

7. számú mérés

Kétcsatornás FFT analízátor alkalmazása

Akusztikai rendszerek átviteli jellemzőinek mérése
klasszikus módszerekkel,
MLS sorozatokkal,
Kétcsatornás Gyors Fourier analízátorral

Laboratóriumi gyakorlat Mérnök Fizikusok számára
Összeállította: dr. Koller István
BME Híradástechnikai Tanszék
2005

1. Bevezetés

Az akusztikai mérések napjainkban a legtöbb esetben valamilyen digitális mérési elven működő analízátor alkalmazását jelentik. Ezek közül két tipikus, a gyakorlatban széleskörűen elterjedt műszerrel ismerkedünk meg egy dinamikus hangszórókkal felépített hangszugárzó, és egy dinamikus mikrofon néhány alapvető jellemzőjének megmérése során keresztül. A mérés első felében klasszikus módszerekkel – szinuszos mérőjelekkel dolgozunk, hogy a frekvenciatartományi átviteli jellemzők jól megérthetőek legyenek. A méréseket visszahangmentes mérőszobában végezzük annak érdekében, hogy a falakról visszaverődő hanghullámok ne befolyásolják az eredményeinket.

1.1. Elvi alapok - hangszugárzók

A dinamikus hangszórókkal felépített zárt vagy nyitott dobozos hangszugárzó a gyakorlatban legelterjedtebb hangreprodukáló eszköz. Egy hangszugárzó dobozban a legtöbb esetben több hangszórót helyeznek el, mert a teljes hangfrekvenciás sáv (20..20000 Hz) lesugárzása egyetlen hangszóróval csak kompromisszumokkal valósítható meg. A mélyhangokra nagy membránátmérőjű, kis rezonanciafrekvenciájú, a magas hangokra kis méretű, merevebb felfüggesztésű, tehát nagyobb rezonanciafrekvenciájú hangszórókat alkalmaznak. A hangszóró hangdobozbeli rezonanciafrekvenciája zárt doboz esetén meghatározza az átviteli sáv alját. Nyitott konstrukciójú, például reflex doboz esetén az átviteli sáv kiterjeszhető az ugyanolyan térfogatú zárt dobozbeli rezonanciafrekvencia alá. Mivel a mérésben zárt dobozos hangszugárzóval találkozunk és a gyakorlatban is ez a legelterjedtebb, a továbbiakban csak a zárt dobozos hangszugárzóval foglalkozunk. Ha a dinamikus hangszórót zárt dobozba szereljük, a rezonancia frekvenciája nagyobb lesz mint szabadon, hiszen a rendszer eredő rugóengedékenysége csökken. A dobozba zárt levegő ugyanis kisfrekvencián koncentrált rugónak tekinthető, amely a hangszórót keményíti.

Ha többutas hangszugárzót készítünk, azaz a mély, magas, esetleg közép hangokat külön hangszóróval sugározzuk le, akkor szűrőváltót kell alkalmaznunk, amely a keresztelési frekvenciák szerint a hangfrekvenciás sávot ketté, vagy több részre osztja. Ez a szűrőváltó a hangdobozban elhelyezett passzív RLC hálózat. Egy sávon belül célszerű egy-egy hangszórót alkalmazni, annak érdekében hogy elkerüljük a több forrásból származó interferenciás hatást.

A hangszugárzók jellemzésére alkalmazott legfontosabb paraméterek az alábbiak:

Terhelhetőség, mértékegysége *Watt*, amely megadja azt a legnagyobb villamos jelteljesítményt, amelyet a hangszugárzó károsodás nélkül elvisel.

Névleges impedancia, mértékegysége *Ohm*, amely a hangszugárzó impedancia abszolútértékének 4, 6, 8, 12, 16 Ohmra kerekített értéke 1kHz frekvencián. (A teljesítményerősítő és a hangszugárzó illesztésénél fontos szempont, hogy a teljesítményerősítőre megadott *optimális terhelőellenállás*nál kisebb névleges impedanciájú hangszugárzót csatlakoztatni nem szabad.)

Érzékenység, mértékegysége *dB*, amely megadja, hogy 1W elektromos teljesítmény hatására 1m távolságban a hangszugárzó mekkora hangnyomást kelt dB ben kifejezve, ahol a vonatkoztatási szint a 20 μ P, amely a hallásküszöbhez tartozó hangnyomásérték 1 kHz-en.

Minimális impedancia, mértékegysége *Ohm*. A hangszugárzó bemeneti impedanciája komplex és frekvenciafüggő. Bizonyos frekvenciákon az abszolút értéke a névleges impedancia többszörösét is

elérheti, de más frekvencián az alá is eshet. Annak érdekében, hogy a hangszugárzót tápláló erősítő ne menjen tönkre, megadják az impedancia abszolút érték minimumát is.

Frekvenciamenet – az érzékenység frekvenciafüggése. Általában diagram formájában adják meg, ahol ábrázolják az érzékenység értékét dB-ben a frekvencia függvényében. Ezt a paramétert szokás még amplitúdókarakterisztikának, frekvenciaválasznak, frekvenciamenetnek is nevezni. Ha a mérést nem a tengelyben, hanem attól adott mértékben eltérve végezzük, és az itt kapott értékeket az előbbi diagramban ábrázoljuk, akkor meg tudjuk ítélni a hangszugárzó érzékenységének helyfüggését.

