

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

BHG

Laczkó Endre
Bernhardt Richárd
Dr. Eisler Péter
Dr. Gosztony Géza
Honti Ottó
Klug Miklós
Tölgyesi László

ORION

Jakubik Béla
Csernoch János
Froemel Károly
Sass Károly
Szabó Károly
Szász Gerő

TERTA

Bánsághi Pál
Baján Tibor
Benedek Elek
Halmi Gábor
Hutter Mihály

BHG ORION TERTA MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXVIII. évfolyam

1982

4. szám

Külső zajok és hatásuk a 400 MHz-es sávban működő digitális rádiórelékre

HORVÁTH JÓZSEF
ORION

1. Bevezetés

A 400 MHz-es frekvenciasávban gazdaságos hírközlés hozható létre rádiórelékkel. Természetesen a felépített rendszerekre szigorú, nemzetközi ajánlásokban rögzített átviteli és megbízhatósági követelmények vonatkoznak. A felhasználó szemszögéből nézve a minőségi követelmények teljesítésén kívül rendkívül fontos tényező az átviteli rendszer rendelkezésre állása. Egy mikrohullámú távközlési rendszer rendelkezésre állását számos tényező befolyásolja. Általában két tényezőt tartanak igen jelentősnek: a rendszer terjedési megbízhatóságát és a rendszer berendezés megbízhatóságát. Természetesen az is ismeretes, hogy egy rádiórelé vonal kieshet az üzemből tápfeszültség kimaradása miatt, természeti csapás miatt (tűz, árvíz, földrengés), sőt emberi okok miatt (pl. a takarító személyzet véletlenül lekapcsol vagy megrongál valamit) is. A rendszer terjedési megbízhatóságánál a kiesést általában a jelentkező mélyfading vagy a külső zajforrásoktól származó interferencia okozza. Az antenára ható nem kívánatos energia a hasznos információ minőségromlását vagy elvesztését okozhatja. A korszerű digitális rádiórelé berendezések és összeköttetések tervezéséhez ma már nem hagyható figyelmen kívül a külső zajok hatása. A zajforrások közül feltűnően jelentékeny a robbanó motorok gyújtórendszerétől származó zaj. Ezért a tárgyalás során elsősorban a gyújtástól eredő zaj jellemzői, terjedése és a digitális rádiórelékre gyakorolt hatása kap bővebb megvilágítást.

2. A külső zajok felosztása, jellemzőik

A külső zajokat keletkezési helyük és származásuk jellege alapján az 1. ábrán ábrázoltak szerint osztjuk fel.

2.1 Természetes forrásból származó külső zajok

Természetes forrásúnak tekintjük mindazokat a külső zajokat, amelyek emberi beavatkozás nélkül keletkeznek és működnek. A természetes forrásból származó külső zajok keletkezési helyüket illetően tovább csoportosíthatók.

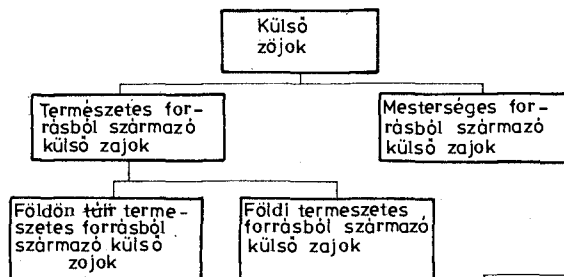
2.1.1 Földön túli természetes forrásból származó külső zajok

— A Galaktika sík zaja.

A Galaxis középpontjától a Galaktika síkba kisugárzó zaj. A zajszint itt általában 20 dB-nél nagyobb, mint a Galaktika egyéb részein. A 10 MHz-en mért térerősség $0,9 \mu\text{V/m}$. A frekvencia növekedésével a térerősség csaknem lineárisan csökken, például 80 MHz-től 10 000 MHz-ig 50 dB-es csökkenés tapasztalható. 160 MHz felett a rádiórelé rendszerekre gyakorolt hatása elhanyagolható.

— A nyugodt Nap zaja.

2 GHz alatt jóval alacsonyabb, mint a Galaktika sík zaja és a frekvencia növekedésével itt is állandóan csökken a szintje.



B 230 -1

1. ábra. A külső zajok felosztása

— A Nap zaja kitörés idején.

Napkitöréskor a zajszintben közel 30 dB-es ugrás tapasztalható. Az aktív Nap zaja 80 MHz és 1 GHz között kb. 10 dB-lel nagyobb, mint a Galaktika sík zaja.

— A Cassiopeia zaja.

Egyike a nagy intenzitású kozmikus zajforrásoknak. 60 MHz felett jóval alacsonyabb szintű, mint a nyugodt Nap zaja.

2.1.2 Földi természetes zajforrásból származó zajok

— Az atmoszféra zaja.

A légkörben lejátszódó elektromos kisülés (villámlás) hozza létre. Ezért a zajszint függ a vizsgált frekvenciától, napszaktól, évszaktól, időjárástól, földrajzi elhelyezkedéstől. Az esős évszakban, a Karib tenger térségében, Kelet Indiában, az egyenlítői Afrikában, Észak Indiában különösen magas a zajszint. Szerencsére 20 MHz felett rohamosan csökken a zaj térerőssége, amely 10 MHz-en $1\mu\text{V/m}$ értékű.

— Csapadékzaj.

A levegőben levő, nagy sebességgel mozgó esőcseppek, jég szemek, hópelyhek, homokszemek (sivatag) az antennához ütközve elvesztik a súrlódás következtében nyert töltésüket. Az apró kisülések az antennán zajfeszültséget hoznak létre. Az antenna nagyfeszültségre töltődhet fel és megindul a korona kisülés, amely jelentékeny zavaró energiát szolgáltat. Természetesen az antenna közelében levő más fémtárgyak is feltöltődhetnek és kisülhetnek, kellemetlen interferenciát okozva. A keletkezett zaj-térerő azonban 10 MHz felett rohamosan csökken.

2.2 Mesterséges forrásból származó külső zajok

Az emberi tevékenység eredményeként számos olyan elektromos készülék üzemel, amely zavaró elektromágneses hullámot bocsát ki. A rádiókészülékek általában keskenysávú, míg az egyéb villamos berendezések szélessávú zajt termelnek. A továbbiakban csak a szélessávú zavarokkal foglalkozunk. A szélessávú zavarokat ember okozta zajnak vagy ipari zajoknak is nevezik. A mérővevőben hallható hang alapján a következők szerint csoportosíthatók.

2.2.1 A mérővevőben zúgó vagy sivítő hangot keltő zajok (gyakran sercegő hang kíséri)

Általában a következő készülékek okozzák:

- Összeadó gépek
- Hajszárítók
- Fodrász nyírógépek
- Pénztárgépek
- Fogászati berendezések
- Edénymosók
- Dagasztógépek
- Gravírozógépek
- Elektromos szárítók
- Ventilátorok

- Elektromos hűtőszekrények
- Elektromos varrógépek
- Lifttek
- Mezőgazdasági világítási hálózat
- Tábori induktoros telefonok
- Padlókefélék
- Áramfejlesztők
- Légnedvesítők
- Áramátalakítók
- Hordozható villanyfűrók
- Nyomdagépek
- Elektromos játék vonatok
- Porszívók
- Elektromos órlőkészülékek
- Mosógépek

2.2.2 A mérővevőben kerepelő, zümmögő és gyorsan kattogó hangot keltő zajok

Általában a következő készülékek okozzák:

- Gépjárművek elektromos gyújtórendszere
- Zümmerek és elektromos csengők
- Fogorvosi készülékek
- Tárcsás telefonok
- Lift vezérlő rendszerek
- Áramszaggatók egyenirányítók

2.2.3 A mérővevőben erősen zümmögő vagy hirtelen változó hangot keltő zajok

Általában a következő készülékek idézik elő:

- Légtisztítók
- Akkumulátortöltők
- Diathermiás készülékek
- Termény órlők
- Neon lámpák
- Olajégetők gyújtórendszere
- R—I indukciós kemencék
- Röntgen berendezések

2.2.4 A mérővevőben sercegő vagy köpködő hangot keltő zajok

Általában a következő készülékektől származnak:

- Rossz elektromos érintkezések
- Hibás lámpafoglatat vagy konnektor
- Lift vezérlés
- Nagyfeszültségű távvezetékek
- Trolibusz vagy villamos áramszedő

2.2.5 A mérővevőben pattogó hangot keltő zajok

A következő készülékek okozzák:

- Villanyírógépek
- Lift vezérlések
- Neon reklám világítás
- Inkubátorok
- Higanygőz egyenirányítók
- Villanymelegítők
- Táviró jelfogók
- Forgalmi jelzőlámpák

3. A villamosgyújtású belsőégésű motoroktól származó rádiófrekvenciás zavarok hatása a digitális rádióelőlkre

3.1 A gyújtászej keletkezése

A benzinmotorokban, Otto- motorokban a levegő – benzin keveréket elektromos szikra gyújtja meg. Ez a keverék az égés során rendkívül gyorsan, robbanásszerűen kitágul és mozgási energiát szolgáltat. A szikra külön erre a célra készített eszközben az úgynevezett gyújtógyertyában keletkezik. A gyertyában megfelelően kiképzett szikraköz van, ez termikus, elektromos, mechanikus kialakítás szempontjából az optimumot megközelíti. A szikra létrehozására a 2. ábrán látható elektromos áramkör szolgál.

