

Műsorhang áramkörök zajkérdései*

MÁNYOKY ZSOLT
Magyar Posta — Helyközi
Távbeszélő Igazgatóság

Az átviteltechnika és természetesen ezen belül a műsorhang átvitel egyik legsarkalatosabb problémája a zaj kérdése.

Mint ismeretes ennek oka az, hogy a vételi végpon-
ton nem korrigálható zavarok legjelentősebbike az
átviteli úton keletkező zaj. Tekintettel arra, hogy
mind a rádió, mind a TV műsorszórásban ma már az
egyik legfontosabb követelmény a lehető legjobb
jel/zaj viszony elérése, ezért e kérdésre fokozott fi-
gyelmet kell fordítanunk.

1. Zajok felosztása és értékelése

A zajok eredetük alapján lehetnek akusztikai,
mechanikai és elektromos zajok.

- az akusztikai zajok: teremzaj, mikrofon zaj stb.
- a mechanikai zajok: rossz forrasztás okozta zaj,
jelfogó zajok stb.
- az elektromos zajok: a legnagyobb jelentősé-
gűek, és hatásuk az alábbiak szerint csoporto-
síthatók.

1.1 Elektromos zajok

Eredetük alapján megkülönböztethetünk:

- terheléstől független vagy termikus,
- terheléstől lineárisan függő vagy áthallási,
- terheléstől nem lineárisan függő vagy torzítási
és
- külső eredetű elektromos
zajokat.

1.1.1 Terheléstől független zajok

Terheléstől független, ill. termikus zajoknak ne-
vezzük azokat a zajokat, melyek egy áramkör alkat-
részeiben a nukleonok mozgása következtében kelet-
keznek. Ebbe a fogalomkörbe tartozik az ellenállás-,
a sörét-, a villódzási és a megoszlási zaj. Közös vo-
násuk, hogy az áramkörtől akkor is jelen vannak, ha
azon hasznos terhelés nincs, továbbá, hogy amplitúdó
eloszlásuk független a hasznos jel szintjétől és frek-
venciájától. Igen lényeges szempont, hogy a termikus
zajok szabják meg a maximálisan áthidalható erősí-

* Jelen cikk a szerző szakdolgozata alapján ké-
szült, mely a Híradástechnikai Tudományos Egyesü-
let 1979. évi pályázatán III. díjat nyert.

Beérkezett: 1980. VII. 4.

tőmező hosszát is. A termikus zajok közül legjelen-
tősebb az ellenállás zaj, melynek oka az elemi részecs-
kék Brown-féle hőmozgása. Átlagteljesítménye:

$$\bar{P}_{z(R)} = 4kT \Delta f$$

ahol: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} (J/K^\circ)$ — Boltzmann állandó,
 T — a hőmérséklet Kelvin fokban,
 Δf — n vizsgált csatorna sáv szélessége.

1.1.2 Terheléstől lineárisan függő zajok

Ebbe az általános csoportba az áthallásból eredő
zajok tartoznak. Mivel a zavart áramkörre jutó jel,
ill. zajszint lineárisan arányos a zavaró áramkörön
megjelenő hasznos jel szintjével, így az ily módon ke-
letkező zajok a terhelés arányában természetesen
lineárisan változnak. Az áthallási zaj jellege szerint
igen sokféle lehet és összefoglalóan az 1. ábra szem-
lélteti.

Figyelembe véve az áthallási zaj tulajdonságait,
a zajteljesítmény áramkörszakaszonként összegez-
hető, azaz

$$\bar{P}_{z1} + \bar{P}_{z2} + \dots + \bar{P}_{zn} = \sum \bar{P}_z.$$

Egyforma jellemzőkkel rendelkező szakaszok egyfor-
ma áthallási teljesítményt (zajt) eredményeznek, mi-
nek következtében az áthallott zajteljesítmény szint-
je

$$\bar{P}_z(\Sigma) = \bar{P}_{zn} + \frac{1}{2} \cdot \ln n \quad [\text{dB}],$$

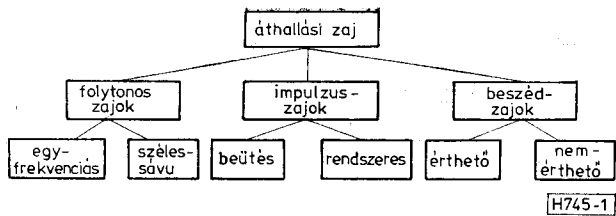
ahol: $n = a$ szakaszok száma.

1.1.3 A terheléstől nem lineárisan függő zajok

a) Minden áramkörben igen nagy számmal szere-
pelnek nem lineáris karakterisztikájú elemek (elekt-
roncsövek, tranzistorok, csévék stb.), melyek hatá-
sára új frekvenciák keletkeznek, és ezek más csator-
nában, ill. áramkörökben zavart okozhatnak. E za-
vartatáson kívül a torzítások a jelek hű átvitelét is
megakadályozhatják, amennyiben azok a saját csato-
rnába eső termékeket állítanak elő. Tekintettel
arra, hogy a műsorhang átvitelnél, kiváltképp az
utóbbi időben a HI-FI igényeket kielégítendő, egyre
nagyobb jelentősége van a tiszta hangszínnek, így ez
a kérdés kiváltképp kényes.

b) Klirr-faktor.