Utak száma, utankénti hangszórók száma

Keresztelési frekvencia (-ák), mértékegysége Hz.

Harmonikus torzítás a frekvencia függvényében, mértékegysége %. Sokszor diagramban adják meg, ahol a felharmonikus amplitúdók láthatók dB-ben a frekvencia függvényében.

Burst válasz. A hangszugárzó hangnyomásválasz jele 1m távolságban adott frekvenciájú szinuszos jel be-, illetve kikapcsolására.

Jelen mérésben a hangszugárzó érzékenységét, illetve a *frekvenciamenetet* mérjük meg.

1.2. Elvi alapok - mikrofonok

Jelen mérésben egy dinamikus mikrofont fogunk vizsgálni, mérőmikrofonnak pedig kondenzátormikrofont használunk. A mikrofonok olyan elktromechanikai átalakítók, amelyek a hangnyomással arányos kimenő feszültséget szolgáltatnak. A dinamikus mikrofon robusztus felépítésű általában olcsóbb eszközök, amelyeknek különböző fajtáit hangstúdiókban is alkalmaznak. Egy ilyen stúdió mikrofont vizsgálunk a mérésben. A kondenzátor mikrofonok drága mérőeszközök, amelyeket nagyon egyenletes érzékenység-frekvencia függés jellemez.

Az érzékenység a mikrofonok egyik fő jellemzője, amely a kimenőfeszültség és a hangnyomás hányadosa:

$$e = \frac{U_{\bar{u}}}{p}$$

ahol $U_{\bar{u}}$ a mikrofon üresjárású kimenőfeszültsége [V], p [Pa] a hangnyomás értéke. Az érzékenység mértékegysége V/Pa, vagy mV/ μ bar. (1Pa=10 μ bar). A membrán síkjára merőleges, a membrán középpontján áthaladó egyenes a mikrofon főtengelye. Főirányból érkezik a hang, amikor a főtengellyel párhuzamosan, előlről éri a membránt. Az érzékenységet vizsgálhatjuk főirányban a frekvencia függvényében, ezt nevezzük frekvenciamenetnek. Egy rögzített frekvencián, a beeső hang irányának függvényében mért érzékenység görbje a mikrofon iránykarakterisztikája.

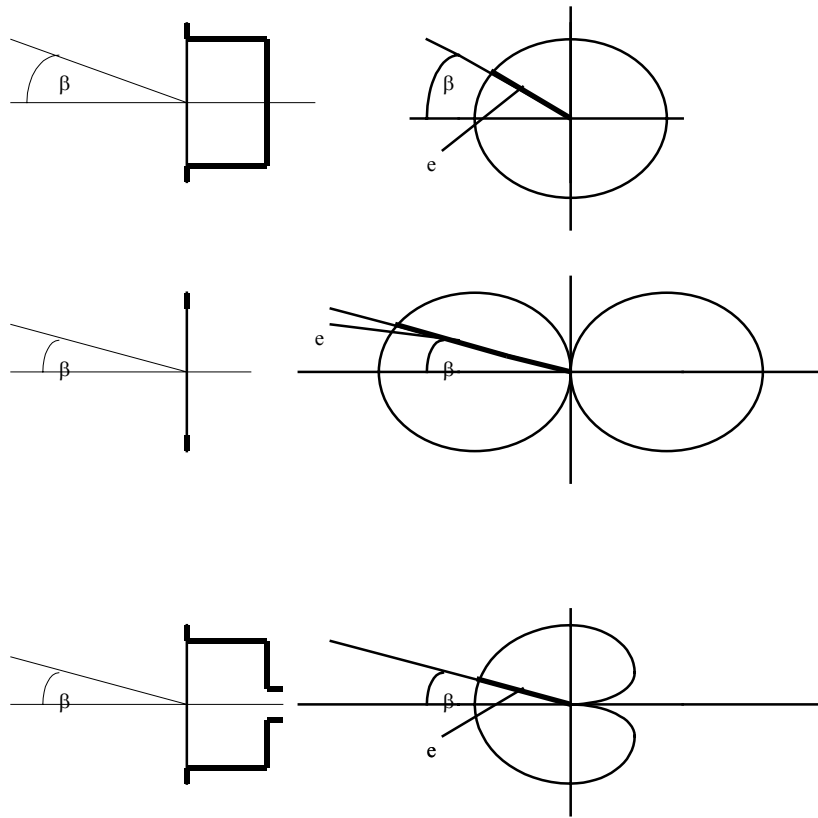
A dinamikus mikrofon lengőrendszerének rezonanciafrekvenciája a hasznos sáv közepén van, a mikrofon sávszélességét a rendszer eredő jósági tényezője határozza meg. A membrán mechanikai lengőrendszerével a kívánt sávszélesség a gyakorlatban általában nem érhető el. A sávszélesség a mikrofonban kialakított, megfelelően méretezett üregekkel, furatokkal, azaz kompenzáló akusztikai elemekkel biztosítható. Kisingadozású, szélessávú dinamikus mikrofon igen bonyolult akusztikai felépítést jelent.

