

VI. Évfolyam 3. szám - 2011. szeptember

Répás József

jozsef_repas@hellokity.com

PIEZOELEKTROMOS ANYAGOK BIZTONSÁGTECHNIKAI ÉS KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGI ALKALMAZÁSAI

Absztrakt

A piezoelektromosság 1880-as felfedezésekor a gyakorlati alkalmazásokon még nem gondolkoztak, ám az első világháború utolsó évében megjelentek az első szabadalmak és egy évtized múlva a piezoelektromos kristályok a modern elektrotechnika nélkülözhetetlen eszközei lettek. Piezoelektromos anyagokat gyakran és sok területen használunk, többek között a biztonságtechnikában is. Jelen cikk célja összefoglaló képet adni a piezoelektromos anyagok felhasználási területeiről működésükről és bemutatni néhány új lehetőséget a jövőbeni alkalmazásukra.

In 1880, time of discovery of piezoelectric the practical applications has not yet been thought, but the in the last year of the First World War appeared the first patents and a decade later, the piezoelectric crystals have become an indispensable tool of modern electrical engineering. Piezoelectric materials are often used in many areas, including in the security market as well. This article is designed to give a general picture of the areas of their operation and use of piezoelectric materials to introduce some new possibilities for their application in the future.

Kulcsszavak: *piezo kristály, piezo film, ultrahang detektor, rezonátor ~ piezoelectric crystal, piezoelectric film, ultrasonic detector, resonator*

PIEZOELEKTROMOSSÁG

A piezoelektromos anyagok kutatása a 19. században kezdődött. A jelenséget 1880-ban fedezték fel a Curie fivérek turmalin kristályon. Rövidesen több kristályon tapasztaltak hasonló hatást. Gyakorlati alkalmazáson azonban egyáltalán nem gondolkodtak. A piezoelektromos anyagok széleskörű felhasználására az elektrotechnika, főként az alaktronika rohamos fejlődése adta meg a lehetőséget. Az első világháború utolsó évében jelentek meg az első szabadalmak, s egy évtized múlva a piezoelektromos kristályok a modern elektrotechnika nélkülözhetetlen eszközei lettek.[1]

Egyes kristályokban a különböző előjelű töltéscentrumok mechanikai deformáció hatására szétválnak, ezáltal a kristály szélei között elektromos feszültség alakul ki. A folyamat megfordítható: ha az ilyen, ún. piezoelektromos anyagokra elektromos feszültséget kapcsolunk, akkor hosszúságuk megváltozik. Ezzel a módszerrel a távolság finoman, akár atomi méretekben is szabályozható.[2]

Piezoelektromosak azok az anyagok, amelyekből megfelelően kivágott vagy kialakított lemezek nem csak kondenzátorként, hanem mechanikai elektromos átalakítóként is használhatóak. A „piezo” szó görög eredetű, nyomást jelent. A piezoelektromos anyagon felületén mechanikai igénybevételkor elektromos töltés kialakulása figyelhető meg. A keletkezett elektromos töltés és az alkalmazott húzó ill. nyomó erő között lineáris összefüggés figyelhető meg. Amikor Pierre és Jacque Curie a piezoelektromos hatást a turmalin után kvarckristályon is észlelték, sikerült a jelenség fordítottját is kimutatniuk.

Direkt és reciprokt piezoelektromos hatás

A piezoelektromos dielektrikumok ugyanis elektromos feszültség hatására mechanikai deformációt szenvednek. A mechanikai deformáció hatására keletkezett elektromos feszültség okát közvetlen (egyenes, direkt) piezoelektromos hatásnak nevezik. Az elektromos feszültség hatására keletkezett mechanikai deformáció oka a fordított (reciprokt) piezoelektromos hatás.[3]

$$U_f \cong \frac{1}{\epsilon_p} \cdot \frac{l_p}{A_p} \cdot f_f$$

A keletkezett feszültség:

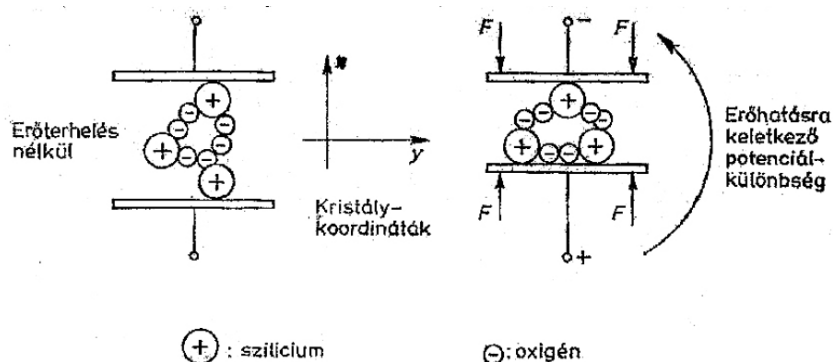
ϵ_p : kristályállandó

A_p : a kristály felülete

l_p : a kristály hossza

f_f : a felületre ható terhelés

A keletkező feszültség magyarázata (1. ábra), hogy a megfelelően kimetszett poláris kristálylapka felületein rácdefiníció miatt szabad töltéshordozók jelennek meg. Elvileg ez az átalakító csak adott irányú erő, illetve elmozdulás érzékelésére alkalmas. Aktuátorként hasonlóan működik, ekkor a villamos feszültség hatására jön létre erő, illetve elmozdulás.[4]



