

A folyamatműszerezés érzékelői

Energiaátalakulások szilárd testekben – 8.

Dr. Fock Károly

A mechanikai érzékelőket ismertető cikksorozat előző részében megismertük a mechanikai rezonátorok működésének fizikai alapjait. Az alábbi folytatásban összefoglaljuk az elektromechanikai oszcillátorok kialakításának lehetőségeit, majd rátérünk a nem villamos mennyiségek mérés technikájában gyakrabban alkalmazott érzékelők néhány típusának az ismertetésére. A hangsúlyt az érzékelőkialakításokra fordítjuk azzal a megjegyzéssel, hogy a mérőrendszerhez szervesen csatlakozó elektronikus áramkörök szerepe egyáltalán nem lebecsülendő.

Az oszcilláció fenntartása

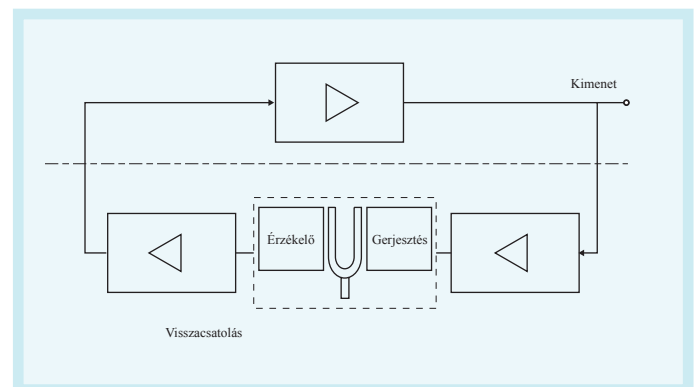
A mechanikai rezonátorok eleget tesznek az aktív érzékelőkkel szemben támasztott legfőbb kritériumnak, nevezetesen segédenergia bevitele nélkül is képesek rezegni. A nehézség elsősorban abban nyilvánul meg, hogy a rezgés magától nem indul el, mindenképpen szükség van egy indító gerjesztésre. Gondoljunk csak a hangszerek világából a megpendített gitárhúrra, a megütött zongorahúrra vagy dobra, a megkondított harangra, a vonóval rezgésben tartott hegedűhúrra stb. De ezeknél az eszközöknél a gerjesztés megszűnése után a súrlódások miatt bekövetkező energiavesztés a rezgés lecsillapodásához vezet. A folytonos rezgés fenntartása érdekében az elvesztett energiát pótolni kell. Ennek műszakilag megvalósítható formája az oszcillátor, amely egy instabil körstruktúra pozitív visszacsatolással. A komplett érzékelőrendszerben alapvetően négy elkülöníthető részt lehet megkülönböztetni:

- gerjesztés,
- érzékelés,
- visszacsatolás,
- kijelzés.

A gerjesztés és érzékelés gyakran szorosan összekapcsolódik, és nincs szükség két egymástól elkülönülő rendszert kialakítani, bár erre is van gyakran példa. A visszacsatolást és a jelfeldolgozással kombinált kijelzést azonban többnyire elektronikus áramkörökkel valósítják meg, amelyek egymással szoros kapcsolatban vannak. Az oszcillátorok három típusát szokásos egymástól megkülönböztetni:

- Impedancia a visszacsatoló hurokban,
- Rezonátor a visszacsatoló hurokban,
- Heterogén rendszer, amelyben a négy, oszcillátort felépítő egység szétválasztható.

Az első csoport nem tartalmaz mechanikai rezonátort, a felsorolásban csak a visszacsatolás elve miatt került megemlítésre. A második csoportban a rezonátor egy villamos két- vagy négy pólussal helyettesíthető (pl. piezoelektromos, kapacitív, elektrodinamikus, piezorezisztív, termikus vagy ezek keveréke). A harmadik csoport elektronikusan visszacsatolt rendszerből áll, amelyben kiegészítő jelátalakítók szükségesek a rezonátorokhoz a mechanikai – villamos és a villamos – mechanikai kapcsolat megteremtésére, vagyis detektorokra és gerjesztésekre van szükség. A mechanikai rezonátorokból kialakított oszcillátorok a harmadik csoportba tartoznak, és rendszertechnikai felépítésük a 1. ábrán látható.