A szikrához szükséges nagyfeszültség úgy jön létre, hogy a nagyfeszültségű transzformátor primer tekercsével sorban elhelyezett megszakító megszakítja az áramkört (akkumulátoros gyújtás). A megszakítót a motor főengelye vezérli, hogy a szikra – a gyújtás – a dugattyúk helyzetének megfelelően mindig optimális időben történjen. Többhengeres motoroknál az elosztó osztja el a nagyfeszültségű lökést az egyes hengerek között. A gyújtás bekötve helyezése előtt a megszakító rövidzárát állapotban van és az akkumulátor árama (12 voltos akkumulátor esetén ≈ 4 A) áthalad a gyújtótranszformátor tekercsén. A tekercs mágneses terében felhamozott energia:

$$W = \frac{1}{2} Li^2(J), \quad (1)$$

ahol L a primer tekercs inductivitása, i pedig a tekercest átjáró áram.

A megszakítás pillanatában az eddig rövidzárát C kondenzátor feltöltődik és ezzel lehetőséget ad a gyors kikapcsolásra, egyben megakadályozza az érintkezők idő előtti elhasználódását, beégését. A tekercs árama rendkívül rövid t idő alatt megszűnik és igen nagy feszültség indukálódik a tekercsben:

$$u = -L \frac{di}{dt} (V), \quad (2)$$

A feszültség csúcsa 10...20 kV értékű. Ez a feszültség feltölti a szekunder tekercsre kapcsolódó elosztó és gyertya vezetékének kapacitását (50...100 pF). A gyertya szikraköze a nagy feszültség hatására ionizálódik, vagyis kialakul az ív, a szikra. A feszültség hirtelen lecsökken 3–5 kV értékű ionizálási feszültségre. Ez addig tart, amíg a transzformátorban tárolt energiából futja, majd a gyertya íve kialszik.

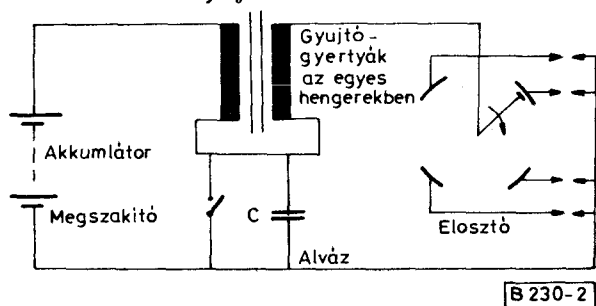
A vezetékben és a transzformátorban megmaradt elektromos energia a vezeték inductivitása és kapacitása által meghatározott frekvencián, a veszteségek által meghatározott idő alatt oszcillálva lecseng (3. ábra).

Az oszcilláló áram a 200 A-t is elérheti. A gyújtásperiódus (T_0) a fordulatszám (n) pillanatnyi értékétől függ. A négyütemű motorok minden második fordulatonál gyújtanak. Négyhengeres, négyütemű motornál a gyújtási periódus:

$$T_0 = \frac{30}{n} (s), \quad (3)$$

ahol n = fordulat/perc.

Gyújtótranszformátor



B 230-2

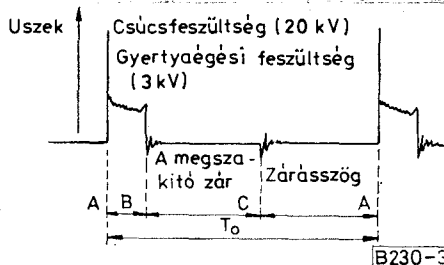
2. ábra. A gyújtószikra létrehozása

A teljes gyújtásperiódus két részre osztható: zárási tartományra és A–B–C tartományra. Az A–B tartománynak kisebbnek kell lennie, mint $T_0/2$ -nek. Így például 6000 fordulat/perc esetén az $A-B < T_0/2 = 2,5$ ms.

A gyújtás ismétlődési frekvenciája:

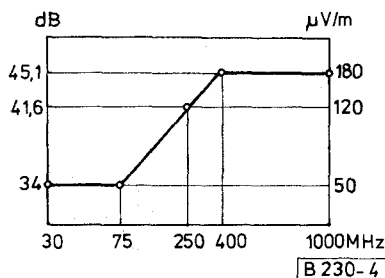
$$f_0 = \frac{1}{T_0} \text{ (Hz)}. \quad (4)$$

Az ismétlődési frekvencia általános esetet tekintve 5...200 Hz között van. Például az előző 6000 fordulat/perc esetén $f_0 = 200$ Hz. Minden szikra kialakása után a vezetékben maradt elektromos energia jelentékeny rádiófrekvenciás teljesítményt kisugározva lecseng. A maximális kisugárzott teljesítmény 40–100 MHz-es frekvenciatartományban mérhető, de igen jelentős szinttel kell számolni 600 MHz-ig. Nem zavarmentesített gépkocsi esetén 10 m távolságról mérve a csúcstérerősség elérheti a 800–1000 $\mu V/m$ értéket. A zavarmentesített gépkocsinál a zajtér-



B 230-3

3. ábra. A gyújtás idődiagramja, ahol A–B a gyújtógyertya tartomány, B–C a gyújtótekercs és kondenzátor tartomány, C–A zárási tartomány.



B 230-4

4. ábra. Megengedett zavar-térerősség szint

erősség természetesen jóval alacsonyabb. A Magyarországon megengedett értéket a KPMSZ P263.4-71 szabvány, közel azonosan más külföldi szabványokhoz a 4. ábrán látható módon adja meg.

A mérés elrendezésére az 5. ábra nyújt felvilágosítást, egyéb feltételeit pedig a KPMSZ P260.1 szabvány írja elő.

Az IEEE által javasolt módszer alapján több gépjárművet megvizsgáltak (a mérő botantenna a gépkocsi elején és hátulján volt elhelyezve) és a 6. ábrán látható zajszinteket kapták a különböző frekvenciákon (1961 előtti gépkocsik esetén).

3.2 A villamos gyújtású belsőégésű motoroktól származó rádiófrekvenciás zavarok terjedése

A gyújtószikra által keletkezett rádiózavar intenzitása, frekvenciatartománya sok tényező közreműködésének az eredménye. Primer sugárzóként szerepelnek a gyújtókábelek. Ezek önrezonanciájukon sugároznak legerőteljesebben. A közelben levő más elektromos vezetékek, fémrudak, fémlapok gerjesztést kapva szekunder sugárzóként működnek. Ezek méreteik, elhelyezkedésük szerint más és más frekvenciát emelnek ki a szikra széles spektrumából. A gépháztető például személykocsik esetén 80–120 MHz-en rezonál, illetve emel ki. A zaj terjedését illetően az Orion DM400/6 és DM400/32 rádiórelék üzemeltetésénél végzett megfigyelések és mérések során a következők voltak megállapíthatók:

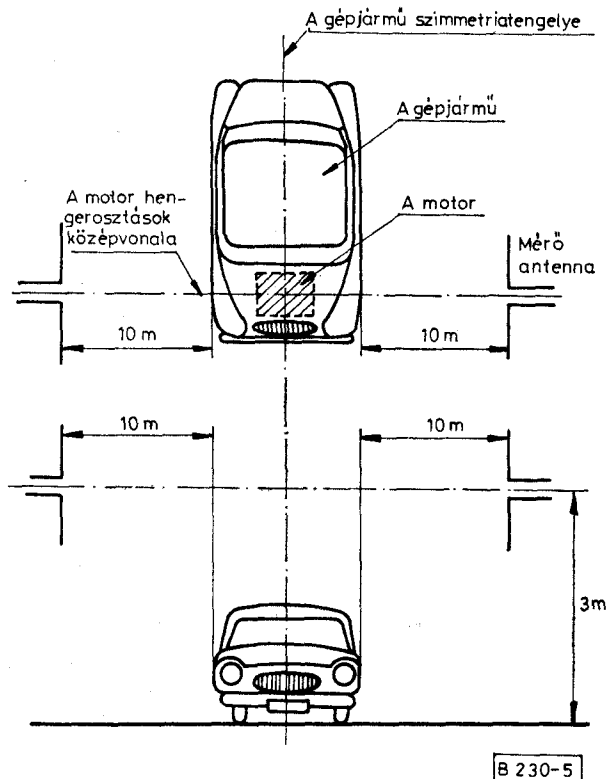
- A zavar szint a távolság növekedésével rendkívül gyorsan csillapodott. Kb. 1 km távolságban levő gépkocsi egy 20 dB fadingtartalékkal rendelkező DM400/6 rádiórelé távbeszélő csatornáira gyakorlatilag nem fejtett ki észlelhető zavaró hatást.
- Függőleges polarizációs síkban, nagyobb távolság esetén kisebb zavar szint mérhető.
- Több jelforrásból (gépkocsitól) származó zavaró jelek a vevőnél összegeződnek és ennek eredményeként nő a zavaró jelszint és a zavaró impulzusok frekvenciája.

Városokban, ipari központokban, nagyfoglalmú utak mentén a zavar szint mindig jelentős. Igen kellemetlen, gépjárművek gyújtásától származó zavar volt tapasztalható az Irak déli részén, Basra-ban telepített, a 7. ábrán látható rádiórelé állomáson.

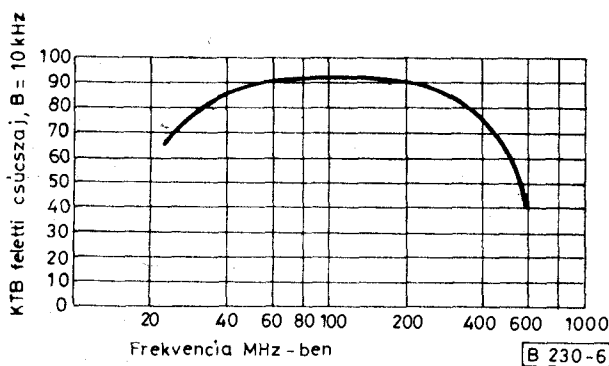
Az állomás közvetlen közelében levő téren nappal megnövekedett a gépjárműforgalom. Régi típusú, nem zavarmentesített gyújtórendszerű buszok (8. ábra), és jórészt még nem zavarmentesített személygépkocsik vettek részt a forgalomban (9. ábra).

A zavar szint az üzemelő gépjárművek növekvő számának megfelelően növekedett. A legzavartatottabb periódus délelőtt 10-től délután 4 óráig tartott. Az átlagos zavar szint ekkor Rohde- & Swartz mérővevővel mérve 15 dB-lel volt nagyobb a KTB-nél.

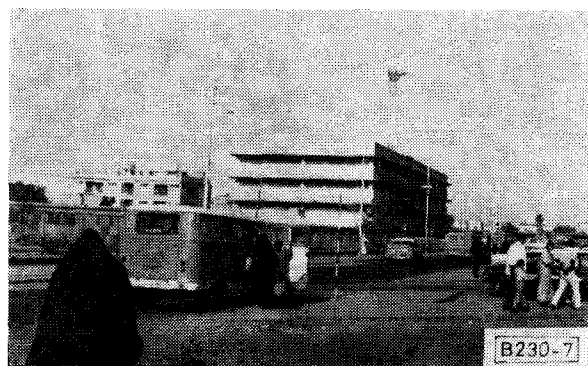
Ellis Ausztráliában a mérések alapján egy úgynevezett „helyszini zajtényezőt” javasolt az ipari zavarok kifejezésére. A helyszini zajtényező dB-ben mért zavar szint a KTB felett. Vizszintes polarizáció esetén igen jó korrelációt vett észre a gépjárművek



5. ábra. Példa gépjárművek zavar-térerősségének mérési elrendezésére



6. ábra. Zavar szint különböző frekvenciákon



7. ábra. DM 400/6 típusú rádiórelé állomás helix antennával

forgalmi sűrűsége és a helyszíni zajtényező között 420 MHz-en:

$$Fh = 7 \log(D - 10) \quad (\text{dB}), \quad (5)$$

ahol $D = 10 \log$ (a közvetlen közelben haladó összes gépjárművek száma).

Pl. 20 gépjármű esetén $Fh = 3.3 \text{ dB}$,
100 gépjármű esetén $Fh = 7 \text{ dB}$.

Az Egyesült Államok nagy gépkocsiforgalmú városaiban az alábbi zavar szinteket mérték különböző frekvenciákon:

Frekvencia MHz-ben	Átlagos zajszint dB	Csúcs zajszint dB
40	16 a KTB felett	80 $1 \mu\text{V}/\text{MHz}$ felett
150	14 a KTB felett	80 $1 \mu\text{V}/\text{MHz}$ felett
450	8 a KTB felett	70 $1 \mu\text{V}/\text{MHz}$ felett

A gépjárművek gyújtászáján kívül számos más elektromos készülék termel zajt a 400 MHz-es sávban, ezért egy adott állomás közelében rendkívül nehéz szétválasztani a különböző zajforrásokból származó külső zavart. Az Egyesült Államok különböző városaiban 10 kHz sávzélességű vevővel mért zajforrások zajcsúcs intenzitását láthatjuk $\mu\text{V}/\text{m}$ -ben a 10. ábrán.

Minthogy a szóbanforgó zaj szélessávú, ezért gyakran a könnyebb felhasználhatóság végett a jelentkező zajszintet antenna zajtényezővel (Fa) vagy antenna zajhőmérséklettel fejezik ki.

$$Fa = Pn/kT_0B = Ta/T_0, \quad (6)$$

ahol Pn = egy veszteségnélküli antennán rendelkezésre álló zajteljesítmény (W)

T_0 = referencia hőmérséklet, 290 °Kelvin,

k = Boltzmann-féle állandó,

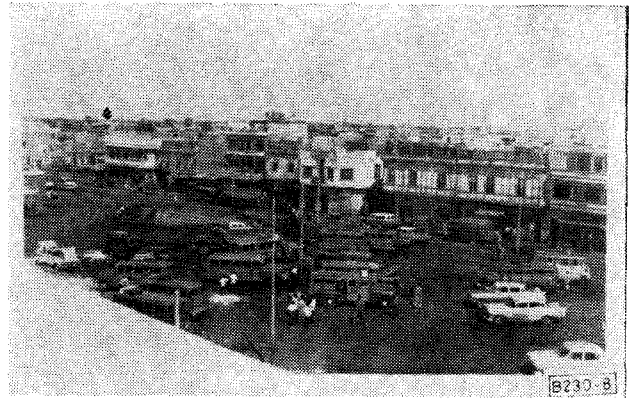
B = effektív vevő zajsávzélesség (Hz),

Ta = effektív antenna zajhőmérséklet külső zaj esetén (Kelvin fokban).

A 11. ábrán a különböző zajforrásokból származó zajszinteket látjuk antenna zajtényezővel és antenna zajhőmérséklettel kifejezve.

A bemutatott ábrákból egyértelműen kiderül, hogy a 400 MHz-es sávban működő rádiórelékre elsősorban az ipari zavarok fejtik ki a legnagyobb hatást. A városok középpontja tekinthető legzavartatottabb területnek, mint ahogyan ezt az Indiában végzett mérések adataiból szerkesztett 12. ábra bemutatja.

