

Automatikus rádiótelefon-rendszerek jelzésátviteli tulajdonságai zajos környezetben

DR. DÁRDAI ÁRPÁD
Posta Kísérleti Intézet

Az URH-sávokban megvalósítandó mozgó vagy rurál automatikus rádiótelefon-hálózatok alkalmazása egyre fontosabb szerepet kap a népgazdaság különböző ágaiban.

Az URH rádiótelefon-hálózatok méretezésében alapvető fontosságú a zavarok mértékétől függő jelzésátviteli minőség. Ezzel összefügg az ismételt hívás okozta járulékos forgalom miatti veszteség, vagy várakozás valószínűség növekedés és a megfelelő működéshez szükséges rádiófrekvenciás térerősség meghatározása. A rendelkezésre álló, főleg külföldi irodalmi források fentiekre nem adnak részletes és kiforrott módszert, így indokoltnak mutatkozott e problémakör tervezési munkákhoz szükséges mélységű feldolgozása.

A jelen cikkben az automatikus rádiótelefon-hálózatban alkalmazott, hazai szempontból lényeges CCIR-SSFC (Sequential Single Frequency Code) szekvenciális jelző frekvenciákkal működő jelző rendszert és az ilyen alkalmazó hálózatok vizsgálatával foglalkozó munkák eredményeit tekintjük át. Munkánkban foglalkozunk a jelzésátvitel alapproblémájával, a különféle rádiótechnikai zajok hatásának számítási módszerével a jelzésátviteli hibákra.

Elemezzük a jelzésátviteli ellátottság alakulását, lehetővé téve az ellátottság határainak becslését, és ismertetünk egy az összeköttetések jelzésátviteli minőségi jellemzésére alkalmas lehetséges módszert és az URH rádiótelefon-hálózatokra alkalmazható ismételt hívásos modellt.

Az elvi megfontolásokhoz és számításokhoz figyelembe vettük a CCIR és a CCITT alapadatait és példaként a BRG MRKB és CLS rurál rádiótelefon rendszereit. A jelzésátviteli hiba számítási eredményeket a CML FX407/A típusú MOS/LSI áramkörrökkel megépített kóder-dekóderek mérési eredményeivel vetettük egybe.

A CCIR jelzésrendszer rendszertechnikai alapadatait az 1. táblázatban foglaltuk össze [1], [2], [3], [4]. Az alkalmazott frekvenciasor [1], [2], ill. [3] szerinti.

1. A jelzésátvitel alapproblémája

A jelzésátvitel alapvető fontosságú elemei a CCIR kóderek és dekóderek [1], [2]. A kóder feladata a jel-

zőfrekvenciák előállítására és szekvenciálisan a kimenetre adása a kívánt hívószámkombinációnak megfelelően. A dekóder feladata ennek megfelelően a beérkező frekvenciák előre beállított kódkombináció szerinti felismerése. Adási és vételi kódmegegyezés esetén minimális hívásvesztés, eltérő kódoknál pedig minimális téveshívás érendő el. A folyamat lényegét illetően meghatározóbb a dekódoló, így főleg azt vizsgáltuk.

Egy rádiótelefon-hálózatban, a vételkor a zajok meghatározott valószínűséggel és teljesítményeloszlással esnek a dekóder jelző frekvencia sávokba. A zajok hatására a jel léte vagy nem léte esetén egyaránt bekövetkezhet hívásvesztés vagy téveshívás, ha a dekóder szelektorok sávzélességében a zaj egyrészt a küszöbszint, másrészt a küszöb idő felett van jelen. Így e téren a zaj amplitúdó és időeloszlása is lényeges.

A rendszerben a rádiótechnikai zajok hatása a hívási hibák keltette hívásismétlések miatt a hálózat forgalmi terhelését növeli és hatásfokát rontja, mert hívásvesztés (várakozási valószínűség) növekedés lép fel, ha a csatornaszámot nem növelhetjük, vagy nem kívánjuk növelni a járulékos hatásoktól mentes esethez képest. A forgalmi veszteségnövekedés a rádiótelefon-hálózatoknál összefügg az rf zajokkal és a szükséges térerősséggel, valamint az adott hálózat jellegével, forgalmi viszonyaival. A rendszer tervezése és üzemeltetése, valamint az előfizetők szempontjából a jelzésátviteli hibák meghatározott mértékű korlátozása a hibák forgalmi veszteséget növelő, illetve a csatorna kihasználási hatásfokot csökkentő tulajdonságuk miatt fontosak.

2. A jelzésátvitel minőségének számítási módszerei

A híváshibák alapvetően az elemi számjegyhibáktól függenek. Az elemi számjegyhibák valószínűségét az aktuális hívó jelző frekvencia, a dekóder döntési küszöbjellemzők és a jel-zaj viszony, illetve a zaj típusa és nagysága szabják meg. Meg kell különböztetni a Rayleigh, a lognormál impulzus zajok és a mozgó URH-állomásnál a városi többitas terjedés okozta gyorsfading keltette zaj hatását.