1. ábra Elektronikusan visszacsatolt elektromechanikus oszcillátor

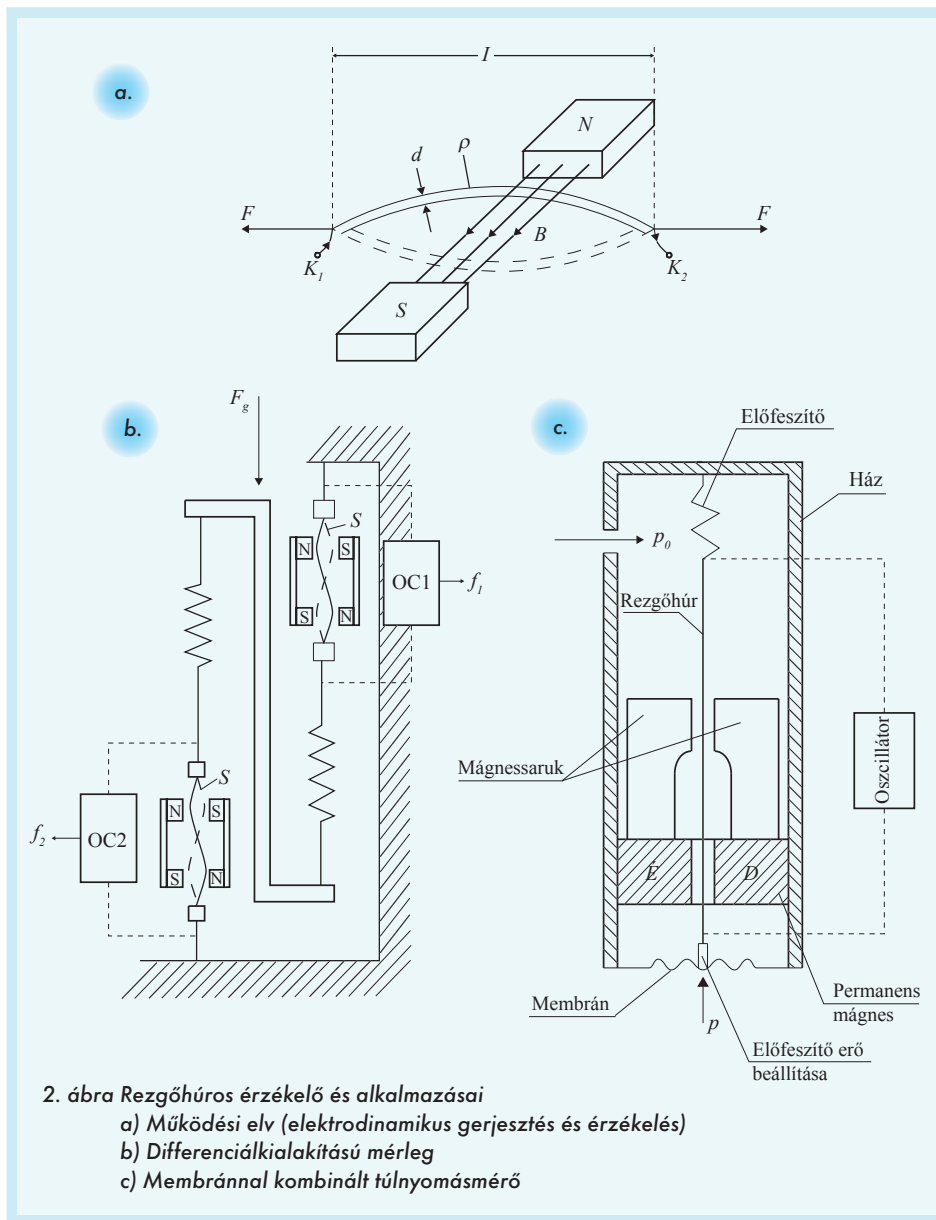
A mérés technikai célra kialakított, mechanikai rezonátorokat tartalmazó oszcillátorok abban különböznek a szokványos konstrukcióktól, hogy rezonanciafrekvenciájuk nem állandó, hanem a mérendő mennyiség függvénye. Az oszcilláció stabilitási kritériumának tehát egy meghatározott frekvenciatartományban kell eleget tenni. Ennek az összefoglalónak nem célja az elektronikus kapcsolások részletezése, de mindenképpen meg kell említeni az 1. ábrán is feltüntetett gerjesztés-érzékelés megoldásokat:

- elektrosztatikus gerjesztés és kapacitív érzékelés,
- mágneses gerjesztés és érzékelés,
- piezoelektromos gerjesztés és érzékelés,
- elektrotermikus gerjesztés és piezorezisztív érzékelés,
- optotermikus gerjesztés és optikai érzékelés,
- dielektromos gerjesztés és érzékelés.

Az első két gerjesztési elv az érzékelőkre tranzverzális erővel hat (amelyet pl. a két végén befogott tartó esetében is feltételeztünk), míg a többi négy hajlítónyomatékot generál.

Terjedelmi okok miatt a mechanikai érzékelők családjában nem részletezzük a felsorolt gerjesztési-érzékelési megoldásokat, ezek mindegyike viszonylag bonyolult fizikai-technológiai ismertetést igényelne. Ezek egy része a Magyar Elektronika hasábjain már megjelent¹, „A folyamatműszerezés érzékelői” c. cikksorozat következő fejezetei pedig foglalkozni fognak ezek ismertetésével is.

¹ Fock K.: A folyamatműszerezés érzékelői, Dinamikus modellezés AHK-módszerrel, Magyar Elektronika 2010 (7-8) 52-55. old., 2010 (9) 42-45. old., 2010 (10) 52-55. old., 2010 (11) 44-47. old., 2010 (12) 34-35. old., 2011 (1) 40-43. old., 2011 (2) 68-71. old.



2. ábra Rezgőhúros érzékelő és alkalmazásai
 a) Működési elv (elektrodinamikus gerjesztés és érzékelés)
 b) Differenciálkialakítású mérleg
 c) Membránal kombinált túlnyomásmérő

Alkalmazási példák

Az elméleti megfontolások gyakorlati megvalósítására felsorolunk néhány tipikus alkalmazási példát. Elsőként a klasszikusnak számító, acél vagy más rugóanyagból készült rezgőelemet tartalmazó érzékelőket tekintjük át.

A 2. a. ábrán a rezgőhúros erőmérők alak kialakítását láthatjuk. Az állandó rezgés fenntartása érdekében a visszacsatolásban a permanens mágnessel gerjesztett stacionárius térben helyezkedik el a mérőhúr, amely a rajta átfolyó – a rezgőhúr rezonanciafrekvenciájával megegyező frekvenciájú – áram mágneses terének és az állandó mágneses térnek a kölcsönhatása miatt tér ki, miközben a benne indukálódott feszültség jelenti az érzékelő kimeneti jelét. Az ábrán K_1 és K_2 jelöli a villamos csatlakozókat. Ezen az elven egy oszcillátorkapcsolás hozható létre, amelynél a rezgés frekvenciája a rezgőhúr sajátfrekvenciájával egyezik meg. Mint ismeretes, az $\omega_n(F)$ karakterisztikák nemlineárisok, és zavaróhatások is fellépnek. Mindezek csökkentésére eredményesen alkalmazható a differenciálkialakítás. A 2. b. ábrán a fent említett elektrodinamikus elvet felhasználó mérleg elvi, szerkezeti felépítése látható. A statikusan előfeszített rezgő húrokat az F_g súlyerő ellenkező előjellel terheli. Az S jelű húrok ebben a konstrukcióban $n=2$ rezgési módban rezegnek (a permanens mágnes U alakú kialakítása miatt).

