

Hangossági mérték az átviteli tervezésben

N. O. JOHANNESSEN

(Ellemtel, Alusjö, Svédország)

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk teljes áttekintést nyújt a CCITT által bevezetett új átviteli jellemzőről, a hangossági mértékről, amely a hálózatok tervezése és a telefonátviteli minősége szempontjából egyaránt jelentős minőségi paraméter. A kérdések elvi tisztázása után tervezési megfontolásokkal és gyakorlati alkalmazási problémákkal foglalkozik.

1. Bevezetés

Számítógépes vezérlésű, fejlett kapcsolástechnika esetén is a telefonrendszerek alapvető követelménye, hogy az összeköttetésen keresztül beszélni tudjanak a telefonálók. A hangossági mértékek éppen ennek a minőségi vonásnak a jellemzésére szolgálnak.

A CCITT értelmezése szerint a hangossági mérték a hangossági veszteség objektív mértéke, azaz egy súlyozott elektroakusztikai csillapítás a telefonhálózat bizonyos pontjai között. (Akusztikai szempontból az előfizetőket műsúraj és műfül helyettesíti. A súlyozás egyes kérdéseit az alábbiak részletezik.)

Az *additívítás* fontos jellemzője a hangossági mértékeknek. Ez azt jelenti, hogy valamely hálózat teljes hangossági mértéke a hálózatrészek hangossági mértékeinek összegével egyenlő.

A hangossági mértékek a beszélőtől egészen a hallgató előfizetőig fejezik ki a minőségi ítéletet az összeköttetésről, valamint néhány nemkívánatos jelenségről, mint a túl hangos önhang, visszhang és áthallás.

Az összeköttetésre nézve a fontosabb hangossági mértékek:

ORL — teljes hangossági mérték (overall loudness rating). A hangossági veszteség a beszélő előfizető szájától a hallgató előfizető füléig az összeköttetésen keresztül.

SLR — adási hangossági mérték (send loudness rating). A hangossági veszteség a beszélő előfizető szája és a hálózat meghatározott elektromos csatlakoztatási pontja között. (A hangossági veszteséget itt a meghajtó hangnyomás és a mért feszültség hányadosának súlyozott átlagaként definiáljuk és dB-ben mérjük.)

RLR — vételi hangossági mérték (receive loudness rating). A hangossági veszteség a hálózat meghatározott elektromos csatlakoztatási pontja és a hallgató előfizető füle között. (A hangossági veszteséget itt a meghajtó elektromos feszültség és a mért hangnyomás hányadosának súlyozott átlagaként definiáljuk és dB-ben mérjük.)

CLR — áramköri hangossági mérték (circuit loudness rating). A hangossági veszteség (csillapítás)

a hálózat két elektromos csatlakoztatási pontja között. Minden csatlakoztatási pont a névleges impedanciájával zárandó le, mely komplex is lehet. (A hangossági veszteség itt az elektromos csillapítás súlyozott átlagértékével egyenlő, dB-ben mérjük.)

A nemkívánatos jelenségek számszerű jellemzésére az alábbi hangossági mértékek szolgálnak:

STMR — önhang elfedési mérték (sidetone masking rating). A hangossági veszteség az előfizető szája és a kézibeszélőnől lévő füle között az elektromos önhangúton keresztül.

LSTR — hallgatói önhang mérték (listener's sidetone rating). A hangossági veszteség egy Hoth spektrumú teremzaj és az előfizető füle között az elektromos önhangúton keresztül.

TELR — beszélői visszhang hangossági mérték (talker echo loudness rating). A beszélő személy hangjának hangossági vesztesége, mely a füléhez késleltetett visszhangként érkezik.

LELR — hallgatói visszhang hangossági mérték (listener echo loudness rating). A beszélő közvetlen hangja és a fülénél mért késleltetett visszhang közötti csillapítás.

XRLR — áthallási hangossági mérték (crosstalk receive loudness rating). A zavaró elektromos csatlakozási ponttól a zavart előfizető füléig az áthallási úton fellépő hangossági veszteség.