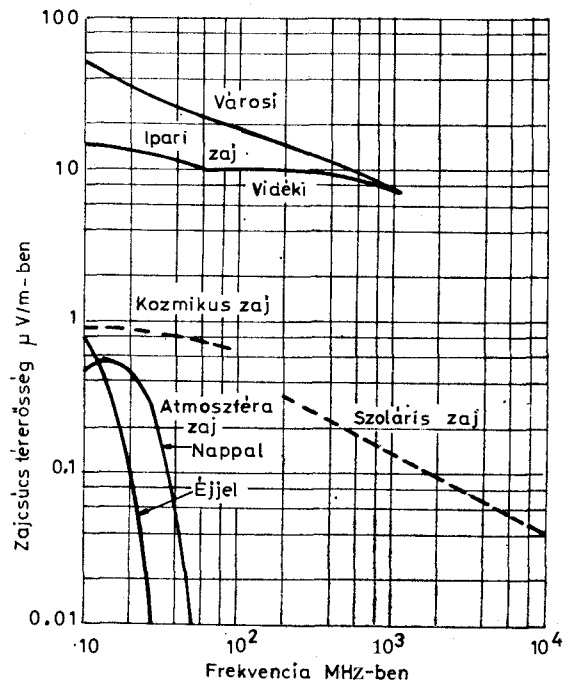
A zajforrástól terjedő elektromágneses hullám elméleti úton számított csillapítása eltér a gyakorlati méréseknél tapasztaltaktól. Az elmúlt néhány év folyamán azonban különböző országokban végzett mérések statisztikai analizálásának eredményeként olyan empirikus formulához sikerült jutni, amely lehetővé teszi a 30-tól 1000 MHz-ig tartó frekvenciasávban 30-tól 1500 m távolságig a föld felszínétől számított 1-től 4 m magasságon belül a télerősség meghatározását. Reflektáló felületektől távol, sík



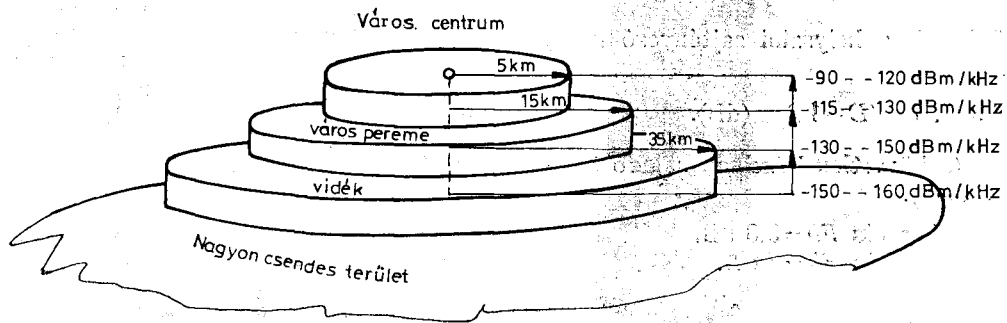
8. ábra. A basrai fabuszok



9. ábra. Nem zavarmentesített gépkocsik



10. ábra. Különböző zavarok zajcsúcs télerőssége



B 230-12

12. ábra. Ipari zaj a 150–500 MHz-es sávban (mérővevő B = 500 kHz)

terepen, a zajforrástól 20–300 m-en belül, 0,5 és 4 m magasságok között a külső zaj térerőssége:

$$E_d = E_{30} \left(\frac{D}{30} \right)^{-1,4} |1^{1/2}| \quad (\mu\text{V/m}), \quad (7)$$

ahol:

- E_d = D távolságban jelentkező térerősség $\mu\text{V/m}$ -ben,
- E_{30} = 30 méteres távolságban mért térerősség $\mu\text{V/m}$ -ben,
- D = távolság m-ben.

A standard szórás szélső értéke s , a következő formula alapján határozható meg:

$$s = 1,5 + 0,005D \quad (\text{dB}). \quad (8)$$

Nem tökéletesen sík és nem reflexiómentes terep esetén a mérési eredmények a frekvenciától is függően eltérnek. Különösen az épületek reflexiója, diffrakciója okoz jelentős változást. Ezért célszerű a vizsgálat helyszínét az alábbiak szerint csoportosítani:

- vidéki terület, ahol a beépített rész 2% alatt van,
- városzéli terület, ahol a beépített rész 2% és 15% között van,
- városi terület, ahol a beépített rész 15% felett van.

Ha a zajforrás 30 m-nél távolabb van, akkor a térerősség az alábbi formulával határozható meg:

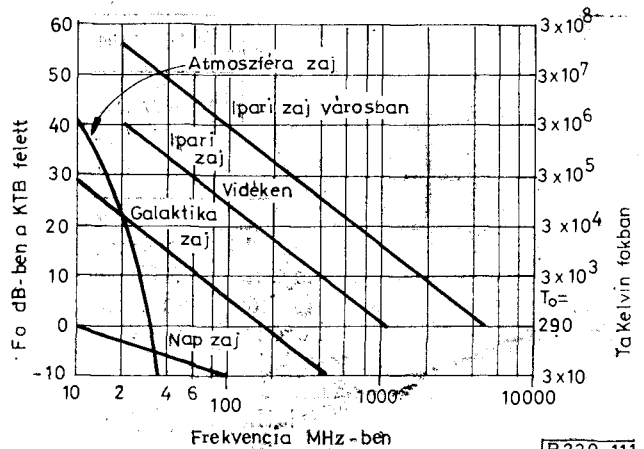
$$E_d = E_{30} \left(\frac{D}{30} \right)^{-n} \quad (\mu\text{V/m}), \quad (9)$$

ahol:

- E_{30} = a zajforrástól 30 m-re mért térerősség $\mu\text{V/m}$ -ben,
- D = távolság méterben,
- n = tapasztalati átlagos csillapítási tényező az alábbi táblázat szerint:

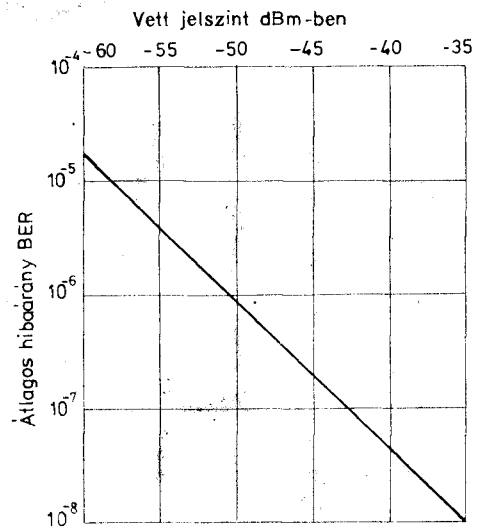
Frekvencia tartomány (MHz)	Vidéki terület		Városzéli terület		Városi terület	
	n	s standard szórás szélső értéke (dB)	n	s standard szórás szélső értéke (dB)	n	s standard szórás szélső értéke (dB)
30-tól 400 MHz-ig	2,2	6	2,8	7	3,5	9
400-től 1000 MHz-ig	2,8	7	3,5	9	—	—

Megjegyzés: 1 000 MHz körül az épületektől származó reflexió és diffrakció miatt a mérés megbízhatatlanná vált, ezért a városi területen az n értéke nincs feltüntetve.



B 230-11

11. ábra. Különböző zavarok antenna zajhőmérséklete és antenna zajtényezője



B 230-13

13. ábra. BER a vett jelszint függvényében gyújtás-zavar mellett

3.3 A gyűjtászej digitális rádiórelékre gyakorolt hatásának szubjektív megfigyelése

A külső zajok közül a 400 MHz-es sávban működő digitális rádiórelékre a gyűjtászej fejt ki a legnagyobb hatást. Ez a forgalmi csatornában szabályosan pattogó hangként jelentkezik. A pattogás sűrűsége függ a közelben haladó gépjárművek számától és a gyújtóimpulzusok ismétlődési frekvenciájától. Kisebb forgalomtól származó zavar nem rontja lényegesen a távbeszélő csatornákon folytatott beszélgetések érthetőségét, azonban rendkívül bántó lehet a fül számára. A forgalom növekedésével szaporodik a pattogások száma és hirtelen romlani kezd az érthetőség. Jelentős közeli gépjárműforgalom esetén a digitális rádiórelé szinkronizmusa gyakran kimarad és a távbeszélő csatornában hallható pattogó hang mellett a beszéd időnkénti megszakadása is észlelhető. Ilyenkor már nem lehet elfogadható távbeszélőkapcsolatot fenntartani. Sokkal kellemetlenebb hatás figyelhető meg a jelző- és táviró-csatornákon. A jelző-csatornákon nyugalmi állapotban az impulzus beütések indokolatlan hívást idéznek elő. Automatikus távbeszélő központhoz csatlakozva a megkezdett hívásoknál a „plusz” impulzusok téves hívást okoznak. Erős külső zavar esetén előálló nemkívánatos tárcsaimpulzussorozat a csatlakozó távbeszélőközpontot annyira leterhelheti, hogy a vonalakat le kell kapcsolni róla. Táviró vagy telex üzemből, ha nincs külön hibavédelem biztosítva, az impulzuszej karakterhibát okoz. Kisebb zavaratás szöveges táviratoknál a nyelv redundanciája miatt még elviselhető, de az adattovábbítást megnehezíti. Az eddigi tapasztalatok alapján a 400 MHz-es sávban működő digitális rádiórelék átviteli minőségromlását az idő kis hányadában nem a fading, hanem elsősorban a gyűjtászej okozta.

