



TÁMOP-4.1.1.F-14/1/KONV-2015-0006

SZTE Mérnöki Kar Műszaki Intézet, Duális és moduláris képzésfejlesztés alprogram (1a)

„A rezgésdiagnosztika gyakorlati alkalmazása”

REZGÉSÉRZÉKELŐK, JELÁTALAKÍTÓK, MÉRÉSI MÓDSZEREK

Forgács Endre
Szuchy Péter

SZÉCHENYI 2020

2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



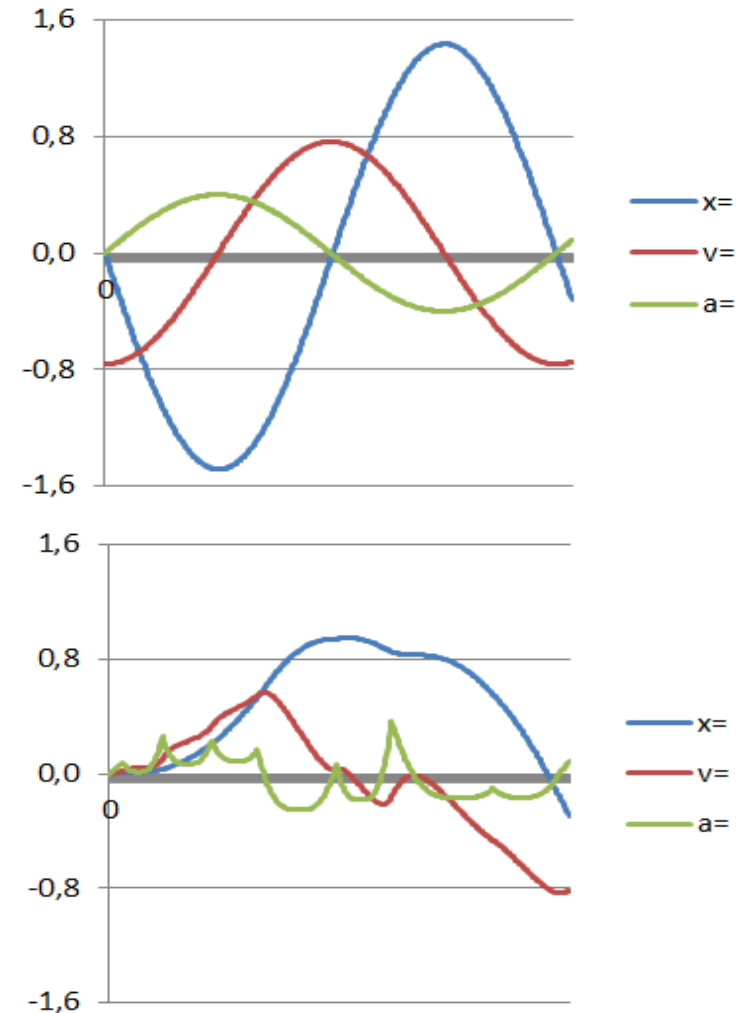
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

REZGÉSÉRZÉKELŐK

A rezgésérzékelők a rezgésjellemzők (elmozdulás, sebesség, gyorsulás) egyikét mérik:

- Elmozdulás érzékelők: kisméretű összetevőkre, pl. forgórész ütés
- Sebesség érzékelők: a rezgés energia-tartalmával kapcsolatos tulajdonságok mérésére,
- Gyorsulás érzékelők: nagyobb frekvenciájú összetevők esetén széles spektrumban mérendő értékekre.
- Mivel bármelyik jellemzőből meghatározható a másik kettő, ezért leggyakrabban a gyorsulást mérik, s azt integrálják.
- Fáziseltolódásuknak (szinuszos jelek esetében a kitérésé 0° , sebességé 90° , gyorsulásé 180°) a rezgés frekvenciájának meghatározásánál nincs jelentősége.

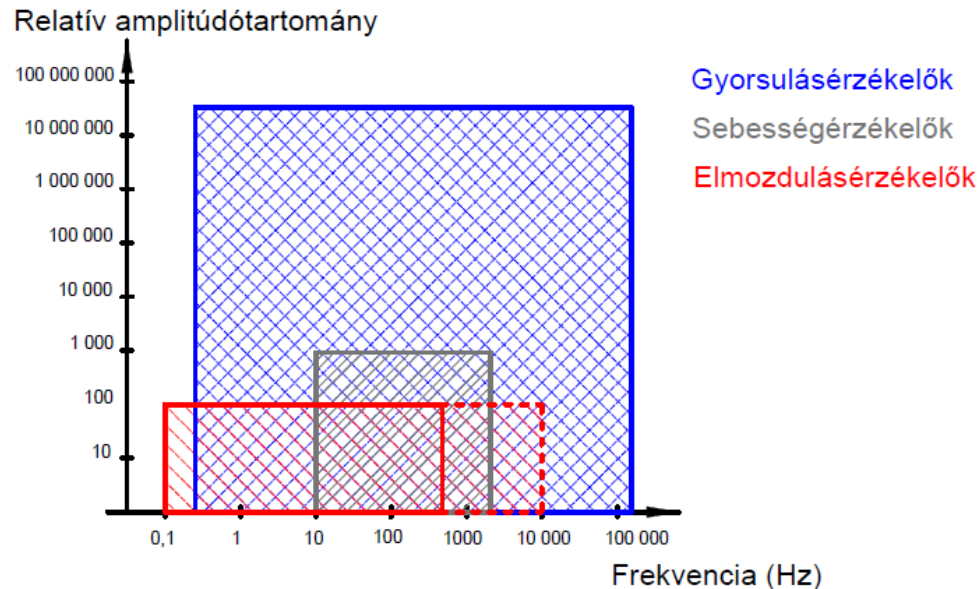
A rezgésérzékelők mechanikai, optikai vagy villamos elven működnek, abszolút és relatív érzékelők lehetnek. Érdekes azt az érzékelőt választanunk, amelyiknek a legnagyobb és legkisebb felvett értéke közötti különbsége a legkisebb a mért spektrumban .



