

A folyamatműszerezés érzékelői

Energiaátalakulások szilárd testekben – 10.

Dr. Fock Károly

A mechanikai érzékelők tárgyalásának befejezéseként nemcsak a mechanikai rezonátorok felépítésének további ismertetését folytatjuk, hanem kitérünk egy speciális elektromechanikai oszcillátortípus tárgyalására is, majd a felületi hullámterjedés fizikai jelenségén alapuló eszközöknek a nemvillamos mennyiségek mérés technikájában használható egyik kialakítását ismertetjük, ami az igen nagy érzékenységen kívül a miniatürizált geometriai méreteivel is újszerű megoldást jelent.

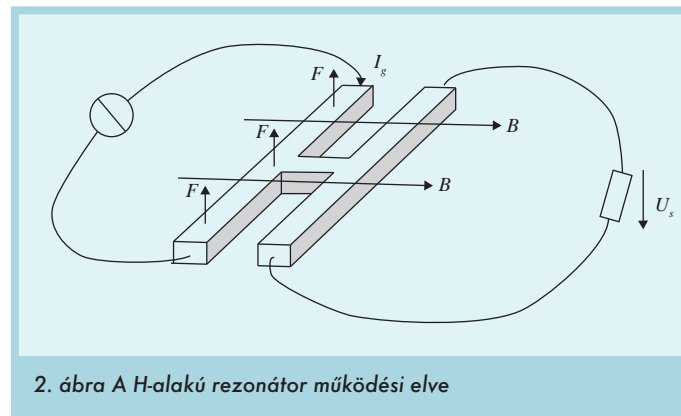
Frekvenciakimenetű félvezető gyorsulásmérő

Az 1. ábrán látható kétdimenziós, rezonancia típusú gyorsulásmérő¹ szeizmikus tömege négy darab polyszilíciumból készített rezonátorra van felfüggesztve. Bármelyik irányból ható gyorsulás a megfelelő érzékelőpár ellenkező értelmű deformációját és ezzel együtt azok rezonanciafrekvencia-változását okozza. A frekvenciakülönbség a gyorsulás függvénye. A demoduláció nyilván speciális jelfeldolgozást kíván.

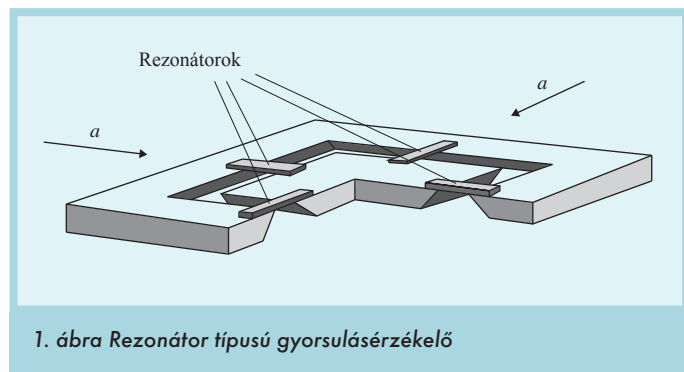
A rezonátorok mechanikai érzékelők, de tartós működésükhöz elengedhetetlen a rezgéskor elveszett energia folyamatos pótlása. A felsorolt példák mindegyikében utaltunk erre. Végezetül nézzük meg közelebbről egy rezonátorból kialakított elektromechanikai oszcillátor működését.

Speciális elektromechanikai oszcillátor

A 2. ábrán egy H alakú, Si-egykristályból készült rezonátor látható, amelyet sikerrel alkalmaztak több membrános nyomásérzékelőben is². A rezonátor két párhuzamos, prizmatikus tartóáll, amelyet középen mechanikailag összefogtak (a két rezonátor mechanikai csatolásban van). A rezonátor egy állandó mágnes terében helyezkedik el, amelynek egyik ágát árammal gerjesztik. A Lorentz-erő a tartót kitéríti, és a vele mechanikai csatolásban lévő másik ágban létrejövő – rezgés által indukálódott – feszültséget mérik. Egy elektronikus visszacsatolással stabil oszcilláci-