A nyomásmérés klasszikus – és még napjainkban sem elhagyható – megoldása szerint (mivel a nyomás közvetlenül igen körülményesen mérhető) a mérendő nyomást egy membrán segítségével erővé alakítják, és az erőt – történetesen rezgőhúros erőmérővel – a 2. c. ábra szerint mérik. Az elektrodinamikus gerjesztés és érzékelés a 2. a. ábra megoldásával egyezik meg.

A mechanikai rezonátorok működésének a tárgyalásakor láttuk, hogy a környező gáz sűrűsége (és nyomása is) az $\omega_n(0)$ karakterisztikát befolyásolja. Amíg az erőmérésnél ez zavaró hatás, addig létrehozható olyan érzékelő, amelyik éppen a sűrűséget méri. Az érzékelő konstrukciójában ehhez létre kell hozni az $F=0$ erőmentes állapotot.

A 3. ábrán egy rezgőhengeres túlnyomásmérő felépítését (a. ábra) és működését (b. és c. ábra) szemléltetjük. A műszer érzékelője egy vékony falú, egyik végén lezárt henger, amelynek rezonanciafrekvenciája a henger belsejében lévő p_0 , valamint a ház és a henger külső felülete közötti térben lévő p nyomás különbségétől függ. A gerjesztés egy elektrodinamikus rendszer, az érzékelő reluktáns kialakítású². A henger palástja az ω_2 rezonanciafrekvencián rezeg. Ehhez a henger tengelye mentén úgy helyezték el a gerjesztő-, ill. az érzékelőtekercseket, hogy minden pillanatban mindkettőhöz azonos nagyságú deformáció tartozzon. Az átalakítók elhelyezésének a síkjában egymáshoz képest 90°-kal elfordított tengelyű ellipszisprofil keletkezik. A jelenség megértését segíti a 4. b. és c. ábra, ahol a cső palástjának a deformációja látható a gerjesztés megszűnése után (b. ábra) és a maximális gerjesztéskor (c. ábra).

A rezgőhengeres érzékelőket nagy stabilitásuk és megbízható működésük miatt abszolútnyomás-érzékelőként a repülőtechnikában is használják. Szerkezeti kialakításuk a fentiekben ismertetett túlnyomásmérőtől annyiban tér el (4. ábra), hogy a gerjesztő- és az érzékelőtekercsek a rezgőhenger külső oldalára kerültek, a henger hossz tengelyének a felében egy síkban és páronként szimmetrikusan megosztva helyezkednek el. Ezzel a megoldással egyszerűen lehet a ház és cső közötti térben vákuumot létesíteni. A hőmérsékletfüggés kompenzálására korrekciós módszert választottak (a hőmérsékletet diódás érzékelő méri³), és a nemlineáris karakterisztikát nagy fokszámú polinommal közelítik⁴.

A csővezetékben áramló gáz tömegáramának a meghatározásához térfogatáram-mérő alkalmazásánál a legkézenfekvőbb (de nem a legolcsóbb) megoldás az áramló gáz sűrűségének a mérése⁵.