A mikrofonok *akusztikai* működésük alapján két nagy csoportba oszthatók: nyomás és nyomásgradiens mikrofonokra. A nyomásmikrofonokra gömb, a gradiens mikrofonokra térbeli nyolcas iránykarakterisztika a jellemző. A két akusztikai alaprendszer kombinációjából származik a kardioid iránykarakterisztika (lásd az alábbi ábrát). Tehát a nyomás-, a gradiens-, és az ideális kardioid mikrofon iránykarakterisztikája rendre (Ideális alatt a hátulról jövő jelek teljes elnyomását értjük):

$$e = e_0$$

$$e = e_0 \cdot \cos(\beta)$$

$$e = e_0 \cdot (1 + \cos(\beta))$$



Ha a mikrofon membrán méretei a hullámhosszhoz képest kicsik, akkor a zárt konstrukciójú, nyomásmikrofon iránykarakteristikája *gömbi*, hiszen a viszonyok függetlenek a mikrofon főtengelyének a beeső hang irányával bezárt szögétől. Ha a membrán hátulról teljesen nyitott, mozgását az elő- és hátoldal között kialakuló nyomáskülönbség határozza meg. Ilyen felépítésű a *szalagmikrofon*, ahol az érzékelő membrán egy vékony fémzalag. Könnyen belátható, hogy ebben az esetben a membrán síkjával párhuzamosan beeső hanghullám a membrán két oldala között nyomáskülönbséget nem hoz létre, tehát a mikrofon ebben az esetben nem ad kimenőjelet. Az ilyen mikrofont *nyolcas* karakterisztikájúnak hívjuk. A harmadik eset a *kardioid* mikrofon esete, a nyomás és a nyolcas karakterisztikájú mikrofon keveréke, amely a zárt konstrukciójú nyomásmikrofon hátsó falának megnyitásával és fázistoló akusztikai hálózat beiktatásával kapható.

Kardioid mikrofonok esetén a jellemzők közt gyakran csak az úgynevezett előre-hátra viszony szerepel, amely az előlről illetve a hátulról mért érzékenység aránya dB-ben kifejezve, ha más adat nem szerepel, 1kHz frekvencián.

A gyakorlatban mindhárom konstrukciónak megvan a megfelelő alkalmazási területe. Például a szalagmikrofon előnyösen alkalmazható egymással szemben helyet foglaló beszélgetők hangjának továbbítására, az oldalról jövő zavaró zaj elnyomására. A kardioid mikrofon a gyakorlatban kb. 10-15 dB (jóminőségű stúdiómikrofonoknál 20dB) körüli előre-hátra viszonyt biztosít, tehát ilyen mértékben a hátulról jövő zavaró hangokat elnyomja.

1.3. A mérendő eszközök

A mérés során *hangsugárzót*, illetve kardiodid *dinamikus mikrofont* vizsgálunk. A mérésben a klasszikus eszközökön kívül MLSSA, illetve kétsatornás analizátort alkalmazunk.

1.4. A mérés célja

A mérési gyakorlat első felében klasszikus módszerrel, szinuszos hanggenerátorral és váltakozó feszültségű voltmérőkkel végezzük el mérési feladatainkat. Megmérjük a hangsugárzó tengelybeli érzékenységét, illetve annak frekvenciafüggését konstans bemenőfeszültség esetén.

A mérési gyakorlat második felében számítógép alapú mérőrendszer - MLSSA segítségével mérjük meg a hangsugárzó tengelybeli érzékenységének frekvenciafüggését, egy dinamikus átalakítóval működő kardiodid iránykarakterisztikájú mikrofon érzékenység frekvenciafüggését, valamint meghatározzuk az előre-hátra viszonyát. Végül megvizsgáljuk a hangbevezető hátsó nyílások elzárásának hatását a frekvenciamenetre és az előre-hátra viszonyra.

A harmadik részben ugyanezeket a méréseket kétsatornás gyors Fourier analizátorral végezzük el.

