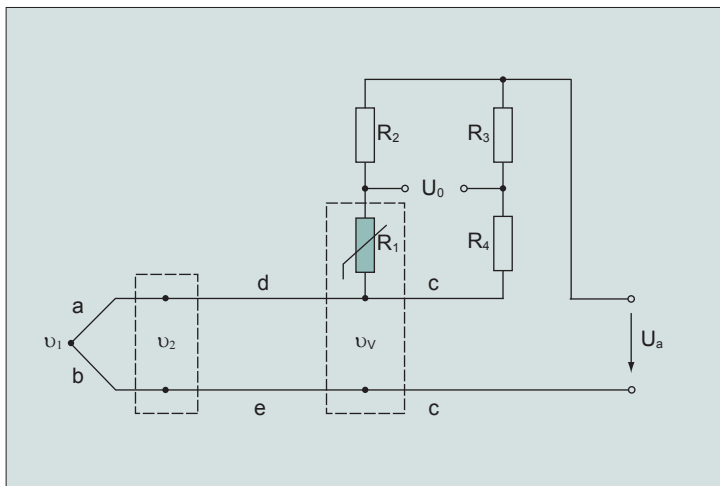
A gyorsulási hiba a zavaró hatás időbeli változásától függően lehet *statikus* vagy *dinamikus*.

A *statikus* gyorsulási hiba az érzékelőnek a *g* nehézségi gyorsulásvektorhoz viszonyított helyzetétől függ, neve: helyzethiba (közismert pl. a tücsapágyas, nagyérzékenységű elektromechanikus műszerek helyzethibája, amelynek definícióját szabvány is rögzíti). A nagyérzékenységű, nyúlásmérő ellenállást és rugót vagy membránt tartalmazó erő- és nyomásmérők pl. a tapasztalat szerint helyzethüggök is. A többnyire ingát tartalmazó dőlésmérők (másodlagos villamos jelátalakítással) szintén érzékenyek a szerelési helyzetre.

1. ábra Gyorsulási hibák definíciója

2. ábra Korrekciós mérés blokkvázlata





3. ábra Hőelem a csatlakozási hőmérséklet korrekciójával

A *dinamikus* gyorsulási hibát mechanikai rezgések során érzékeljük. A rezgési frekvencia változása során az érzékelő belső alkatrészei – mint egy-egy mechanikai lengőrendszer saját rezonanciafrekvenciával – diszkrét frekvenciákon jelentős hibát okozhatnak. Az érzékelők tipikus rezgési hibadiagramja látható az 1. ábrán, amelyen a frekvencia függvényében a rezgési hiba abszolút értékeinek a változásai vannak feltüntetve (egy megadott koordináta irányban).

A rezgési hibadiagram néhány jellegzetessége:

- Az alacsony frekvenciatarományban a frekvencia növelésével elképzelhető a gyorsulási hiba csökkenése, ha az érzékelő belsőjében súrlódó, mozgó alkatrészek is voltak. A nyugvó és a mozgó súrlódási hiba közti különbséget belső súrlódási hibának hívjuk (az 1. ábrán *c*-vel jelölve).
- Egyes frekvenciákon a belső alkatrészek dinamikai tulajdonságaitól függően rezonanciajelenségek – és ezáltal jelentős hibák léphetnek fel (*f*-jelű csúcsok).
- Az ábrában a *d* maximális rezgési hiba a bejelölt  $f_0$  frekvenciánál van, és ez határozza meg a rezgési hibasáv felét (*e*).
- Mivel mechanikai hatásokról van szó, a vizsgált frekvenciatartomány maximális értéke általában 1000 Hz körüli érték.

*A környezeti nyomás megváltozásának a hatása*

A légiközlekedés, az űrhajózás, a bányászat, a mélytengeri kutatás stb. többek között nagyszámú érzékelő felhasználását is igényli, ami a működés során azt feltételezi, hogy ezeknek az eszközöknek a túlnyomás skálatartományában a  $-1...+10^3$  bar környezeti nyomástartományban is működniük kell.

A környezeti nyomás mechanikai deformációkat, az anyagi tulajdonságok és a termikus viszonyok megváltozását okozhatja, nagyfeszültségű berendezésekben nyomáscsökkenéskor koronakisülések jöhetnek létre stb.