2. ábra A H-alakú rezonátor működési elve



1. ábra Rezonátor típusú gyorsulásérzékelő

ót lehet fenntartani. Az oszcillátor működésének a megértéséhez az érzékelő analóg helyettesítő képéből célszerű kiindulni (3. ábra). A mechanikai rezonátort az L , C és R_T elemek modellezik, a vezeték-ellenállásokat az R_{v1} és R_{v2} ellenállások jelölik. A kimeneti indukált feszültség a T jelű transzformátor szekunder oldalán mérhető. Az oszcillátor blokkvázlatát a 4. ábrán láthatjuk³. Az érzékelő U_s kimenőjelét a G erősítési tényezőjű differenciál-erősítő erősíti, amelynek U_e kimeneti feszültsége a rezgés amplitúdójával arányos. Ez a feszültség további erősítés és fázisérzékeny egyenirányítás után – mint a mért amplitúdójel – összehasonlításra kerül egy amplitúdó alapjellel. A különbségi feszültség a H nagyságú erősítés után U_c nagyságú lesz, és ez úgy vezérli a K erősítési tényezőt, hogy az amplitúdó állandó legyen. Az amplitúdó állandó értéken tartását az indokolja, hogy a rezonanciafrekvenciát a rezgési amplitúdó is befolyásolja – mint zavaró paraméter –, aminek a kiküszöbölését a szerző így oldotta meg.

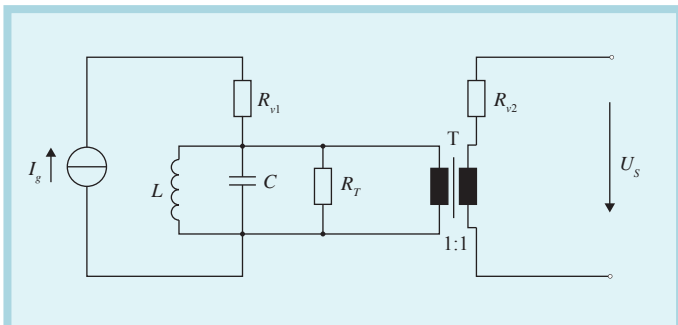
Felületi hullámterjedés mérés technikai alkalmazása

Szilárd halmazállapotú, rugalmas anyagok felületén és annak szűk környezetében kialakuló, Rayleigh-ről elnevezett felületi hullámok és nagyfrekvenciás szűrőkben való alkalmazásuk régóta ismert. Nemvillamos mennyiségek villamos mérésére, alkalmazásukra az ad lehetőséget, hogy a felületi hullám terjedési sebessége többek között a felületen pótlólagosan felrakódott anyagtól függ, ami pl. adszorpcióval keletkezik.

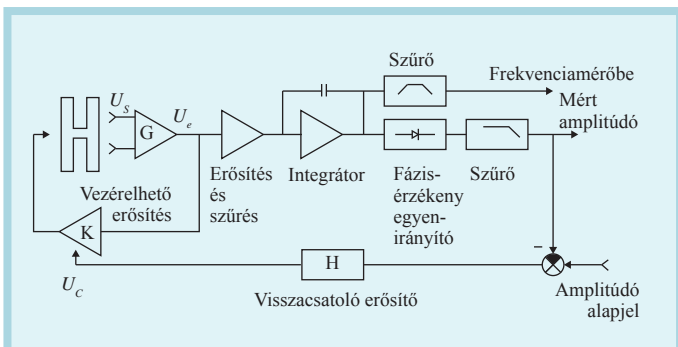
1 S. C. Chang – M. W. Putty – D. B. Hicks – C. H. Li – R. T. Howe: Resonant-bridge two-axis mikroaccelerometer, Sensors and Actuators A21-A23 (1990) 342-345.

2 K. Ikeda – H. Kuwayama – T. Kobayashi – T. Watanabe – T. Nishikawa – T. Yoshida: Silicon pressure sensor integrates resonant strain gauge on diaphragm, Sensors and Actuators A21-A23 (1990) 146-150.

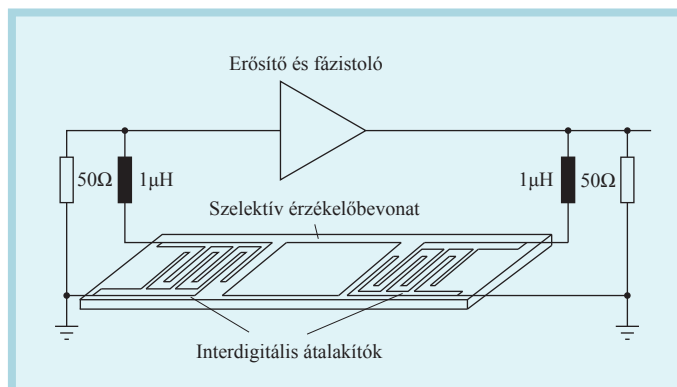
3 T. E. Shirley: Frequency-pulling effects in microfabricated resonant structures, M.Sc. thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1993.