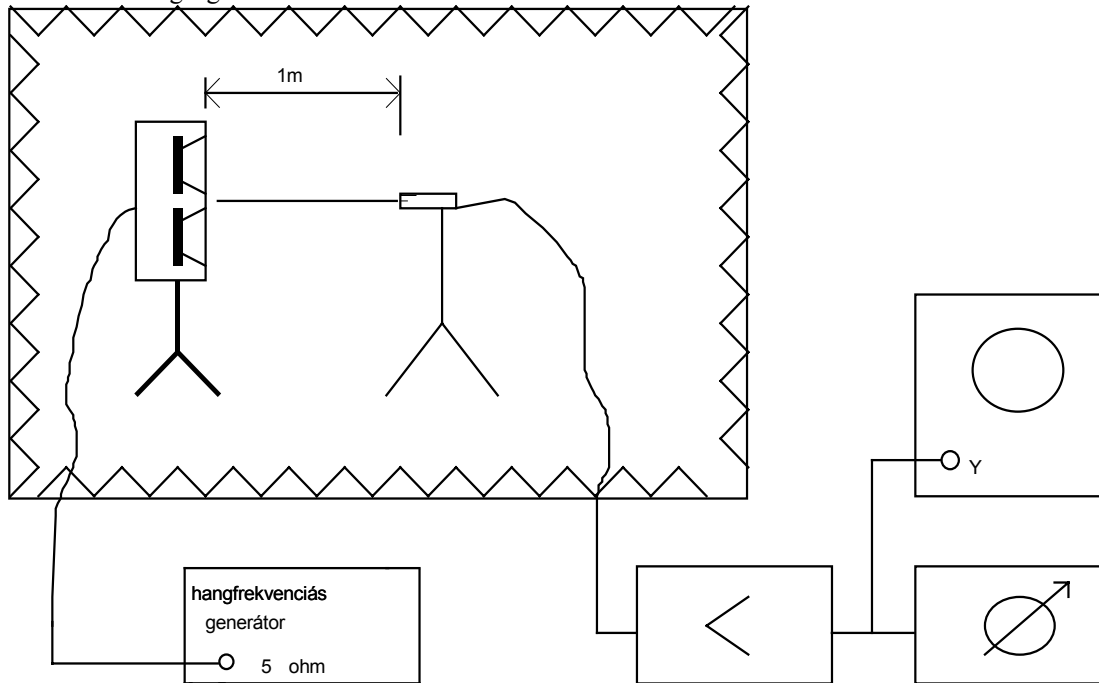
2. Mérések hanggenerátorral és voltmérővel

A hangsugárzó *érzékenységét* visszhangmentes mérőszobában, a hangsugárzó doboz középvonalában, a sugárzó előlapjától 1m távolságban, 1W teljesítménnyel mérjük 1kHz-en. Az 1W teljesítményhez tartozó generátorfeszültséget a névleges impedanciához választjuk. *Az érzékenység frekvenciafüggését* konstans kimenőfeszültség mellett mérjük.

A mikrofon *frekvenciakarakteristikájának* – érzékenység frekvenciafüggésének méréséhez állandó amplitúdójú, változó frekvenciájú hangnyomást állíthatnánk elő a visszhangmentes mérőszobában. Ebben az esetben a hangtérbe helyezett mikrofon üresjárású feszültségének frekvenciamenete megegyezik az érzékenység frekvenciamenetével, amelyet a mikrofon frekvenciakarakteristikájának hívunk. A hangteret hangfrekvenciás generátorral meghajtott hangsugárzó állítja elő. Az állandó amplitúdójú hangnyomást azonban sem konstans áramú, sem konstans feszültségű táplálással nem tudjuk biztosítani. Ezért a mérendő mikrofon mellé egy hitelesített szabályozó mikrofont helyezünk el, amely a hangnyomással arányos feszültséget ad le. A szabályozó mikrofon frekvenciakarakteristikájának ismeretében minden mérési frekvencián beállítható a konstans hangnyomás a generátor feszültségének változtatásával. Ebben a mérésben egyhangszórós hangsugárzót használunk, mert az egyhangszórós hangsugárzók frekvenciakarakteristikájának helyfüggése kisebb, mint a többhangszórósoké, így a szabályozó és a mérendő mikrofon helyén a hangnyomás egyenlősége jobban biztosítható.

2.1. Mérési összeállítás

A hangsugárzó mérési elrendezése az alábbi ábrán látható.

