

# Egy nyestriasztó, amely már bizonyított 2.

Csiszár János okl. villamosmérnök, csiszarjanos@t-online.hu

A cikk első részében egy „hagyományos”, a hardveres kialakítású nyestriasztó megvalósítását írta le szerzőnk. Jelen folytatásban a piezó akusztikai átalakítókról olvashatunk. (A szerk.)

## A nyestriasztó hangszórójának mérése

Először is fogalmazzuk meg a feladatot: egy frekvencia – hangnyomás görbét kell mérésel meghatározni, ahol a mérendő frekvenciatartomány legnagyobb frekvenciája kb. 35 kHz. A mérendő frekvenciasáv alsó frekvenciája elég, ha 2-5 kHz-re esik, ugyanis a riasztóhoz használható piezó magashang-sugárzók körülbelül ebben a tartományban működnek. Tehát szükségünk van egy 35 kHz frekvenciáig működő mikrofonra és egy spektrum-analizátorra. Az utóbbit sajnos nem lehet kikerülni, de remélhetően az elektronikával akár csak hobbi szinten foglalkozók is rendelkeznek vagy PC oszcilloszkóppal, vagy egy digitális oszcilloszkóppal, mindkettő tartalmaz spektrum analízátor szoftvert. Sajnos az interneten fellelhető analízátor szoftverek nem felelnek meg nekünk, mert a hangkártya tulajdonságai miatt ezek felső határfrekvenciája csak 20 kHz. A továbbiakban tehát a mikrofon megvalósítására kell koncentrálnunk.

A feladat igencsak nehéznek ígérkezik, hiszen kevés mikrofont specifikálnak a gyártók ilyen frekvenciatartományra, ráadásul a feladatot nem több százezer fo-

rint értékű berendezéssel szeretnénk megoldani! A cél tehát egy megfelelő specifikációjú, lehetőleg megfizethető mikrofon beszerzése, ehhez megfelelő erősítő építése, majd a mikrofon valamilyen módon történő „hitelesítése”. Az idézőjel jelentése jelen esetben az, hogy megkíséreljük viszonylag egyszerű eszközökkel a mikrofon érzékenységét és frekvencia-átvitelét megállapítani. Természetesen ez nem lesz egy abszolút pontos érték, inkább mondhatnánk jó nagyságrendi becslésnek, de amilyen célra a mikrofont mi alkalmazzuk, ahhoz támogatást nyújthat.

Gondoljuk végig, az előbb említett frekvenciahatárig működő mikrofon milyen méretű, működésmódú legyen? Az első fontos adat a mikrofon mérete, ugyanis a mérendő hangtérben előálló, a mikrofon által okozott hanghullám visszaverődések és elhajlások nagysága a mikrofon méretének és a hang hullámhosszának arányától függ. Az említett rendellenességek pedig meghamisítják a mérést. Ilyenkor szoktuk mondani, hogy egy pontszerű mikrofon viszont nem zavarja meg a teret, de ilyen mikrofon csak a tankönyvekben és az iskolai dolgozatokban létezik. Az igazi megfogalmazás az, hogy a mikrofon mérete az érzékelt hang hullámhosszánál legyen sokkal, legalább egy nagyságrenddel kisebb. Legyen a legnagyobb mérendő frekvencia a már említett 35 kHz, ennek hullámhossza 9,7 mm, ha ragaszkodunk az előbbi megállapításhoz, akkor egy körülbelül 1 mm átmérőjű mikrofont kellene alkalmazni. Ilyen méretű, jól működő mikrofonok léteznek, de ezek hozzáférhetősége erősen korlátozott. Mondjunk le a mára már jól be-

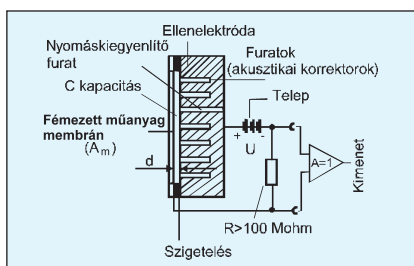
vált MEMS (Micro ElectroMechanical System, ún BiCMOS) mikrofonokról is, ugyanis egyszerű áramkörökkel szeretnénk megépíteni „mérőmikrofonunkat”.