A 2. pontban a hangossági mértékekkel kapcsolatos néhány pszichoakusztikai elvi kérdés tárgyalása kerül sorra. A 3. pont a telefonkészülék mérésekkel foglalkozik, a 4. pont a G sorozatú ajánlásokban való alkalmazásokat tartalmazza.

2. A hangossági mértékek alapjául szolgáló pszichoakusztikai modell

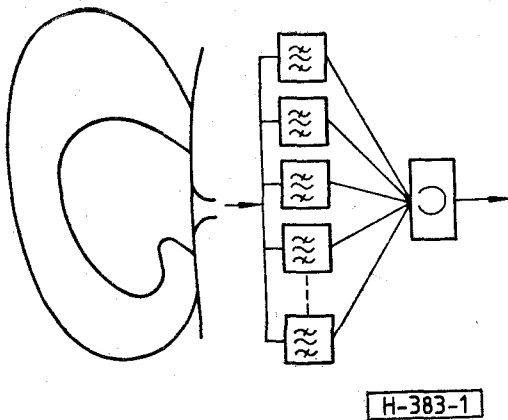
A hangossági mértékek definíciója szerint az átviteli útba iktatott frekvenciafüggetlen csillapítás a hangossági mértéket a csillapítás értékével növeli. Amikor a frekvenciafüggő csillapítás hatását értékeljük, akkor olyan pszichoakusztikai modellre van szükségünk, mely figyelembe veszi az agy hangosságérzékelő tulajdonságait. Ezért megadjuk a hangossági mértékeknel felhasználható egyszerű modell rövid leírását. (További részleteket a P.79 ajánlás tartalmaz.)

A fül az 1. ábra szerint sávszűrők sorozatával modellezhető, melyek a logaritmusos frekvenciaskálán azonos távolságra helyezkednek el. Ha a hangjel egy bizonyos sávban meghaladja a hallásküszöb értékét, akkor a megfelelő szűrőn megjelenik a kimenő érték. A szűrőkimenetek összeadódnak és a hangosságörzet ezekből áll össze. Az összegzési szabály a hangszinttől függ.

Normális beszéd szint tartományban a teljes hangosság mértéke körülbelül a szűrőkimenetek logaritmusának összegével egyenlő. Nagyon halk hangoknál (a hallásküszöb közelében) a szűrő-

Beérkezett: 1987. X. 8. (□)

Angolból fordította: Takács György (PKI)



H-383-1

1. ábra. A fül és az agy hangosságérzékelésének egyszerűsített elektromos modellje

kimenetek teljesítményei adódnak össze. Az eljárást a (1) összefüggés írja le.

$$LR = L_0 - \frac{10}{m} \lg \left\{ \sum_{i=1}^N K_i \cdot 10^{-0,1mL_i} \right\} \quad (1)$$

ahol:

L_0 —konstans, értéke attól függ, hogy melyik hangossági mértéket használjuk.

N —a sávszűrők száma, az i index az f_i frekvenciára hangolt szűrőre vonatkozik. (A szűrők rendszerint 1/3 oktávos felosztásúak. A frekvenciatartomány később részletezésre kerül.)

L_i —a vizsgált átviteli út f_i frekvenciasávjában a csillapítás. (A hangnyomásszinteket a hallásküszöbhez viszonyítva.)

m —a hangosságot növelő tényező — a hangnyomásszinttől függő konstans: $m=0,2$ normál beszédszinteknél $m=0,5$ kisebb hangnyomásszinteknél (a feszültség-összegzésnek megfelelően) $m=1$ nagyon kis hangnyomásszinteknél a hallásküszöb közelében (a teljesítmény-összegzésnek megfelelően). $m=0,2$ alkalmazható *ORL*, *SRL*, *RLR*, *CLR* és önhangjelenségeknél, míg $m=0,5$ és 1 a visszhangoknál és áthallásnál megfelelő.

