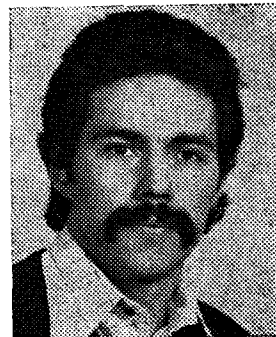


# Nagyfelbontású spektrummegfigyelési módszerek az amplitúdómodulált műsorszórásvók számára

DR. NOVÁK ISTVÁN

Budapesti Műszaki Egyetem Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék



## ÖSSZEFOGLALÁS

A műsorszórásvók zsúfoltsága szükségessé teszi olyan mérési módszerek alkalmazását, amelyek több azonos csatornás jelet is képesek mérni kis frekvenciakülönbség és nagy szintkülönbség esetén. A cikkben közölt mérési módszerek a rádiófrekvenciás csatornát alapsávba keverik és ott hangolható analog szűrővel vagy FFT analízissel végzik a jelek kiértékelését. Az elérhető frekvenciafelbontás millihertz, a dinamikatartomány meghaladja a 60 dB-t. Kialakítható számítógépezérelt, automatikus mérőrendszer is, amely a módszerek vezérlésén túlmenően a jelek azonosítását és hibakorrekciót is lehetővé tesz.

A kommunikációs és műsorszórási hálózatok működését egyebek között az azonos csatornás zavartatás is gátolhatja, amelynek oka lehet az átviteli rendszer valamely elemének nemlinearitása, vagy több, azonos névleges frekvencián dolgozó adó egyidejű működése.

Az azonos csatornás zavartatás mérésének korábban használt módszereit találhatjuk meg pl. [1], [2] és [3]-ban. A fontosabb módszerek, mérési módok:

- zavartatásmérés adóleállással
- műsorszünet alatti maradék moduláció mérése
- mérés nemzetközi mérőhálózattal
- szinkronhálózatokban használható módszer [2].

Ezen módszerek közös ismérve, hogy vagy nehezen kivitelezhetők (mint pl. a [3]-ban leírt módszer) vagy a zavartartásról csak kevés információt szolgáltatnak.

Az azonos csatornás zavarok mérési módszereivel szemben általánosságban az alábbi igényeket támasztjuk

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>— vivőszint</li> <li>— vivőfrekvencia</li> <li>— sávzélesség</li> <li>— beesési irány</li> </ul> | } | <p>mérése a csatornán egyidejűleg jelenlevő összes jelre</p> |
|---|---|--|

A fentieket még azzal a nyilvánvaló követelménnyel egészíthetjük ki, hogy ha a csatornán egyidejűleg több jel is van, akkor ezeket nagy vivőszint és kis vivőfrekvencia különbség esetén is egyenként tudjuk mérni. A hagyományos módszerek ezt csak nagyon korlátozottan teljesítik. Jellemző értéket tartalmaz pl. [4] a frekvenciamérésre (azonos szintű két vivőhullám frekvenciája külön-külön mérhető, ha a frekvenciakülönbség legalább 12 Hz) és [5] a térerősségmérésre.

A következőkben ismertetett nagyfelbontású spektrumfigyelési módszerek fő előnye a jelenlegieknél nagyságrendekkel jobb szelektivitás.

## DR. NOVÁK ISTVÁN

1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Mikrohullámú ágazatán. 1978-ban szerzett doktori címet rádióhíradástechnikai témában. 1976-tól 1980-ig a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszékén működő Úrkutató Csoport tudományos

segédmunkatársaként kapcsolóüzemi tápegységek és nagyfrekvenciás adó- és vevőkészülékek tervezésében vett részt. Később ugyanitt tanársegédként, illetve adjunktusként alapos szaktantárgyak oktatásában dolgozott. 1983-ban egyéves meghívásnak eleget téve a Design Automation, Inc. (USA) cégnél dolgozott fejlesztőmérnökként.

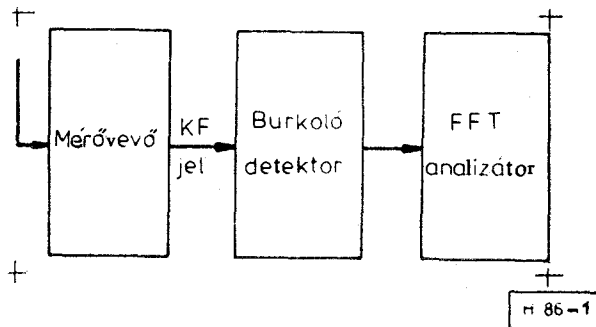
## Nagyfelbontású spektrumfigyelési módszerek

A nagyfelbontású spektrumfigyelési módszerek közös működési alapelve az, hogy a nagyfrekvenciás rádiócsatorna jelét az alapsávba lekeverve az egyidejűleg ott levő jelek relatív frekvencia különbségét megnövelik és a nagy felbontást az alapsávi jel feldolgozásával érik el (analog sávszűrőkkel vagy FFT analízissel segítségével). Az egyes módszerek között a különbség az alapsávba történő lekeverés módjában van.