A felsorolt hatások a működőképesség megmaradását feltételezve a statikus karakterisztika torzulását eredményezhetik, ami az általánosan elfogadott módon pl. hibasávval jellemezhető.

*Szerelési hibák*

Az érzékelő beépítésénél előforduló mechanikai hatásokról van szó, amikor pl. az érzékelőt egy nem tökéletesen sík felületre csavarozzák, vagy egy tömítés leszorító csavarját a kellenél nagyobb nyomatékkkal húzzák meg, és ezáltal deformációk keletkeznek stb.

A szerelési hiba tehát a mechanikai deformációból ered, amely a beszerelés során keletkezhet. Értékét nem lehet specifikálni, gondos körültekintéssel és munkavégzéssel a hibát el lehet

kerülni. Kedvező eset, ha mód nyílik arra, hogy a beépített eszközt in-situ újra kalibrálni lehet.

*Egyéb működési környezeti hatások*

A részleteket nem elemelve, fontos felhívni a figyelmet még néhány működés során bekövetkező környezeti hatásra:

- nedvesség vagy folyadék behatolása az érzékelő belsejébe,
- nagy sókoncentrációjú környezeti atmoszféra korróziós hatása,
- a mérendő gázok és folyadékok tulajdonságainak megváltozása,
- a környező elektromágneses tér hatása az érzékelő elemekre, integrált áramkörökre,
- nukleáris és ionizáló sugárzások hatása az érzékelő belső elemekre.

**Működésen kívüli környezeti hatások**

A tárolás, szállítás, kereskedelem során bekövetkező környezeti hatások befolyásolhatják az érzékelő mérés technikai tulajdonságait. Ennek elkerülése érdekében az adatlapok közlik azokat a határadatokat, amelyeket a működőképesség betartásához túllépni nem szabad. Fontos szempont a fentiekben túlmenően a tárolhatóság maximális időtartama is.

Ide tartoznak még azok az esetek is, amikor egy érzékelő olyan körülmények közé kerül, hogy időlegesen működésképtelenné válik. Pl. egy hűtést igénylő fény- vagy sugárzásérzékelő szobahőmérsékletre melegszik, egy műholdon elhelyezett érzékelőt a felfövés során nemkívánatos rezgés éri, a mérendő közeg nem kívánt halmazállapot-változása következik be stb.

**A környezeti hatások csökkentésének módszerei**

Az érzékelők működésmódjának, anyagának, gyártástechnológiájának kiválasztása során az egyik legfontosabb szempont az, hogy a zavaró paraméterek hatása a lehető legkisebb legyen. Mivel ezek befolyását megszüntetni általában nem lehet, csak pótlólagos intézkedésekkel lehet hatásukat csökkenteni.

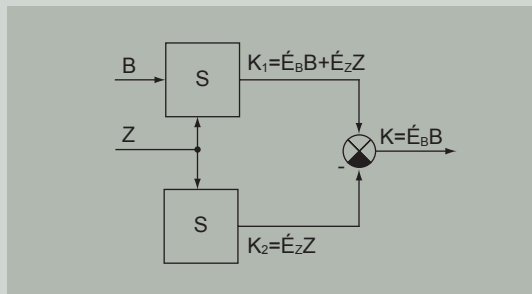
**Korrekción**

A mérés technika elterjedésének kezdeti szakaszában – amikor még más módszert nemigen ismertek –, ill. napjainkban – amikor az érzékelési és jelfeldolgozási módszerek egyre sokrétűbbek és modernebbek lettek –, használták és egyre gyakrabban használják a korrekciót.