K_i —az f_i frekvenciához tartozó súlytényező. A K_i tényezők általános tulajdonsága, hogy összegük egységnyi:

$$\sum_{i=1}^N K_i = 1, \quad (2)$$

A K_i mennyiségeket az alábbi tényezők határozzák meg:

- Az „átlagos” beszélő hangspektruma.
- Az „átlagos” hallgató hallásérzékenysége.
- Az érintett hangossági mértéknek megfelelő névleges átviteli út átviteli karakterisztikája.

A K_i súlyozás nem nagyon kritikus. Átviteli tervezésnél legtöbbször megfelel az egyes karakterisztika. Ezt a 3. és 4. pont tárgyalja.

Az (1) és (2) kifejezésekből kitűnik, hogy L dB frekvenciafüggetlen csillapítás a hangossági mértéket L dB-lel növeli. Kiderül az is, hogy ha az L_i

értékek kevésbé szóródnak, akkor az (1) kifejezés az alábbi formára egyszerűsödik:

$$LR = L_0 + \sum_{i=1}^N K_i L_i. \quad (3)$$

Ezen lineáris közelítés alapján az áramkör teljes hangossági mértéke a részek hangossági mértékének összegzésével számolható. A követendő eljárást a 4. pont tárgyalja. (Egy ökölszabály: ha $m=0,2$ és az L_i ingadozása kisebb, mint 10—15 dB, akkor a (3) összefüggés használható.)

3. Telefonkészülékek hangossági mértékének mérése

Analóg telefonkészülékek hangossági mértékait a P.64 és a P.79 ajánlásoknak megfelelő speciális mérőberendezések és az ott leírt számítási algoritmusok segítségével határozhatjuk meg. A mérési összeállításnak tartalmaznia kell megfelelő áramú táphidat és tartalmazhat különféle hosszúságú terheletlen előfizetői vonalakat. A szokásosan mért jellemzők: *SRL*, *RLR*, *STMR*.

Az eredmények az átviteli tervezésre közvetlenül nem használhatók, amíg a sávzsélességgel és a lezáró impedanciákkal kapcsolatban néhány előzetes megfontolást nem teszünk. A P.79 ajánlás szerinti kereskedelmi mérőműszerek 200—4000 Hz vagy 100—8000 Hz sávartományt használnak. Ez jóval szélesebb, mint a CCITT ajánlásokban a biztonságos átvitelre specifikált 300—3400 Hz-es sáv. (Lásd pl. a G.151 ajánlást.)

Így egy nemzeti hálózatban — mely egy nemzetközi összeköttetés része lehet — úgy kell tekinteni, hogy az analóg telefonkészülék valamivel halkabb, mint a P.79 ajánlás szerinti érték.

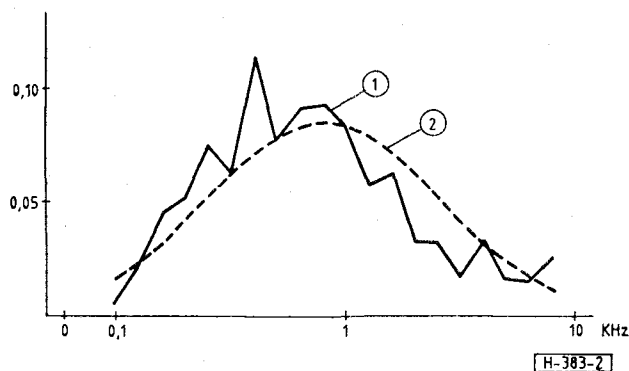
Megjegyzendő az is, hogy a P.64—P.79 szerinti hangossági mérték mérések 600 ohmos lezáró impedanciát írnak elő. Kéthuzalozott hálózatrészeknél legtöbbször nem ez az impedancia jelenik meg. Különböző szempontok alapján több igazgatás most komplex névleges impedanciát specifikál. Így illesztetlenségi problémák lépnek fel.

Az *SLR* és *RLR* mérésekhez vizsgálatokat végeztek egy sor analóg telefonkészüléken, érzékenység- és impedancia-karakterisztika, valamint névleges impedancia tekintetében. Az eredmény az volt, hogy elegendő gyakorlati pontossággal az analóg telefonkészülékeken mért *SLR* és *RLR* értékek 1 dB-lel növelendők, ha hálózattervezésre használjuk. A mért értékeket *SLR* (P.79) és *RLR* (P.79) jelöléssel ellátva:

$$\begin{aligned} SLR &= SLR(P.79) + 1 \\ RLR &= RLR(P.79) + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Megjegyezzük, hogy ugyanez a korrekció használható, ha a P.79 ajánlás szerinti mérés terheletlen előfizetői kábelt tartalmaz. Digitális készülékeknel azonban nincs szükség erre a korrekcióra, mivel a kodek és a szűrők mindenképpen korlátozzák a sávot.

Megjegyzendő, hogy az *STMR* méréseknél úgy kell specifikálni a vonalat lezáró impedanciát, hogy valóságos hálózati helyzetet képviseljen,



2. ábra. A teljes hangossági mérték ki súlyozó értékei
 1. A P.79 ajánlásból származtatva;
 2. Átlagos emberekkel végzett szubjektív mérésekből származtatva

azaz a lezáró impedancia nem szükségszerűen 600 ohm.

Célszerű az *STMR* méréseken túlmenően a Z_{s0} úgynevezett „önhangmentes” vonalimpedanciát vagy másnéven az önhangot kiegyenlítő impedanciát is meghatározni. Az *SLR* és *RLR* értékeken túl a Z_{s0} ismerete lehetővé teszi a hálózattervező számára az önhangviszonyok jobb kézbe tartását a hálózatban előforduló változó körülmények között. További részletek a 4.3. pontban találhatók.

A hallgatási önhang modern, nagyérzékenységű lineáris mikrofont tartalmazó készülékek zajos környezetben okozhat nehézségeket. A probléma számszerű megoldására úgy juthatunk, hogy meg kell mérni a készülék érzékenységi görbéket direkt (beszéd) hangnál és diffúz (teremzaj) hangnál. A részletek a „Telephonometric Handbook” c. könyvben megtalálhatók. Az eredmény jobban kifejezhető különbségként:

$$D_{el}SM = S_s(\text{diff.}) - S_s(\text{direkt}) \quad (5)$$

Lásd még a 4.3.3. pontot.

1. Megjegyzés: a $D_{el}SM$ a frekvenciával alig változik. A tervező számára további érdekes jellemző természetesen a telefonkészülék Z_c bemeneti impedanciája, illetve a visszafordulási csillapítás a névleges áramköri impedanciánál.

2. Megjegyzés: A P.79 ajánlás algoritmusában a K_i súlyozótényezők frekvenciafüggő alakjának aktuális értékei nem a hálózattervezőre tartoznak. Úgy tűnik azonban, hogy a P.79 ajánlás súlyozása nem jól képviseli az átlagos emberi beszédet és hallást. Ezért, ha valaki megpróbálja elemezni a csillapítástorzítás és a sávkorlátozás hatását a hangosságra, a P.79 ajánlás szerinti eredményeket óvatosan kell kezelni. A 2. ábrán összehasonlíthatók a P.79 ajánlás K_i értékei emberekkel végzett szubjektív vizsgálatok átlagos K_i értékeivel.

3. Megjegyzés: Mostanáig a legtöbb Igazgatás a nemzeti átviteli tervek készítésénél a telefonkészülékek jellemzésére másféle objektív mérőberendezést használt. Az ilyen tervek átformálása hangossági mérték alapúra azt jelenti, hogy a telefonkészülékek „rég” adatait az újakkal kell felváltani. Ez ténylegesen a tipikusan használt telefonkészülékek hangossági mértékének méréseivel vé-

gezhető el. Túl nagy a bizonytalanság az *RE*, *CRE*, *OREM-B*, *IEEE*-obj *LR* stb.-ből számolt *LR* átváltási formulákban.

4. Megjegyzés: Az átviteli tervet úgy kell megalkotni, hogy valamennyi elfogadott telefonkészülék használható legyen — legalábbis a kategóriája szerint specifikált tartományban. Ez azt jelenti, hogy az átviteli tervnek az elfogadott készülékekre a specifikált (nemzeti) hangossági mértékeken kell alapulnia. Csak kivételes esetekben használhatók fel a statisztikailag megbízható részletes adatok (mint pl. tényleges érzékenység-görbék). A G.121 ajánlás a telefonkészülékek tényleges *SLR* és *RLR* hangossági mértékain alapszik. Ebben az értelmezésben a névleges érték tipikus körülményekre vonatkozó ésszerű mérnöki átlagot jelent. Telefonkészülékekre manapság a legtöbb Igazgatásnak el kell fogadnia a típusok széles választékát, ami eleget tesz a gyakran meglehetősen széles határokkal rendelkező nemzeti specifikációnak. (Az *SLR* és *RLR* értékekre a gyártási tolerancia tipikusan ± 3 dB.) A telefonkészülékekre vonatkozó névleges *SLR* és *RLR* értékek az előírt maximum és minimum értékek számtani középértékeként értelmezhetők, melyben a vonaláram táplálási körülmények függvénye is beleérthető.

4. A hangossági mértékek alkalmazása a G sorozatú ajánlásokban

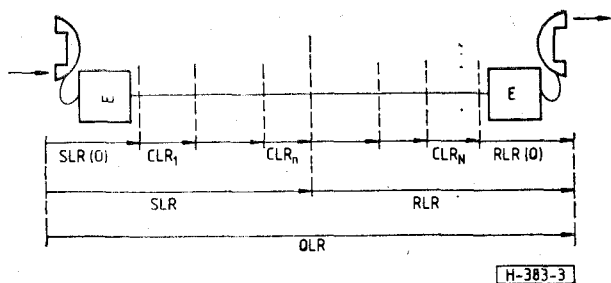
4.1. Általános megjegyzések

Elvileg a bemeneti és kimeneti pontok közötti teljes csillapítás-frekvencia karakterisztika mérhető és a kérdéses hangossági mérték a 2. pontban foglalt algoritmus szerint kiszámolható. Hálózattervezésnél azonban sokkal kényelmesebb az egyedi hálózatrészek külön történő értékelése. A jelenlegi helyzetben ez különösképpen igaz a legtöbb Igazgatás hálózatában megengedett sokféle telefonkészülék típus tömeges elterjedése miatt. Ezért a telefonkészülék hatását a hangosságra a *SLR* és *RLR* értékekkel jellemezzük.

Az a legfontosabb, hogy a hangosság alapú tervezésben szilárd, de egyszerű szabályok álljanak rendelkezésre. Teljesen hiú ábránd a számításokban nagy pontosságra törekedni. Csak egyetlen példa erre: a telefonáló széles tartományban szabályozhatja az érzett hangosságot a kézibeszélőjével. Azáltal, hogy önkényesen szorosabban vagy lazán tartja a füléhez a kagylót (10 dB-es tartomány) és persze önkéntelenül is, amikor a mikrofont kimozdítja a legkedvezőbb helyzetből. A P.79 ajánlás algoritmusának is vannak belső korlátai, amint a 2. pontban már említettük.

4.2. Normál beszédátvitel

A 3. ábra két előfizető között több láncbakapcsolt áramkörrel felépített beszédösszeköttetést mutat. A telefonkészülék adási és vételi hangossági mértékeit *SRL*(0) és *RLR*(0) jelöli, míg az áramköri hangossági mértékeket *CLR*. A definíciók az 1. pontban megtalálhatók. Az $i=n$ csatlakoztatási pontban, W-től E irányban:



3. ábra. Normál beszédösszeköttetés hangossági mértékei

$$SLR = SLR(0) + \sum_{i=1}^n CLR_i$$

$$RLR = RLR(0) + \sum_{i=1}^N CLR_i$$

$$OLR = SLR + RLR \quad (6)$$

Az SLR és RLR értékek a 3. pont szerint határozhatók meg.

A CLR értékek a vonatkozó csatlakoztatási pontok relatív szintkülönbségeivel egyenlők, azaz megegyeznek az 1020 Hz vonatkozási frekvencián mérhető csillapítással az érintett végződés névleges impedanciájú lezárása mellett. Ez nyilvánvalóan igaz, ha az áramköri csillapítás lapos frekvenciakarakterisztikával rendelkezik, ami a legtöbb modern átviteli berendezésnél fennáll. Ugyanez a terheletlen előfizetői kábeleknél is igaz.

Csak különleges csillapítástorzítások ritka esetében szükséges kissé komplikáltabb számítás: a CLR ilyenkor a logaritmikus skálán 300–3400 Hz között mért átlagos csillapítással egyenlő. (Azaz egy lapos súlyozással a (3) egyenletben.)

Megjegyzés: $OLR = 9$ dB tekinthető az összeköttetés optimális hangosságának. Érdekességképpen ennél az értéknél a logaritmikus skálán mért átlagos akusztikus csillapítás a beszélő szájától a hallgató füléig kb. 0 dB-t tesz ki.

4.3. Önhang

4.3.1. Általános megjegyzés

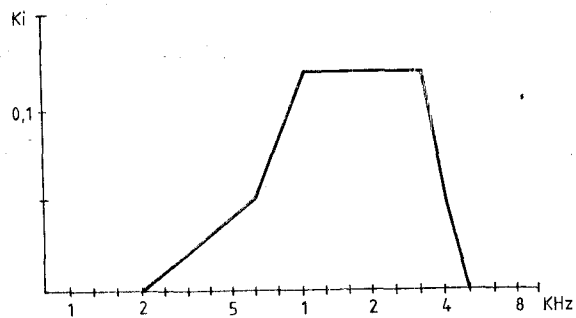
Amint az előzőekben említettük az $STMR$ és $LSTR$ önhang értékek a fület az elektromos önhangúton keresztül érő jelre vonatkoznak.

4.3.2. Önhang elfedési mérték, $STMR$

Az $STMR$ a 3. pontban tárgyaltak szerint mérhető a hálózatban előforduló aktuális lezáró impedanciát használva. Számos esetben kényelmesebb lehet a telefonkészülék és a hálózat adataiból számolni. Átviteli tervezés céljaira felhasználhatók a telefonkészülékek hangossági mértékei és az önhang kiegyenlítési, valamint a vonalimpedancia közötti visszafordulási csillapítás értékei. Gyakorlati célra kielégítő pontosságú az alábbi algoritmus:

$$STMR = SLR(0) + RLR(0) + A_m - 1 \quad (7)$$

ahol $SLR(0)$, $RLR(0)$ a készülékre vonatkozik, mint előbb. A_m az A_{rst} önhang visszaverődési csillapításának súlyozott értéke.



4. ábra. A G.111-ben szereplő K_i önhang súlyozás

1. táblázat

STMR súlyozás

i	F_i [kHz]	K_i
1	0,2	0
2	0,25	0,01
3	0,315	0,02
4	0,4	0,03
5	0,5	0,04
6	0,63	0,05
7	0,8	0,08
8	1	0,12
9	1,25	0,12
10	1,6	0,12
11	2	0,12
12	2,5	0,12
13	3,15	0,12
14	4	0,05

$$A_m = -\frac{10}{m} \lg \left\{ \sum_{i=1}^N K_i 10^{-0,1m A_{rst}} \right\} \quad (8)$$

$m = 0,2$ és K_i értékei az 1. táblázatban megtalálhatók és

$$A_{rst} = 20 \lg \left| \frac{Z_c + Z_{s0}}{2Z_c} \cdot \frac{Z + Z_c}{Z - Z_{s0}} \right| \quad (9)$$

Ahol:

Z_c — a telefonkészülék bemeneti impedanciája,
 Z_{s0} — a készülék önhang kiegyenlítő impedanciája,
 Z — a fölépített összeköttetésnél a készülék által látott vonalimpedancia.