3.4 A gyűjtászej hatása a digitális rádiórelék bittévesztésére

1972-ben egy PCM rádiórelé üzemét vizsgálták meglehetősen nagy gyűjtás-zavar mellett Helsinkiben. Az összeköttetés műszaki adatai az alábbiak voltak:

Szakasz hossza:	27 km
Antenna nyeresége:	14 dB
Üzemi frekvencia:	367 MHz
Adóteljesítmény:	4 W = 36 dBm
Moduláció:	bináris FSK 1600 kbit/s sebességgel modulálva
Frekvencialöklet:	1 MHz
Vevő sávszélesség:	1,8 MHz
Névleges szakaszcsillapításnál (96 dB) a vett jelszint:	-60 dBm
Termikus zaj 1,8 MHz sávszélességnél (3 dB-es pont) detektálás előtt:	-104 dBm
C/N névleges szakaszcsillapításnál:	44 dB
Gépkocsik gyűjtászej csúcsfeszültsége:	60 μ V/50 ohm 120 kHz-es sávszélesség esetén (6 dB-es pont)

Gyűjtászej nélkül a névleges szakaszon mért bittévesztés gyakorlatilag nulla volt, ekkor a 10^{-6} BER-hez tartozó fadingtartalék 26 dB. Nappal a gyűjtászej elérte a legmagasabb értéket és az átlagos BER $2 \cdot 10^{-5}$, csúcserőteke 10^{-4} volt. A vételi jelszint emelésével lehetett csökkenteni a bittévesztést. Megközelítőleg 7 dB-es vételi szint növekedés okozott $1/10$ -es csökkenést a bittévesztésben a 13. ábra szerint. A gyűjtászejtől származó bittévesztés növekedését úgy is felfoghatjuk, hogy csökkent az összeköttetés fadingtartaléka, mivel a vételi szint növelésével a zavar előtti BER érték helyreállítható. A fadingtartalék csökkenését vagy a digitális rádiószakasz impulzuszej miatti romlását, melyet D_i romlási tényezővel jelölünk, igen egyszerűen lehet mérni.

Egy működő digitális rádórelé összeköttetés fadingtartalékát, az R_m -et a 14. ábra alapján mérhetjük meg.

Az adó moduláló jelsora egy álvéletlen jelsor. A vevő által vett álvéletlen jelsort a tévesztésmérő értékeli. A mérés kezdetén mind az adónál, mind a vevőnél állítható csillapító nélkül ellenőrizzük az alaptévesztést. Ezután a vevőoldali állítható csillapítóval addig növeljük a csillapítást, amíg a 10^{-3} BER értéket elérjük. Ekkor a leolvasott csillapítás megegyezik a szakasz fadingtartalékával R_{m1} -el, ha nincs külső zaj. Végezzük el a mérést úgy is, hogy a vevőoldalon kivesszük a csillapítót és az adóoldalt állítjuk (pl. szolgálati csatornán keresztül) mindaddig, amíg a vevőoldalon 10^{-3} BER értéket nem mérünk. Az így kapott fadingtartalék R_{m2} . Ha az $R_{m1} = R_{m2}$ eset áll fenn, akkor nincs mérhető külső zaj, $R_{m1} > R_{m2}$ -nél azonban már külső zajjal kell számolni és a romlási tényező:

$$D_i = R_{m1} - R_{m2} \quad (\text{dB}), \quad (10)$$

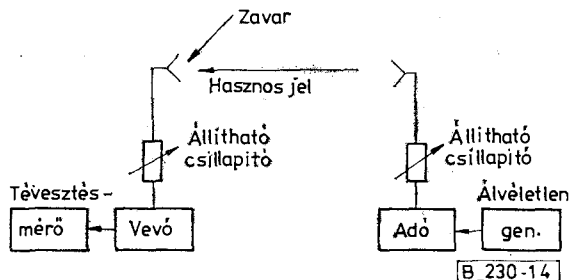
ahol:

D_i = a romlási tényező dB-ben,

R_{m1} = a vevőoldali csillapítóval mért fadingtartalék dB-ben,

R_{m2} = az adóoldali csillapítóval mért fadingtartalék dB-ben.

Természetesen a tévesztés 10^{-3} értékének meghatározására más egyszerűbb módszer is használható. Az ORION DM400/6 és DM400/32 rádiórelékből felépített, különböző helyeken működő összeköttetések mért D_i tényezőit táblázatba foglaltuk. A táblázatban szereplő mérési eredményekhez azt a kiegészítést kell fűzni, hogy nem hosszú idejű mérésekről van szó, hanem a feltételezett legzavartatottabb periódus rövid idejű vizsgálatáról.



14. ábra. A fadingtartalék mérése

Ország	Vevőállomás	Adóállomás	Di dB-ben
Irak	Basra	Műtrágyagyár	15
	Műtrágyagyár	Basra	5
	Basra	Papírgyár	15
	Papírgyár	Basra	2
	Arbil	Salahudin	5
	Salahudin	Arbil	0
	Saqlawa	Salahudin	0
	Salahudin	Saqlawa	5
	Saqlawa	Harir	0
	Harir	Saqlawa	0
Irán	Teherán CPO	Sharerey	20
	Sharerey	Teherán CPO	10
	Pahlavi	Rasht	5
	Rudsar	Amlesh	5
	Amlesh	Rudsar	0
	Bahar	Hamadan	0
	Hamadan	Bahar	10
	Pakisztán	Lyallpur	Chiniot
Chiniot		Lyallpur	2
Di Khan		Darya Khan	5
Darya Khan		Di Khan	0
Kuvait	Kuvait TC	Earth st.	10
	Earth st.	Kuvait TC	2
	Ahmadi	South Sheiba	10
	South Sheiba	Ahmadi	0

A mérések eredményei a következő észrevételeket sugallják:

- A városok (Basra, Teherán) központjaiban mérhető a legnagyobb romlási tényező (15–20 dB).
- Kis gépkocsiforgalommal rendelkező vidéki településeken is tapasztalható 2–5 dB romlási tényező.
- Éjjel csaknem mindenütt 0 dB-re csökkent a romlási tényező.

Más digitális rádiórelék bittévesztésére vonatkozó megfigyelések eredményét az alábbiak szerint lehet összefoglalni, hozzátéve, hogy a mai digitális rádiórelék vevőit általában Gauss zajra optimalizálva tervezik, pedig a két zaj hatása lényeges eltérést mutat.

- Állandó szintű vételi jel esetén, nagy jel–zaj viszonynál az impulzus-zaj több tévesztést okoz, mint a Gauss zaj, kis jel–zaj viszony esetén azonban a Gauss zaj okoz több tévesztést.
- Rayleigh fadinges jelnél a Gauss zaj okoz több hibát minden jel–zaj viszonyra vonatkozóan, lassú, emelkedő fading esetén az impulzus-zaj okoz több hibát, vagyis tévesztést. Diverzítói vétel használatkor az impulzus-zaj sokkal kedvezőtlenebb hatást okoz.
- Differenciálisan koherens fázisbillyentyűzés esetén a hibapárosodás csökken a jel–zaj viszony növekedésével, ugyanakkor az impulzus-zaj növekedésével pedig nő.

- Szabályos idő-sáv szélesség termékkel rendelkező rendszereknél az illesztett szűrőjű vevő az impulzus-zajokra is optimumot ad.
- A zaj-elynomási eljárások, mint például a szélessávú határolás, a spektrumkiterjesztés stb. nem jelentősen hatékonyak nagy jel–zaj viszony esetén.
- Azok a vevők, amelyeket speciálisan terveztek egy jellemző típusú zaj elnyomására lényegesen jobb eredményt adnak, mint a „szabvány” zaj-elynomású megoldások.