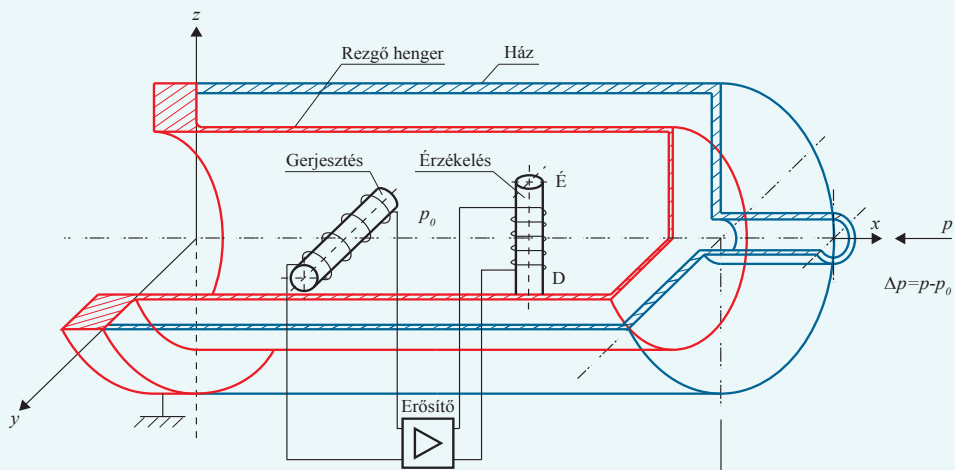
² A reluktáns érzékelőkben a mágneses ellenállás időbeli változása miatt indukálódik a mágneses térben elhelyezett tekercsben villamos feszültség. A mágneses teret egy permanens mágnes hozza létre.

³ A félvezető dióda p – n átmenetén mérhető nyitóirányú feszültség konstans áramnál a hőmérséklet lineáris függvénye.

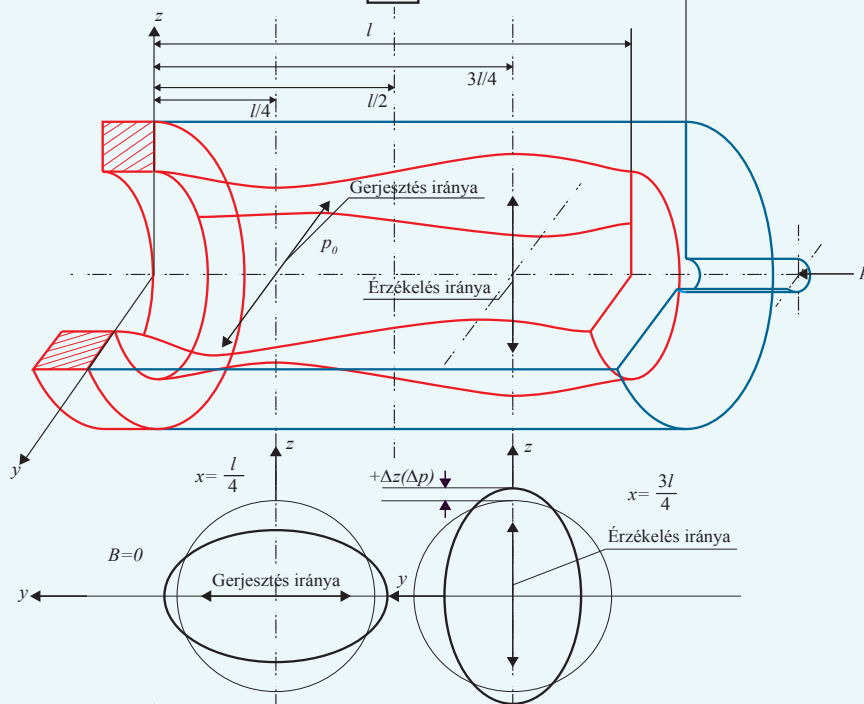
⁴ Love, J. S. – Juanerema, D. B.: Proc. of the 34th Int. Inst. Symp. of ISA, **88-0739**, (1989) 337-345.