Megjegyzés: Az A_{rst} közelítően egyenlő a Z és Z_{s0} közötti visszafordulási csillapítással.

Amint az 1. táblázatban és a 4. ábrán látható, az alsó frekvenciatartományt az $STMR$ súlyozás nem emeli ki. Ennek az az oka, hogy a szubjektív önhangút a csontvezetésen keresztül túlsúlyba kerül ebben a frekvenciatartományban az elektro-mos úthoz képest.

Megjegyzés: $STMR = 7$ vagy 7 dB esik a beszélő önhang kívánatos tartományán belül. Ennél az értéknél az átlagos akusztikus csillapítás a beszélő szájától a füléig az elektromos önhangúton keresztül tipikusan kb. 8 dB. (Az átlagolást az 1. táblázat szerinti súlyozással végezve.)

4.3.3 Hallgatói önhang, LSTR

Nagy teremzaj a hallgató előfizetőhöz érkező beszédét többféle úton zavarja:

a) A „szabad” fül is hall zajt. Ez a zavaró hatás figyelmen kívül hagyható itt, mivel a hallás az irányfüggő analízis képességével rendelkezik és „kikapcsolja” a rossz irányból jövő, beszédűl idegen jelet.

b) A zaj „beszivárog” a kézibeszélős fül mellett is.

c) A zajt veszi a kézibeszélő mikrofonja és az elektromos önhangúton keresztül ez a fülhöz jut.

A gyakorlatban a c) pontban említett jelenség zavar leginkább. (Természetesen ez egyben az egyetlen, melyet az átviteli tervező befolyásolni tud.) Kimutatták a kísérletek, hogy kislekveconciákon a kézibeszélő menti szivárgás kerül túlsúlyba az elektromos önhangúthoz képest, hasonlóképpen, mint a csontvezetés a beszélői önhangnál. Emiatt alkalmazható ugyanaz a K_i súlyozás, mint a beszélői önhangnál. (Akkor legálábbis, ha a hallgató fedele nem túlságosan ügyetlen kialakítású.) Így az LSTR hallgatói önhang számolható az STMR-hől és a $D_{el}SM$ súlyozott átlagából, mely a készülék direkt és diffúz érzékenységi görbéje közötti különbség, a 3. pontnak megfelelően.

$$LSTR = STMR + D$$

$$D = - \sum_{i=1}^N K_i (D_{el}SM)_i \quad (10)$$

1. Megjegyzés: Lineáris mikrofonnal rendelkező modern telefonkészülékeknél a D értéke 1,5 és 4 dB közé esik. Bizonyos mértékig függ D értéke a kézibeszélő geometriai alakjától, de nem függ a teremzaj szintjétől. A szénmikrofonos készülékek azonban jellegzetes érzékenység küszöbvel rendelkeznek, ami által kevésbé bántó a teremzaj hatása. Ezek D értéke a 6—8 dB tartományba esik 60 dBA teremzajszintnél.

2. Megjegyzés: Fizikailag árnyékolja a hallgatófedél a hallgató fülét 600—800 Hz felett a teremzaj hatása elöl de az elektromos önhangút közvetetten hozzájárul az önhanghoz. Ha mind a teremzaj szintje, mind az összeköttetés csillapítása nagy, a hallgatói önhang értékek 13 dB fölötti értékeknek kell lennie. Ez megfelel kb. 5 vagy 6 dB teremzaj-árnyékolásnak magasabb frekvenciákon.