1. ábra. Kristályban keletkező feszültség magyarázata [5]

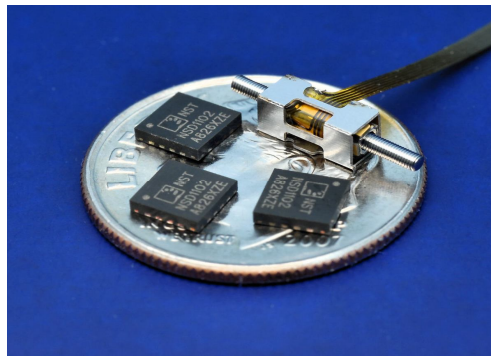
Piezo aktuátor és motor

Az aktuátor elektromos árammal, olajjal, vagy levegővel működtetett beavatkozó elem, amely képes valamilyen irányító jelnek megfelelő hatás kifejtésére.[6] A piezoelektromos mikroaktuátorokat nagy sikerrel lehet, és alkalmazzák is nanométeres feloldású pozicionálásokra. Jellemző rájuk a kb. 1 μm -es tartomány és az ezen belüli nagy, nm-es feloldás, a jó frekvenciakövetés és a viszonylag nagy kifejtett erő. Kedvező tulajdonságai:

- gyors működés
- nagy merevség
- alacsony energia disszipáció
- magas hatásfok

A piezokerámia hátrányos tulajdonsága, hogy feszültség hatására bekövetkező alakváltozása meglehetősen kicsi (0,1 %). A piezokerámia által kifejtett erő viszonylag nagy, ez lehetőséget ad arra, hogy mechanikai áttétekkel növeljük az elmozdulást.

Az optikai piezo aktuátorok a fény energiáját használják fel működésük közben. Ennek igen nagy előnye, hogy teljes mértékben megszüntethető az inductív zaj. Nincs szükség szigetelésre és érintés nélküli kapcsolat könnyen létrehozható. Az optikai piezoelem, bizonyítva a fotostrikció jelenségét, számos kutatás alanya. Felhasználásával mozgó mikrorobotot, illetve mikrorelét fejlesztettek ki.[7] A mikrorobotok esetében piezo motorokat alkalmaznak (2. ábra).

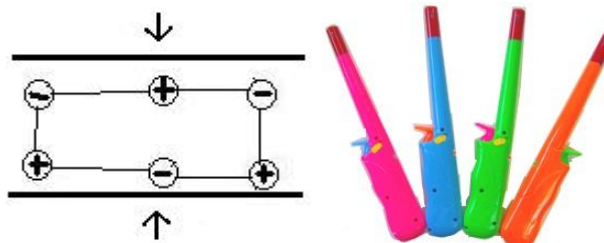


2. ábra. Piezo motor [8]

A piezoelektromos motor működése azon alapul, hogy elektromos mező hatására megváltozik a piezoelektromos kristály. A piezoelektromos motoroknál kihasználják a reciprok piezoelektromos hatást. Magas frekvencián vezérelve a kristályokat körülbelül 800 mm / s, vagyis majdnem 2,9 km / h sebességet érhetünk el.

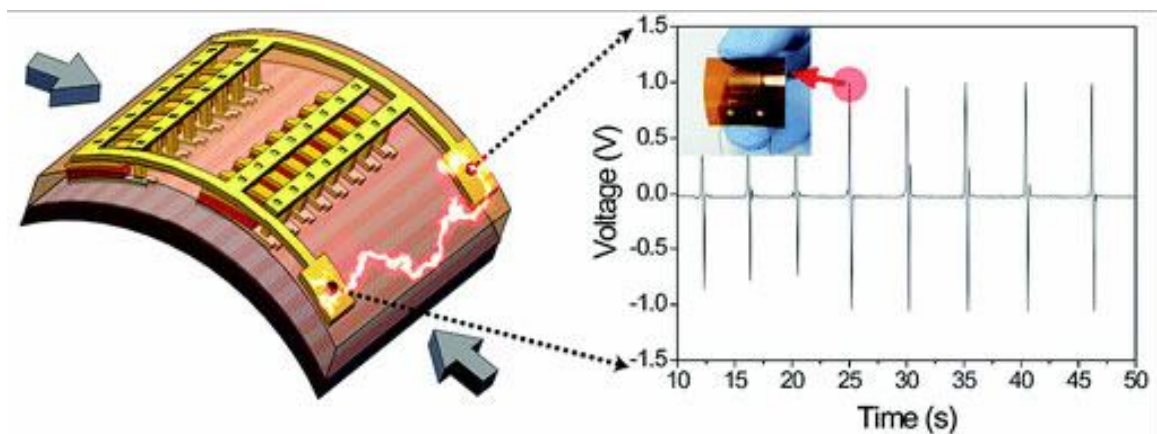
Gázgyújtó és nanogenerátor

Az egyik leggyakrabban alkalmazott kristály a kvarc, mely hatszöges rendszerben kristályosodik, ahol a rácspontokban pozitív és negatív ionok helyezkednek el felváltva. Egy ilyen kristályt két fémlap közé helyezve, majd összenyomva azt, a fémlapok töltötteké válnak, amivel elektromos szikrát lehet gerjeszteni (öngyújtó, gázgyújtó).[11]



3. ábra. Hatszöges rendszerű kvarc kristály és piezo gázgyújtó [9][10]

A piezoelektromos anyagoknak ezt a tulajdonságát kihasználva készítene kisméretű ún. nanogenerátorokat. A nanogenerátor szintén a piezoelektromos hatás alapján üzemel. A kutatók hosszas kísérletezéssel fejlesztették ki azokat a nanotechnológiai módszereket, amelyekkel szinte atomról-atomra "szerelték össze" az első nanogenerátort. Először hatoldalú hasáb alakú, cink-oxid (ZnO) nanodrótokat növesztettek sűrűn egymás mellé egy szögletes alaplapra. Azért választották a generátor fő részeként a cink-oxidot, mert ennek az anyagnak megvan az a ritka képessége, hogy piezoelektromos tulajdonsága mellett egyben félvezető is. A felfelé meredező nanodrótok fölé egy másik szögletes lapot: platina-bevonatú, barázdált felületű szilícium-elektrodát helyeztek el. Amint mozgás vagy erőhatás következtében a szerkezet oldalvást elmozdul, a nanodrótok meghajlanak az elektród alatt, és piezoelektromos tulajdonságuk következtében elektromos töltéseket produkálnak. A kutatók 2008-ban 6 négyzetmilliméter nagyságú nanogenerátorral 10 mV feszültégű és 800 nA erősségű áramot tudtak előállítani.

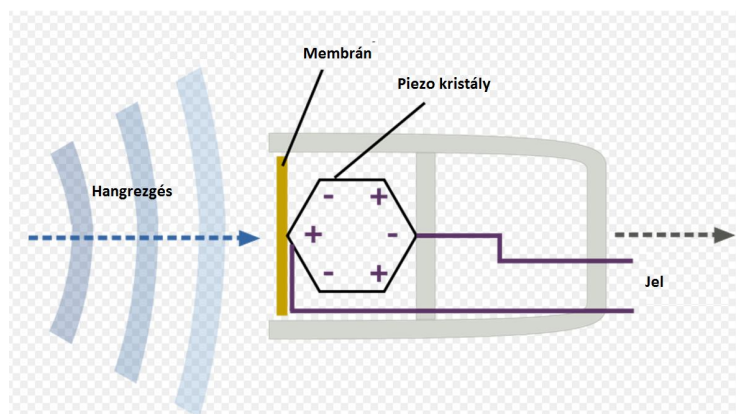


4. ábra. Nanogenerátor [13]

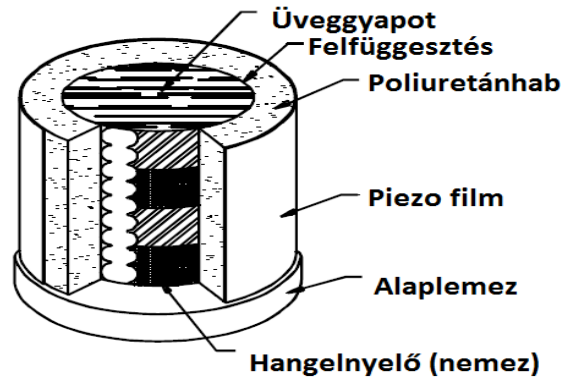
Mára a piezoelektromos nanocsöveket tartalmazó generátor elegendő energiát képes szolgáltatni a kisebb elektromos eszközök működéséhez.[14]

Piezo mikrofon és hangszóró

A piezoelektromos jelenség alapján működő mikrofonban legnagyobb feszültségváltozást a Seignette-só kristály ad. Két összeragasztott kristályt 3 ponton befogva a 4. pontra a membrán által közvetített hangfrekvenciás rezgést adva kapjuk a legegyszerűbb felépítésű kristálymikrofont (5. ábra). A mikrofon volt nagyságrendű feszültséget ad, impedanciája kapacitív. A kristály hőre és nedvességre érzékeny.



5. ábra. Piezoelektromos mikrofon Készítette: Répás József 2011



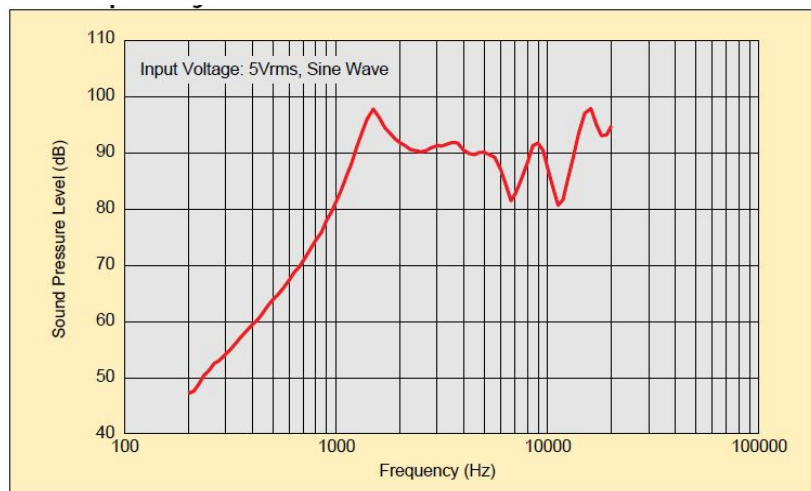
6. ábra. Pioneer Electronics piezo hangszórójának felépítése [15]

A Pioneer Electronics a piezoelektromos filmet fülhallgatókhoz alkalmazta (6. ábra), majd a Gallo Acoustics fejlesztett 52 μm vastagságú filmből kiváló hanghűségű hangszórázó 2 kHz-es frekvencia fölé. A hangszórónak 330 °-os vízszintes szórása volt /ez 10 darab hagyományos hangszóróénak felel meg/, rendkívül széles dinamikatartománya, nagyon gyors impulzus-válasza, így a hűen reprodukálta a legmagasabb frekvenciákat is. Újszerű hangszórók fejlesztésekor a vékony kivitel, a kis súly és a konformitás játszott szerepet. Ilyenek voltak az ún. „felfújható hangszórók”, például a lufi és egyéb felfújható, zenélő játékok és a hangos üdvözlőkártyák.

Napjainkban piezo hangszórókat használnak ébresztőórákban, egyéb elektronikus eszközökben és házimozzi rendszerek magassugárzójaként. Az egyik legkisebb (19,5 mm * 14,1 mm * 0,9 mm) piezo hangszóró 92 dB \pm 3 dB hangnyomásszinttel és 0.9 μF \pm 30%-os kapacitással bír (7. ábra). Frekvenciaátvittele a 8. ábrán látható.



7. ábra. Ultra vékony és vízálló piezo hangszóró[16]



8. ábra. Ultravékony és vízálló piezo hangszóró frekvencia-átvittele [17]

Számos előnyük van a hagyományos hangszórókkal szemben, mivel ellenállnak a túlterhelésnek, nagyfrekvenciás teljesítményük növelhető így speciális körülmények között is alkalmazható. Például vízben sonárként, a szilárd kialakítás miatt ellenáll a tengervíznek. Piezoelektromos anyagokat már az 1940-es években alkalmaztak hidrofonokban és sonároknak. Új hidrofon technológia a bűvárok által használt ultrahangos képalkotás.

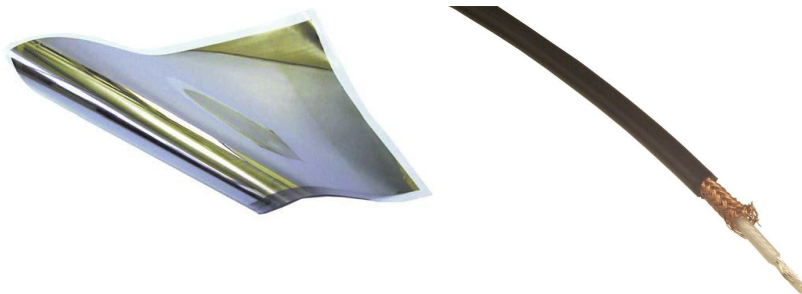
Piezoelektromos film

Piezoelektromos film (9. ábra) egy jelátalakító, ami a technológiában rejlő lehetőségek kiaknázását teszi lehetővé. Felépítése a 10. ábrán látható. Piezo film a nyomó vagy húzó mechanikai behatás hatására arányos feszültséget termel. Lehetővé teszi rendkívül megbízható és alacsony költségű rezgésérzékelők, gyorsulásmérők kialakítását. Alkalmazható 1 kHz és 100 MHz közötti frekvenciatartományban.

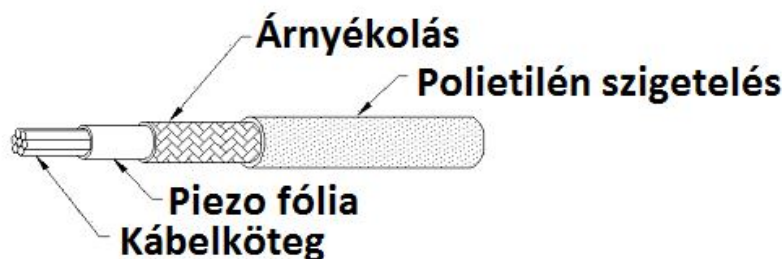
Különböző méretű és vastagságú egységekben kapható. Vékonyabb filmek leggyakrabban 28 és 52 mikron vastagságúak, jó mechanikai tulajdonságuknak köszönhetően. Vastagabb fóliát (110 mikron) akkor használnak, ha maximális stabilitás szükséges. Fémzése történhet porlasztott fémzessel, vagy ezüst tintával. Előbbit mechanikai igénybevételkor alkalmazzák, utóbbit ha a jel/zaj viszonyok megkövetelik.

A piezo film mint érzékelő különböző kialakításban kapható és kerül felhasználásra:

- kábel
- bélyeg:
 - - ezüst tintás
 - - laminált
 - - rugalmas
 - - árnyékolt érzékelők
- fémzett fólia
- piezo kapcsolók és ultrahangos érzékelők



9. ábra. Piezo fémzett film fólia és piezo érzékelő koaxiális kábel [18]



10. ábra. Piezo kábel felépítése[19]

Piezo érzékelő kábelek biztonságtechnikai alkalmazása is jelentős lehet a későbbiekben. Külterületi védelem eszközeként hidraulikus lépésjelzők helyett alkalmazható lenne a piezo

érzékelő kábel is. Ezeknél az érzékelő elem szintén piezo kristály, de fagyálló folyadékkal feltöltött csövek helyett piezo kábellel is meg lehetne oldani az érzékelést. Védett sávon áthaladó személy által keltett talajnyomás-változást az érzékelő egység elektromos jellel alakítja át. Felderíthetetlen, mivel földfelszín felett semmi jele az eszköznek.

Piezo kristályt alkalmaznak még a gépjárműtechnikában, mint piezo működtetésű injektor. Optikai meghajtók pontos pozícionálása is piezokristályok segítségével történik, hasonlóképpen a modern fényképezőgépek autofocus beállításánál és giroszkópokban is. Nyomtatótechnikában is használatos, az Epson által kifejlesztett piezo technikánál, a tinta mechanikus nyomás hatására préselődik ki a fűvókából. Ezt egy kerámia piezo elem teszi lehetővé, ami nyomást gyakorol a tintacsatornára, kinyomva a tintát a fűvókából.

Piezo hangszedő többnyire az akusztikus gitárok hangjának erősítésére szolgáló hangszedő, mely a húrláb illetve az egész gitártest mechanikus rezgését alakítja elektromos feszültséggé. Hátránya a nagyon steril, éles hangzás, melyet sok esetben a gitárba beépített aktív hangszínszabályzóval szükséges szabályozni. Piezo hangszedő egyes típusai elektromos gitárba is beépíthetők, a meglévő húrláb lecserélhető méreteiben és működésében teljesen megegyező cserealkatrészre, így nincs szükség külön akusztikus gitárra, az elektromos gitárból is kicsalható az akusztikus hangzás, sőt a kétféle hangszedő (hagyományos és piezo) keverésével érdekes hangzásokat érhetünk el.[21] Londoni Surya diszkó pedig piezo generátorokat épített táncparkettjébe, hogy táplálják a villogó fényeket.

PIEZO KRISTÁLY A BIZTONSÁGTECHNIKÁBAN

Kerámia- piezo eszközök felhasználási területei igen szélesek. Mind az elektrotechnikában, mind a biztonságtechnikában. Biztonságtechnikai szempontból is széles körben alkalmazott. Mai építmények nagy részében alkalmazható, mint például metró állomások, bevásárlóközpontok, irodaépületek. Egy szóval mindenhol, ahol érthetően kell az információt eljuttatni a közönségnek, minden felesleges mellék zajtól mentesen, például egy esetleges katasztrófahelyzet esetén, de még egy átlagos kutyariasztóban is megtalálható.

Kis teljesítményű piezo sugárzókat alkalmaznak például csipogókban, figyelemfelkeltő eszközökben. Nagy szerepe van a piezo anyagoknak riasztórendszerekben, ahol a fényjelzés mellett hangjelzéssel is jelzik az eseményeket. Gépjárművek biztonságának kialakításakor is nagy szerepe van a kis méretű, elrejthető, nagy teljesítményű hangforrásoknak, erre a feladatra is kiválóan alkalmas a kristály- piezo sugárzó (11. ábra). Piezo detektorokkal egyszerűen megoldható a bevásárlóközpontok alatti parkolóokban várakozó gépjárművek biztonsága is, mert egyszerűen jelezhető, hogy melyik szint, melyik parkolóhelyén történik a gépjármű mozgatása. A közlekedésbiztonsági alkalmazáshoz hasonlóan a gépjármű felett elhelyezett adó-vevő segítségével.

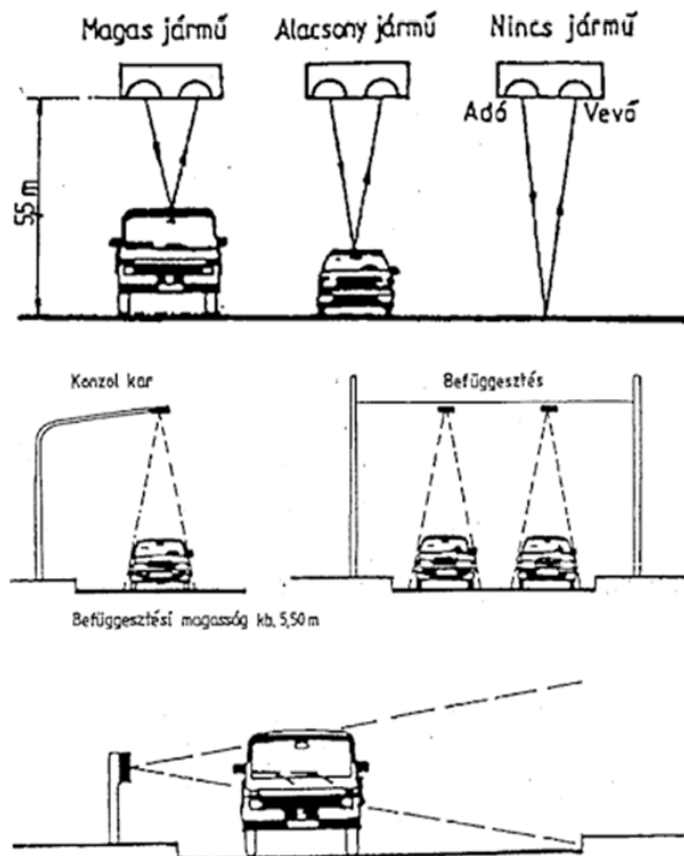


11. ábra. Gépjárműben alkalmazható piezo sziréna[22]

PIEZO KRISTÁLY A KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGBAN

Víz alatti tájékozódás, különböző hanghullámok vétele, kibocsátása - akár az ellenség lokátorainak félrevezetéséhez - szintén piezo sugárzókkal történik, előnyös tulajdonságuk miatt, hogy ellenállnak a víznek. Víz alatti mikrofonok és hangsugárzók tökéletes alapanyaga.

Biztonság kialakításának egyik egyszerűbb formája lehet, ha például a postást látjuk el ultrahangos, piezo sugárzóval kialakított kutyariasztóval. Másik terület ahol piezo sugárzókat felhasználnak az úgynevezett ultrahangos detektorok, ahol mint rezonátor alkalmazzák.



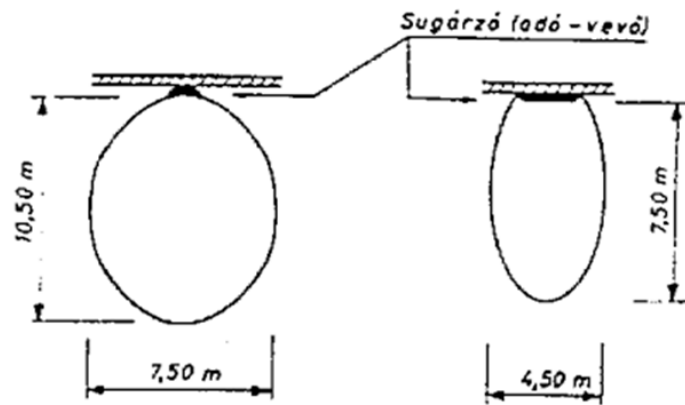
12. ábra. Adó-vevővel kialakított ultrahangos rendszer[23]

Ultrahang detektorok adó-vevő párból állnak, amelyek rendszerint egyetlen házban helyezkednek el. Működésük azon a jelenségen alapul, hogy az adó által kisugárzott ultrahangok a járművekről visszaverődnek, amelyeket azután a vevő érzékel, majd feldolgoz (12. ábra). Ultrahangos berendezések frekvenciája -amelyeket közutaknál használnak-, 18-40 KHz között vannak, ez ugyanis az emberi fül számára már nem hallható. Lehetséges mérési távolság 1-8 m között van. Visszaverődési időből a távolság közvetlenül számítható a következő kifejezés segítségével:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

ahol: d = távolság
 v = ultrahang terjedése a levegőben
 t = idő.

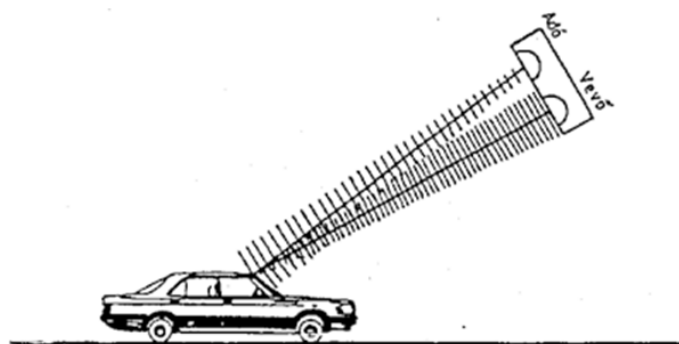
Számlálót azért kell osztani 2-vel, mert a jel útját oda-vissza kell számítani. Visszavert jelek tehát az érzékelőbe jutnak, amelynek sugárzási karakterisztikája a 13. ábrán látható, amely egyébként gyakran módosítható.



13. ábra. Ultrahangos adó vevő sugárzási karakterisztikája [24]

Ultrahangos érzékelőket kétféle módon használhatjuk fel attól függően, hogy a kisugárzott, illetve a visszavert jel mely paramétereit használjuk fel a vevőben. Ennek megfelelően:

- *Impulzus módszer:* Ekkor az adó periodikusan bocsát ki jeleket, impulzusokat. Vevő az impulzusok közötti időszakban figyeli a visszaverődött jeleket. Minél magasabb egy jármű, annál hamarabb érkeznek vissza a jelek. Ha a detektort a 12. ábra szerint az útpálya felett helyezük el, akkor a jármű típusokat is meg tudjuk különböztetni. Oldalt elhelyezve a detektort, csak a kívánt forgalmi sávot ellenőrizzük. E rendszer egyébként alkalmas a parkolók foglaltságának ellenőrzésére is.
- *Doppler módszer:* Ellenőrzési elv a Doppler-hatáson alapul. Az ultrahangos mozgásérzékelő egyszerre ad és vesz visszaverődő ultrahanghullámokat. Ha a jelek útjában álló jármű van, akkor a visszaverődő hullámok frekvenciája ugyanakkora lesz, mint amit kisugárzott. Amennyiben mozgó tárgyak, vagy személyek kerülnek a jelsugár útjába, akkor az adó és vevő frekvenciája eltér egymástól, aszerint, hogy pl. a jármű távolodik vagy közeledik az ultrahang forrás felé. Ha távolodik, akkor a frekvencia csökken, ha közeledik, akkor nő. Ezen elv alapján mérhető a járművek sebessége. Ekkor a 14. ábra szerinti elrendezést kell alkalmazni. Látható, hogy az adó-vevő pár felül van elhelyezve, de a kibocsátott nyaláb ferde pályán halad. Erős szél, hó, esetleg más mellékzörejek esetében a pontosság jelentősen csökken.



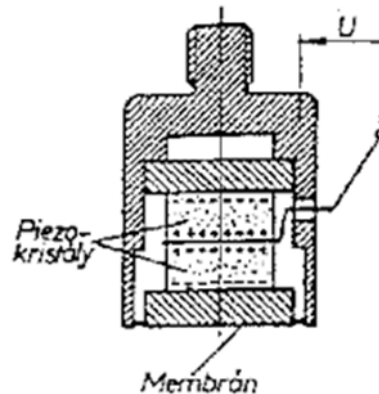
14. ábra. Doppler elven alapuló eljárás [25]

Rezgéskeltők feladata az ultrahang előállítása adás esetén, vétel esetében pedig a felfogott jelek-amelyek nyomóhatást fejtenek ki az érzékelőben-átalakítása villamos jellé.

- *Piezoelektromos rezonátorok:* A piezoelektromos hatás fordítottja rezgéskeltők készítésére használható.
- *Mágneses átalakítók:* Mágneses átalakítóknál azt a jelenséget használjuk fel, hogy a mágneses erőter változásának hatására bizonyos anyagok a térbeli méreteiket

megváltoztatják. Méretváltozás a H mágneses térerősség növekedésével lehet növekvő, vagy csökkenő. A jelenséget magnetostruktív hatásnak nevezzük.

Piezo detektorok esetén is a piezoelektromos hatást használják fel. Egy ilyen, a nyomásváltozás hatására működő érzékelőt mutat a 15. ábra. A detektor közvetlenül a pályafelület alá, a haladási irányra merőlegesen, egyenes vonalakon fektetendő le. Az áthaladó kerekek nyomásának hatására keletkezik a feszültség, amelyet feldolgozunk. Mivel ez az érzékelő típus csak dinamikus hatásra dolgozik, ezért csak mozgó járművek megfigyelésére alkalmas. Felhasználható tengelyek számának meghatározására és tengelyterhelés mérésére.[26] A tengelyterhelés mérése közlekedésbiztonsági szempontból elsődleges feladat.



15. ábra. Piezoelektromos nyomásmérő [27]

A közlekedés biztonságának kialakításában egyéb módon is alkalmazható a piezo kristály. ABS rendszerek érzékelőjeként, keréknyomás ellenőrzőként használják. A piezo film felhasználására jelenleg is folynak kutatások. Kísérleteznek aktív rezgéscsillapítókkal, piezo polimereket próbálnak felvinni szilíciumra és az ún. Smart Skin kialakításánál is a piezo film alkalmazása lesz szükséges.

ÖSSZEGZÉS

Belátható, hogy a piezo kristály és a piezoelektromosság fontos szerepet játszik az elektrotechnikában, ám felhasználási területe túlmutat ezen. Mind a közlekedésbiztonság, mind a biztonságtechnika fontos alapeleme a piezo kristály és nem csak az ébresztő óránk csipogója, vagy egy dallamot játszó képeslap. A bemutatott felhasználási módokon túlmutatva elképzelhető, hogy a jövő nyitászérzékelőiben, vagy zárjaiban is találkozhatunk ezen alkatrészsel. A közlekedésbiztonsági alkalmazáshoz hasonlóan parkolóhelyek, mélygarázsok biztonságának növeléséhez is felhasználható az eszköz.

Felhasznált irodalom

[1][3] Gémesi József: *Piezoelektromos anyagok*, 3. oldal. BME Kézirat, Tankönyvkiadó 1964

[2] Botond Balázs: *Mi a piezoelektromosság?*

<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/teazo/miert/m01/218.html> Letöltve: 2011-04-26 13:38

[4][5][7] Érzékelők és működtetők II. BME előadásvázlat 34-35. oldal.

<http://www.fot.bme.hu/letoltes/ERZEKELOK%20ES%20MUKODTETOK/M%C5%B1k%C3%B6dtet%C5%91k.pdf> Letöltve: 2011-04-26 15:44

[6] Aktuátor fogalma

<http://www.idegen-szavak.hu/keres/aktuator> Letöltve 2011-04-26

- [8] Piezo motor
Forrás: http://www.newscaletech.com/press_pics_hi-res/NSD-1102_3_motor_dime.jpg
Letöltve: 2011-04-26 14:38
- [9] Kvarckristály
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hu/e/e5/SiO2Piezo.jpg> Letöltve: 2011-04-26 14:17
- [10] Piezo gázgyűjtő
http://bolthely.hu/haztartasi/id/01646_Piezzo_toltheto_gasztuzhely-gyujto_szines_gazgyujto
Letöltve: 2011-04-26 14:16
- [11] Piezoelektromosság <http://hu.wikipedia.org/wiki/Piezoelektromosság>
Letöltve: 2011-04-26 14:06
- [12] Nanogenerátor
<http://www.origo.hu/tudomany/20080218-nanotechnologia-energiatermeles-nanogenerator-es-energiaszal-segitsegevel.html> Letöltve: 2011-04-26 14:23
- [13][14] Nanogenerátor
<http://www.mernokbazis.hu/cikkek/energiaellatas-nanogeneratorral>
Letöltve: 2011-04-26 14:27
- [15] Piezo film sensors Technikal manual 58. oldal
<http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS836/Readings/MSI-techman.pdf>
Letöltve: 2011-04-26 19:19
- [16] Ultra vékony és vízálló piezo hangszóró
Forrás: <http://electronicdesign.com/Content/15000/02-Murata.jpg> Letöltve: 2011-03-18 16:29
- [17] Ultravékony és vízálló piezo hangszóró frekvencia-átvitele
Forrás: <http://www.murata.com/products/catalog/pdf/p83e.pdf> Letöltve: 2011-03-18 16:30
- [18] Piezo fémezett film fólia és piezo érzékelő koaxiális kábel
Forrás: <http://www.meas-spec.com/piezo-film-sensors.aspx> Letöltve: 2011-04-26 20:30
- [19] Piezo kábel felépítése
<http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS836/Readings/MSI-techman.pdf>
Letöltve: 2011-04-26 20:50
- [20] Piezo technika fogalma <http://www.tintacentrum.hu/online/fogalomtar/piezo-technika>
Letöltve: 2011-04-26 12:33
- [21] Alan Ratcliffe: *Elektromos gitár kézikönyv* (ISBN 963-369-567-8) 2006 Alexandra kiadó
- [22] Gépjárműben alkalmazható piezo sziréna
Forrás: <http://www.techorium.com/images/products/Environmental-monitoring-system-mini-piezo-siren-enviromux-srn-m.jpg> Letöltve: 2011-04-27 19:33
- [23] Adó-vevővel kialakított ultrahangos rendszer
Forrás: http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/dr_olah/c2.htm Letöltve: 2011-04-27 20:32
- [24] Ultrahangos adó vevő sugárzási karakterisztikája
Forrás: http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/dr_olah/c2.htm Letöltve: 2011-04-27 20:11

[25] Doppler elven alapuló eljárás

Forrás: http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/dr_olah/c2.htm Letöltve: 2011-04-27 9:48

[26] Dr. Oláh Ferenc: *Járműazonosító és helymeghatározó rendszerek* Egyetemi jegyzet

Forrás: http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/dr_olah/c2.htm Letöltve: 2011-04-30 20:10

[27] Piezoelektromos nyomásmérő

Forrás: http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/dr_olah/c2.htm Letöltve: 2011-04-27 9:56