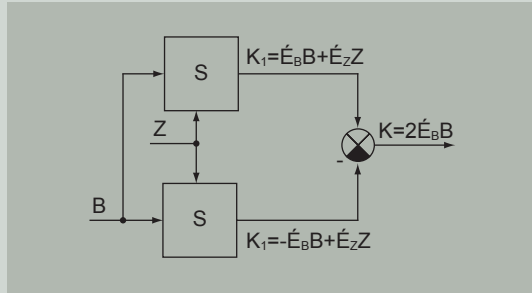
A módszer bemutatásához feltételezzük (2. ábra), hogy a *B* bemeneti mennyiségén kívül 1 db *Z* zavarójel van, amelyet egy *S2* korrigáló érzékelővel külön mérünk. Amennyiben ismert a *B* mért és *Z* zavarójeltől függő  $K_1(B,Z)$  és a *Z* zavarójeltől függő  $K_2(Z)$  függvény, akkor szerencsés esetben tervezhető egy olyan jelfeldolgozó, amelyik fogadva ezt a két jelet, kimenetén már csak a mérendő bemeneti jeltől függő  $K(B)$  jelet szolgáltatja.

A megoldás hatékonyságát befolyásolja, hogy az *S2* érzékelőnek is lehet zavarójele, és a jelfeldolgozó működésében is lehetnek pontatlanságok.

A korrekciós zavarójel-elhárításra tekintsük példának a 3. ábrán látható hőelemes mérőkapcsolást. A hőelem működéséhez a  $v_v$  csatlakozási hőmérséklet állandóságára lenne szükség – a klasszikus megoldás szerint egy termosztát felhasználásával. A modern hőelemes mérőkapcsolásokban (főleg az egy mérőhelyes esetekben) elhagyják a hidegpont termosztálását, és a  $v_v$  változó – és ezáltal zavaró – hőmérsékletet egy kiegyenlített hídkapcsolásba kötött,  $R_1$  hőmérsékletfüggő ellenállással mérik, és a változást a híd kimeneti jelével korrigálják.



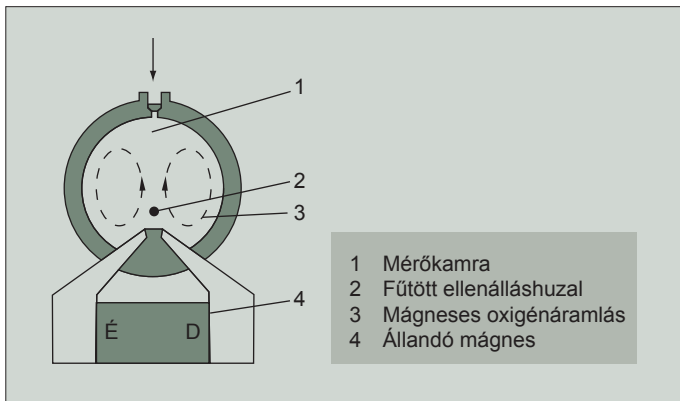
4.a ábra A mérendő jel csak az egyik érzékelőre hat



4.b ábra Differenciálkialakítás (kétszeres érzékenység)

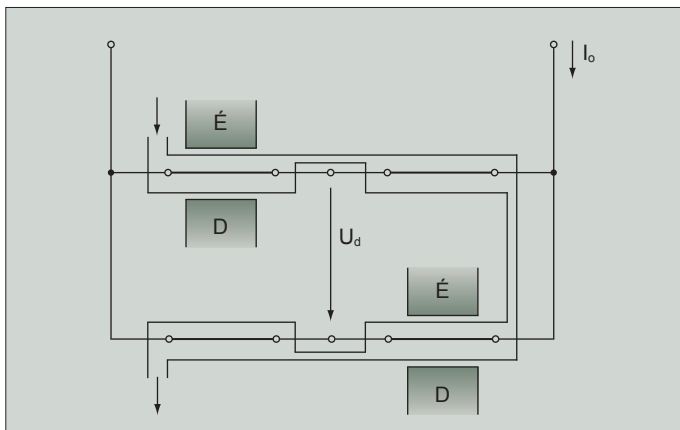
S	Érzékelő
B	Bemeneti jel
Z	Zavaró jel
$K_1, K_2, K$	Kimeneti jelek
$E_B$	Bemeneti jelre vonatkozó érzékenység
$E_Z$	Zavaró jelre vonatkozó érzékenység

4. ábra A különbségképzés megvalósítási lehetőségei



5. ábra A termomágneses oxigénelemző mérőkamrája

6. ábra A termomágneses oxigénelemző hídkapcsolású mérőköre



Az 1. ábrával való összehasonlításban S1 érzékelő a  $d - e$ -jelű kompenzálóvezetékekkel kiegészített  $a - b$ -jelű hőelem, a  $B$  bemeneti jel a  $v_t$  hőmérséklet, S2 érzékelő az  $R_t$ -jelű hőmérsékletfüggő ellenállás, a  $Z$  zavarójel a  $v_v$  hőmérséklet, a jelfeldolgozó pedig a hídkapcsolás.