3. ábra A H-alakú rezonátor analóg helyettesítő képe



4. ábra A H-alakú rezonátor oszcillátorkapcsolásának blokkvázlata



5. ábra Felületi hullámterjedésen alapuló oszcillátor a késleltetési szakaszon szelektív érzékelőbevonattal

Matematikailag megfogalmazva ez azt jelenti, hogy a

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + c^2 \Delta z = 0$$

hullámegyenlet, amelynek megoldása z irányban

$$z = z_0 e^{j(kz - \omega t)} e^{-cz}$$

alakú, ahol

$$\zeta = \sqrt{k^2 - \frac{\omega^2}{c^2}},$$

c a hangsebesség és
k a hullámvektor

erősen függ a peremfeltételektől. A hullám amplitúdója exponenciálisan csökken az anyag belseje felé, és emiatt a gyakorlatban elegendő csak a felület közvetlen közelében kialakult hullámképpel foglalkozni. A hullámterjedés hőmérséklet és gyorsulásfüggő is, ami számunkra előnyt és egyben mérési lehetőséget is teremthet.

A felületi hullám terjedési sebességén alapuló érzékelők kvarcból vagy lítium-niobáttól (LiNbO₃) készült, piezoelektromos anyaguk felületére felvitt, fésűszerű elektródákat tartalmaznak az 5. ábra szerint. (Szakirodalmi elnevezésük: interdigitális átalakítók.) A maximális hatékonyság érdekében a „fésűfogak” távolsága a felületi hullámhossz felével egyezik meg. Az érzékelőt tipikusan késleltető vonalakkal fejlesztették ki, ahol a késleltetés

a hullámterjedési sebességéből számítható (kvarcnál pl. 3100 m/s). Ez a terjedési sebesség függ a felület struktúrájától, pl. csökken rövidzáráskor – fémbevonat hatására – vagy kiegészítő tömeg felületi megtapadásakor. Ezt a hatást kihasználva kémiai érzékelő kialakításához az interdigitális átalakítók közötti felületet anyagspecifikus (szelektivitást biztosító) adszorbeáló réteggel vonják be⁴. Az érzékelők általában igen magas frekvencián üzemelnek (100 MHz-GHz-tartomány), ami igen nagy érzékenységet jelent. A szóban forgó kialakításban a detektálható tömeg alsó határa eléri a néhány femtogramot, miközben az aktív érzékelőfelület mindössze 10⁻² cm².

Egy NO₂-koncentráció mérésére kialakított, hasonló felépítésű, speciális adszorbeáló réteggel bevont érzékelő érzékenysége 98 MHz rezonanciafrekvencián 3 ppm/Hz. A környezeti hőmérséklet 90 °C⁵.

Összefoglalás

A szilárd testekben végbemenő energiaátalakulások mechanikai érzékelőket tárgyaló cikkeiben átfogó képet kaptunk arról, hogy milyen sokrétű és mennyire elterjedt érzékelőtípusok tartoznak ebbe a kategóriába.

Megismertük, hogy a mérőelemek elasztomechanikai tulajdonságai nemcsak a fémből készül – a megfelelő mérés-technikai tulajdonságok elérése érdekében high-tech eszközökkel és módszerekkel gyártott – érzékelők kialakításában játszanak fontos szerepet, hanem alapját képezik a legkorszerűbb, félvezető alapanyagú kialakításoknak is.

Önálló csoportot képeztek a rezgőrendszerű érzékelők, amelyek a kényszerrezgés alapján rezgésmérők kialakítását tették lehetővé, míg a mechanikai rezonátorok egy sor frekvenciakimenetű eszköz kialakításának az alapját jelentették. Működésük megértésének a lényege a rugalmas testekben kialakuló, a hullámmozgást befolyásoló, különböző fizikai hatások elemzése volt.

Az érzékelők mechanikai bemenő- és mechanikai kimenőjellel rendelkeznek, emiatt mindig gondolnunk kellett arra, hogy milyen módszerrel lehetséges a legeredményesebben az érzékelőkhöz villamos kimenőjelű „szekunder” érzékelőket csatlakoztatni.

editor@magyar-elektronika.hu

4 H. Vohljen: Mechanism of operation and design considerations for surface acoustic wave device vapour sensors, *Sensors and Actuators* 5 (1984) 71-73.

5 D. Rebiere – M. Hoummady – D. Hauden – J. L. Aucouturier – J. Pistre – P. Cunin – R. Planade: Surface Acoustic Wave (SAW) NO₂ Sensors – Theoretical Studies, Measurements and Design, *Transducers 91*, 6th International Conference on Solid State Sensors and Actuators, IEEE 91 CH2817-5, San Francisco, June 24-28, 1991 pp. 351-354.