4. A gyűjtászaj jellemzői, mérése

4.1 A gyűjtászaj jellemzői

A belsőégésű motorok elektromos gyűjtásától származó zavart a CCIR 334–2 Ajánlása a kvázi-impulzív interferencia kategóriába sorolja. A kvázi-impulzív zaj tulajdonképpen két extrém zajtípus között helyezkedik el. Az egyik szélső típus a termikus vagy fehérzaj, amely rendszertelen amplitúdójú és alakú impulzusok sorozata és olyan sűrűn követik egymást az impulzusok, hogy a vevő időállandója alatt átlapolódnak. A másik típus a tiszta impulzus-zaj, amely csaknem azonos amplitúdójú szabályosan ismétlődő rövid impulzusok sorozata, ahol az impulzus hossza rövidebb mint a vevő időállandója az ismétlődési periódusa pedig hosszabb. Így a vevő gyakorlatilag az egyenkénti impulzusokra reagál. Egy gépkocsi esetén az impulzus szélessége néhány nanoszekundum, míg az ismétlődési periódus 5–200 msec körül van. Ekkor a zaj tiszta impulzus-zajnak tekinthető. Városokban sok gépkocsitól érkező impulzusok már sűrűbben és viszonylag véletlenül helyezkednek el az időtartományban, ezért már a kvázi-impulzív zaj kategóriájába kell sorolnunk, tulajdonságában pedig egyre jobban jelentkezik a fehérzajhoz tartó közeledés.

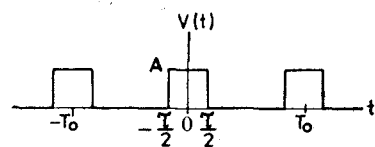
Egy gépkocsi gyűjtőszikrájának zavaró jele a 15. ábrán látható $v(t)$ periodikus jellel jellemezhető. Mivel az impulzusok pontos alakja nem ismeretes, ezért négyszögletes impulzusok sorozatát használjuk fel a matematikai modellhez.

A négyszögletes impulzus matematikai leírása az időtartományban:

$$v(t) \begin{cases} A & |t| < \frac{\tau}{2} \\ 0 & |t| > \frac{\tau}{2} \end{cases} \quad (11)$$

ahol:

- τ = az impulzus szélessége (sec),
- A = az impulzus amplitúdója (V).



B230-15

15. ábra. Egy gépkocsi gyűjtőszikrájának zavaró jele

Szeretnénk a periodikus hullámalak vonalas spektrumát $c(nfo)$ meghatározni. Mindjárt az elindulásnál észre kell venni, hogy a jelnek ugrásszerű szakadása van a $t = \pm \tau/2$ helyeken és a $v(t)$ értéke a szakadásoknál határozatlan. Természetesen a matematikai modellen levő ugrásszerű szakadás a valóságban nem létezik. Az átmeneti idő elhanyagolása nem okoz gondot, mivel az sokkal rövidebb az impulzus időtartamánál, ezenkívül a $c(nfo)$ meghatározása elsősorban elvi következtetések céljára szolgál. A Fourier-sor együtthatói:

$$c(nfo) = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} v(t) e^{-j2\pi n f_0 t} dt = \frac{1}{T_0} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} A e^{-j2\pi n f_0 t} dt =$$

$$= \frac{A}{-j2\pi n f_0 T_0} (e^{-j\pi n f_0 \tau} - e^{j\pi n f_0 \tau}) = \frac{A}{\pi n} \sin \pi n f_0 \tau, \quad (12)$$

ahol: T_0 = periódusidő (sec), és felhasználtuk azt a tényt, hogy $f_0 T_0 = 1$ és $e^{j\phi} - e^{-j\phi} = 2j \sin \phi$. A fenti összefüggés valamivel egyszerűbb lesz a sinc függvény bevezetésével, amely a következőképpen írható le:

$$\text{sinc} = \frac{\sin x}{x}, \quad (13)$$

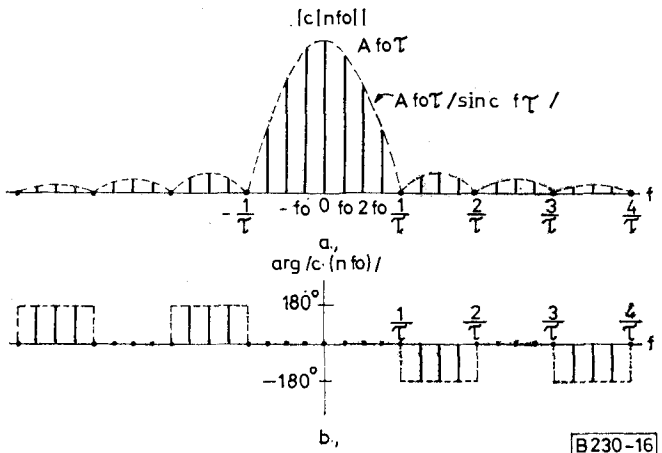
ahol az x független változó.

A sinc függvényt felhasználva a négyszögletes impulzussorozat Fourier-sorának együtthatói a következők:

$$c(nfo) = A f_0 \tau \frac{\sin \pi n f_0 \tau}{\pi n f_0 \tau} = A f_0 \tau \text{sinc } \pi n f_0 \tau, \quad (14)$$

amelyek az időtől függetlenek és szigorúan valós értékűek, mivel a $v(t)$ valós és páros. Ezért az amplitúdó spektrum: $|c(nfo)| = A f_0 \tau (\text{sinc } \pi n f_0 \tau)$, amely a 16a ábrán látható, $f_0 \tau = 1/4$ esetén. A spektrumvonalak burkolóját szaggatott vonallal jelöltük. A $\pm 4 f_0$, $\pm 8 f_0$ stb. spektrumvonalak hiányoznak, mivel $1/\tau$ többszöröseinél a burkoló egyenlő nullával.

Az egyenáramú komponens amplitúdója: $c(0) = A f_0 \tau = A \tau / T_0$. A 16b ábrán látható a fázis spektrum, amely mindig valós, de néha negatív értékű. 100 Hz-es impulzus ismétlődési frekvenciát véve alapul ($T_0 = 10$ msec), $\tau = 2$ nsec impulzusszélességnél a spektrum burkolója 500 MHz-nél lesz nulla amplitúdójú és a spektrumvonalak 100 Hz-re helyezkednek el egymástól. A mikrohullámú vevő sávszűrője a spektrum 400 MHz-es tartományából 1,5 MHz szélességű „ablakon” (DRF 04/32 esetén) látja a spektrumvonalakat (kb. $1,5 \cdot 10^5$ mennyiségűt). A vevő számára az impulzus-zaj olyan szélessávú zavart jelent, amely elől frekvenciaváltással a 390–470 MHz-es sávban kitérni nem lehet. A gyűjtőszikra viszonylag széles spektruma azonban csak némi módosulással jut el a mikrohullámú vevőkhöz. Ezen módosító tényezők közé tartozik a primer sugárzó rendszer (gyűjtőkábelek, elosztó, elosztóvezeték, transzformátor stb.), a szekunder sugárzó rendszer, és a terep terjedést befolyásoló tényezői (reflexió, diffrakció). Minthogy a gyűjtőimpulzus szélessávú, ezért a különböző sávzélességű vevők eltérően reagálnak a zavarra. Ha a