Irodalmi adatok szerint<sup>1</sup>  $v_v = 0 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C}$  hőmérséklet-változás esetén az abszolút hiba  $0,5 \dots 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ -ra csökken. A hiba további csökkentését a  $d - e$ -jelű kompenzáló vezetékpár termofeszültségének, valamint a hídkapcsolás  $R_t$ -ellenállásfüggésének nem-linearitása akadályozza.

**Különbségképzés**

Kialakításához lineáris statikus karakterisztikájú, azonos érzékelőkre van szükség, és feltétel, hogy az érzékelők kimenetén a bemeneti- és a zavaró jel hatása szétválasztható legyen (4. ábra).

A felsorolt feltételek felhasználásával kétfajta megoldás jöhet szóba.

A 4. a ábrán látható blokkvázlatból kitűnik, hogy amíg a  $B$  mérendő mennyiség csak az egyik érzékelőre hat, addig a  $Z$  zavarójel mindkettőre. Az S érzékelők azonosságából következik a zavarójelre vonatkozó azonos  $E_Z$  érzékenység, tehát a különbségképzés után a  $K$  kimeneti jel csak  $B$  (lineáris) függvénye.

A 4. b ábrán látható változat az előbbi továbbfejlesztésének tekinthető. Ebben a megoldásban a  $B$  bemenő- és a  $Z$  zavarójel is mindkét érzékelőre hat, de úgy, hogy az érzékelők kimeneti jelében a bemenőjel ellentétes, a zavarójel azonos előjellel jelenik meg. A különbségképzés során a zavarójel-komponens kiesik, a bemenőjel pedig a kimeneten kétszeres  $E_B$  érzékenységű változást okoz. A bemenőjelre vonatkozó ellenkező előjellű, de azonos abszolút értékű érzékenységet az érzékelők speciális kialakításával kell biztosítani.

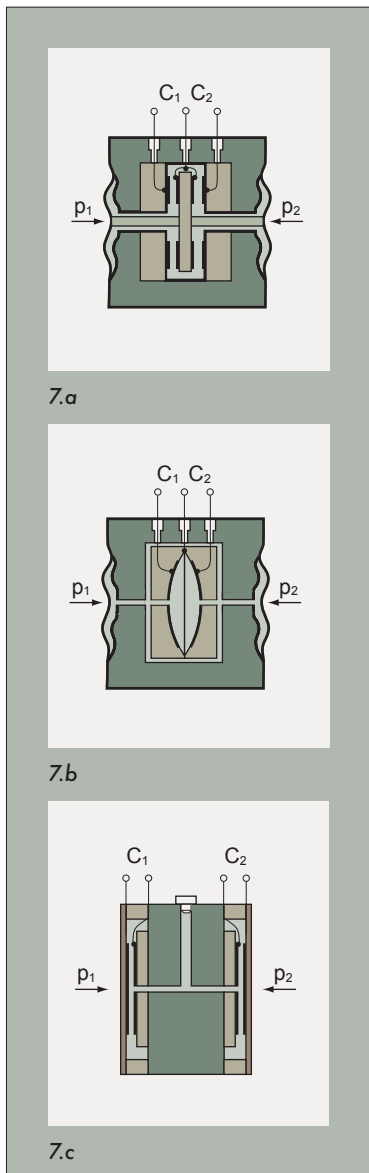
A különbségképzés 4. a ábrán látható megoldásához példaként tekintünk a termomágneses oxigénelemzőt, amelynek mérőkamrája a 5. ábrán, mérőköre pedig a 6. ábrán látható<sup>2</sup>. Az oxigén paramágneses tulajdonságú, mágneses szuszceptibilitásának hőmérsékletfüggése következtében a mérőkamra belsejében egy – az oxigénkoncentrációtól függő – áramlás jön létre, ami hűti az állandó villamos árammal fűtött 2-jelű ellenálláshuzalt. Az ellenállás-változás az oxigén koncentrációjának a függvénye.