## Burkolóanalízis módszerek

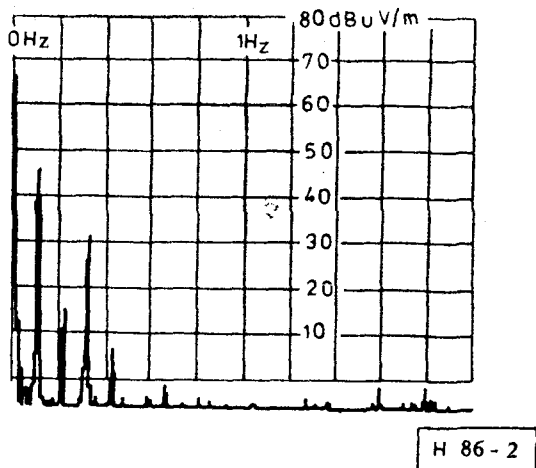
A burkolóanalízis módszer volt az első javaslat, amely a hagyományos mérési módokhoz képest gyökeresen új elvet használt. Ismertetése megtalálható pl. [6] és [7]-ben. Az alapelvet egy magyar szabadalom [8] és két magyar, a CCIR 1-es és 10-es Tanulmányi Bizottsághoz benyújtott dokumentum [9], [10], rögzíti.

A módszer lényege: A nagyfrekvenciás csatorna jelét a mérővevő a fix középfrekvenciára transzponálja, ahonnan az alapsávba keverést burkolódetektor végzi. A demodulált jelben az egyenáramú összetevő a legnagyobb szintű jel vivőhullám szintjével arányos.



1. ábra. Blokkséma a burkolóanalízis módszerhez. A mérővevő hangolási módjára és fáziszajára nem kell előírást tenni

Beérkezett: 1985. VII. 1. (\*)



2. ábra. A spektrumanalizátor ernyőjén megjelenő kép. A mérés a Magyar Posta Tárnoki Rádióállomásán készült 1981. április 26-án. Csatornafrekvencia 155 kHz. A DC komponenszt szolgáltató 67 dB  $\mu$ V/m szintű jel Brasov (ROU), a 46 dB  $\mu$ V/m-es jel Donebach (D), a 31 dB  $\mu$ V/m-es jel Engelsk (URS) adókból származott. A két kisebb szintű spektrumcsúcs az előző jelek kombinációs termékei

A kisebb szintű, azonos csatornás vivők a burkolóban a frekvenciakülönbségüknek megfelelő lebegéseket hoznak létre, melyek amplitúdója a kisebb vivők amplitúdójával arányos.

A módszer előnye:

— A mérőrendszer fáziszaja a mérést nem befolyásolja.

Hátrányai:

— Kis vivőszint különbségek esetén a mért eredményekben szisztematikus hiba keletkezik (lásd pl. [9], fluktuáló jelek mérések oroz az azonosítást megnehezíti).

— A módszerrel a vivőfrekvenciáknak csak a különbsége mérhető.

Egy lehetséges mérőösszeállítás blokkvázlatát a 1. ábrán, jellemző spektrumképet a 2. ábrán láthatunk.

### Szinkronizációs mérőrendszer kétutas szinkronizációs detektorral

A burkoló analízis módszer hiányosságainak kiküszöbölésére született a szinkronizációs mérőrendszer. Ennek részletes ismertetése olvasható pl. [11], [12], [13]-ban, az alapmegoldást találmányi bejelentés védi [14].

A megoldás lényege: a vevőkészülék középfrekvenciás jelét szinkronizációs keveri le az alapsávba. A névleges középfrekvenciának az alapsávi jelben 0 Hz felel meg.

A szinkronizációs alkalmazása hivatott kiküszöbölni a több vivőhullámból származó lebegések egymásra hatását és a szisztematikus hibák fellépését.

A módszer megoldásában emlékeztet a panoráma-vevők működésére azzal a különbséggel, hogy a nagyfelbontású mérőrendszerben szereplő FFT analízátor nagyságrendekkel jobb szelektivitást és a digitális működéséből fakadóan egyszerű számítógépes vezérlést és adatkiértékelést tesz lehetővé.