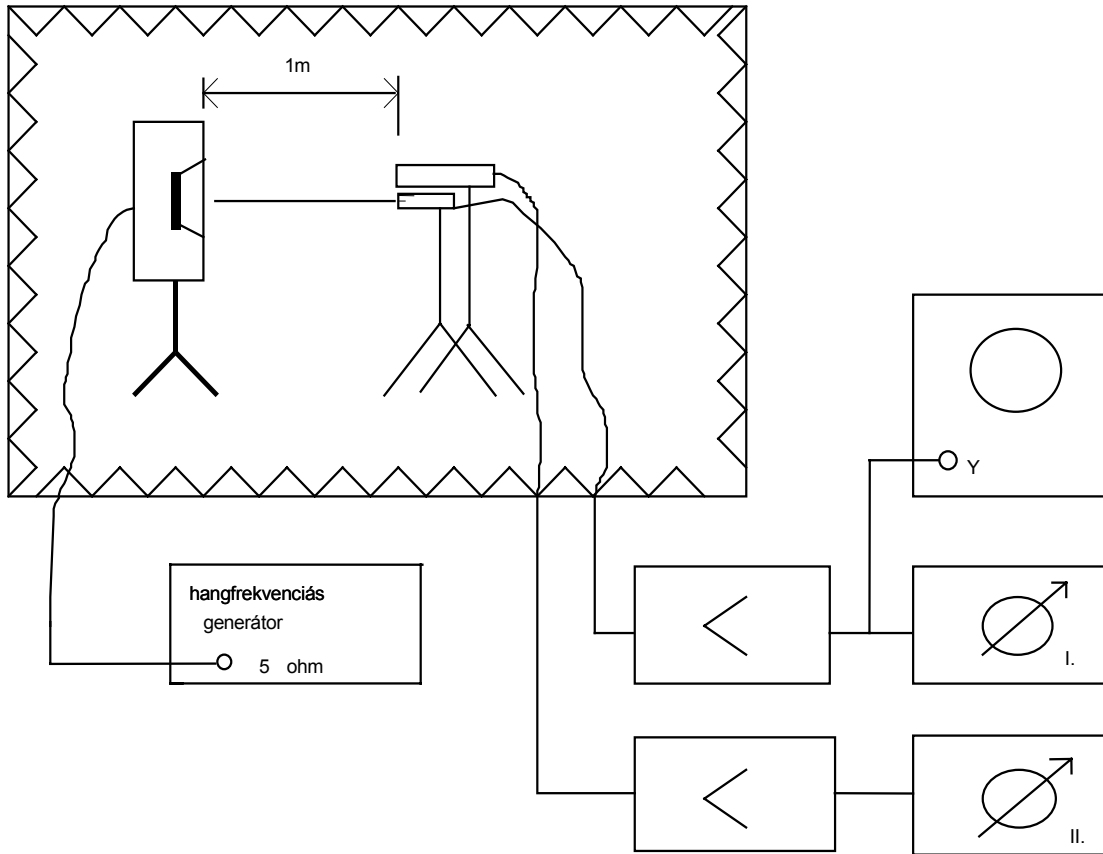


2.1.1.Ábra

A hangsugárzót az 1W-hoz tartozó, névleges impedanciájának megfelelő nagyságú feszültséggel tápláljuk. Az alkalmazott kondenzátormikrofon érzékenysége $1.1\text{mV}/\mu\text{bar}$. A kondenzátor mérőmikrofon jelét egy mérőerősítőre vezetjük, amelynek mutatós kijelzőjén a bemenőjel nagysága leolvasható. A mérés során konstans feszültséget tartunk a hangsugárzó kapcsain. A mérőmikrofon jelét az oszcilloszkópon ellenőrizzük annak érdekében, hogy azonnal észlelhessük, ha nem a gerjesztő jelnek megfelelő a válaszjel.

A méréseket 1kHz-től indulva végezzük csökkenő, majd növekvő frekvenciák felé, harmadoktávonkénti lépésekben (pl. 1, 1.26, 1.59, 2kHz.). 50Hz alatt és 18kHz fölött ne mérjünk. A karakterisztikákat rajzoljuk fel logaritmikus frekvenciáléptékű diagramban, ahol az érzékenységet dB-ben adjuk meg $20\mu\text{Pa}$ -ra vonatkoztatva.

A mikrofon mérési összeállítás az alábbi ábrán látható.



2.1.2.Ábra

A mérést 1kHz frekvencián kezdjük. A generátor 5 Ohmos kimenetéről kb. 1.5V-ot kapcsolunk a hangszóróra. A két mikrofon ágba azonos erősítést állítunk be. A szabályozó mikrofon jelét az oszcilloszkópon ellenőrizzük. A szabályozó és a mérőmikrofon felerősített feszültségét mérőerősítők voltmérői mérik. Mivel a két mikrofon membránján azonos a hangnyomás, a két voltmérő által mutatott feszültségek viszonya megegyezik az érzékenységek viszonyával. Ha a generátor kimenő szintjét úgy állítjuk be, hogy az U_I a skála 0dB-es osztásán legyen U_{II} dB-ben leolvasható értéke megadja a mérendő mikrofon érzékenységét a szabályozó mikrofonéra vonatkoztatva. A továbbiakban U_I -et tartjuk konstansnak - a szabályozó mikrofon érzékenységét állandónak tekintjük.

A mérést 1kHz-től indulva végezzük csökkenő, majd növekvő frekvenciák felé, harmadoktávonkénti lépésekben. 15 kHz fölött ne mérjünk. A karakterisztikát rajzoljuk fél logaritmikus frekvencialéptékű diagramban, ahol az érzékenységet dB-ben adjuk meg, 1V/Pa -ra vonatkoztatva.

Az előre-hátra viszony meghatározása céljából mérjük meg az érzékenységet 180 fokban irányban. Ügyeljünk arra, hogy a két mikrofon membrán ebben az esetben is azonos síkban legyen. A mérést 1kHz és 250 Hz, valamint 1kHz és 8kHz között oktávonként végezzük.

A hangbevezető nyílások lezárásával győződjünk meg arról, hogy a mikrofonnak nemcsak az előre-hátra viszonya csökkent le, hanem a főirányban mérhető érzékenysége is megváltozott. A nyílások tökéletes zárása esetén nyomás típusú mikrofont kapunk, amelynek gömbi karakterisztikája érvényesül mindaddig, amíg a membrán átmérője sokkal kisebb a hullámhossz negyedrésznél. A nyílások lezárása után mérjük meg a főirányban és a 180 fokban az érzékenységet 1kHz és 250 Hz, valamint 1kHz és 8kHz között oktávonként, és határozzuk meg az előre-hátra viszonyt.

2.2. Mérési feladatok

2.2.1. Mérje meg a hangsugárzó *érzékenységét*.

2.2.2. Vegye fel a hangsugárzó *tengelybeli frekvenciakarakterisztikáját* a kijelölt frekvenciákon. Ábrázolja a görbét logaritmikus frekvencialéptékű diagramban.