Zavaró paraméter a környezeti hőmérséklet-változás. Hatását egy kiegyenlített hídkapcsolással küszöbölik ki a 6. ábra szerint. Látható, hogy a mérendő gáz 4 db azonos méretű és kialakítású – azonos nagyságú árammal fűtött ellenálláshuzalt tartalmazó – mérőkamrán áramlik át, amelyből csak kettőben van az 5. ábrának megfelelő állandó mágnes. Az azonos fázisú zavarást – jelen esetben a környezeti hőmérséklet megváltozását – mind a 4 db hőmérsékletfüggő ellenállás egyformán érzékeli, azonos mértékű ellenállás-változásuk a híd kimenetén feszültségváltozást nem okoz.

A 4. b ábrán látható elvi megoldás differenciálkialakítású érzékelőt igényel. Példaként tekintünk a 7. ábra membrános nyomáskülönbség-mérőjéhez kialakított differenciálkondenzátorokat<sup>2</sup>. A  $p_1 - p_2$  nyomáskülönbség hatására membrándeformáció jön létre, ami egy differenciálkondenzátor  $C_1 - C_2$  elemeinek az ellentétes irányú megváltozását eredményezi.

<sup>1</sup> V. S. Gutnyikov – A. Lenk – U. Mende: Sensorelektronik, VEB Verlag Technik Berlin, 1984.

<sup>2</sup> E. Schrüfer: Elektrische Meßtechnik (Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen), 6. erweiterte Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 1995.



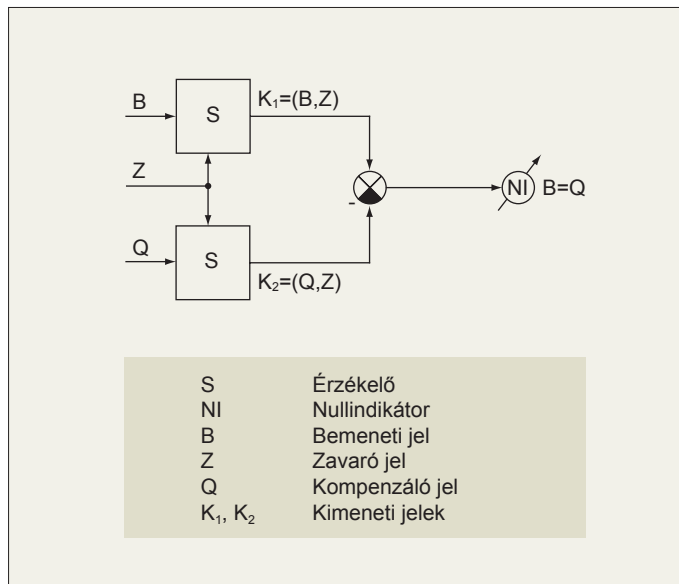
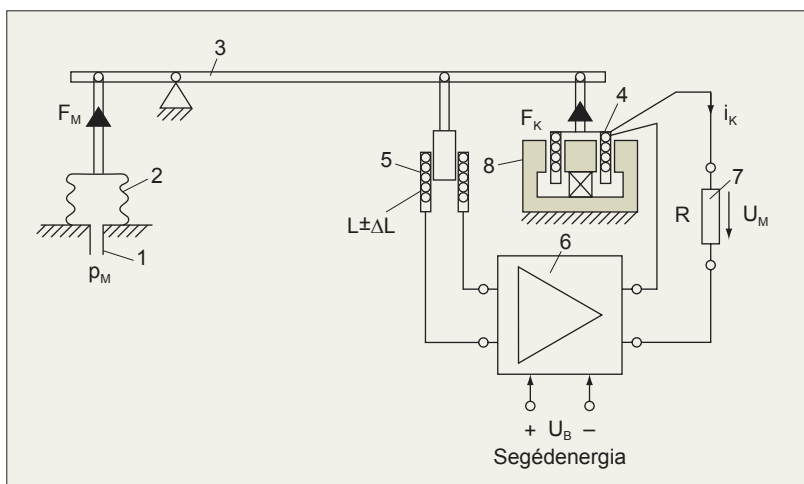
7. ábra Differenciálkondenzátorok nyomáskülönbség-mérőkben