REZGÉSÉRZÉKELŐK MÉRÉSI TARTOMÁNYA

A rezgésérzékelők gyakorlatban használt mérési tartományai leginkább tapasztalati értékek:

- Kitérés mérésére inkább a forgó gépek forgási frekvenciáin, tehát alacsony frekvencián, max. 1000 Hz alatt adódik lehetőség. Ehhez tartozik a legalacsonyabb relatív amplitúdó tartomány.
- Sebesség mérése 10 Hz – 1500 Hz közötti tartományban hozhat megfelelő eredményt. Általában ez adja a tartja a legszűkebb amplitúdó sávban a mérést.
- Gyorsulás mérésére igen széles frekvenciasávban, 0,5-100 000 Hz-ig van lehetőségünk. A sebességérzékelőkkel együtt ezek a leginkább használt érzékelők. Legelterjedtebb formája a piezo-elektromos érzékelő. Magasabb frekvencia tartományokban egyeduralkodók..



ELMOZDULÁS-ÉRZÉKELŐK

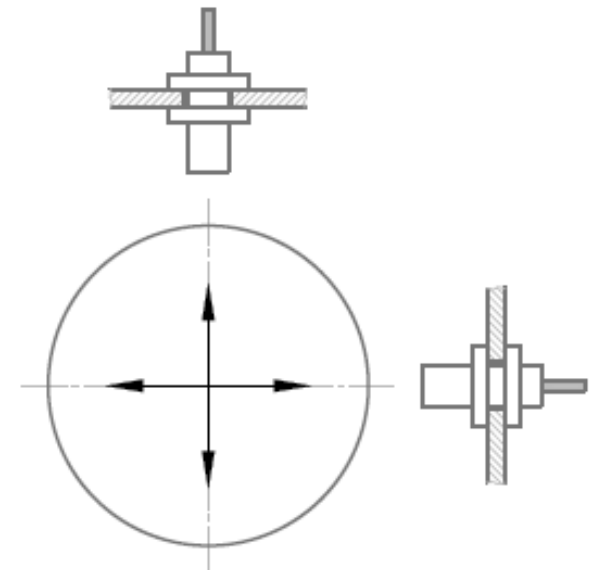
Az elmozdulás érzékelők leginkább alacsony frekvenciatartományban használatosak, a magas frekvenciákat elnyomja.

Az érintkezésmentes elmozdulás-érzékelők típusai:

- Örvényáramú: az elterjedtebb elmozdulás-érzékelő típus, amellyel a mágneses tér változása miatt létrejövő örvényáram észlelhető.
- Kapacitív: mivel elég érzékeny a környezeti változásokra, ezért csak olyan esetekben alkalmazzák, ahol az örvényáramú nem használható (pl. mágneses tér problémái esetén)

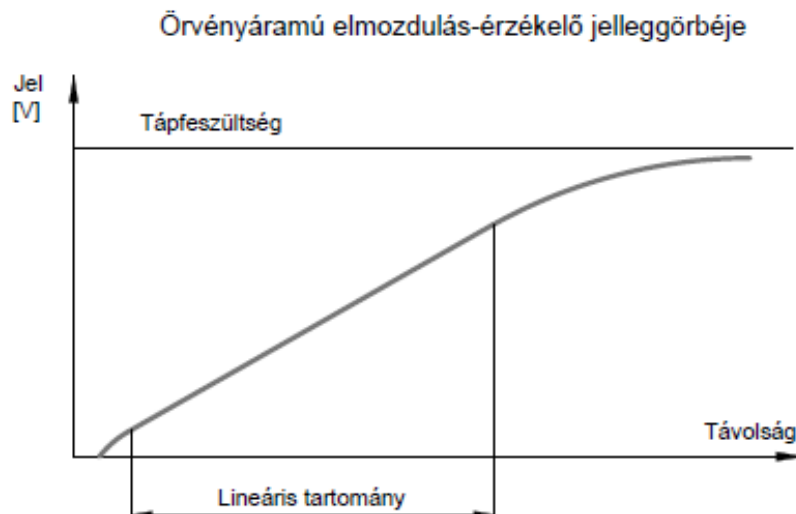
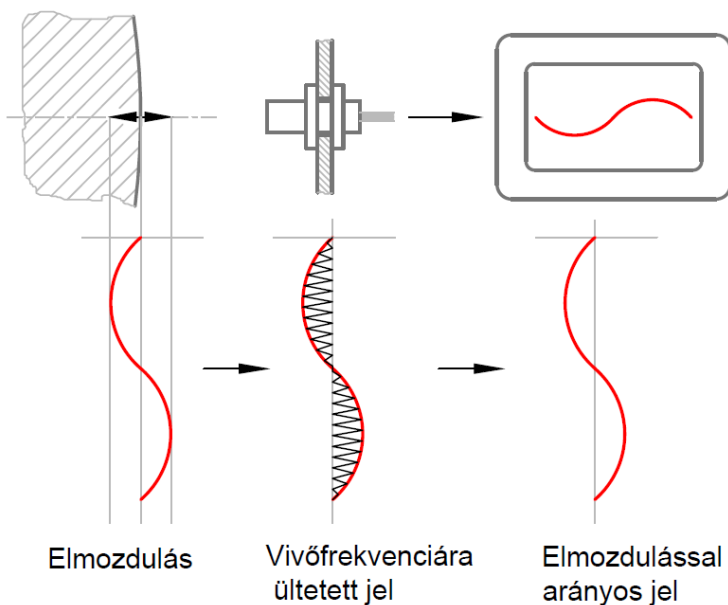
Használati információk:

- Tipikus alkalmazási példája a forgó gépek kiegyensúlyozatlanságának kimutatása, ahol viszonylag nagy kitérés tapasztalható a tengely forgási frekvenciáján
- Frekvencia-elemzésre általában nem használatosak.
- Jel kondicionálása szükséges
- Szokásos beépítése:
 - Párban, radiális irányban
 - 90^o-os elforgatással