A mért frekvenciákban szinkronizációs alkalmazásakor is fellép egy bizonytalanság: a névleges vételi frekvencia körül a spektrum összefordul és ezek után csak a frekvenciareferenciától mért frekvenciakülönbség abszolút értéke mérhető. Összehasonlításképpen:

a burkolódetektornál a frekvenciareferencia mindig a csatornán jelenlevő legnagyobb szintű jel, ami időben változhat.

Ezt a bizonytalanságot hivatott kiküszöbölni a kétutas szinkronizációs detektor, melynek működését [13] magyarázza el.

A megoldás alap gondolata az, hogy a középfrekvenciás jelet két, ortogonális helyi oszcillátorjellel keverjük le az alapsávba. Az SSB vételi technikához hasonlóan az alapsávi jelben frekvencia előjelét a fáziskülönbségekből határozzuk meg. Lényeges új vonás viszont, hogy az SSB áramköröknél megszokott alapsávi szélessávú fázistoló szerepét itt az FFT analízátor veszi át.

A kétutas szinkronizációs módszer előnyei:

— A jelek egymástól függetlenül mérhetők.

— Szinuszos jelekre a valódi frekvenciaértékek meghatározhatók.

Hátrányai:

— A kétutas szinkronizációs kimeneti feszültsége hibát okoz.

— Az alapsávi spektrumképben csak a szinuszos jelek frekvenciaelőjele állapítható meg, valódi egyoldalsávú spektrumkép így nem nyerhető.

A 3. ábra a szinkronizációs mérés blokkvázlatát mutatja.

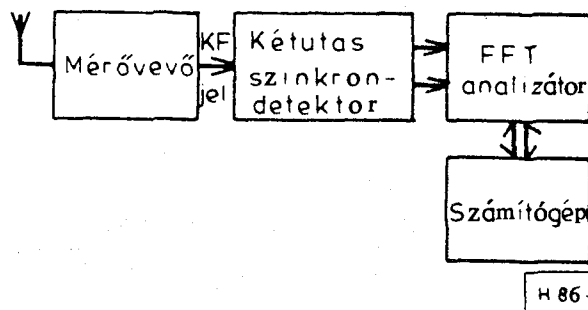
### Szinkronizációs mérőrendszer egyutas szinkronizációs detektorral

A kétutas szinkronizációs módszer hátrányai kiküszöbölhetők, ha a jelfeldolgozásra alkalmazott FFT analízátor rendelkezik változtatható spektrumnyújtással (zoom). Ilyen módon a nagy frekvenciafelbontást elérhetjük úgy is, hogy a mérővevő KF jelét névlegesen nem 0 Hz-re szorozzuk le, hanem az FFT analízátor maximális működési frekvenciájának kb. a felére. A 3. ábra blokkvázlatában a kétutas szinkronizációs egyik (tetszőleges) kimenete elhagyható.

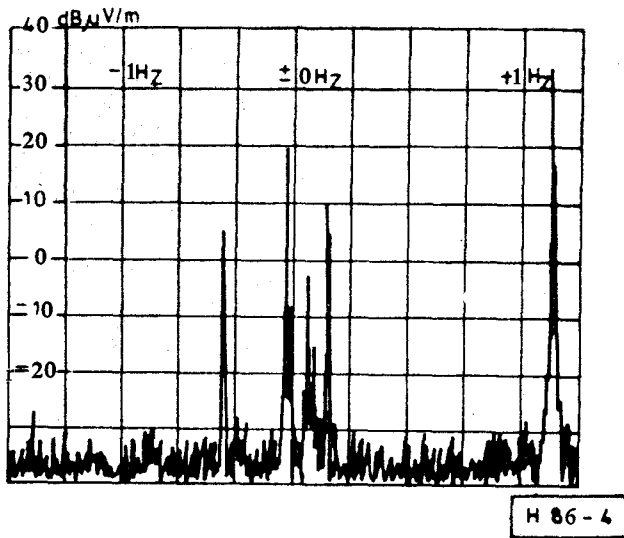
Egy jellemző spektrumképet mutat a 4. ábra.

Az analóg áramkörök offszethibájától és a spektrumösszefordulástól megszabadulva a mérési összeállítás így célszerűen kihasználhatja a digitális jelfeldolgozás előnyeit.