- A 7. a ábrán a hullámos membránpárhoz csatlakoztatott középső rúd mozdul el tengelyirányban, ami a differenciálkondenzátor középső elektródáját mozdítja el.
- A 7. b ábrán a differenciálkondenzátor álló fegyverzetei gömbsüveg alakúra megmunkált, kerámiaára gőzölt fémrétegek. Az elválasztó membránok és a középső elektróda közötti tér szilikonolajjal van kitöltve. A működés során a középső membrán deformálódik, létrehozva ezzel a  $C_1$  és  $C_2$  kapacitás ellentétes irányú megváltozását.
- A 7. c ábrán a rugalmas síkmembránok és a kapacitások álló elektródáinak hordozói is  $Al_2O_3$ -kerámiából készültek, az elektródákat vastagréteg technikával alakították ki. A szilikonolajjal feltöltött rendszerben nyomáskülönbség hatására a  $C_1$  és  $C_2$  kapacitások ellentétes irányú megváltozása jön létre.

Mindhárom megoldásban az érzékelők kimeneti jele a kapacitások megváltozásából származó impedanciaváltozás, ami kiegyenlített félhídkapcsolásban villamos feszültséggé alakítható át. A zavarójel a hőmérséklet, aminek megváltozása az olajtöltet dielektromos állandójának megváltozását, ill. hőtágulásokat eredményez.

A különbségképzés csak az additív hibákat küszöböli ki.

9. ábra Nyomatékkompenzációs túlnyomásmérő működési vázlat



8. ábra Kompenzációs mérőrendszer felépítése ( $B=Q$ , ha a nullindikátor 0-t jelez)

**Kompenzáció**

A megvalósításhoz két azonos érzékelő szükséges.

A mérendő mennyiség hatását a vele megegyező (vagy arányos) nagyságú ismert hatással egyenlítjük ki. Nemlineáris statikus karakterisztika esetén is alkalmazható.

A 8. ábrán látható blokkvázlat szerint a kiegyenlítés tényét a különbségképzést követően az NI-jelű nullindikátorról olvassuk le.

A kompenzáció lehet kézi és lehet automatikus működésű. A kézi kompenzáció megvalósításához szolgáljon példaként a mindenki által jól ismert – nyomatékkompenzáción alapuló – egyenlőkarú patikamérleg vagy a háztartási mérleg, továbbá az impedanciamérés területéről a nullmódszerrel működő, kiegyenlített hídkapcsolások nagy száma.

Az automatikusan működő kompenzáció szemléltetéséhez tekintsük a 9. ábrán látható nyomatékkompenzációs nyomásmérőt.

A mérés befejezéséhez a kétkarú emelőként működő 3-jelű kar nyugalmi egyensúlyi állapota szükséges. Az érzékelők itt mechanikai kialakításúak – a kétkarú emelő bal és jobb oldala –, amelyek az erőből nyomatékot állítanak elő.

Az 1-jelű csatlakozáson megjelenő mérendő  $p_M$  nyomás a 2 szilfonmembránban  $F_M$  erővé alakul át, ami a 3 kart elfordítja. Az elfordulásból az 5-jelű induktív érzékelő (ez tölti be a nullindikátor szerepét is) és a 6 jelfeldolgozó áramkör (hídkapcsolás és teljesítményerősítő) az  $i_k$  áramot állítja elő, ami a 8-jelű áram-erő átalakító 4-jelű tekercsén átfolyva az  $F_k$  létrehozásával a nyomatékegyensúlyt visszaállítja.

A műszer kimeneti jele az erősítő  $i_k$ -árama (vagy az  $R$  terhelésen megjelenő  $U_M$  feszültség). A működtetéshez villamos segédenergiára van szükség ( $U_B$ ).

A környezeti hatások csökkentésének ismertetése után a folytatásban megvizsgáljuk a visszahatás jelenségét, majd rátérünk a dinamikus karakterisztika elemzésére. A statikus és a dinamikus tulajdonságokat és azok kapcsolatát mintafeladatok szemléltetik.

(Folytatjuk!)