ÖRVÉNYÁRAMÚ ELMOZDULÁS-ÉRZÉKELŐ RENDSZER

- Egységei: érzékelő (szigetelőből készült házban lévő vezető tekercs), kábel, oszcillátor / demodulátor
- 15 MHz-es gerjesztés (vivőfrekv.)
mágneses mező jön létre az érzékelő homloklfelületén
- A vizsgált tárgy közelítése energiát von el, csökkenti a vivőfrekvencia amplitúdóját az elmozdulással arányosan.
- Minden változás (szerelés, hőmérséklet, nyomás) után kalibrálandó
- Mérés eredménye: elmozdulás + környezeti változás
- Érzékenység = Kimeneti jel változása / Távolság változása

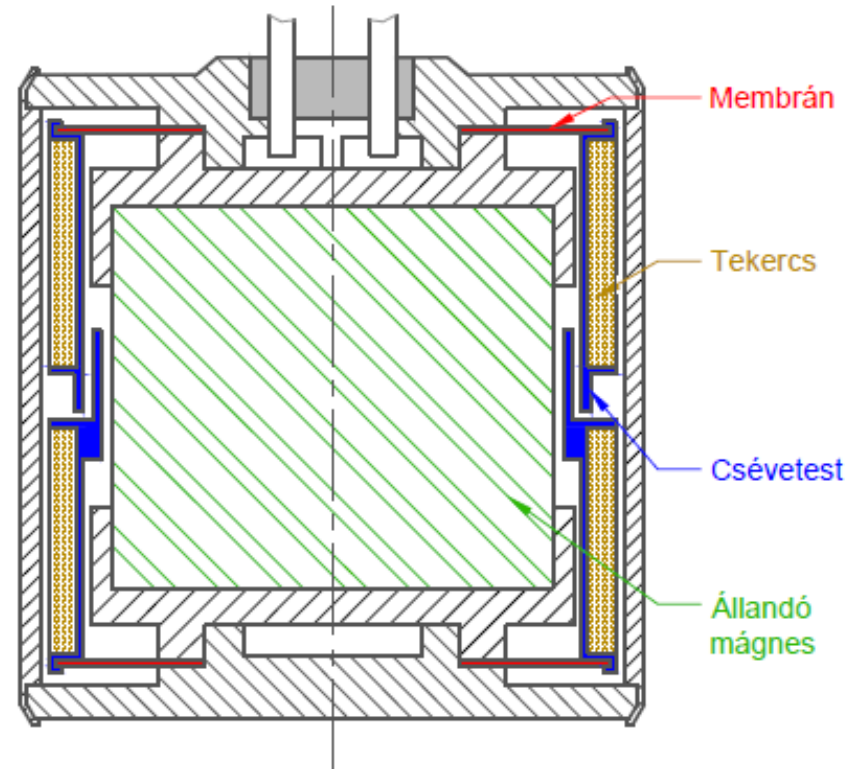


SEBESSÉG-ÉRZÉKELŐK

A rezgés sebessége a rezgés energiájával van szoros kapcsolatban, így talán a legfontosabb rezgésjellemző, az ISO 10816 szabvány minősítő táblázata is erre vonatkozik. Emiatt a rezgés erősségének mérésére a sebesség mérése a legelterjedtebb.

Az alkalmazott frekvenciatartomány: 10 – 1000 Hz között van.

Leggyakoribb típusa az elektrodinamikus sebesség-érzékelő, de használatosak még olyan gyorsulásmérők is, melyek a mért jelet beépített elektronikán keresztül azonnal sebesség értékévé számítják (integrálják).

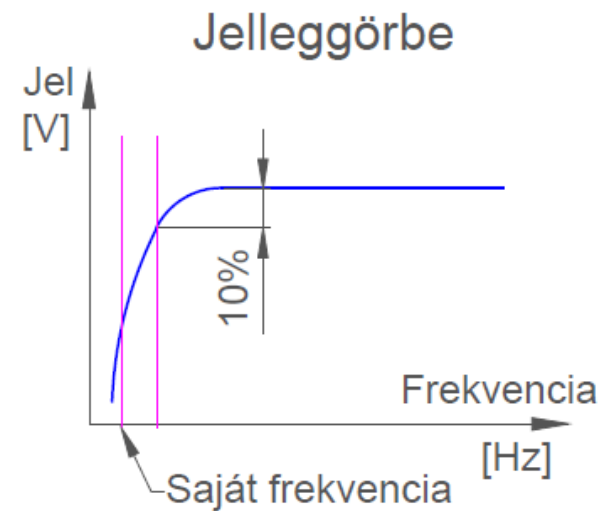
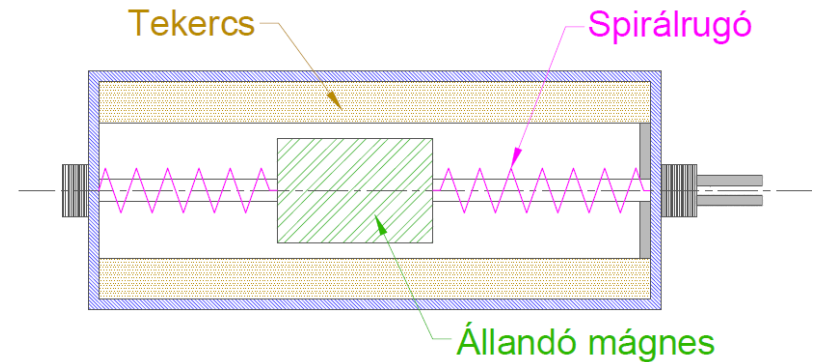


ELEKTRODINAMIKUS SEBESSÉG ÉRZÉKELŐ

Az elektrodinamikus sebesség érzékelők kétféle kivitelben készülnek: mozgó tekerccsel, illetve mozgó állandó mágnessel. A mozgó mágneses típus működési elve a következő:

Egy rugókkal előfeszített állandó mágnes mozog egy tekercs belsejében, ahol a mágnes mozgásának hatására a tekercsben feszültség indukálódik.