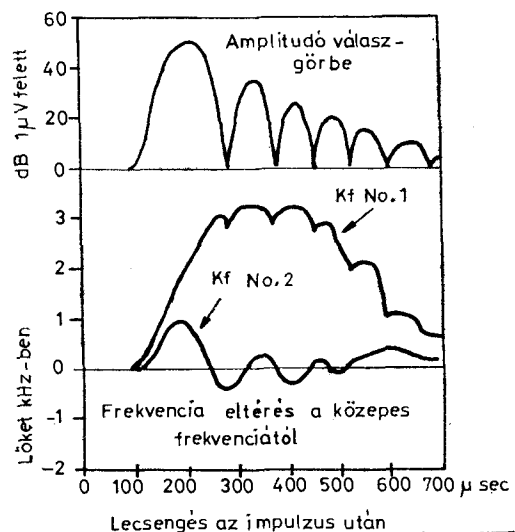


16. ábra. A négyszögletes impulzussorozat spektruma, a) amplitúdó, b) fázis

zavar sávzélessége $1/\tau$, és a vevő a sávzélessége B , akkor $B \gg 1/\tau$ esetén a vevő gyakorlatilag (a késleltetéstől és a szűrő csillapításától eltekintve) változás nélkül átviszi az impulzust. $B \ll 1/\tau$ esetén azonban az átvitt impulzus szélessége megnő. Keskeny impulzust kapcsolva egy sávszűrőre, amely B sávzélességgel rendelkezik a válaszimpulzus minimális szélessége (τ min.) megközelítőleg a következő egyenlőség alapján határozható meg:

$$\tau \text{ min} \geq \frac{1}{2B}. \quad (15)$$

Például egy 2 nsec-os gyűjtésimpulzus $B = 1,5$ MHz-es vevőnél 333,3 nsec-os, $B = 10$ kHz-es vevőnél 50 μ sec-os válaszimpulzust hoz létre. Ha $T_0 = 10$ msec, akkor a vevő szinte az egyenkénti impulzusokra válaszol. A 17. ábrán egy keskenysávú vevő impulzusra adott válaszát láthatjuk AM és FM üzemmódban oszcilloszkóppal vizsgálva. A vevő bemenetére kapcsolt impulzus spektrum intenzitása 90



17. ábra. Keskeny sávzélességű vevő amplitúdó és frekvencia válasza a zavaró impulzusra

dB μ V/MHz volt. A No1-es KF szűrő normál, míg a No2-es KF fázis-hangolt. Mikrohullámú vevők zavartatásának vizsgálatához szükséges a vételi frekvencia közelébe eső zavaró impulzus egyetlen frekvenciakomponensének csúcsertékét (P), és az impulzus ismétlődési frekvenciáját (f_0), ismerni.

A vevőbe érkező hasznos jel tulajdonképpen a vevőben keltett maximális amplitúdójú zavaró impulzussal interferál. A C.I.S.P.R. szerint egy G erősítésű, B sáv szélességű lineáris vevőben a P csúcsertékű impulzus az alábbi csúcsamplitúdójú jelet hozza létre:

$$U_{\max} = G \cdot P \cdot B \quad (\text{V}). \quad (16)$$

Az impulzus-zaj hasonlóan a fehérzajhoz széles frekvenciaspektrummal rendelkezik, ezért spektrum-sűrűséggel vagy spektrumintenzitással jellemezhető. A gyakorlatban a zajfeszültség spektrumintenzitását mérik Volt/Hz-ben vagy ennek megfelelő egységeiben. A mért feszültséget egy olyan csúcfszültséghez viszonyítják, amely egy egységnyi sáv szélességű vevőben keletkezne impulzus hatására. Impulzus-zaj esetén mind a csúcfszültség, mind az az átlagos teljesítmény lineárisan nő a sáv szélességgel, míg fehérzaj esetén a feszültség négyzetgyökösen, az átlagteljesítmény pedig lineárisan nő a sáv szélességgel.

4.2 A gyűjtés zaj mérése

Rádiórelé berendezések telepítése előtt, még a tervezés stádiumában rendkívül fontos a várható interferencia szintjének ismerete. A rádiórelék üzemeltetésekor gyakran elkerülhetetlen a jelentkező zavarok analízise. Az impulzus zavarok mérése azonban nem tartozik az egyszerű mérések közé. A mérési eredményt számos tényező befolyásolja. Ezek közül a legfontosabbak: a vevő sáv szélessége, a detektálás típusa, és az interferencia összetétele (szinuszjel, véletlen zaj, impulzus zaj). Kevésbé fontos tényezők, de hatásuk bizonyos körülmények között jelentős lehet: túlerhelődési tényező, az AGC típusa, tükrörfrekvencia elnyomás, KF elnyomás, parazitajelek elnyomása, a mérőműszer időállandója és csillapítása stb. Az interferenciák mérési módszereinek kiválasztásához nyújt segítséget a CCIR 433-3 Ajánlása. Elméleti és gyakorlati megfontolások alapján az alábbi mérési módszerek adnak viszonylag pontos eredményt az impulzus spektrum amplitúdójáról:

- területi módszer,
- szabvány tápvonal módszer,
- harmonikus mérés,
- energia módszer.

Bármely módszert is alkalmazunk mérőkészülékünk nagyrésze effektív szinuszfeszültségben van kalibrálva, ezért a mért szinusz és impulzusjel amplitúdója között eltérés mutatkozik. A mérések elvégzése előtt ellenőrizni kell műszerünk alábbi $R(f, f_0)$ amplitúdó kapcsolatát:

$$R(f, f_0) = \frac{U}{S(f_0)}, \quad (17)$$

ahol:

- $S(f_0)$ = a bemenetre jutó impulzus feszültség spektrum amplitúdója V-ban,
- U = a bemenetre jutó szinuszfeszültség effektív értéke az f_0 vételi frekvencián V-ban,
- f_0 = az impulzus ismétlődési frekvenciája Hz-ben.

Egy adott $v(t)$ jel spektrum amplitúdója az f_0 mérőfrekvencián az alábbi összefüggéssel adható meg:

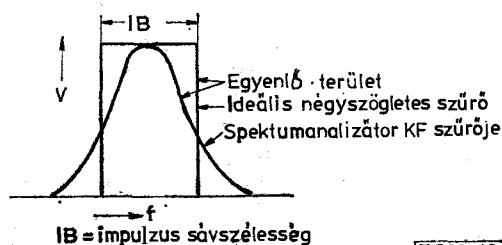
$$S(f) = 2 \left| \int_{-\infty}^{+\infty} V(t) e^{-j2\pi f t} dt \right| \text{ volt-sec}$$

30 és 1000 MHz között a C.I.S.P.R. meghatározása szerint 100 Hz impulzus ismétlődési frekvencia esetén $R_{100} = 22\,700 \frac{1}{\text{sec}}$.

4.2.1 Az impulzus zaj mérése panorámavevővel, spektrumanalizátorral

A 400 MHz-es sávban működő digitális rádiórelé vonalak tervezésekor az impulzus zavarok felderítésére, már üzembehelyezett rádiórelék esetén pedig az impulzus zavarok analízisére célszerű panorámavevőt vagy spektrumanalizátort használni. Ez a műszer lehetővé teszi, hogy a zavar térorösségét, spektrumintenzitását a rendszer működésének teljes sávjában, egyszerűen, pontosan mérjük. Lehetőség van a spektrumkép fotózására is. Mint ahogy az impulzus zaj fáziskohereNS, vagyis az egyes spektrumkomponensek bármely pillanatban fázisban koherensek az összes többi spektrumkomponenssel, ezért, amikor megkétszerezünk a sáv szélességet, akkor a mért zajfeszültség is megkétszereződik. Az impulzus által létrehozott feszültség a spektrumanalizátor KF-jén tehát sáv szélességfüggő. Ezért az impulzus zaj amplitúdóját normalizálni kell a műszer impulzus-zaj sáv szélességéhez, amely úgy definiálható, mint egy ideális négyszögletes sáv szélességgel rendelkező szűrő, amelyen ugyanakkora feszültség keletkezik, mint a műszer tényleges KF szűrőjén. Az ideális szűrő értelmezése a 18. ábrán látható.

Az impulzus zaj spektrumintenzitásának méréséhez a spektrumanalizátor sáv szélességének szélesnek kell lennie az impulzus ismétlődési frekvenciájához képest, de keskenynek az impulzusszélesség reciprokához képest. Amint a 19. ábrán látható a spektrumanalizátor sáv szélessége magába foglal néhány spektrumvonalat.



230-18

18. ábra. Az impulzus zaj sáv szélessége

A spektrumanalizátor impulzus sávszélességét az alábbi formula alapján határozhatjuk meg:

$$IB = \frac{VR}{SI}, \quad (19)$$

ahol:

SI = a spektrum intenzitása V/Hz-ben,
 VR = az analizátorban keltett zajfeszültség (V),
 IB = impulzus sávszélesség Hz-ben.