⁵ Barta G. – Csabák T.: Elszámolási rendszerek az áramlásmérésben – 5 Földgáz mérés. Magyar Elektronika 2011 (5)

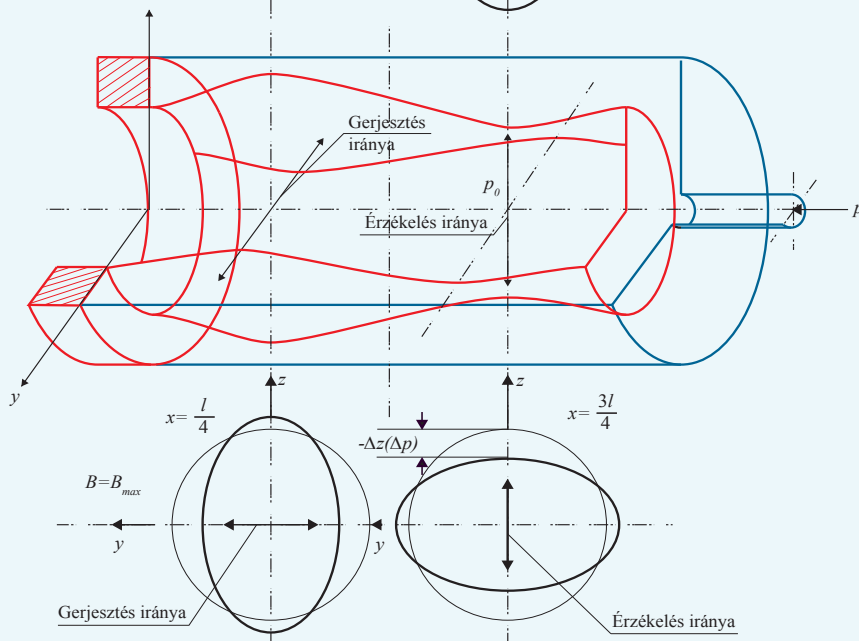
a.



b.



c.

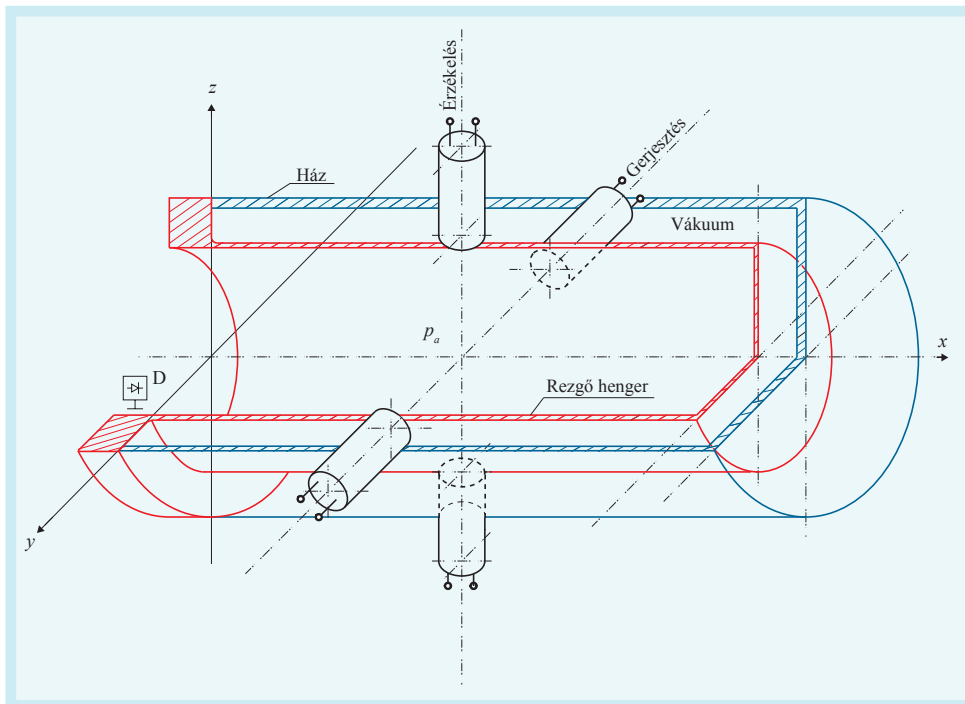


3. ábra Rezgőhengeres túlnyomásmérő működési elve (Solartron)