- Előnye:
 - nincs szükség energia betáplálás
 - érzéketlen háttérzajokra
- Hátrány:
 - robusztus kivitel, nagy tömeg
 - drága,
 - szegényes frekvencia és fázis reakció,
 - a mechanika öregedésre hajlamos
 - kalibrálása hőmérsékletfüggő



PIEZOELEKTROMOS GYORSULÁSÉRZÉKELŐK

A gyorsulásérzékelők legelterjedtebb fajtája a piezoelektromos gyorsulásérzékelő.

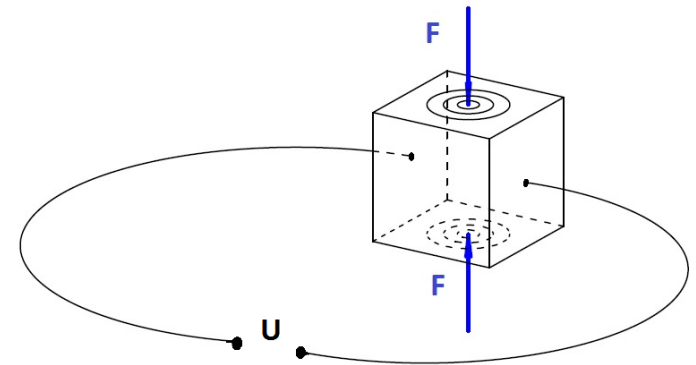
Működésének alapja a következő:

A szilícium monokristályban mechanikai (normális irányú vagy csúsztató) feszültség hatására a hatással arányos mennyiségű villamos töltés indukálódik. A kristályhoz rögzített szeizmikus tömeg mozgatás hatására bekövetkező gyorsulása szolgáltatja az érzékeléshez szükséges

Használati frekvenciatartománya igen széles: 0,1 – 100 000 Hz, ezt a tartományt több érzékelő fogja át.

Tulajdonságai:

- Öngerjesztésű – nem feltétlenül szükséges betáp, ennek ellenére a legtöbb érzékelő erősítővel van ellátva.
- Nagy dinamikai és hőmérsékleti tartomány
- Egyenletes frekvencia-reakció (jó linearitás)
- Elmozdulás-, sebességfüggvények beépített integrátorral azonnal előállíthatók.
- Stabil működés (jellemzői hosszú időn keresztül változatlanok maradnak, nincsenek mozgó alkatrészek)
- Kalibrációt hosszú időn keresztül megtartja
- Rezonancia függ a rögzítéstől



PIEZOELEKTROMOS GYORSULÁSÉRZÉKELŐK TÍPUSAI

A piezoelektromos gyorsulásérzékelők eleinte csak kompressziós típusúak voltak, manapság inkább az érzékenyebb nyírt típust részesítik előnyben.

Kompressziós típus:

- nagy terhelhetőség
- kiváló érzékenység
- nyírtnál nagyobb tömeg
- ennek ellenére a nyírtnál magasabb sajátfrekvencia
- hőmérséklet változásra érzékeny

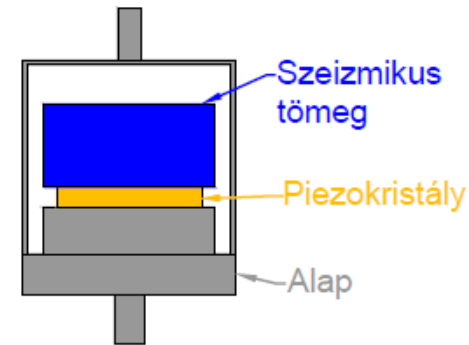
Nyírt típus:

- hőmérsékleti hatásokra gyakorlatilag érzéketlen

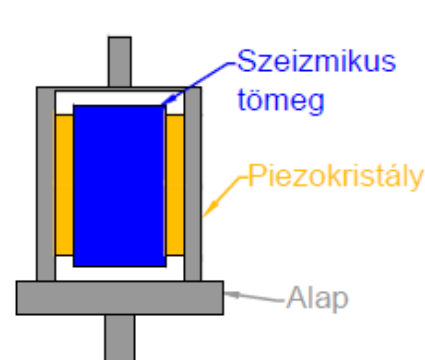
Hajlított kristályos típus:

- igen nagy érzékenységű
- alacsony terhelhetőség
- alacsony sajátfrekvencia

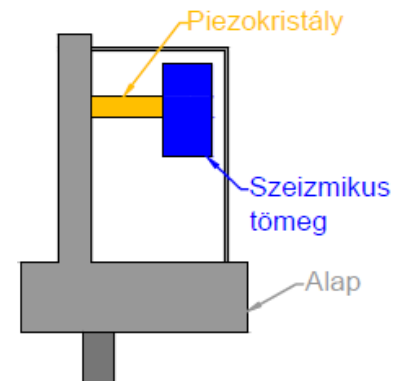
Kompressziós típus



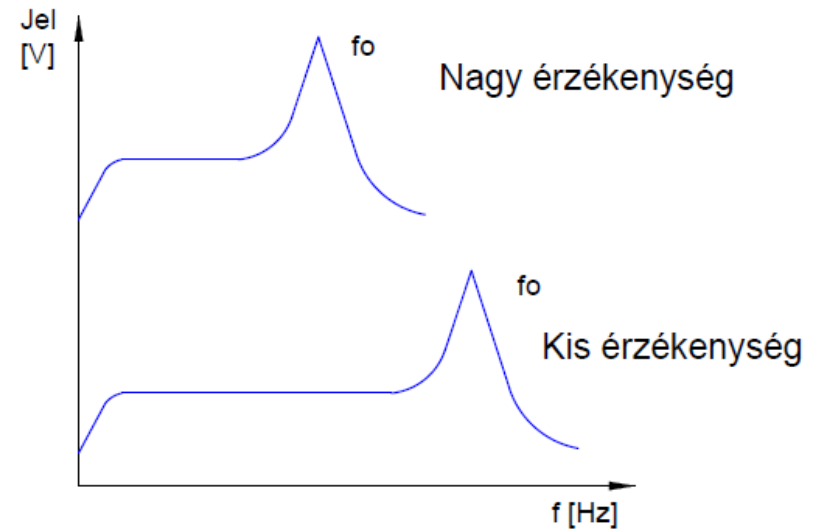
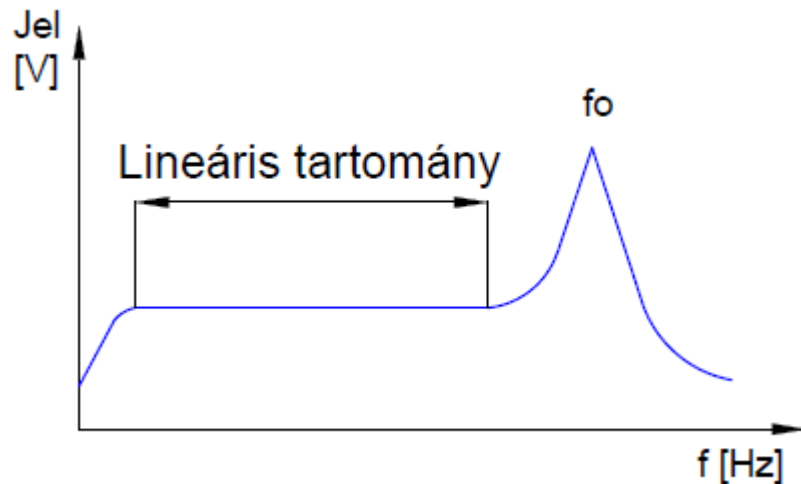
Nyírt típus



Hajlított típus



PIEZOELEKTROMOS GYORSULÁSÉRZÉKELŐK



A piezoelektromos gyorsulásérzékelők egyik legnagyobb előnye a széles tartományú linearitás. A lineáris szakasz a saját frekvencia 1/3-1/5 részénél ér véget (f_0 jelöli a saját frekvenciát). A monokristályhoz rögzített nagyobb tömeg nagyobb érzékenységet jelent, viszont csökkent a lineáris tartomány.

Egyes mérési módszerek a gyorsulásérzékelőket nem a lineáris tartományban, hanem pont a saját frekvencia környékén használják, kiemelendő az adott rezgési frekvenciát.

PIEZOELEKTROMOS GYORSULÁSÉRZÉKELŐK

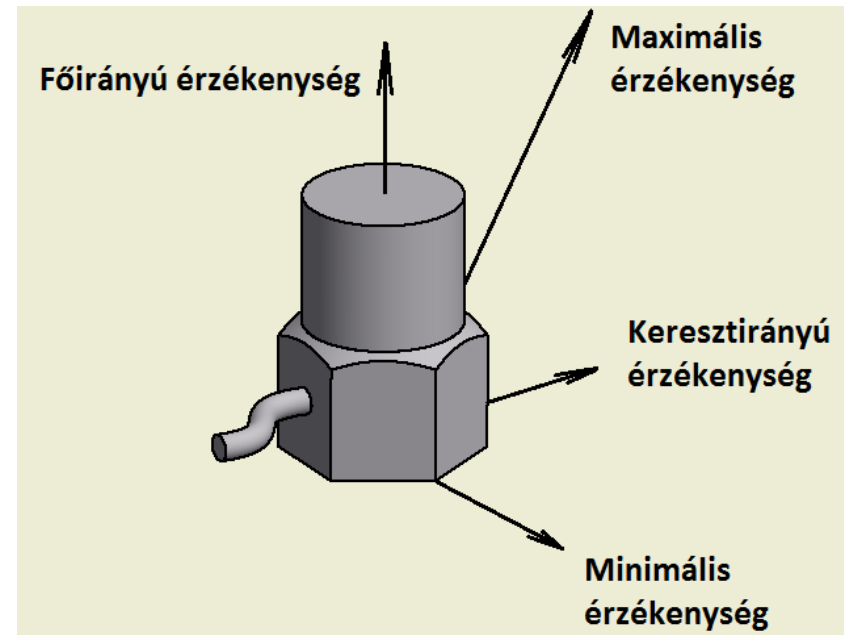
A piezoelektromos érzékelőknek a főirányú érzékenység tengelyére merőleges kristálysíkokban kis mértékű keresztirányú érzékenysége is van. Erre az érzékelő felszerelésénél feltétlenül figyelemmel kell lenni.

Keresztirányú érzékenység:

$$\text{irányítási tényező} = \frac{\text{keresztirányú}}{\text{főirányú}} \text{ érzékenység} \times 100 [\%]$$

Ez érték általában 3-4%-ot nem haladja meg.