A nonlineáris torzításoknál alapvetően a karak-



1. ábra. Az áthallásból eredő zajok felosztása

terisztika görbütségével (C) számolunk. Ez azonban gyakorlati szempontból igen körülményes, éppen ezért egyszerűbb a torzítási tényező vagy a torzításcsillapítás figyelembevétele. A torzítási tényező, azaz a klirr-faktor:

$$k = \sqrt{\left(\frac{C_2}{C_1} U_{be}\right)^2 + \left(\frac{C_3}{C_1} U_{be}\right)^2 + \dots} \quad [\%]$$

ami felbontva harmonikusokra:

$$k_2 = \frac{C_2}{C_1} U_{be} \quad \text{és} \quad k_3 = \frac{C_3}{C_1} U_{be} \quad [\%].$$

Szokásos megadni még a torzításcsillapítás értékét is:

$$a_{k2} = -\log \frac{C_2}{C_1} U_{be} = \log \frac{1}{k_2}$$

és

$$a_{k3} = -\log \frac{C_3}{C_1} U_{be} = \log \frac{1}{k_3}.$$

1.1.4 Külső eredetű zajok

Forrásuk igen sokféle lehet és túlnyomó részt minimális értéken tarthatók, de teljes mértékben nem küszöbölhetők ki. Lényegében a terheléstől független zajok csoportjába tartoznak. Előidézői lehetnek

- a tápáram szüretlensége,
- vívőkiszivárgás,
- elektromágneses zavarok stb.

1.2 A zajok mértéke

A zajok megadására világszerte két módszer terjedt el.

1.2.1 A zaj mérőszáma

Megadja az áramkör végén mért valódi értéket. Külön egységei a pW, mV, dB és az N.

1.2.2 Jel/zaj viszony

Az átviteli rendszereken elterjedt jellemző, mely sokkal helyesebb képet ad az áramkör állapotáról, mint a mérőszám. Egyértelműen azt mutatja meg, hogy az adott ponton mért hasznos jel szintje mennyivel tér el az ott jelenlévő zajszinttől. Mivel a zajfeszültség is függ a meghatározás módjától (pszofometrikus, szélessávú, alkalmazott szűrő stb.), ezért minen jel/zaj viszony értékhez meg kell adni a meghatározás módszerét.

a) Logaritmikus jel-zaj viszony

Megadja az áramkör valamely pontján a hasznos és a zavaró jel rövid idejű, átlagteljesítmény szint-

jeinek különbségét dB-ben, vagy N-ben, vagyis az áramkör minőségére jellemző számadatot szolgáltat.

$$\frac{S}{N} = 10 \lg \frac{U_j^2}{U_z^2} \quad [\text{dB}] \quad \text{vagy} \quad \frac{S}{N} = \frac{1}{2} \ln \frac{U_j^2}{U_z^2} \quad [\text{N}].$$

A műsorhangáramköröknél ez kiváltképp fontos jellemző, tekintettel a dinamika szélességére.

b) Zajtényező

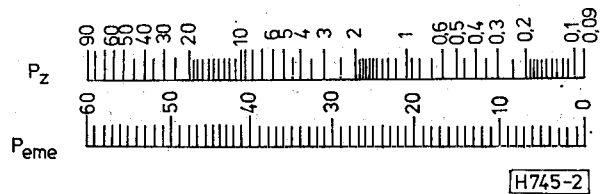
A hálózat zajtermelésére jellemző szám, mely a generátorból kivethető maximális teljesítmény és a négy-pólus kimenetén levő teljesítmény jel/zaj értékét mutatja. A zajmentes hálózat zajtényezője 1. A zajtényező logaritmus megadja a jel-zaj viszony növekedését.

c) Eredő zajtényező

Több, láncba kapcsolt négy-pólus esetén megadja a zajos hálózat együttes zajnövelő hatását.

1.3 A zajok elektromos és akusztikai mértékének kapcsolata

Mind az akusztikai, mind pedig a mechanikai zajok megadhatók az elektromos zajokkal analóg módon. Méréssel minden esetben meghatározható a kimeneti zajmérték. A különös jelentőségű akusztikai zajoknál, mint amilyenek a műsorhang átvitel során is fellépnek, a kimeneti zaj mértékét phon-ban adják meg. A zajok akusztikai jellemzői közül a fültől független az a dB érték, amely megadja a hallásküszöbtől való távolságot. Ennek kapcsolatát az elektromos jellemzővel vagyis a pszofometrikus zajfeszültséggel a 2. ábra mutatja.



2. ábra. A zajnak a hallásküszöbtől való távolsága dB-ben

1.4 Súlyozott és súlyozatlan zajok

A műsorhang átvitelnél éppúgy, mint a távbeszélő rendszereken gyakran előfordul, hogy a zajok csak a frekvenciasáv bizonyos részében okoznak zavart. Ezek meghatározásához a mérőműszer elé megfelelő szűrőt kell beiktatni, mely csak a zavaró hatásnak kitett sávot engedi át, illetve a frekvencia függvényében súlyozza a zajt.

1.4.1 Súlyozatlan zajfeszültség

Az átviteli rendszerben megjelenő valamennyi nem kívánatos zavar effektív feszültsége. Nagysága a vizsgált sáv szélességtől függ. A mért zajt a kívánt frekvencia sávra az alábbi összefüggés segítségével számíthatjuk át

$$p'_z = p_z - \frac{1}{2} \ln \frac{\Delta f}{\Delta f'} \quad [\text{N}]$$

vagy

$$p'_z = p_z - 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f'} \quad [\text{dB}]$$

ahol: p_z — az eredeti Δf sávszélességű,
 p'_z — az átszámítandó $\Delta f'$ sávszélességű csatorna zajszintje.

1.4.2 Súlyozott zajfeszültség

Mint azt korábban említettük, a műsorhang áramkörökön fellépő zajok nagymértékben befolyásolják a kisugárzott műsor élvezhetőségét. Éppen ezért fokozott figyelmet kell fordítani erre a kérdésre, kiváltképp az emberi fül érzékenységének frekvenciafüggő súlyozásra. A pszofometrikusan súlyozott zajfeszültség alkalmas a nem kívánatos zavaró feszültségnek az átlagos emberi fül érzékenysége szerinti vizsgálatára. A műsorhang áramkör bármely két pontja közötti U_{ps} pszofometrikus zajfeszültséget az alábbi kifejezés határozza meg:

$$U_{ps} = \frac{1}{p_r} \sqrt{\sum (p_f U_f)^2}$$

ahol: U_f — a zavaró feszültség „f” frekvenciájú összetevőjének effektív értéke,
 p_f — az „f” frekvenciához,
 p_s — a hivatkozási frekvenciához (1000 Hz) tartozó súlytényező.

Megjegyzendő, hogy a pszofometrikus forrásfeszültség (elektromotoros erő), melyet a 2. ábra is szemléltet, kétszerese a 600 ohm-on mért zajfeszültségnek.

1.4.3. Ajánlott pszofometrikus súlyozó görbe (CCITT J 16)

A műsorhang áramkörökön fellépő zajokat kiváltképp célszerű súlyozott zaj formájában vizsgálni, mert így a vizsgálat eredményei közvetlen viszonyba hozhatók az emberi fülre gyakorolt akusztikai hatással.

Annak érdekében, hogy összehasonlítható eredmények adódjanak, a műsorhang áramkörök zajméréséhez olyan mérőkészüléket kell alkalmazni, amely megfelel a CCIR 468—1 ajánlásban lefektetett karakterisztikának (korábban a CCITT P 53. ajánlásának).

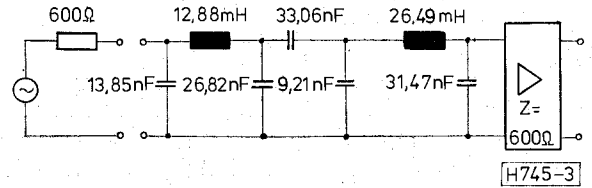
a) Súlyozott zaj mérése (CCIR 468—1)

A súlyozó hálózat névleges válaszfüggvényét a 3. ábrán megadott elektromos analóg négyfókus válaszfüggvényével definiáljuk. A függvény különböző frekvenciákhoz tartozó értékeit a 4. ábra tünteti fel.

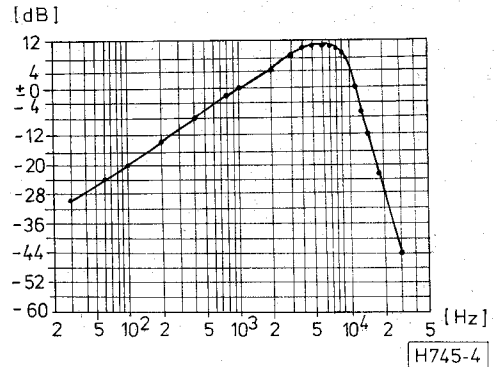
Megjegyzendő, hogy felesleges a 10 vagy 6,4 kHz-es műsorhang áramkörökhöz más súlyozó görbét alkalmazni, sőt feltehető, hogy a tárgyalt görbe keskenyebb sávú áramkörök esetén is használható.

b) Súlyozatlan zaj mérése

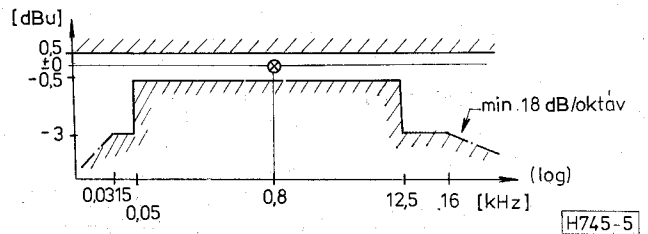
Szemben a korábbi gyakorlattal, amikor is a széles-sávú zaj mérést és értékelést gyakorlatilag frekvenciafüggetlennek tekintettük, a CCITT ajánlása szerint, az alkalmazott szűrőtől függetlenül, a súlyozatlan zaj mérést is a frekvencia függvényében kell vizsgálni, azaz a határértékek az 5. ábra szerinti diagram alapján értékelendők.



3. ábra. Elektromos négyfókus a súlyozógörbe meghatározásához



4. ábra. A CCIR 468—1 ajánlás súlyozógörbéje



5. ábra. Szélessávú megengedett zajszint-változás a frekvencia függvényében

1.5 Zajok kérdése műsorhang áramkörökön

Amint az a fent elmondottakból is következik, a zajok egyértelműen megszabják mind az áthidalható távolságot, mind pedig az átvitel minőségét. Ez utóbbi műsorszórásban és annak átvitelében kiemelkedő fontosságú.

A műsorhang áramkörök zajproblémáit a nulla relatív szintű pontra vonatkoztatott, pszofometrikusan súlyozott zaj formájában vizsgáljuk [dBmOps].

Példaképpen vizsgáljuk meg a „Q” típusú áramkörön fellépő zajok összességét.

A CCITT a 2500 km hosszúságú referencia áramkörre — 51 dBmOps zajszintet enged meg (mivel Magyarországon túlnyomó többségében még a régi súlyozógörbét tartalmazó mérőműszereket használunk, így példánkat is ennek figyelembevételével állítottuk össze).

Tekintsünk egy vivőfrekvenciás rendszeren üzemelő műsorhang átviteli vagy ún. „zenevivő” berendezés felhasználásával létesített műsorhang áramkört. Ez esetben a zajteljesítményt lényegében maga a vivőfrekvenciás rendszer fogja megszabni. Vizsgáljuk meg, hogy a nevezett áramkörön (2500 km hosszára vonatkoztatva!) mekkora zaj keletkezik.

A megengedett zajteljesítmény egy távbeszélő csatornában:	10 000 pWOp
A csatornamodem berendezések átlagos zaja ($3 \cdot 300$ pW):	-900 pWOp
Így a három, sorbakapcsolt csoportszakaszon megengedhető zajteljesítmény:	9100 pWOp
vagy	-50,4 dBmOp
A távbeszélő pszofométer összegezt csillapítása:	+ 2,5 dB
Csoport áramkör súlyozatlan zaja egy távbeszélő csatornán:	-47,9 dBmO
A műsorhang csatorna nagyobb sáv szélessége miatt többlet zaj ($3,1-14,97$ kHz):	+ 6,8 dB
A csoport áramkör súlyozatlan zaja 15 kHz sáv szélességre:	-41,1 dBmO
A pszofométer összegezt erősítése:	+ 3,7 dB
A 15 kHz-es műsorhang áramkörben fellépő zajszint:	-37,4 dBmOps

Megállapítható tehát, hogy egy vivőfrekvenciás rendszeren telepített műsorhang áramkör zajszintje 13,6 dB-lel magasabb, mint a CCITT által ajánlott érték. A jel/zaj viszony javítására tehát szükség van, amit pre-, deemfázis és kompander alkalmazásával érhetünk csak el.

2. Preemfázis

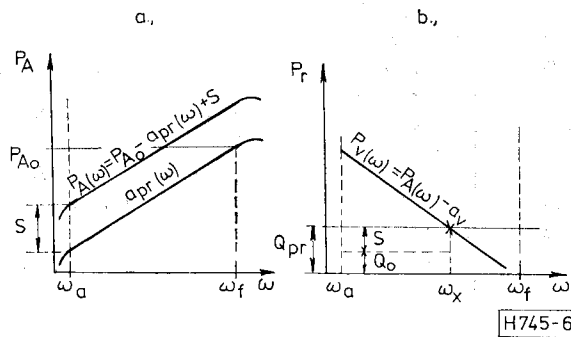
2.1 Preemfázis alkalmazásának előnye

A vivőfrekvenciás csoportösszeköttetések vonalszakaszainak zajspektruma általában egyenletes eloszlású, ami azt jelenti, hogy a zaj a frekvenciasáv minden részét egyformán zavarja. Ezzel szemben a műsorjelek eloszlása nem egyenletes, mert az átlagteljesítmény-sűrűség és ennek megfelelően a szint is, a nagyobb frekvenciák felé egyre csökken. Számításba kell venni továbbá azt is, hogy a vevő rész, mely lényegében a rádióvevő készülékből és az emberi fülből áll, a zaj szempontjából is erősen frekvenciafüggő viselkedést mutat.

E három tényezőt, valamint az 1.5.1 pontban közzétett példát tekintve a vivőfrekvenciás rendszeren a preemfázis alkalmazása célszerű, sőt szükséges.

Lényege abban áll, hogy a műsorhang spektrumát (sávját) a frekvencia függvényében növekvő szinttel juttatja ki a vonalra. Ezt a ferdeséget a preemfázis áramkörrel hozzuk létre úgy, hogy az alacsony frekvenciák szintjét egy p_{A0} referenciaszinthez képest, beiktatott többlet csillapítással lenyomjuk ($a_{pr(\omega)}$), majd az eközben leromlott jel/zaj távolság feljavítása érdekében S erősítést alkalmazunk. Az ily módon kialakított adásirányú kimenő szint a frekvencia függvényében:

$$P_{A(\omega)} = P_{A0} - a_{pr(\omega)} + S.$$



6. ábra. A preemfázis hatása az adó (a) és a vétel (b) oldalra

A preemfázis hatása az adóoldalra a 6a ábrán látható. Az áramkör vételoldalán a jelszint preemfázis nélkül:

$$P_{V0(\omega)} = P_{A0} - a_v,$$

ahol: $p_{V0(\omega)}$ — a frekvenciafüggő vételszint,
 a_v — a vonalszakasz csillapítása.

Ha egy bizonyos ponton p_z zajszintet tételezünk fel, akkor ezen a ponton a jel/zaj távolság (Q_0):

$$Q_0 = P_{A0} - a_v - p_z.$$

Preemfázis alkalmazása esetén a vételoldali szint

$$P_{V(\omega)} = P_{A0} - a_{pr(\omega)} + S - a_v = P_{A(\omega)} - a_v,$$

és így a jel/zaj távolság:

$$Q_{pr} = P_{A0} - a_v p_z - a_{pr(\omega)} + S = Q_0 - a_{pr(\omega)} + S.$$

Mivel a frekvenciasáv felső tartományában nem alkalmaztunk többletcsillapítást, így $a_{pr} = 0$, minek következtében a jel/zaj távolság a preemfázis alkalmazása előtti esethez képest éppen S értékkel (kb. 6–7 dB-lel) fog növekedni, vagyis

$$Q_{pr} = Q_0 + S.$$

Ez a nyereség csak egy bizonyos ω_x frekvenciáig következhet be, ahol is $a_{pr(\omega)} = S$. A preemfázis vételoldalra gyakorolt hatását szemlélteti a 6b ábra.

2.2 A kívánatos preemfázis diagram (CCITT J. 17.)

Azt a többlet beiktatási csillapítást, melyet még célszerű alkalmazni az alacsony frekvenciák elnyomására, a CCITT J. 14 ajánlása szerinti preemfázis csillapítás-karakterisztika adja meg, és az alábbi összefüggésnek kell, hogy megfeleljen:

$$a_{pr} = 10 \log \frac{75 + \left(\frac{\omega}{300}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega}{300}\right)^2} \text{ [dB]}.$$

A vételoldalon értelemszerűen olyan áramkört kell alkalmaznunk, melynek karakterisztikája komplementens a preemfázis karakterisztikájával és ezáltal visszanyerhetjük az eredeti sávot. Ez az egység a deemfázis áramkör.

1. táblázat

t (kHz)	a (dB)
0	18,75
0,05	18,70
0,2	18,06
0,4	16,48
0,8	13,1
2	6,98
4	3,1
6,4	1,49
8	1,01
10	0,68
	0

2. táblázat

A kompresszor jelszintje (dBmO)	
bemeneten	kimeneten
—	+ 17,0x
- 40	+ 16,9
- 35	+ 16,5
- 30	+ 15,6
- 25	+ 13,2
- 20	+ 9,7
- 15	+ 6,0x
- 10	+ 2,7
- 5	+ 0,2
- 4,5	± 0,0
± 0,0	- 1,3
+ 3	- 2,0x
+ 5	- 2,3
+ 10	- 2,9
+ 15	- 3,2
+ 20	- 3,5

A fenti összefüggésből számított görbének az 1. táblázatban megadott pontokon kell áthaladnia.

Előírás továbbá, hogy ha a 800 Hz-en mért szint megegyezik az elméletileg előírt értékkel, akkor a mért pre-, és deemfázis görbe $\pm 0,25$ dB-nél jobban nem térhet el az elméleti görbétől.

Megjegyzendő, hogy ez a formula csak a preemfázis beiktatási csillapítására ad felvilágosítást, de az erősítő utáni szint a berendezések típusától függően más és más lehet.

Hogy valami támpontot mégis kaphassunk, a CCITT J. 31. ajánlása a Siemens típusú 15 kHz-es műsorhang közvetítő berendezés preemfázis áramkörét ajánlja és az alábbi előírásokat fogalmazza meg:

- pre-, ill. deemfázis áramkört a kompresszor előtt, ill. az expander után,
- a J. 17. ajánlásnak megfelelően kell alkalmazni, úgy, hogy
- a preemfázis 800 Hz-en mért csillapítása a névleges bemeneti szinthez viszonyítva 6,5 dB legyen.

2.3 Az áthidalható távolság

Vivőfrekvenciás rendszeren zajcsökkentő megoldások nélkül, amint azt az 1.5.1 pontban ismertetett példa is mutatja, nem lehetne üzemeltetni műsorhang áramkört, mert egy csoportszakasz végberendezés zaja, ami egyszeri hangfrekvenciás lebontásnak felel meg, már eleve nagyobb, mint magára a műsorhang áramkörre megengedett zajteljesítmény. (Hangfrekvenciás áramkörök esetében a preemfázis alkalmazása természetesen nem szükséges.) A pre- és deemfázis egységek beiktatásával kb. 6 dB nyereséget érünk el, mellyel már mintegy 340 km távolság hi-

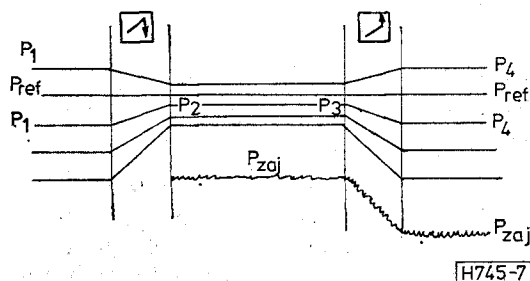
dalható át. Nagyobb távolságra történő felhasználáskor már kompander alkalmazása is szükségessé válik.

3. A kompander

A zajcsökkentő eljárások másik fontos eszköze az adó oldalon elhelyezett kompresszor és a vétel oldalon vele szemben beiktatott expander. Mivel a műsorhang dinamikája akár 80 dB-es tartományt is átfoghat, így igen lényeges szempont, hogy a kisszintű jeleket, ill. a műsorban előforduló szüneteket épp olyan zajszinttel juttassuk el a vételoldalra, mint a magasabb szintűeket. Ezen megfontolások alapján alkalmazzuk a szintfüggő erősítőket.

3.1 A kompresszor

Működési elve az, hogy a hasznos jel szintjét a zajhoz képest felemeli, de nem állandó erősítés bevitel útján — az erősítőket túlvezérelnék —, hanem olyan, a dinamika függvényében változó erősítést alkalmaz, mely a jel szintjével fordítva arányos. Az erősítendő jel meghatározásához olyan referencia szintet választunk, melyet a kompander változatlanul enged át. Ha az átvivendő jel szintje ezen érték alatt van, akkor a kompresszor a bemeneti jel szintjével arányos erősítést, ha e fölött, akkor csillapítást iktat be, lényegében tehát a dinamikát változtatja (7. ábra).



7. ábra. A kompander működési elve

3.2 Az expander

A kompresszorral szemben a vételoldali végponton az eredeti dinamikát vissza kell állítanunk. Az expander feladata, hogy helyreállítsa az eredeti jelsorozat dinamikáját és ezáltal megnövelje a jel-zaj távolságot is.

Az egység a feladatot úgy oldja meg, hogy a bemenetre érkező jeleket a referencia szinthez képest csillapítja. A beiktatott csillapítás annál nagyobb, minél kisebb a beérkező jel nivója. Tekintettel arra, hogy a beérkező jelsorozatban általában a zajszint a legalacsonyabb, így természetesen legjobban a zaj csillapodik.

Abban az esetben viszont, ha a bejövő szint magasabb a referencia szintnél, az expander erősítést alkalmaz, méghozzá olyan mértékben, ahogy a bejövő jel szintje nő.

3.3 Kompanderrel elérhető zajnyereség

A kompresszor, ill. az expander legfontosabb jellemzője az ún. kompressziós, ill. expanziós tényező, ami kompresszor esetén:

$$R_k = \frac{p_r - p_2}{p_r - p_1} = \frac{1}{\alpha},$$

expander esetén:

$$R_e = \frac{p_r - p_3}{p_r - p_2} = \beta.$$

A képletekből és a 8. ábrából is kitűnik, hogy a jelek torzításmentes, alakhű átvitelének feltétele:

$$p_1 = p_3, \text{ ill. } \alpha = \beta, \text{ minek következményeként}$$

$$R_k R_e = 1.$$

Kompresszor nélkül a vonalon mért szint azonos a bemenő szinttel ($R_k = 1$), kompresszor alkalmazása esetén viszont annak R_k -szorososa.

Ebből a megfontolásból eredően a kompresszor jel/zaj viszony javító hatása:

$$f_k = 8,686(1 - R_k) \frac{P_{1\min}}{2} \text{ [dB]}, \text{ ha } p_{1\max} = 0 \text{ dB.}$$

Az expander hatására létrejövő zajnyereség:

$$f_e = 8,686(1 - R_e) \left(R_k \frac{P_{1\min}}{2} - p_{zaj} \right) \text{ [dB]},$$

ha $p_{1\max} = 0 \text{ [dB]}$.

A kompandor beiktatása tehát eredőben

$$f_{ke} = 8,686(R_e - 1)p_{zaj} \text{ [dB]}, \text{ ha } p_{1\max} = 0 \text{ [dB]}$$

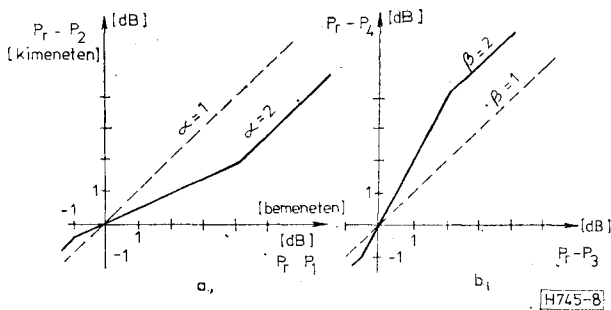
és általában

$$f_{ke} = 8,686(R_e - 1)(p_{zaj} - p_1) \text{ [dB]}$$

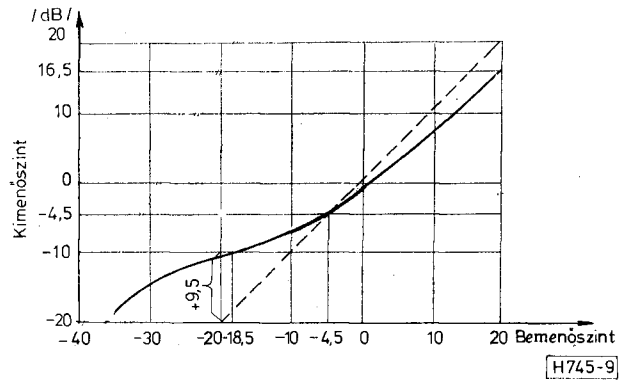
zajnyereséget okoz, ami a gyakorlatban 15–17 dB-nek felel meg.

3.4 A kompressziós jelleggörbe

Ha a fenti összefüggéseket grafikusán is ábrázoljuk (8a és 8b ábrák), akkor megkapjuk az ún. kompressziós jelleggörbét.



8. ábra. A kompresszor (a) és az expander (b) kimenő-szintjének változása a bemenőszint függvényében



9. ábra. A CCITT által ajánlott kompresszor-karakterisztika

A CCITT J. 31. ajánlása értelmében a kompresszor erősítésének a bemenő szinttől való függését, mely a 22 dB-t is elérheti, a 9. ábra és a 2. táblázat szemlélteti.

Az expander erősítése (csillapítása) a kompresszorral komplementes. A megengedett tűrés $\pm 0,5 \text{ dB}$, kivéve a *-gal jelzett pontokat, ahol maximum $\pm 0,1 \text{ dB}$ lehet.

3.5 A kompander alkalmazása

A kompandereket két zajforrás ellen használjuk:

- a vonalról érkező zajok ellen, melyek esetében a modulációs rendszer nem nyújt elegendő védelmet (elsősorban AM-rendszereken)
- a modulációs rendszer saját zajai ellen, amikor a kompander a modem egység egybeépített része.

(Ezt a megoldást általában kvantált átviteli rendszereken, pl. PCM-nél használják)

A kompandereket ajánlatos a vívőfrekvenciás sávban dolgoztatni (ellentétben az AV 2/3 típusú műsorhang közvetítő berendezéssel, ahol a nevezett egység hangfrekvenciás), mivel a HF sávban a kompander működési ideje (megtámadási és visszanyerési idő) összemérhető az alacsony frekvenciás műsorjelekkel (50 Hz) és így a kompander nem a burkológörbe szerinti szintváltozásokra működik, ami a műsorjel torzulását okozhatja.

4. Az érhető áthallás kérdése

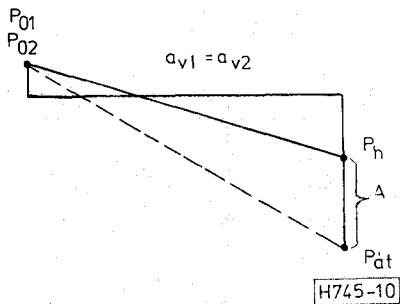
műsorhang áramkörökön (CCITT J. 18)

4.1 Az áthallás elvi oka, áthallási védettség

Az egymáshoz elég közel levő vezetéseken, vagy vívőfrekvenciás összeköttetések csatornáiban az áramkör saját jelei mellett megjelennek más áramkörök, ill. csatornák jelei is. Ezek a vizsgált áramkör szempontjából zavaró jeleknek számítanak és szintjük a zavaró áramkörökön átvitt hasznos jel szintjével lineárisan változnak.

Az áthallás mértékeként két fogalmat definiálhatunk. Vizsgálhatjuk egyenként a két áramkör közötti áthallás erősségének mértékét, azaz a zavaró és az áthallott szintek különbségét, ami az áthallási csillapítás

$$a = p_{\text{zavaró}} - p_{\text{áthallott}} \text{ [dB, N]}$$



10. ábra. Az áthallási védettség fogalma

vagy pedig a zavart áramkörben az áthallásból eredő és az ott megengedett hasznos jel szintjének különbségét (ha mindkét áramkör beadó szintje azonos), ami az áthallási védettséget jelenti

$$A = p_{\text{hasznos}} - p_{\text{áthallott}} \quad [\text{dB}, \text{N}]$$

és a 10. ábra szemlélteti,

- ahol: $p_{01} = p_{02}$ — a zavart, ill. a zavaró áramkör bemenetére adott hasznos jel szintje
 p_h — a zavart áramkör végén mérhető hasznos szint
 A — áthallási védettség a két áramkör között
 $a_{v1} = a_{v2}$ — az áramkörök csillapítása
 $p_{\text{át}}$ — az áthallott zavaró jel szintje a zavart áramkör végén.

Az áthallási védettség figyelembe veszi a tényleges üzemi viszonyokat és mintegy jel-zaj távolságként fogható fel, ezért alkalmasabb a vizsgálat céljára, mint az áthallási csillapítás. Éppen ez okból a CCITT is az áthallási védettséget ajánlja, mint vizsgálandó jellemzőt.

Maga az áthallás az átviteli úton keletkezik éspe dig:

- a frekvencia áttevő berendezések minden szintjén (a HF berendezésekben éppúgy, mint a magasabb csatornaszámú rendszerekben)
- csoport, főcsoport stb. átkapcsoló berendezésekben (szűrőkarakterisztikák)
- az átviteli rendszer minden pontján, mind a vonalon, mind az állomás egyéb berendezéseiben.

Ezekben a berendezésekben különböző áthallási források, azaz kapacitív induktív és egyéb csatolások, továbbá az intermoduláció, beleértve a fix frekvenciájú jelekből, pl. pilotból származó zavartatást is, fejtik ki hatásukat.

E rövid áttekintésből is következik, hogy az áthallások igen sok szempont szerint csoportosíthatók,

de az átviteli út végén végeredményben mindig zajként jelentkeznek. A zajok hatását az egyes műsorhang áramkörökre az 1. pontban röviden áttekintettük ugyan, de nem szabad figyelmen kívül hagyni az áthallás legzavaróbb fajtáját, az érthető áthallásokat. Ez azért fontos, mert a műsorhang áramkörök egyrészt sokkal érzékenyebbek az ilyen típusú zavartatásokra, másrészt azért, mert egyes esetekben a zajteljesítmény ugyan a megengedett érték alatt van, de a jelenlevő érthető áthallás ennek ellenére komoly zavart okozhat.

Érthető áthallás létrejöttét az alábbi tényezők idézik elő:

- hangfrekvenciás áramkörök esetében a kellőképpen ki nem egyenlített kábelek és légvezetékek, illetve árnyékolatlan érpárok felhasználása;
- vívőfrekvenciás szempontból a zavart áramkör modulációs rendszere;
- kétoldalsávós rendszer alkalmazása, mely 3 dB-es romlást eredményezhet;
- az azonos frekvenciafekvés.

4.2 Visszafordulásból eredő (oda-vissza irányú) áthallás

Ez a fajta áthallás, mely az egyirányban üzemelő, de két átviteli iránnyal rendelkező műsorhang áramkörök esetében léphet fel, elsősorban távlevégi áthallást okozhat. A CCITT szerint két, egyazon csoport ellentétes irányait felhasználó műsorhang áramkör maximális hossza ebben az esetben 560 km. Az ilyen jellegű áthallást feltételezhetően a különböző frekvencia áttevő berendezések okozzák.

4.3 Az érthető áthallás csökkentésének módszerei

- Hangfrekvenciás áramkör esetében kiváló eredményt érhetünk el árnyékolt érpárok felhasználásával és a kábelek, légvezetékek gondos ki egyenlítésével.
- Vívőfrekvenciás rendszereken az áthallás csökkentésének módszerei a frekvenciasáv gondos megválasztása (pl. SG/2 pozíció), pre-/deemfázis és kompander alkalmazása, valamint a műsorhang és távbeszélő áramkörök sávjainak megfordítása egymáshoz képest.

Az elmondottakból kitűnik, hogy megannyi eredményes műszaki megoldás mellett is a zaj még mindig komoly feladatok elé állítja a híradástechnika szakembereit, ezen belül is elsősorban azokat, akik az átvitel technikával foglalkoznak, bár az ismertett védekezési módszerek felhasználásával ma már viszonylag közel jutottunk a probléma gyakorlati megoldásához.