4.4. Visszhangok és áthallások

4.4.1. Általános megjegyzések

A visszhangok és áthallások sokkal halkabbak, mint a normális beszéd. Ezért az (1) kifejezés algoritmusában az m hangosság-növelő tényezőt 0,2-nél nagyobbra kell választani. A tapasztalatok azt mutatták, hogy az alábbi eljárások megfelelők: A teljes hangossági mértéket célszerű ebben a megfontolásban két részre vontani. Ezek:

1. A készülék(ek) adási és vételi áramkörei.

2. A tisztán elektromos áramkörök.

A telefonkészülékekre a normál SLR és RLR értékek használatosak. Az elektromos áramkörökre az LC hangossági veszteséget $m=0,5$ vagy 1 értékkel számoljuk a feszültség vagy teljesítmény összegzésnek megfelelően. (Később tárgyaljuk, hogy melyik érték használandó.) Az elektromos áramkör hangossági vesztesége az (1) összefüggés szerint számolandó egyenes súlyozással a 300—3400 Hz (logaritmikus) frekvenciasávban. A logaritmikus sáv $N-1$ egyforma szakaszra osztható fel N ponttal.

$$LC(m) = - \frac{10}{m} \lg \left\{ \sum_{i=1}^N K_i 10^{-0,1m L_i} \right\} \quad (11)$$

ahol

$$K_1 = K_N = \frac{1}{2(N-1)}$$

$$K_i = \frac{1}{N-1}; \quad i = 2 \dots (N-1) \quad (12)$$

Ha az összegezést (vagy integrálást) lineáris frekvenciaskálán végezzük, akkor a (11) formula az alábbira módosul:

$$LC(m) = - \frac{1}{m} 3,85 - \frac{10}{m} \lg \left\{ \int_{300}^{3400} 10^{-0,1m L(f)} \frac{1}{f} df \right\} \quad (13)$$

4.4.2. Reszelői visszhang hangossági mérték, TELR

A 4.4.1-ben lefektetett alapelvek szerint

$$TELR = SLR(0) + RLR(0) + L_e \quad (14)$$

ahol: $SLR(0)$, $RLR(0)$ a telefonkészülékekben foglaltakra vonatkozik. Az L_e visszhang veszteség a (12) vagy (13) összefüggés szerint számolható $m=1$ értékkel.

$$L_e = LC(m=1) \quad (15)$$

Megjegyzés: A $TELR=9$ dB értékhez a beszélő személy hangjának a logaritmikus frekvenciaskála szerint átlagolt kb. 0 dB veszteséggel kell elérnie saját fülét.

4.4.3. Hallgatói visszhang hangossági mérték, LELR

A LELR nem más, mint a hallgatói visszhangnak a 300—3400 Hz frekvenciasávban súlyozással számolt átlagértéke. A súlyozást a (11) vagy (13) összefüggés szerint $m=0,5$ értéke mellett kell végrehajtani.

Megjegyzés: Amerikában a WEPC, a „súlyozott visszhangút veszteség” kifejezés használatos. A WEPL számításánál $m=0,5$ értékű, de a súlyozás egyenes a lineáris frekvenciaskálán. Általában a LELR és WEPL számértéke nem nagyon különbözik.

4.4.4. Áthallási hangossági mérték, $XRLR$

Az áthallás káros hatása természetesen a zavaró csatornában átvitt beszéd szintjével kapcsolatos. Amint a vizsgálatok kimutatták sajnos nincsen szilárd kapcsolat az adási hangossági mérték és a hálózatban lévő beszédszint között. Emiatt félrevezető lenne az adási hangossági mértéket beleértetni az áthallási hangossági mértékbe. A beszéd várható szintjeit (átlag, szórás) más hálózatadatokból kell becsülni. A problémát a 39/XII kérdés tanulmányozza.

A 4.4.1-ben kifejtett elveket követve:

$$XRLR = RLR(0) + L_x \quad (16)$$

ahol: $RLR(0)$ a telefonkészülékben lévő részekre vonatkozik. Az L_x áthallás a (12) vagy (14) összefüggés alapján $m = 1$ értékkel számolandó.

$$L_x = LC (m = 1) \quad (17)$$

Megjegyzés: A gyakorlatban az áthallás 1100 Hz-en jól reprezentálja az L_x értéket. (Lásd a G.134 ajánlást a Vörös Könyvben.)