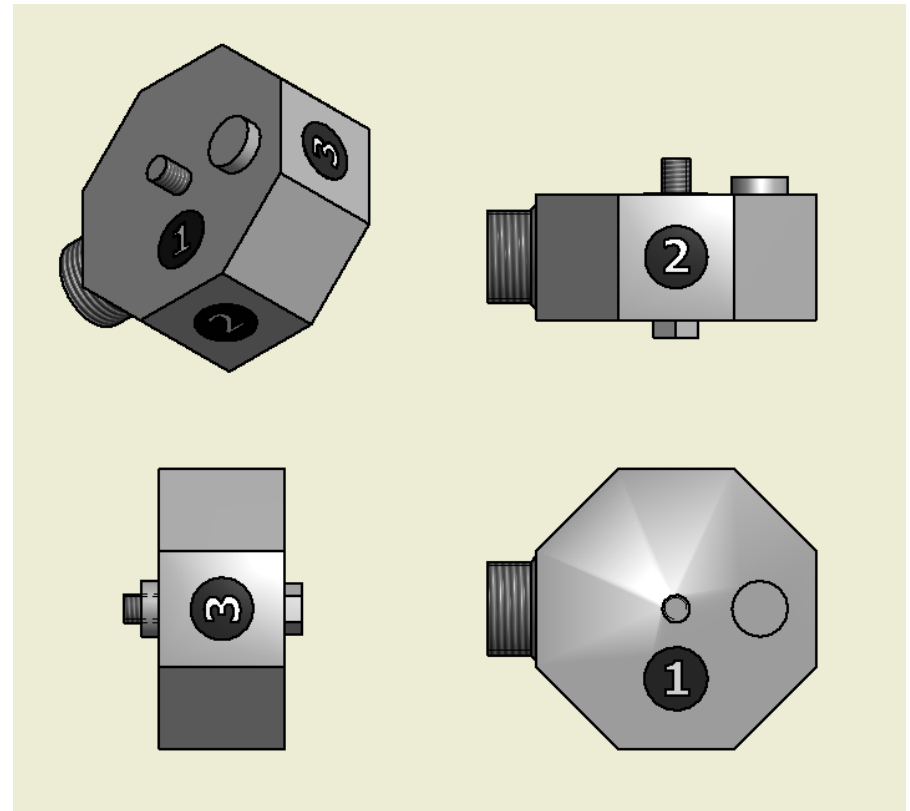
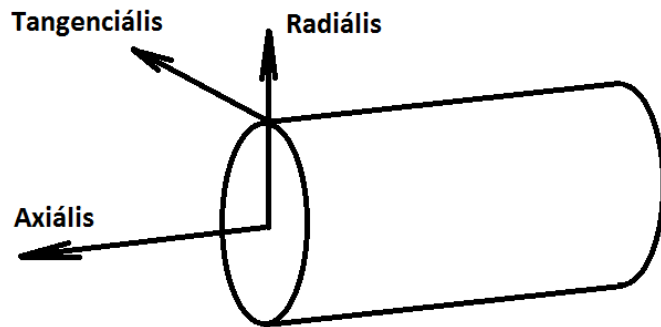
A maximális érzékenység a két irány eredője.



TRIAXIÁLIS GYORSULÁSÉRZÉKELŐ

A triaxiális gyorsulásérzékelő egy rögzítéssel egyszerre három egymásra merőleges tengelyirányban érzékel. Ez igen hatékonyá teszi az információgyűjtést, hiszen egyszerre három lineárisan független irányból gyűjtünk információt, s ehhez nem szükséges három darab különálló egységet szinkronba hozni.

Az így összegyűjtött adatállomány egységes, nem szükséges időbeni korrekciókat végezni.



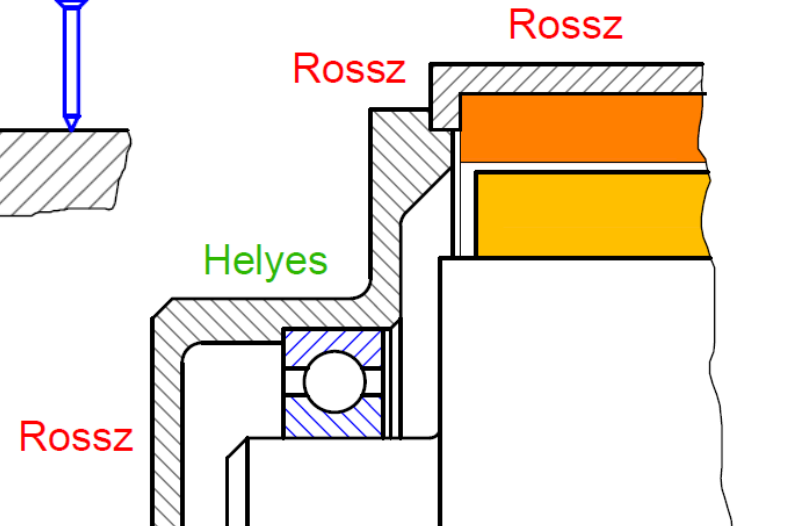
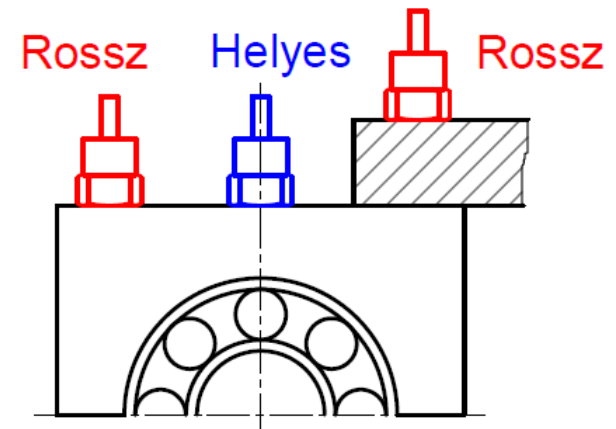
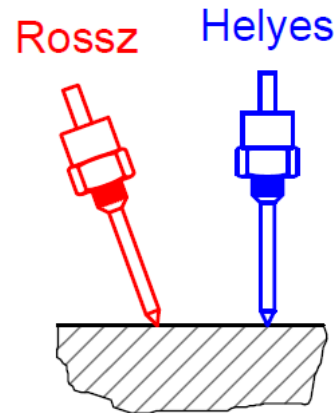
MÉRÉSI PONTOK KIVÁLASZTÁSA

Csapágyrezgés mérésnél az érzékelők elhelyezési direktívái:

- 3 egymásra merőleges irány
- A lehető legközelebb a csapágyhoz
- A lehető legkevesebb közbeeső elem (felület)
- Hibátlan rögzítés

A mérőrendszer hibás adatainak oka:

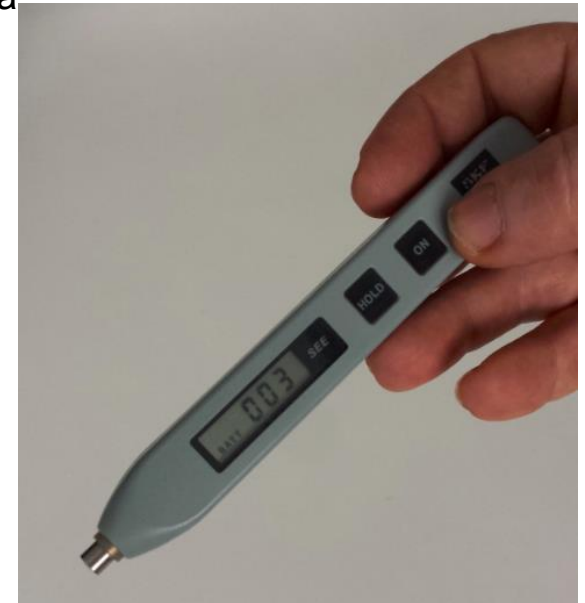
- Érzékelő helytelen elhelyezése
- Érzékelő nem megfelelő rögzítése
- Gyors hőmérséklet változás
- Instabil jel erősítő
- Sérült kábel
- Vizsgált berendezés rossz működési feltételei
 - Helytelen próba sebesség
 - Helytelen próba terhelés
 - Helytelen bemelegítés



AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLATOK

Az akusztikus emissziós vizsgálatok esetében a következő jellemzőket kell figyelembe vennünk:

- A vizsgálat során a szilárd testben tárolt energia felszabadulásakor létrejövő rugalmas anyaghullámok (ultrahang tartományú) kerülnek mérésre.
 - Ezek a hullámok lehetnek gömbhullámok az anyagban, vagy felületi hullámok az anyag felületén.
 - Piezoelektromos érzékelőkkel fogják fel a felületen.
 - Leggyakoribb forrásai: repedések, törések
 - Alkalmazási terület:
 - tartályok, csövek nyomásvizsgálata
 - hidak, repülőgépek és tengeri fúrótornyok általános vizsgálata
 - SKF csapágyvizsgálati szabadalom: SEE szabvány
-
- Előny: nem szükséges a teljes szerkezet átvizsgálása, elegendő néhány ponton mérést végezni.
 - Hátrány: csak aktív hibák tárhatók fel, passzív hibák felderítésére nem alkalmas.



A SEE TECHNOLÓGIA

Az SEE technológia az akusztikus emissziós vizsgálatok közé tartozó SKF szabvány, '80-as években dolgozták ki az SKF holland szakemberei csapágyhibák feltárására. Elsősorban csapágykenési problémákból eredő, vagy sérülési hibák felderítésére dolgozták ki.

- Milyen okok vezetnek csapágyhibához?
 - Geometriai alakhiba (kiterjedésükhöz képest nem túl mélyek) alacsony frekvenciájú jeleket okoznak.
 - Felületi repedések és törések (kiterjedésükhöz képest mélyek) magasabb frekvenciájú jeleket okoznak.
- Alacsony (0-20 kHz) frekvencián a nagy energiájú jelek (kiegyensúlyozatlanság, tengelybeállítási hiba) teljesen elnyomják a csapágyból származó gyengébb energiatartalmú jeleket.
- Közepes (20-100 kHz) frekvencián még mindig nehezen felismerhetőek a csapágy belsejéből származó jelek.
- A magas frekvenciájú jelek kiemelése a cél, az alacsonyabb frekvenciák elnyomásával.

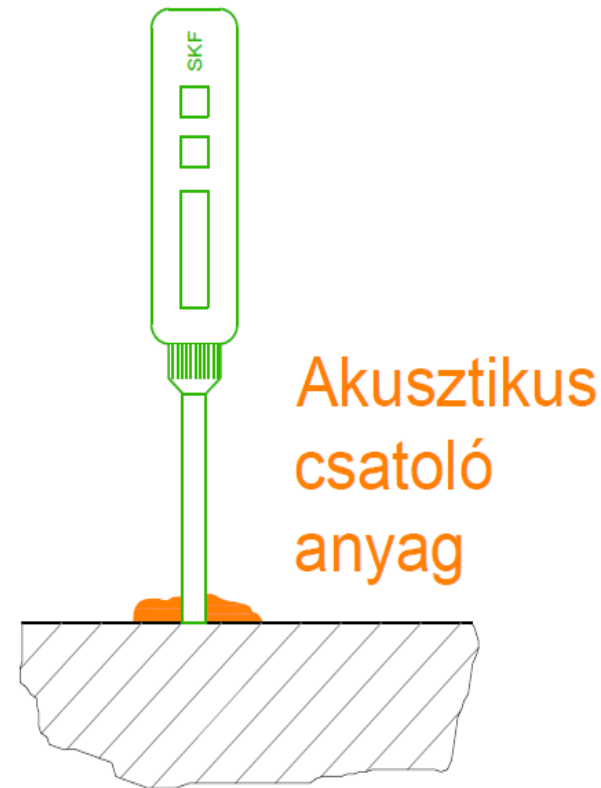


SEE TECHNOLÓGIA

Az SEE (Spectral Emitted Energy) technológia tehát a magasabb frekvenciájú jelekből nyeri az információt a következők szerint:

A nagyfrekvenciás (100 kHz feletti) lökéshullámok keletkezése a következőkre vezethetők vissza:

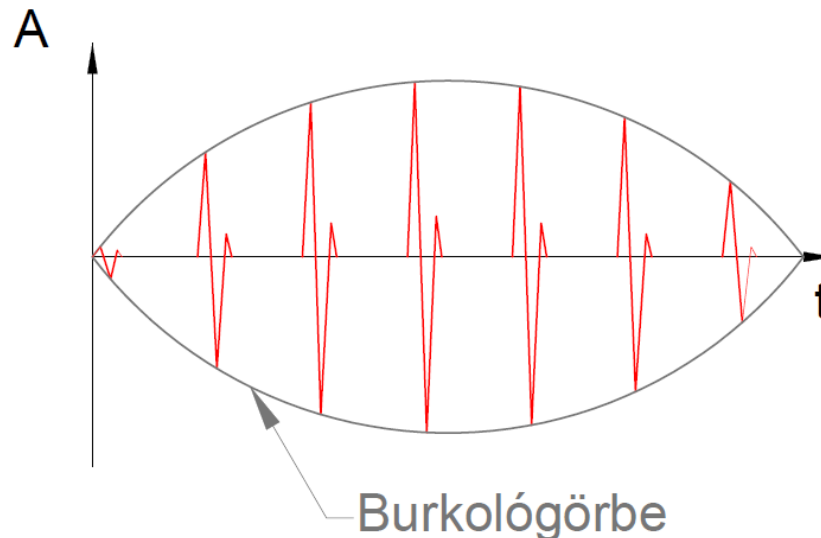
- Gördülőttestek sérülésen haladnak át. Ilyenkor a kapott frekvencia függ a fordulatszámtól.
- A sérülések során szemcseszerű fém részek válnak le és halmozódnak fel a csapágy kenőanyagában, kerülnek az érintkező felületek közé. A korábban levált fém részecskék egy-egy pillanatnyi és pontszerű lokális túlterhelés hatására túlhevülnek, összehegednek és felszakadnak, ezzel olyan rezgés keletkezik, ahol a frekvencia független a fordulatszámtól.



ENVELOP (BURKOLÓGÖRBE) TECHNOLÓGIA

A burkológörbe módszerrel az ismétlődő jelek felismerése a cél. Csapágyvizsgálatra fejlesztették ki.

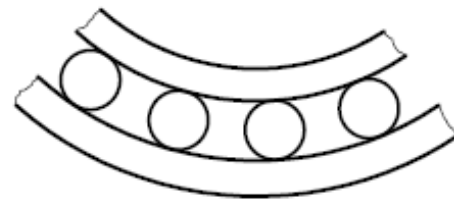
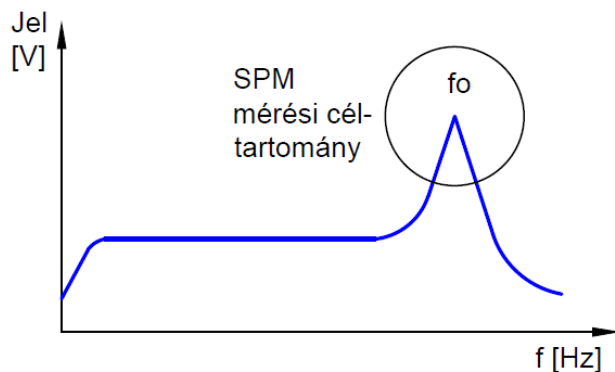
- A rezgésdiagnosztikával régóta foglalkozó cégek (Brüel & Kjaer, SKF, SPM) mind kidolgozták a saját eljárásukat ezen a területen.
- A eljárás a rezgés gyorsulást vizsgálva, nagyfrekvenciás szűrők alkalmazásával a vizsgált jelnek a jellegzetességeit emeli ki. A nagyfrekvenciás jel tulajdonképpen a vivőjel, a keresett információ ennek modulált határoló görbéjén található.
- A csapágyak esetében ütődésekből, felületi egyenetlenségekből (gödrösödés) származó, gyors lefutású impulzusjelek kimutatására használatosak.



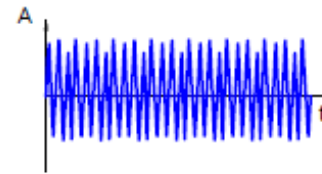
SPM MÓDSZER

Az SPM módszert (Shock Pulse Method, azaz ütésimpulzus módszer) kifejezetten csapágyak vizsgálatára fejlesztették ki.

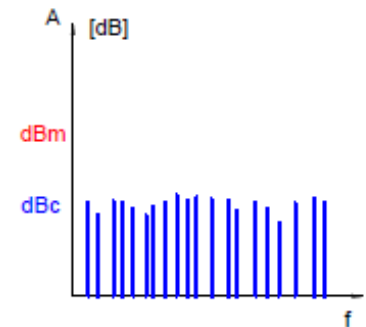
- Eddigiekben messzire elkerültük az érzékelők sajátfrekvenciáját. Viszont egy jelenség sokkal gyorsabban kimutatható, ha egy a jelenségre jellemző frekvenciatartományba eső saját frekvenciájú érzékelőt használunk.
- A gördülő felület és gördülő elem kapcsolatát jellemzi. Az ütés jellege és nagysága függ a hiba alakjától, a terheléstől, a kenés állapotától.



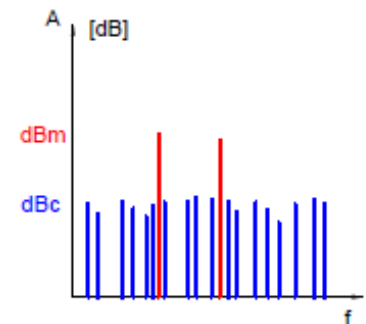
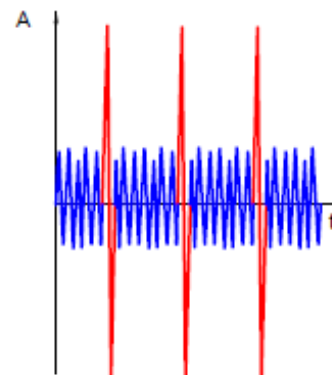
PI. felületi érdességből adódó jelek



dBm: Maximális érték
dBc: Szőnyegérték



PI. felületi érdességből és hibából adódó jelek



IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Forgács Endre: Rezgésdiagnosztika előadási anyag, Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, 2014.
- [2] Dr. Bíró István: Mechanika III. Mozgástan jegyzet, Szeged, 2014.
- [3] Dr. Dömötör Ferenc: A rezgésdiagnosztika elemei, SKF Svéd Golyóscsapágy Rt. Budaörs, 1996.

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

SZÉCHENYI  2020



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE