

Alkalmazott áramlástan és akusztika

(önálló felkészülést segítő tananyag az akusztika részhez)

Összeállította: Dr. Koscsó Gábor c. egyetemi docens (BME Áramlástan Tanszék)

14. előadás

Tartalom:

14.1. Méréstechnikai alapfogalmak, mikrofonok (előadásvázlat)

14.2. Gyakorló feladatok

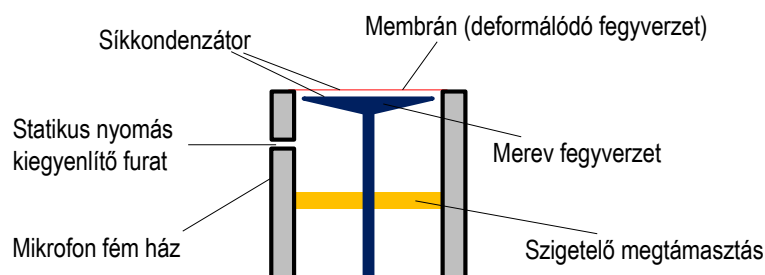
14.1. Méréstechnikai alapfogalmak, mikrofonok

A folyadékokban kialakuló hangok fontos jellemzője az áramlási természet. A légnemű és cseppfolyós halmazállapotú közegekben kialakuló, terjedő és csillapodó mechanikai zavarások egyfajta megközelítésben összenyomható, időben változó, kisamplitúdójú közegmozgásnak tekinthető. Ez a felismerés azért fontos, mert az áramlástanban használt eszközök (matematikai és kísérleti), a szükséges alkalmazási feltételek teljesülése esetén, hangjelenségek vizsgálata során felhasználhatók. Léghangok kísérleti vizsgálata során, a nyomást, pontosabban a hangnyomást (az egyensúlyi értékhez képest kialakuló időben változó nyomás eltérést) mérjük. Levegőben és más légnemű közegben a hangnyomás mérésére szolgáló érzékelő (mechanikus-elektromos jelátalakító) neve mikrofon. Hang érzékelésére vízben vagy más cseppfolyós közegben hidrofont, szilárd rugalmas közegekben kialakuló testhangoknál gyorsulásérzékelőt használunk. A hangjelenségek amplitúdója szokás szerint kicsi, illetve a kiszemelt hangtéri változó (hangnyomás) időben szaporán változik, emiatt a mikrofonok érzékenysége nagy, illetve az időállandója kicsi. A teljes hangmérő rendszerben a mikrofont alapvetően elektromos mérőegységek (erősítő, jelformáló, adatgyűjtő, illetve jelfeldolgozó és kijelző) követik. A mikrofon a mérési pontban kialakuló hangnyomást feszültség- vagy áramjellé alakítja. A mikrofonok fontos jellemzője az érzékenység (Ψ), az egységnyi hangnyomás hatására létrehozott elektromos jel nagysága. Ha a mikrofon kimenő jele feszültség (U), az érzékenység (Ψ),

$$\Psi = \frac{\Delta U}{\Delta p} \quad [V/Pa]$$

A következő részben néhány gyakrabban alkalmazott mikrofon típus működési elvét, az érzékenység matematikai levezetését és legfontosabb tulajdonságait mutatjuk be.

Kondenzátormikrofon: Kondenzátormikrofonokat az akusztikai méréstechnikában, illetve általában elektroakusztikában széles körben alkalmaznak. A kondenzátor mikrofon egy sajátos kondenzátor (elektromos töltés tárolására alkalmas eszköz), amelynél az egyik fegyverzet könnyen deformálható vékony membrán, a másik fegyverzet nagy merevségű, deformációja elhanyagolható. Hangtérben a nyomásváltozás hatására a vékony membrán helyzete és így a kondenzátor kapacitása megváltozik. Ha a kondenzátor fegyverzetein a töltés állandó, a kapacitás változás feszültség változást hoz létre.



Kondenzátormikrofon elvi felépítése

A kondenzátor mikrofon érzékenységének meghatározásához a kondenzátor kapacitása (C), a töltés (Q) és a feszültség (U) közötti kapcsolat,

$$C = \frac{Q}{U}$$

Az összefüggést a feszültségre kifejezve,

$$U = \frac{Q}{C}$$

Állandó töltés esetén a feszültség elemi változás és a kapacitás elemi változás közötti kapcsolat,

$$dU = -\frac{Q}{C^2} dC = -\frac{U}{C} dC$$

A síkkondenzátor kapacitása,

$$C = \frac{A\varepsilon_0}{X}$$

Ahol a síkkondenzátor lemez felület (A), a dielektromos állandó (ε_0) és a fegyverzetek közötti távolság (X). Állandó felület és dielektromos állandó esetén a kapacitás elemi változás és a fegyverzetek közötti távolság elemi változása közötti kapcsolat,

$$dC = -\frac{A\varepsilon_0}{X^2} dX = -\frac{C}{X} dX$$

A feszültség és a kapacitás elemi megváltozás közötti kapcsolatba behelyettesítve,

$$dU = -\frac{U}{C} dC = \frac{U}{C} \frac{C}{X} dX = \frac{U}{X} dX$$

Elemi megváltozásokról véges nagyságú különbségekre áttérve, a feszültségkülönbség (ΔU) arányos a membrán elmozdulással (ΔX),

$$\Delta U = \frac{U}{X} \Delta X$$

A membrán kis tömege miatt a gyorsításhoz szükséges tömegerő elhanyagolható a membrán merevségéből származó rugóerőhöz képest. A rugóerő és a hangnyomás miatt a membránon keletkező nyomásból származó erő egyensúlya,

$$\Delta F = A\Delta p$$

A membrán rugómerevsége (C_R),

$$C_R = \frac{\Delta X}{\Delta F} = \frac{\Delta X}{A\Delta p}$$

A (Δp) nyomáskülönbség hatására bekövetkező deformáció (ΔX),

$$\Delta X = C_R A \Delta p$$

Visszahelyettesítve ΔU kifejezésébe a feszültségkülönbség és a nyomáskülönbség közötti kapcsolat,

$$\Delta U = \frac{U}{X} C_R A \Delta p$$

Amelyből a kondenzátormikrofon érzékenysége,

$$\psi = \frac{\Delta U}{\Delta p} = \frac{UC_R A}{X}$$

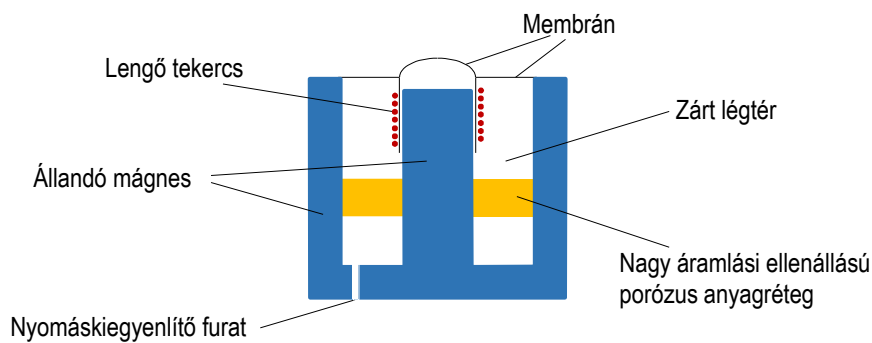
Megjegyzések:

- A kondenzátormikrofon érzékenysége nagy, ha a polarizációs feszültség (U), a rugóállandó (C_R) és a kondenzátor felület (A) nagy, illetve a fegyverzetek közötti távolság (X) kicsi.
- A mikrofonok méretét coll-ban adják meg. Szokásos méretek a 1", ½", ritkább a ¼" és az 1/8". Nagyobb méret nagyobb érzékenységet és kisebb felső mérhető határfrekvenciát eredményez.
- A mikrofonok alsó határfrekvencia értéke 1-2Hz, a felső határfrekvencia értéke mérettől függően 100kHz körüli érték.
- Szokásos felépítés esetén a kondenzátormikrofonok érzékenysége 10⁻⁴-0,1 V/Pa közötti érték, halk hangok esetén a hangnyomás effektív érték nagyságrendje 10⁻⁵-10⁻³Pa, a feszültséggel nagyon kicsi, ezért a kondenzátormikrofonokat általában előerősítővel építik egybe.
- Kondenzátormikrofonnal a legkisebb mérhető hangnyomásszintek (-10)-40dB, Amelyet kis frekvencián a termikus háttérzaj, nagyobb frekvencián az elektronika háttérzaja korlátoz.

A kondenzátormikrofonok dinamikus átfogása (a legnagyobb és a legkisebb mérhető hangnyomásszintek különbsége) 100-140dB (az emberi hallás dinamikus átfogása 130dB).

- A kondenzátormikrofon hangméréseknél általánosan elterjedt, a mikroelektronikai alkatrészek fejlődésével a köznapi életben is gyakran alkalmazzák, mechanikus hatásokra, levegő páratartalomra érzékeny.

Lengőtekerceses elektrodinamikus mikrofon: A lengőtekerceses elektrodinamikus mikrofon (röviden dinamikus mikrofon) az elektroakusztikában széles körben elterjedt. A mikrofon könnyen deformálható membránjához lengőtekerceset erősítünk és központosan egy állandó mágnes terébe helyezzük. Hangtérben a nyomásváltozás hatására a lágú membrán és vele együtt a tekerecs elmozdul. Az állandó mágnes terében elmozduló tekerecs a mozgási indukció révén feszültséget indukál.



Dinamikus mikrofon elvi felépítése

A mikrofon membrán és lengőtekerces együttes tömeg és a mögötte bezárt légtér rugalmasság által létrehozott rezgőrendszer mozgását a rezonancia környezetében a belső térben elhelyezett nagy áramlási ellenállású porózus anyagréteg csillapítja. A dinamikus mikrofon érzékenységének meghatározásához a mozgási indukció során az indukált feszültség (ΔU), a mágneses indukció (B), az elektromos vezető hossz (l) és a vezető mágneses indukció vektorra merőleges mozgási sebesség (v) közötti kapcsolat,

$$\Delta U = Bl\Delta v$$

A feszültség arányos a mozgás sebességével. A membrán merevségéből adódó rugóerőt és a lengő tömeg gyorsításához szükséges erőt létrehozó nyomás jóval kisebb, mint a porózus anyagréteg áramlási ellenállása, így a (Δp) hangnyomás, a $(\Delta p')$ nyomásesés, a porózus anyagréteg fajlagos hidraulikai ellenállás (R_h) és a sebesség (Δv) közötti összefüggés lamináris áramlás feltételezésével,

$$\Delta p = \Delta p' = R_h \Delta v$$

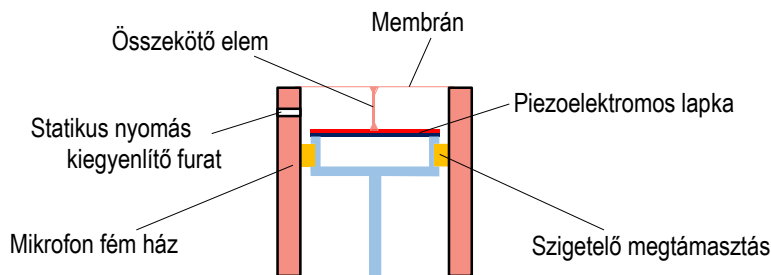
Amelyből a lengőtekerceses, dinamikus mikrofon érzékenysége,

$$\Psi = \frac{\Delta U}{\Delta p} = \frac{Bl \Delta v}{R_h \Delta v} = \frac{Bl}{R_h}$$

Megjegyzések:

- A dinamikus mikrofon érzékenysége nagy, ha a mágneses indukció (B) és az elektromos vezető hossz (l) nagy, illetve a fajlagos hidraulikai ellenállás (R_h) kicsi.
- A dinamikus mikrofonok érzékenysége általában nagyobb, mint a kondenzátormikrofonoké.
- Különböző mechanikai és akusztikai kompenzációkkal kedvező érzékenység frekvencia függés (az érzékenység a frekvencia függvényében állandó) alakítható ki.
- A dinamikus mikrofon köznapiban használatban általánosan elterjedt típus, mechanikus hatásokra, levegő páratartalomra és hőmérsékletre kevésbé érzékeny, külső mágneses erőtér zavarja.

Kristály- (Piezo) mikrofon: A piezoelektromos tulajdonságú anyagok felületén mechanikai feszültség hatására szabad elektromos töltések keletkeznek. Egyszerű konstrukció segítségével a mikrofon membránja mechanikus kapcsolatba hozható egy piezoelemmel. Így a membránon ébredő nyomásból származó erő a membránt és így vele együtt a piezoelemet deformálja, amely során feszültség különbség keletkezik.



Kristálymikrofon elvi felépítése

A piezoelem pólusai között ébredő (ΔU) feszültség arányos a (ΔX) deformációval, az arányossági tényező a (K_p) piezoelektromos állandó,

$$\Delta U = K_p \Delta X$$

A membrán és a piezoelem kis tömege miatt a gyorsításhoz szükséges tömeget elhanyagolható a membrán és a piezolap együttes merevségéből származó rugóerőhöz képest. A rugóerő és a hangnyomás miatt a membránon keletkező nyomásból származó erő egyensúlya,

$$\Delta F = A \Delta p$$

A membrán és a piezopap együttes rugómerevsége (C_R),

$$C_R = \frac{\Delta X}{\Delta F} = \frac{\Delta X}{A\Delta p}$$

A Δp nyomáskülönbség és deformáció (ΔX) közötti kapcsolat,

$$\Delta p = \frac{\Delta X}{AC_R}$$

A kristálymikrofon érzékenysége,

$$\Psi = \frac{\Delta U}{\Delta p} = \frac{K_P \Delta X A C_R}{\Delta X} = K_P C_R A$$

Megjegyzések:

- A kristálymikrofon érzékenysége nagy, ha a piezoelektromos állandó, a rugóállandó (C_R) és a membrán felület (A) nagy.
- A kristálymikrofon egyszerű felépítésű olcsó eszköz, hátrányos tulajdonságait alapvetően a piezoelektromos anyag határozza meg, így a levegő hőmérsékletre és páratartalomra érzékeny.

14.2. Gyakorló feladat

Gy.1. Mi a működési elve, vezesse le az érzékenység kifejezését, illetve röviden jellemezze a kondenzátor mikrofonokat! Válaszához készítsen vázlatrajzot!