2.2.3. Vegye fel a mikrofon *frekvenciakarakterisztikáját*. Mérje meg 180 fokban az érzékenységet a kijelölt frekvenciákon. Ábrázolja a két görbét egy közös, logaritmikus frekvencialéptékű diagramban.

2.2.4. *Elzárt hangbevezető nyílásokkal* vegye fel a mikrofon frekvenciakarakterisztikáját, mérje meg 180 fokban az érzékenységet a kijelölt frekvenciákon. Ábrázolja a két görbét a 2.2.3. pontbeli, közös, logaritmikus frekvencialéptékű diagramban. Határozza meg az előre-hátra viszony értékeit elzárt hangbevezető nyílások esetén és foglalja táblázatba. Az előző pontbeli és az itt kapott előre-hátra viszonyt ábrázolja közös, logaritmikus frekvencialéptékű diagramban.

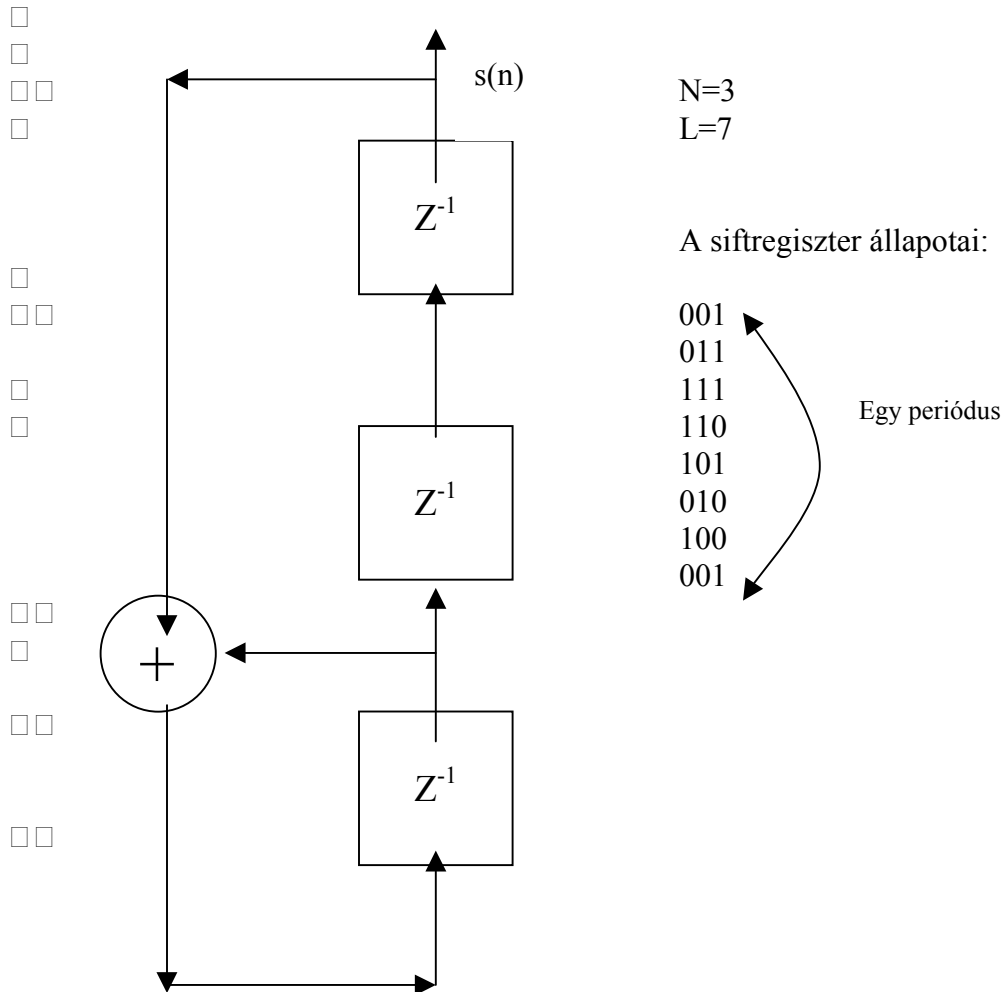
3. Mérések MLSSA (Maximum Length System Analyzer) alkalmazásával

A módszer lineáris rendszer komplex átviteli függvényét képes meghatározni – a klaszikus szinuszos mérőjel helyett - periódikus álvéletlen mérőjel (MLS) segítségével. A módszer előnye a gyors és jó jel/zaj viszonyú mérés. További igen lényeges előnye lehet a módszernek – mivel primer módon impulzusválasz függvényt határoz meg, időbeli szelekcióval az elsődleges és a reflektált másodlagos jeleket szét tudjuk választani – bizonyos korlátok között drága visszhangmentes mérőszoba nélkül is tudunk átviteli függvényt mérni. A gyorsaság reprezentálására látni fogjuk, hogy egy frekvenciamenet megmérése néhány másodpercet vesz igénybe, amit mindenki nagyra fog értékelni a mérési gyakorlat eme szakaszában.

A MLSSA rendszer mérőjele az MLS jel (Maximum Length Sequencies). Az MLS sorozat valójában egy bináris sorozat, amelyet visszacsatolt siftregiszterrel állítunk elő. Ha a siftregiszter hossza (N) akkor a siftregiszter belső állapotainak maximális száma, mivel a csupa nulla állapotot ki kell zárunk, hiszen ebbe az állapotba a siftregiszter “beragad”:

$$L = 2^N - 1 \quad ; N: \text{shift regiszter hossza}$$

Például tekintsük az N=3 paraméterű MLS generátor esetét:



Látjuk tehát, hogy az adott elrendezés valóban létrehozza az összes lehetséges belső állapotot. MLS sorozatnak ezeketán a shiftregiszter kimenetén kilépő bináris sorozatot hívjuk.

A gyakorlatban fenti példánál lényegesen hosszabb, például 32767 hosszú sorozatokkal dolgozunk.

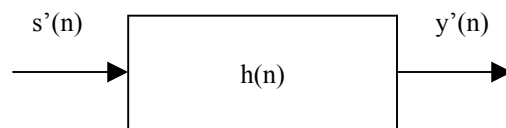
Az MLS sorozat ($s'(n)$ - periódikus L szerint) igen fontos, bizonyítható tulajdonsága, hogy az alábbi definíció szerinti periódikus autokorrelációja :

$$\Omega_{ss}(n) = \frac{1}{L+1} \sum_{k=0}^{L-1} s'(k)s'(k+n) = s'(n)\kappa s'(n)$$

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{ss}(0) &= \frac{L}{L+1} & n &= 0 \\ \Omega_{ss}(n) &= -\frac{1}{L+1} & n &= 1..L-1. \end{aligned} \right\} = \delta'(n) - \frac{1}{L+1}$$

ami jó közelítéssel (nagy L értékek estén) a periódikus egy minta.

Tekintsük most feladatunknak egy diszkrét idejű rendszer periódikus frekvenciaválaszának meghatározását:



A lineáris rendszer kimenőjele:

$$y'(n) = h'(n) \otimes s'(n) = \sum_{k=0}^{L-1} s'(k)h'(n-k)$$

↑
cirkuláris konvolúció

A gerjesztőjel és a válaszjel periódikus keresztkorrelációja:

$$\Omega_{sy}(n) = \frac{1}{L+1} \sum_{k=0}^{L-1} s'(k)y'(k+n) = s'(n)\kappa y'(n)$$

$$\begin{aligned} \Omega_{sy}(n) &= s'(n)\kappa \{h'(n) \otimes s'(n)\} = \{s'(n)\kappa s'(n)\} \otimes h'(n) = \\ &= \left(\delta'(n) - \frac{1}{L+1} \right) \otimes h'(n) = h'(n) - \sum_{k=0}^{L-1} \frac{1}{L+1} h'(k) = \\ &= h'(n) - \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} h'(k) + \frac{1}{L(L+1)} \sum_{k=0}^{L-1} h'(k) \end{aligned}$$

Fenti összefüggésből látható, hogy a gerjesztőjel és a válaszjel periódikus keresztkorrelációja a periódikus impulzusválasz függvény AC csatolt változata, mivel az impulzusválasz DC átlaga az eredményünkből ki van vonva és csak egy erősen leosztott változata van hozzáadva.

Fenti összefüggés a gondolati alapja az MLSSA analizátornak - viszonylag egyszerű áramkör segítségével képesek vagyunk MLS sorozat előállítására, ezt a mérőjelet a vizsgálandó lineáris rendszerre vezetjük, majd a válaszjel és az analizátorban rendelkezésre álló gerjesztőjel keresztkorrelációját kiszámítva jutunk az impulzusválasz függvényhez. Az impulzusválasz Fourier transzformáltja pedig a komplex átviteli függvény adja.

Ahhoz, hogy a módszert folytonos idejű rendszerek mérésére alkalmazni tudjuk, a következő megfontolásokat kell tennünk.

A bináris sorozatot analóg mérőjellel úgy alakítjuk hogy a bináris 0-át a -full scale-hez, a bináris 1-et + full-scale-hez rendeljük. A rendszer válaszjelenek mintavételi frekvenciáját (f_s) a mérendő rendszer sávszélessége (f_c) meghatározza:

$$f_s \geq 2f_c$$

Másrészt a mérendő az impulzusválasz időbeli hossza (T_w), legyen kisebb, mint az MLS periódushossza által meghatározott periódusidő. Az ilyen módon kapott periódikus impulzusválasz megegyezik a folytonos rendszer impulzusválaszával.

$$L = 2^N - 1$$

$$T_w \leq L \cdot T_s = L \frac{1}{f_s}$$

Ha tehát a vizsgálandó folytonos idejű rendszer impulzusválasz függvénye rövidebb, mint a mérőjel periódushossza és betartjuk a mintavételi frekvencia választására a Shanon formulát, akkor a $h'(n)$ periódikus impulzusválasz függvényt tekinthetjük a folytonos idejű rendszerünk impulzusválasz függvényének.

A MLSSA mérőrendszer egy PC-be illesztett kártyán megvalósított MLS alapú műszer, amely az impulzusválasz függvényt fenti módszerrel számítja.. A gerjesztőjel valamennyi paraméterét, az impulzusválasz függvényből számított frekvenciaválasz megjelenítési módját és számos egyéb körülményt egy PC oldali kezelőfelületen keresztül állíthatjuk.