Az elemi számjegy helyes átviteli valószínűségek ismeretében egy teljes, több számjegű hívószámra vonatkozó hívásvesztés összeg, és a téveshívás szorzat jellegű.

Beérkezett: 1981. VI. 8.

A hívásátvitel rendszertechnikai adatai

Jellemző	CCIR	RRG	CML	Jellemző	CCIR	RRG	CML	
Csoportos hívás lehetőség	lehetőség szükséges	lehetőség van	lehetőség van	Működés egyéb körülményei, zavaró hatások tűrőképessége stb.	Rec. 257—1 Ajánlás szerint	—	—	
Hívó frekvenciák jel alakja	szinuszos $k \leq 2\%$	$< 2\%$	lépcsős közelítés, kis harmonikus tartalom $k\% < 1,5\%$ (telefonszűrővel mérve)	Hangfrekvenciás bemenő jel amplitúdó	—	—	$0,05 - 1 V_{\text{eff}}$	
Hívó frekvenciák adása	szekvenciális	szekvenciális	szekvenciális	Jel+zaj amplitúdó összesen max.	—	—	$2 V_{\text{eff}}$	
Különbőség a hangfrekvenciás impulzusok között max.	1 dB	—	< 1 dB	Jel-zaj viszony specifikált időzítő adatokkal, vétel üzemmódban, 3 kHz-es ekv. zaj-sáv szélességnél	—	—	- 6 dB	
Hangfrekvenciás impulzusok szélessége az 50%-os amplitúdójú pontok között	100 ms ± 10 ms	kívánt érték beállítható	kívánt érték beállítható	Szelektor sáv szélesség	—	$\approx 2,8\%$	3—4%	
Hangfrekvenciás impulzusok közötti idő rés az 50%-os amplitúdójú pontok között	3 ms ± 2 ms	—	megfelelő	Szelektor jósági tényező	—	≈ 35	$\approx 25 - 33$	
Hangfrekvenciás impulzusok fel- és lefutási ideje a 10 és 90%-os pontok között mérve	1,5 ms ± 1 ms	—	megfelelő	Szelektor átviteli jelleggörbe	—	másodfokú analóg sávát-eresztő aktív szűrő	harmadfokú digitális sávát-eresztő szűrő	
Frekvencia eltérés a CCIR sorhoz képest	± 4 Hz	—	± 4 Hz	Döntési küszöb feszültség (potencióméterrel növelhető, AGC-vel optimalizálható)	—	≈ 80 mV (kb. - 16 dB)	$60 mV_{\text{eff}}$ ($84 mV_p$)	
Szelektív hívás ismétlési ideje az előző hívás utolsó és a következő első számjegye között azonos állomás esetén	< 900 ms ± 100 ms	—	megfelelő	Demoduláció típusa	—	burkoló ASK	szorzó ASK (míntav.)	
Szelektív hívás ismétlési ideje az előző hívás utolsó és a következő első számjegye között más állomás esetén	1000 ms	—	megfelelő	Szelektor éledési idő (küszöbidő)	—	10—15 ms	40 ms	
				Szelektor tartási idő	—	120—150 ms	a szekvenciális kapuzásnak megfelelően 100 ms	
				Névleges jelzésátviteli frekvencia löket	—	± 3 kHz	± 3 kHz	
				Hívófrekvencia stabilitása	tápfesz.	—	—	0,05%/%
					hőmérs.	—	—	0,005%/C°

Az elméleti vizsgálatok szerint az elemi számjegy hibaarány a zaj jellegétől függetlenül általános alakban adható meg, mert az elemi számjegy hibaarány kifejezések a Rayleigh, a lognormál és a gyorsfading zajok esetére alaki hasonlóságot mutatnak. E szerint az elemi számjegy hibaarány a

$$h_{i,v}^k = f_{jk} \cdot t_c \cdot P_k(T_j) \quad (2.1)$$

általános alakban adható meg, ahol

- $h_{i,v}^k$ az aktuális zajforráshoz tartozó elemi számjegy hibaarány;
- k a zajforrás jellege $k=R, L, G$ (R =Rayleigh, L =lognormál, G =gyorsfading);
- t, v a hívásvesztésre vagy tévesztésre utaló indexek;
- f_{jk} a j frekvencia és a k zavarforrás időstatisz-

tikájához tartozó vonatkoztatási időalap reciproka (rendszerint valamilyen átlagérték);

t_c az elemi szekvencia idő, $t_c = 0,1$ s;

$P_k(T_j)$ az aktuális időstatisztikához tartozó fajlagos zavarvalószínűség (túllépési valószínűség).