A spektrumanalizátor csúcválasza minden egyes impulzusra úgy tekinthető, hogy egy adott pillanatban a sávszélességbe eső összes spektrumkomponens lineárisan összeadódik és létrehozza a csúcválaszt. Így a spektrumintenzitás nem más, mint az egységnyi frekvencián található spektrumvonalak száma szorozva az egyes vonalak amplitúdójával. Spektrumanalizátorral történő méréseknél az alábbi lépéseket kell végrehajtani:

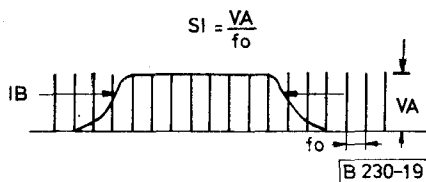
- meghatározni a spektrumanalizátor impulzus-sávszélességét,
- átalakítani a kívánt frekvencián mért amplitúdót dBm-ről dB μ V/kHz-re,
- a kapott spektrumintenzitást normalizálni 1 MHz-es sávszélességre.

Ha a spektrumanalizátort megfelelő sávszélességű antennával látjuk el, amelynek ismerjük a K antennatényezőjét, akkor a műszer alkalmas a zavar térerősségének meghatározására is az alábbi összefüggés alapján:

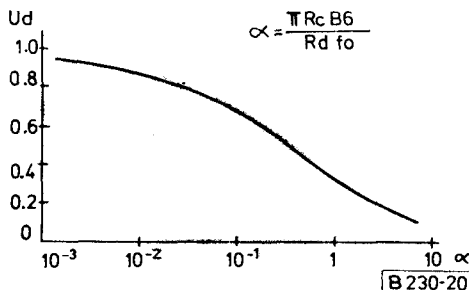
$$E = K V_r, \quad (20)$$

ahol:

E = a térerősség volt/méterben (vagy dB μ V/m-ben),
 K = az antennatényező l/m-ben (vagy dB/m-ben),
 V_r = a vett feszültség voltban (vagy dB μ V-ban).



19. ábra. A spektrumanalizátor impulzus sávszélessége

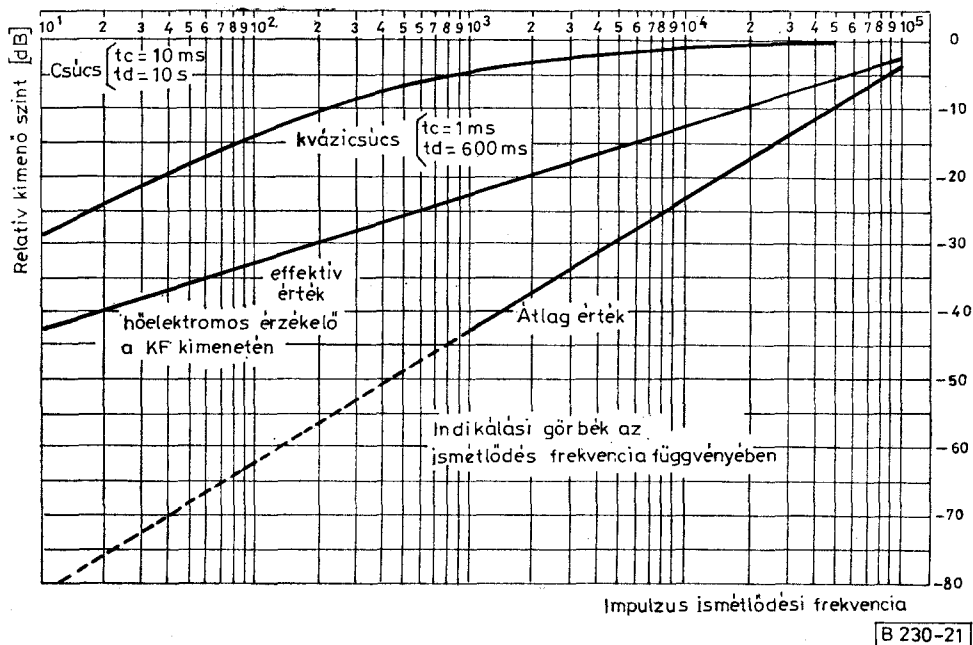


20. ábra. Az U_d impulzus egyenirányítási tényező. Ahol R_c töltőellenállás ohmban, R_d kisütőellenállás ohmban, B_6 sávszélesség (a 6 dB-es ponton) Hz-ben, f_0 impulzus ismétlődési frekvencia Hz-ben

1.2.2 Az impulzus zaj mérése mérővevővel

A mérővevő egyszerű és kényelmes eszköz az impulzus zajok mérésére. Műszaki paramétereit és a mérés módszerét illetően, a pontos eredmény érdekében teljesíteni kell a C.I.S.P.R. 4. Kiadványában szereplő előírásokat. A mérés eredményét elsősorban a vevő sávszűrőjének szelektivitás görbéje és a detektálás típusa befolyásolja. A 20. ábrán egy kvázicsúsdetektor impulzus válaszgörbéjét látjuk a csúcválaszhoz viszonyítva az α függvényében.

A mérővevő detektortípusának ismerete feltétlenül szükséges. A csúsdetektor feszültsége egye-



21. ábra. A különböző detektorok relatív kimenőszintjei

nesen arányos az impulzus sávszélességgel (B), de nem függ az impulzus ismétlődési frekvenciájától. Az impulzus csúcsfeszültsége a csúcsetektoron:

$$U_{cs} = 1,41 \cdot A \cdot IB, \quad (21)$$

ahol:

U_{cs} = a csúcsetektor feszültsége voltban,

A = az impulzus területe voltszekundumban,

IB = a sávszűrő impulzus sávszélessége Hz-ben.

A gyakorlatban ezért a kvázicsúcsetektort célszerű alkalmazni. Impulzus hatására a kvázicsúcsetektoron keletkező feszültség:

$$U_{kcs} = 1,41 \cdot A \cdot IB \cdot Ud(\alpha), \quad (22)$$

ahol $Ud(\alpha)$ = a kvázicsúcsetektor egyenirányítási tényezője (lásd a 20. ábrát). Az átlagfeszültséget mérő detektor feszültsége egyenesen arányos az impulzus ismétlődési frekvenciájával, de nem függ a vevő sávszélességétől:

$$U_a = 1,41 \cdot A \cdot f_0. \quad (23)$$

Alacsony impulzus ismétlődési frekvencia esetén a mért feszültség értéke nagyon kicsi, ezért impulzus-zaj mérésre általában nem használják. Az effektív értéket mérő detektor az alábbi feszültséggel válaszol az impulzusra:

$$U_{eff} = 1,41 \cdot A \cdot \sqrt{f_0 \cdot IB}. \quad (24)$$

Vagyis a kapott feszültség négyzetgyökösen ará-

nyos a sávszélességgel és az impulzus ismétlődési frekvenciával. A 21. ábrán különböző detektortípusok relatív kimenőszintjét látjuk a csúcsetektor szintjéhez viszonyítva

I R O D A L O M

- [1] Dr. Ambrózi András: Elektronikus zajok. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [2] RCA: Point-to-point radio relay systems 44 MHz to 13 000 MHz By RCA Service Company, 1972.
- [3] ITT: Reference data for radio engineers. Howard W. Sams and Co, Inc. 1972.
- [4] Donald G. Fink: Elektronikus Mérnök-engineers' Handbook. Mc-Graw-Hill. Inc. 1975.
- [5] Donald H. Hamsher: Communication System Engineering Handbook Mc-Graw-Hill. Inc. 1967.
- [6] RSGB: Radio Communication Handbook Volume 2. Garden City Press Limited, 1976.
- [7] John D. Lenk: Handbook of practical electronic tests and measurements. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- [8] Csepregi Horváth Kázmér: Elektronikai mérés-technika. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1979.
- [9] CCIR Recommendation 433-3 Volume I, XIVth Plenary Assembly Kyoto, 1978.
- [10] CCIR Report 670, Volume I, XIVth Plenary Assembly, Kyoto, 1978.
- [11] C.I.S.P.R. 4. C.I.S.P.R. measuring set specification for frequency range 300 MHz to 1000 MHz.
- [12] C.I.S.P.R. 4A. First supplement to C.I.S.P.R. Publication 4, 1967.
- [13] C.I.S.P.R. 5. Radio interference measuring apparatus having detectors other than Quasy-peak.
- [14] C.I.S.P.R. 7. Recommendations of C.I.S.P.R.
- [15] C.I.S.P.R. 7A. First supplement to C.I.S.P.R. Publication 7, 1973.