3.1. Mérési összeállítás

Az MLSSA-s mérésünk összeállításai a hanggenerátor – csővoltmérős összeállításokhoz nagyon hasonlóak, azoktól csak abban térnek el, hogy a generátor szerepét az MLSSA kártya kimenőjele, a voltmérő szerepét pedig a kártya bemenete veszi át.

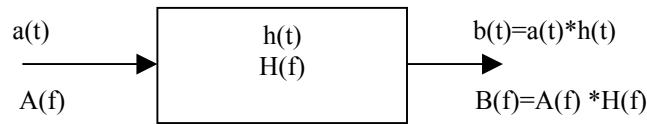
3.2. Mérési feladatok

3.2.1. Vegye fel a hangsugárzó tengelybeli frekvenciakarakterisztikáját 20kHz-ig terjedő frekvenciatartományban $L=32767$ periódushosszú mérőjellel. Hasonlítsa össze a kapott karakterisztikát az előzőekben felrajzolttal.

3.2.2. Vegye fel a mikrofon frekvenciakarakterisztikáját úgy, hogy első lépésben mérje meg a hangsugárzó frekvenciakarakterisztikáját a kondenzátormikrofon segítségével, majd ezt tekintse referenciának és ezzel vegye fel a dinamikus mikrofon frekvenciakarakterisztikáját. Így minden kézi beavatkozás nélkül juthatunk a dinamikus mikrofon érzékenységéhez. Mérje meg 180 fokban is az érzékenységet az előző módszerrel. Hasonlítsa össze a kapott eredményeket az előzőekben felvettekkel.

4. Mérések kétsatornás gyors Fourier analízátorral

Kétsatornás analízátor esetén egyszerre figyelhetjük meg a mérendő kétkapu be- illetve kimenetét is.



A be- illetve a kimeneten mérhető jelek auto spektruma:

$$\begin{aligned}
 S_{AA}(f) &= A^*(f)A(f) & S_{AR}(f) &= A^*(f)B(f) \\
 S_{BB}(f) &= B(f)^*B(f) & S_{BA}(f) &= B^*(f)A(f) \\
 & & S_{A_b}^*(f) &= B^*(f)A(f)
 \end{aligned}$$

, ahol $A(f)$, illetve $B(f)$ a be- illetve kimeneti jelek Fourier transzformáltja.

Véletlen változó jel esetén ezek becslése az FFT analízátorban $\left(f = k \frac{f_s}{N}\right)$:

$$A(f) \rightarrow A_i(f)_i \quad B(f) \rightarrow B_i(f)$$

Tehát az autospektrum:

$$S_{AA}(f) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i^*(f) A_i(f) = E\{A_i^*(f) A_i(f)\}$$

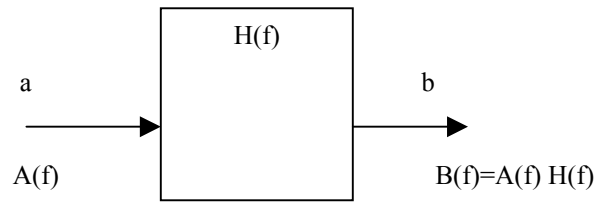
$$S_{BB}(f) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i^*(f) B_i(f) = E\{B_i^*(f) B_i(f)\}$$

Illetve a keresztspektrumok:

$$S_{AB}(f) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i^*(f) B_i(f) = E\{A_i^*(f) B_i(f)\}$$

$$S_{BA}(f) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i^*(f) A_i(f) = E\{B_i^*(f) A_i(f)\}$$

Az átviteli függvény meghatározása:



A $B(f) = A(f)H(f)$ egyenletből kiindulva, azt $A^*(f)$ illetve $B^*(f)$ -el megszorozva kapjuk:

$$A^*(f)B(f) = A^*(f)A(f)H(f) \quad * A^*(f) \quad * B^*(f) \quad B^*(f)B(f) = B^*(f)A(f)H(f)$$

$$S_{AB}(f) = S_{AA}(f)H(f) \quad S_{BB}(f) = S_{BA}(f)H(f)$$

$$H_1(f) = \frac{S_{AB}(f)}{S_{AA}(f)} \quad H_2(f) = \frac{S_{BB}(f)}{S_{BA}(f)}$$

Az így kapott H_1 , illetve H_2 átviteli függvények meghatározhatók a kétsatornás analízátorral.

4.1. Mérési összeállítás

A kétsatornás FFT analízátoros mérés esetén a mérendő rendszer bemenetét fehér zajjal gerjesztjük. Ez a jel az analízátor A bemenetére is rákapcsolandó. A rendszer kimenőjele az analízátor B bemenetére kapcsolandó.

4.2. Mérési feladatok

4.2.1. Vegye fel a hangsugárzó tengelybeli frekvenciakarakterisztikáját 20kHz-ig terjedő frekvenciatartományban a kétsatornás FFT analízátorral a H_1 módszer alkalmazásával. Hasonlítsa össze a kapott karakterisztikát az előzőekben felrajzolttal.