Vizsgáljuk meg, hogy a még kapható és megfelelő minőségű mikrofonok közül melyik a legkisebb méretű? Egyértelműen az elektrét mikrofonok jöhetnek szóba. A cikkben szereplő „mérőmikrofon” is egy 6 mm átmérőjű, úgynevezett „back electret” mikrofon. (A „back electret” jelentéséről majd később.)

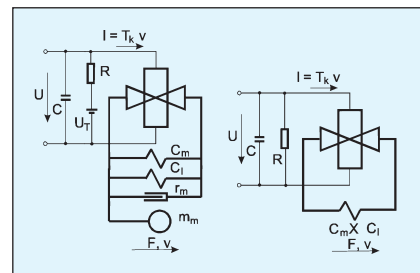
Ahhoz, hogy a későbbiekben szóba kerülő mikrofon frekvencia – érzékenység karakterisztikájának felhasználása érthető legyen, néhány mondatban meg kell beszélnünk a kondenzátormikrofon, illetve az elektrét kondenzátormikrofon tulajdonságait.

## A kondenzátormikrofon

Mindegyik mikrofontípus két átalakítót tartalmaz, egy akusztikai – mechanikait (membránt) és egy mechanikai – elektromost (elektrodinamikust, elektrosztatikust, piezót stb.). A kondenzátormikrofon elektromechanikai átalakítója kapacitív (elektrosztatikus), a membrán és a mögötte található fém fegyverzet egy levegő dielekt-



9. ábra. A kondenzátormikrofon felépítése



10. ábra. A kondenzátormikrofon elektromechanikai helyettesítő képei

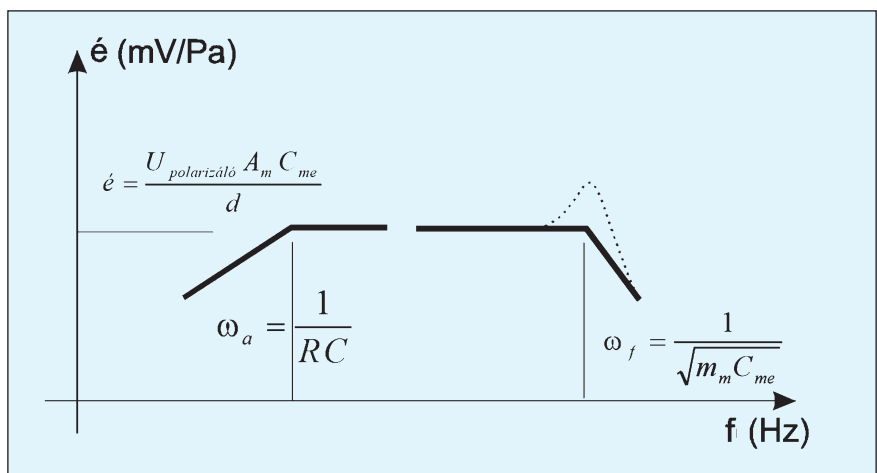
rikumú kondenzátort képez, amely a membrán mozgásakor (változó  $d$ ) egy változó kapacitású kondenzátort eredményez. Ahhoz, hogy ezt a változó kapacitást feszültségkeltésre használhassuk, a kondenzátorra egy igen nagy (több száz megaohm) ellenálláson keresztül egyenfeszültséget kapcsolunk. Az egyenfeszültség nagysága mikrofon típustól függően 30-120 V közötti lehet.

Ismerős a képlet:  $Q = C U$ , ha a  $C$  változik, akkor vagy  $Q$ -nak, vagy  $U$ -nak változnia kell ahhoz, hogy az egyenlőség továbbra is teljesüljön. A nagy ellenállás miatt a töltés nem változhat, (töltésgenerátor), ezért a feszültségnek kell változni. Ez lesz a kondenzátormikrofon kimenőfeszültsége. A kondenzátormikrofon szerkezete a 9. ábrán látható.

A nagy ellenállásról nem vezethetjük el a jelet közvetlenül, mert a szokásos nagyságú mikrofonerősítő bemenőimpedancia (1-5 kohm) mikrovolt nagyságúra osztaná le a kondenzátormikrofon kimenőjelét. Ezért egy nagy bemenőimpedanciájú (általában FET-es) erősítővel csatoljuk a jelet a kimenetre, most már 100 ohm nagyságrendű kimenőimpedanciával. Az illesztő erősítő mikrofon típustól függően vagy erősít is, vagy csak impedanciát illeszt, mint az ábrán látható esetben.