A (2.1) összefüggés szerint az elemi számjegy hiba az elemi szekvencia idő, az adott szint és idő túllépési valószínűsége és a vonatkoztatási időalap reciprokának szorzataként adható meg.

Ezeket figyelembe véve az alapsávban okozott tetszőleges fenti eredetű zajnál, ha U_0 a szintbeli és t_0 az időbeli küszöbértékek, akkor annak valószínűsége, hogy téves döntés létrejön

$$P_k(U > U_0; t > t_0) = \int_{t_0}^{\infty} \int_{U_0}^{\infty} f(\xi, \eta) \cdot d\xi d\eta, \quad (2.2)$$

ahol $f(\xi, \eta)$; u és t együttes sűrűség függvénye, az aktuális sűrűség függvényeket véve.

Ez rögzített U szintekre az

$$F(t_0/U_0) = P(t > t_0/U \geq U_0) = \int_{t_0}^{\infty} f(t/U_0) dt, \quad (2.3)$$

feltételes eloszlást adja különböző U paraméterekkel, ahol U és t függetlensége esetén

$$P_k(T_j) = P_k(t > t_0/U \geq U_0) = \int_{t_0}^{\infty} f_k(t) dt. \quad (2.4)$$

U és t a számunkra lényeges folyamatoknál függetlenek, $f_k(t)$ pedig az aktuális zaj folyamat sűrűségfüggvénye (időstatisztika).

Az f_{jk} mennyiség meghatározásánál a vizsgált folyamat statisztikájából, keresztezési frekvenciájából és az URH-vevők berezgési tulajdonságaiból indultunk ki, majd az alapsávi és a rádiófrekvenciás viselkedés között egyrésztől a vevő rendszergörbe, másrésztől az r_f zaj amplitúdó eloszlás NAD (Noise Amplitude Distribution) görbék [5], [6]) segítségével állapítottuk meg a kapcsolatot.

Megállapítottuk, hogy a dekóder működési tulajdonságai és a rádiótelefon-technikában alkalmazott szokásos jel, illetve jel-zaj viszony értékek mellett a hívásvesztesség és a téveshívás hasonló módon jön létre és értékük is közelítőleg megegyezik.

Megállapítottuk azt is, hogy a hibavalószínűség a hívószám összetételétől is függ, nevezetesen kiemelt fontosságú állomások számára előnyösebb az alacsonyabb hívó frekvenciájú számjegyekből álló hívószámok használata Gauss-zajnál, de impulzus zajoknál fordítva.

A fentiekben vázolt, de a tényleges számításokhoz részletesen kidolgozott módszer segítségével adódtak a mérésekkel is ellenőrzött hibaaránygörbék, amelyek közül néhányat az 1. és 2. ábrákon szemléltetünk. Az 1., ill. a 2. ábra bázis, ill. mozgó állomásokra vonatkozik impulzus zajos környezetben.

3. A hívásátviteli hibák hatása a hálózat működésére

Az eredménytelen hívás a hálózat jellegétől, és az előfizetői szokásoktól függően nemkívánat csatornafoglalást és ezzel forgalmi veszteségtöbbletet okoz.

A jelentkező hibákat és hatásukat vizsgálhatjuk forgalmi irányonként külön-külön is, de egy eredő hibaszámot is konstruálhatunk. Így az egyes irányok forgalom valószínűségével, és a tévesztett hívószám hányadával súlyozott eredő hiba, vagy egyszerűen a hálózat h_H hívásvesztessége, amely tehát ismételt hívásokat okoz,

$$h_H = \sum_n \frac{A_n}{A_0} \cdot T_n \cdot h_{tTn} + \sum_n \frac{A_n}{A_0} \cdot V_n \cdot h_{vTn}, \quad (3.1)$$

ahol:

- n az n -ik irány indexe, $n=1, 2, 3, \dots$
- A_n, A_0 az n -ik irány, ill. a hálózat teljes forgalma;
- T_n, V_n a tévesztésben, ill. a veszteségben érintett hívószámok száma;
- h_{tTn}, h_{vTn} az n -ik irány tényleges hívásvesztessége az 1. és a 2. ábrák szerint.

Ha az eredeti, pl. közelítőleg Erlang-B bemenetű, Poisson esemény sűrűségű folyamathoz tartozó csatornafoglaltság állapotot kezdeti eloszlásnak tekintjük, akkor a hívás hibák hatására létrejövő állapotváltozásokat a járulékos felfelé, helybenmaradási, és lefelé lépési valószínűségekkel jellemezhetjük, amelyeket jelöljünk rendre p, r, q betűkkel.

A fentieket figyelembe véve a felfelé lépés valószínűsége

$$p = h_H. \quad (3.2)$$

A q lefelé lépés valószínűsége egy aktuális Δt időintervallum végére

$$q \cong p \cdot P(t_v < \Delta t), \quad (3.3)$$

ahol:

- t_v az ismételt hívások miatt fellépő többlet foglaltsági idő;
 - Δt a lépésköz, $\Delta t \cong \bar{t}_h$ választással;
 - \bar{t}_h az átlagos idő két híváskezdeményezés között;
 - $P(t_v)$ a foglaltsági idők eloszlása;
- Az r helybenmaradási valószínűsége pedig

$$r = 1 - p - q \quad (3.4)$$

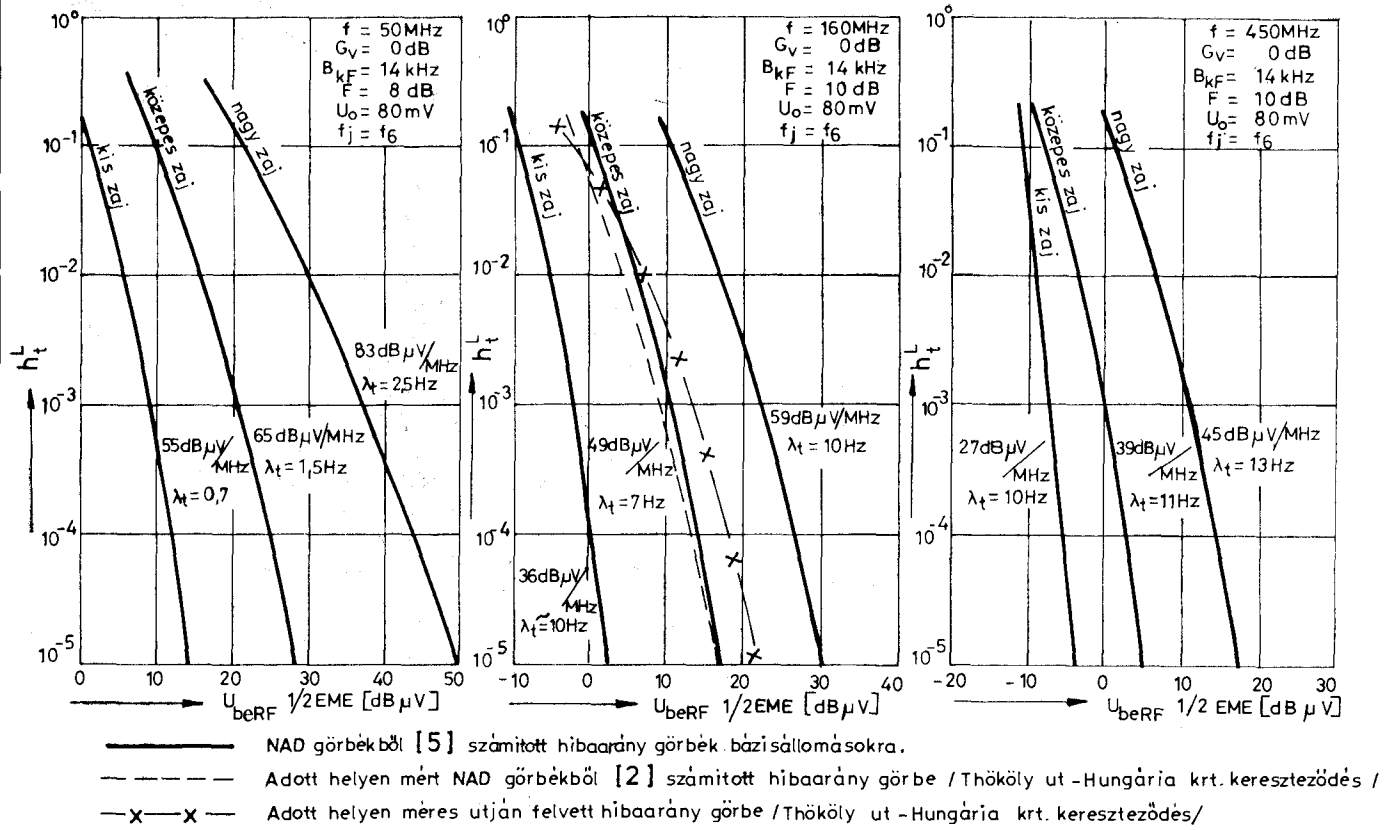
igaz, mert

$$p + q + r = 1. \quad (3.5)$$

A $\Delta t \cong \bar{t}_h$ választás biztosítja, hogy a rendszer állapotváltozásai egy lépésesek.

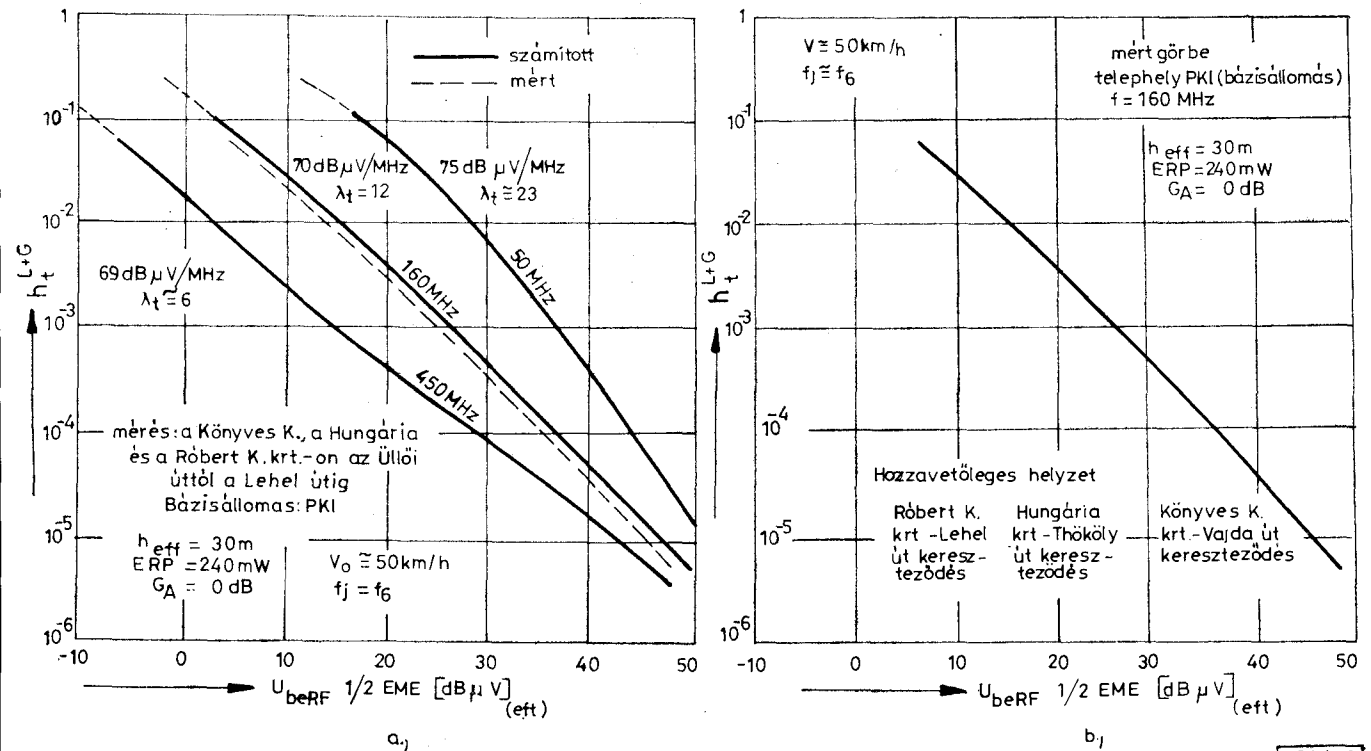
A p, r, q valószínűségeket mátrix alakba is írhatjuk; legyen ez a \bar{P}_1 egy lépéses járulékos átmenet mátrix.

Figyelemmel a hálózat működési jellegére és tulajdonságaira, valamint feltételezve, hogy sikertelen hívás esetén az előfizető rögtön, de csak egyetlen hívásismétlést tesz, ami kis hiba valószínűségeknél



H804-1

1. ábra. Hibaarány impulzusajajok esetén bázisállomásnál az 50–450 MHz-es frekvenciasávokban



H804-2

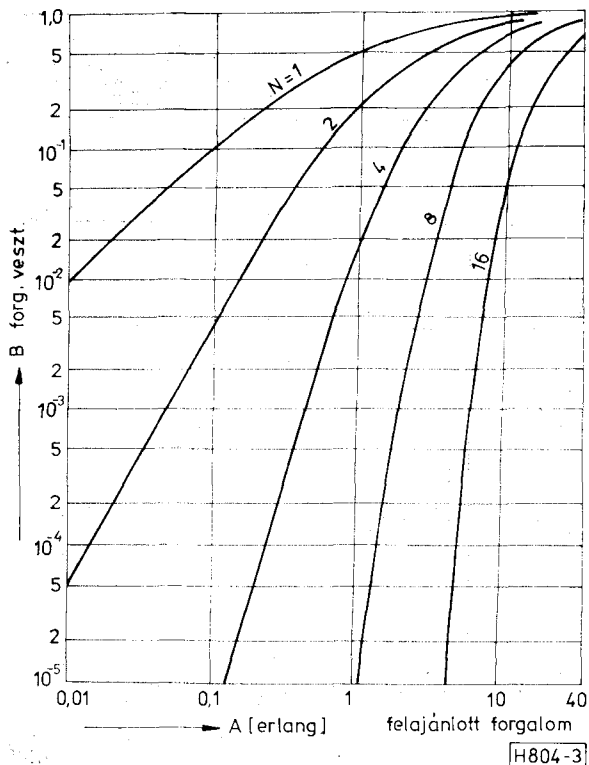
2. ábra. Hibaaránygörbék impulzusajajnál és gyorsfadingnél az 50, 160 és a 450 MHz-es frekvenciasávokban

elfogadható közelítés, továbbá, hogy a rendszer állapotainak sorozata homogén Markov láncot alkot legalább a vizsgálat idejére, az egylépéses átmenet mátrix a közel időfüggetlen átmenet valószínűségekkel

$$\bar{P}_1 = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0n} \\ P_{10} & P_{11} & & \cdot \\ P_{20} & \cdot & & \cdot \\ \vdots & & & \vdots \\ P_{n0} & \cdot & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r+q) & p & 0 & \dots & 0 & 0 \\ q & r & p & \cdot & & 0 \\ 0 & q & r & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & r & p \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & q & r \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & q & r \\ 0 & 0 & \dots & 0 & q & (r+p) \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

A számítások szerint a járulékos hatások miatt a csatornafoglaltság az időtől is függ, amit egy megfelelő időmegváltozássai, mint lépésközzel, ezeknek egy viszonyított kezdettől számított számával és az átmenet mátrix erre történő hatványozásával vehetünk figyelembe. A lépésköz a már említett Δt legyen.

A csatorna foglaltságállapotainak valószínűségeit ezek után megkapjuk, ha a kezdeti eloszlás sormátrixát az átmenet mátrix kivánt hatványával megszorozzuk. Kezdeti eloszlásként itt használhatjuk például



3. ábra. Eredeti Erlang-B görbék

az Erlang-B képletből számítható csatornafoglaltsági valószínűségeket, de más forgalomelméleti modell pl. Engset stb. is alkalmazható.

A fenti gondolatmenetet részletes számításokban alkalmazva nyertük példaként az eredeti Erlang-B görbék korrekcióit, amelyek a forgalmi veszteség relatív növekedését adják. Szemléltetésül mutatjuk a 3. és 4. ábrákat vagyis az eredeti Erlang-B görbék és azok korrekcióját.

Fentiek azt jelentik, hogy a kezdeti eloszlásként vett csatorna foglaltsági statisztika, estünkben pl. az Erlang-B, a nemkívánt hívásismétlések miatt módosul, a veszteségek növekednek.

A hívásátviteli hibák káros hatásának mértéke, elfogadhatósága függ a hálózat típusától, és a csatlakozó, pl. vezetékes hálózattól. Több csatlakozó szakasz esetén a hívásvesztést és a megengedhető veszteségnövekedést fel kell osztani. Ekkor figyelemmel kell lenni a már meglévő vezetékes telefonhálózatra, az ezekre érvényes előírásokra, ajánlásokra. A hívásvesztés kialakult szubjektív megítélését alapul véve egy lehetséges rádiótechnikai hozzájárulást kell megállapítani. A rádiótechnikai hívásvesztés-hozzájárulás a hálózat minőségétől függően célszerűen az eredeti forgalmi veszteség 5...60%-a lehet.

4. A jelzésátviteli ellátottság

A jelzésátviteli ellátottságot megállapításaink szerint [2]:

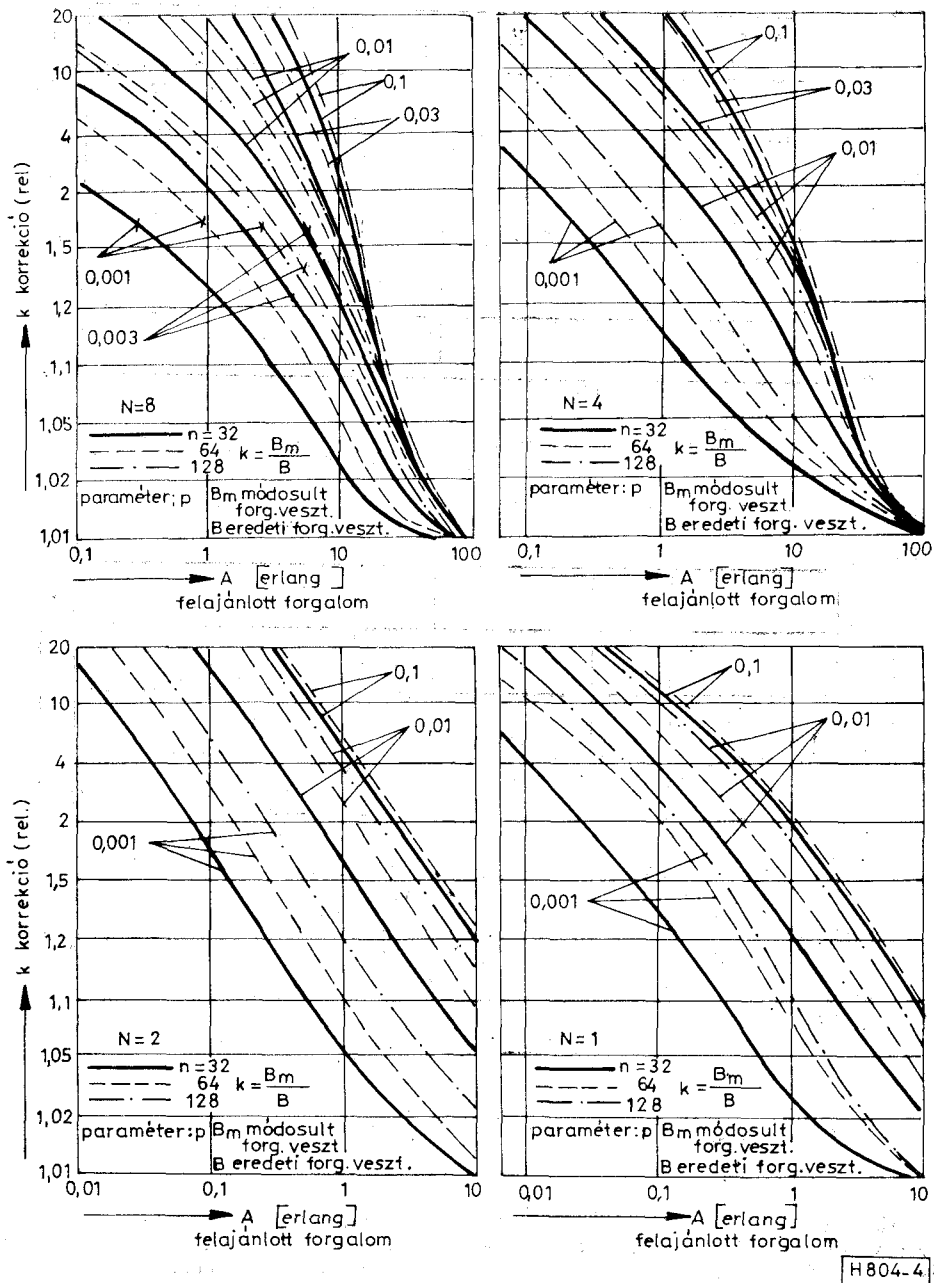
- a vételi érzékenységgel,
- a hálózat kiszolgálási biztonságával,
- a szükséges rádiófrekvenciás szintekkel,
- hely és idő százalék korrekciókkal,

jellemezzük, és határozzuk meg.

A jelzésvételi érzékenység lényegében készülékparaméter. Megadja azt a rádiófrekvenciás bemenő feszültséget a vevő bemenetén mérve, amely a vevőhöz csatlakozó dekóderrel meghatározott arányú hiba- valószínűséget eredményez. A vevő bemenetére kördérrel modulált szignálgenerátorral csatlakozunk. A hívásátviteli érzékenység zaj és zavartatás típus függő.

A hálózat kiszolgálási biztonsága már rendszerjellemzőnek tekinthető. A hálózat kiszolgálási biztonsága az a forgalmi hívásvesztés (torlódás) növekedés hibaarányával, hívásismétlés-aránnyal, illetve rádiófrekvenciás bemenő feszültséggel, térerősséggel kifejezve, amelyeknél a rádiófrekvenciás zajok hozzájárulása a zaj nélküli esethez tartozó forgalmas órai forgalmi veszteséget meghatározott arányban növeli adott vonatkoztatási időtartam végére, például a forgalmas órára.

A szükséges térerősségre vonatkozó számítási eredmények szerint, amelyeket az 5. ábrán mutatunk, a beszédátviteli ellátottság csak az esetek egy részében biztosít megfelelő hívásátviteli minőséget. Az ábrán n a lépések, vagyis az átmenet mátrix hatványkitevőjének száma. A feltüntetett hálózattípusok a szokásos jellemzőkkel rendelkeznek [2].



4. ábra. Erlang-B görbék korrekciói

5. Összefoglalás

A munkánk során kialakított ismételt hívásos modellel és számítási eljárással számítottuk a hívásvesztés értéket és ezekkel példaként meghatároztuk különféle hálózattípusra az ellátottság szükségletet, ami a beszédátvitelnél elegendő értékhez képest nagyobb is lehet. A beszédátvitelre vonatkozó előírásokat egyébként [7] tartalmazza.

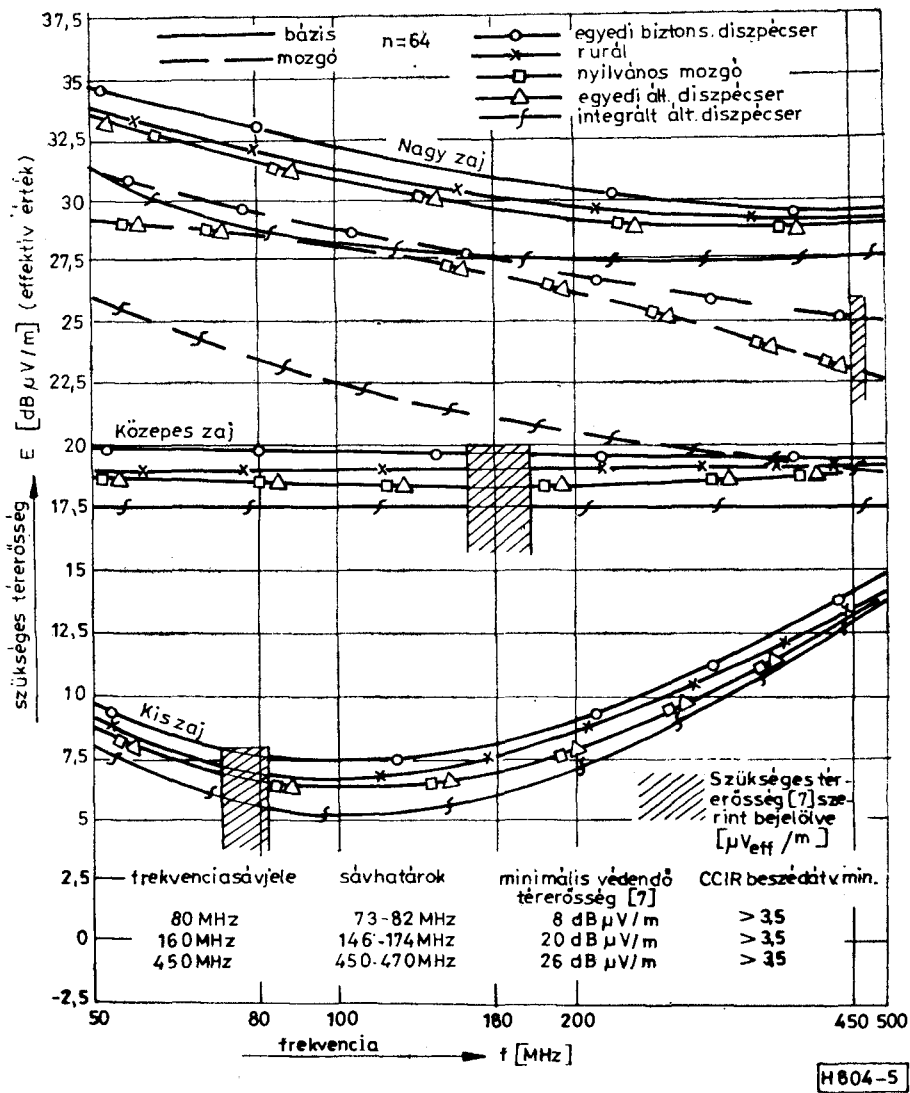
A számítási módszerek és a számítási eredmények, valamint a mérések eredményei megfelelő összhangot mutattak.

*

Ezúton is köszönetet mondok dr. Lajtha Györgynek és Bóti Lászlónak, akik munkámat támogatták, és sok hasznos tanáccsal segítettek, így módon is hatékony segítséget nyújtva a munkámhoz és az azt összefoglalóan ismertető jelen cikk elkészüléséhez.

IRODALOM

- [1] Dárdai Árpád—Rátky Béla: Automatikus rádiótelefon-rendszerek jelzésátviteli tulajdonságai. Tanulmány. PKI, 1979.
- [2] Dárdai Árpád—Rátky Béla—Bácskai Éva: Ultrarövidhullámú sávban működő földi mozgó rádió-



5. ábra. Szükséges térerősség előírt forgalmi minőséghez a frekvencia függvényében

telefon-összeköttetések hívásátviteli minőségét befolyásoló zajok és hatásuk. Tanulmány és Függelék, Mellékletek, PKI, 1980.

- [3] Selective Calling System for use in the international maritime mobile service. CCIR. Rec. 257-1. Vol. VIII. XIII. Plenary Assembly, Geneva, 1974.
- [4] MRKB-I. hírendszere. Műszaki leírás. 4X01-718/A BRG.

- [5] Man-Made Noise. Report to Technical Committee of the Advisory Committee for Land Mobile Radio Services from Working Group 3. FCC.
- [6] Signal-to-Interference Protection Ratios and Minimum Field Strengths Required in the Mobile Services. CCIR Rep. 358-3. Vol. VIII. XIV. Plenary Assembly, Kyoto, 1978.
- [7] A Magyar Posta Műszaki Előírásai. A 90.160/1974, A/1-90.160/1974, B-90.160/1974.