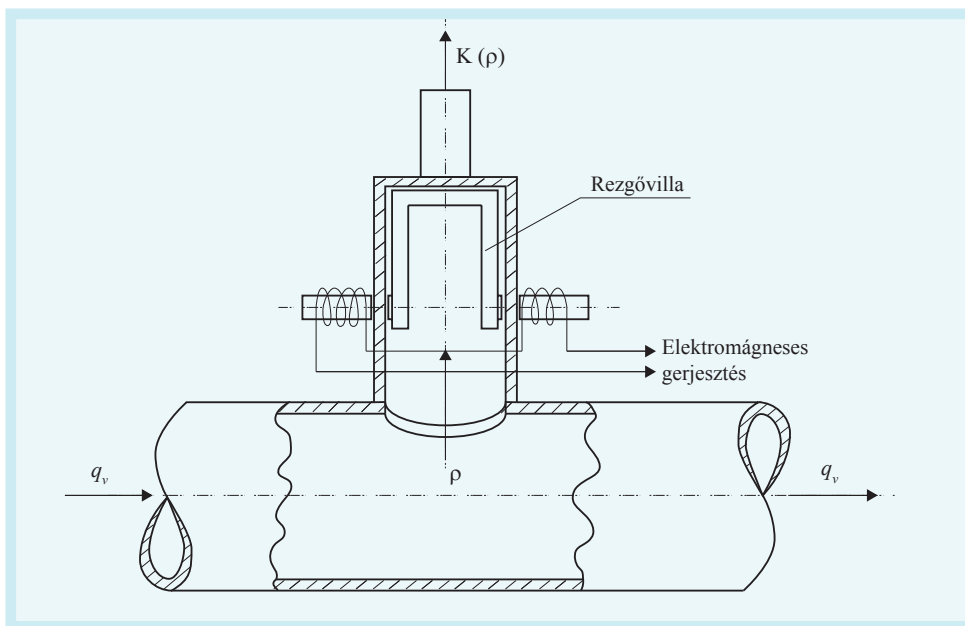
a) Elvi szerkezeti felépítés

b) Rezgőhenger deformációja maximális gerjesztéskor

c) Rezgőhenger deformációja a gerjesztés megszűnése után



4. ábra Rezgőhengeres abszolútnyomás-mérő elvi szerkezeti felépítése – a D jelű dióda a gáz hőmérsékletét méri – (Pressure Systems Inc.)



5. ábra Rezgővillás, átfolyó rendszerű sűrűségmérő elvi szerkezeti felépítése

A következőkben két átfolyó rendszerű gázsűrűségmérőt mutatunk be. A 5. ábrán az érzékelő már az előző típusok tárgyalásánál is megismert elektromágneses rendszerrel kombinált rezgővilla (BASF-gyártmány). Annak érdekében, hogy a rezgő elem működését ne zavarja a gáz áramlása, azt a csövezetékkel kapcsolatban állóan, de az áramlás hatásától védetten helyezték el. Terjedelmi okok miatt a másik típust a cikksorozat folytatásában közöljük.

A folyamatosan működő sűrűségmérőn kívül a rezgővillának, mint érzékelőnek van még egy igen gyakori alkalmazása, mégpedig a tartályokban tárolt folyékony vagy porszerű, szilárd halmazállapotú anyagok szintérezékelése. A működés elve ábra nélkül is az előző példa kapcsán elképzelhető. Most azt a tényt használjuk fel, hogy a töltet sűrűsége nagymértékben eltér a felette lévő légtér sűrűségétől. A töltet felett a rezgővilla rezonanciafrekvenciáján rezeg (1-állapot). Ha a tartályban lévő anyag szintemelkedéskor eléri a villát, akkor ez annyira megváltoztatja a rezgési feltételeket, hogy az oszcilláció megszűnik (0 állapot). Ellenkező irányú szintváltozásnál az oszcilláció újra be fog indulni. A szintmérés egy szervorendszer beiktatásával tehető folytonossá, amelyet a szintérezékelő kétállapotú jele vezérel.