A kondenzátor mikrofon érzékenység – frekvencia karakterisztikájának megállapításához fel kell rajzolni a mikrofon elektromechanikai helyettesítő képét (10. ábra). A jelölések jelentése:  $m_m$  a membrán tömege,  $r_m$  a membrán súrlódási, tehát veszteségi ellenállása,  $C_m$  a membrán rugóengedékenysége,  $C_l$  a membrán mögötti levegő rugóengedékenysége,  $U_T$  a polarizáló feszültség,  $R$  ellenálláson keresztül kapcsolódik a membrán a polarizáló feszültségre,  $C$  a membrán és ellen elektroda által képzett kapacitás,  $U$  a kimenőfeszültség.

A kondenzátormikrofon csak abban az esetben működik helyesen, ha az egész hangfrekvenciás tartományban a membrán rugóként viselkedik, vagyis a tömege elhanyagolható (10. ábra jobb ol-



11. ábra. A kondenzátor mikrofon érzékenysége a frekvencia függvényében

dali kép), így lesz arányos a membránkitéréssel a kimenőfeszültség. A membrán tömege és a két rugó eredője egy veszteséges, soros mechanikai rezgőrendszert alkot, amiről tudjuk, az elektromos analógiát szemünk előtt tartva, hogy a rezonanciafrekvencia alatt kapacitív (rugó), felette az induktív (tömeg) reaktancia dominál. Átültetve az elvet a mechanikai rendszerekre (induktivitás – tömeg, kapacitás – rugóengedékenység megfeleltetéssel) megállapítható, hogy a membrán saját rezonanciájának a hangfrekvenciás sáv felett kell lenni ahhoz, hogy a membrán a hangfrekvenciás sávban rugóként viselkedjék, vagyis egyenes frekvenciamenetet eredményezzen. A 10. ábrán, a jobb oldali helyettesítő képen el is hagytuk a membrán tömegét és a veszteségi ellenállását, így egyszerűbben számítható a mikrofon érzékenysége:

$$e = (U/d)A_m C_{me}$$

A képletben  $U$  a polarizáló feszültség,  $d$  a membrán és a fegyverzet távolsága,  $A_m$  a membrán felülete,  $C_{me}$  a membrán eredő rugóengedékenysége [m/N]. Az érzékenység mértékegysége V/Pa, de használatos a mV/Pa dimenzió is.

Vegyük észre, hogy az  $U/d$  hányados nem más, mint a kondenzátor fegyverzetei között fellépő elektromos térerő, vagyis  $E = U/d$ , tehát  $e = EA_m C_{me}$ .

A közös sebességen lévő membrán és a membrán mögötti levegőrugó rugóengedékenységeinek eredője „replusz” művelettel számítható, mint a sorosan kapcsolt kapacitások esetén, ez adja az eredő membrán rugóengedékenységet ( $C_{me}$ ). Ezt úgy fogalmazhatjuk meg „elektromos nyelven”, hogy két sorba kapcsolt kondenzátor eredő kapacitása mindig kisebb, mint a kisebb értékű kondenzátor kapacitása. Ez az eredő rugóengedékenység szerepel az érzékenység képletében is. A membrán és a fém fegyverzet között nagyon kis légréteg van, kb. 100 mikrométer, ez a kemény „levegőrugó” igencsak fékezi a membránt, ezáltal csökkentve az érzékenységet. Most érthető a 9. ábrán „akusztikai korrektor”-ként jelölt furatok szerepe. Növelik a membrán mögötti légréteg rugóengedékenységet úgy, hogy a membrán hátoldalán található fegyverzet felülete (a  $C$  kapacitás) nem csökken lényegesen. Létezik olyan akusztikai korrektor megoldás is, amikor a fegyverzet teljesen át van fúrva, és mögötte még egy üreg található, amely még jobban növeli a membrán mögötti levegő rugó rugóengedékenységet, vagyis lágyabb rugót eredményez.

A kondenzátormikrofon felső határfrekvenciáját tehát a membrán tömege és eredő rugóengedékenysége határozza meg. A rezonanciafrekvencia felett a membrán mechanikai impedanciája