A Budapesti Műszaki Egyetem Mikrohullámú Híradástechnika Tanszékén és a Magyar Posta Tárnoki Rádióállomásán történtek a nagyfelbontású spektrummegfigyelési módszerek kísérleti és ellenőrző mérései. A vizsgálat körébe vont műszereket legjellem-



3. ábra. A kétutas szinkronizációs mérés blokkvázlata. A mérővevő kis fáziszajú, szintetizéres hangolású kell legyen. Valódi egyoldalsávú spektrumkép nyerhető, ha a FFT analízátor alkalmas változtatható spektrumnyújtásra (zoom)



4. ábra. Mérési eredmény a szinkron-detektorral. A valódi egyoldalsávú spektrumkép a 603 kHz-es műsorszóró csatornát mutatja 1985. május 2-án. A névleges csatornafrekvencia  $\pm 1$  Hz-es környezetében öt vivőhullám azonosítható

zőbb műszaki paramétereikkel együtt az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat.

A kísérleti mérések során alkalmazott műszerek

- Antenna: Rohde Schwarz, HFH2—Z2  
9 kHz—30 MHz, konverziós tényező 20 dB
- Vevő: Mechanikai Laboratórium, REV 251  
10 kHz—30 MHz, szintetizer lépésköz 1 Hz, utolsó KF 10 kHz
- Rohde Schwarz, ESH—3  
10 kHz—30 MHz, szintetizer lépésköz 100 Hz, utolsó KF 30 kHz
- Szinkron-detektor: Licencia, DSD 03  
egy- és kétutas szinkron-detekció, névleges bemenő frekvencia 10—600 kHz között állítható, belső vagy külső frekvenciaetalon
- FFT analízátor: BEAG, OMC 105  
0—10 Hz, 0—20 kHz között állítható frekvenciatartomány, zoom nélkül  
Brüel and Kjaer, 2033  
0—10 Hz, 0—20 kHz között állítható frekvenciatartomány, 10-szeres zoom  
Brüel and Kjaer, 2034  
0—1,5 Hz 0—25,6 kHz között állítható frekvenciatartomány, tetszőleges zoom
- Folyamatvezérlő számítógép: Rohde Schwarz, PUC 2 32 k RAM, 6502 processor

Számítógépes mérésvezérlés és adatfeldolgozás

A nagyfelbontású spektrumfigyelő rendszer a hagyományos mérési összeállításokhoz képest sokszorosán több kimeneti adatot szolgáltat. A nagymennyiségű adat kézi kiértékelése és feldolgozása nem lehetséges, így a méréshez számítógépes vezérlő és kiértékelő egység kell tartozzon.

A számítógép feladatai két nagy csoportba oszthatók:

- A műszerek vezérlése.
- A nyert spektrumok feldolgozása.

A műszerek vezérlése az IEEE 488/IEEC 625 szabványosított busz használható. A feladat szerteágazó és az alkalmazott műszerektől nagymértékben függ.

A spektrumok feldolgozása további részfeladatokra bontható, és ezek a funkciók műszerektől függetlenül, általános érvénnyel is tárgyalhatók. Mivel a mérőrendszer alapvetően amplitúdómodulált adások meg-

figyelésére szolgál, a feldolgozás elsősorban a szinuszos vivőhullámok azonosítását és megmérést célozza.

— Szinuszos jelek automatikus azonosítása a spektrumban.

— Az azonosított szinuszos jelek amplitúdójának, frekvenciájának és fázisának pontos meghatározása.

— Ortogonális alapsávi jelek feldolgozásakor a frekvencia előjelének megállapítása.

A szinuszos jelek amplitúdó, frekvencia és fázis jellemzőinek pontos meghatározása a véges mintavételi idő miatti hibák automatikus korrigálását jelenti. A hibák nagysága függ a felhasznált súlyozó függvényről. A determinisztikus jelekre előnyös Hanning súlyozás esetén az amplitúdóhiba 1,5 dB-ig, a fázishiba  $\pm 90^\circ$ -ig nőhet fel. A mért frekvenciákban a bizonytalanság  $\pm 0,5$  csatornaosztás. Ezen szisztematikussá rendszert hibák tárgyalása megtalálható [15]-ben, korrigálásukra javaslatot tartalmaz pl. [16].

A [10] ... [18]-ban leírt mérőrendszerhez kifejlesztett számítógépprogram az amplitúdóhibát 0,1 dB-re, a frekvenciabizonytalanságot a csatornaosztás 0,1-szeresére csökkenti az előbb említett maximálisan 1,5 dB, illetve 0,5 csatornaosztással szemben.

IRODALOM

- [1] I. Novák: Possibilities of Measuring Co-channel Interference among AM Broadcasting Transmitters. Fifth International Wrocław Symposium on 'Electromagnetic Compatibility, 1980. pp. 839—848.
- [2] Dr. Győri Tibor: Idegen középhullámú műsoradók okozta zavarás számítása a venni kívánt adó leállításával nélkül. PKI-tanulmány 1978.
- [3] P. Knight: Reception of Phase-Locked LF and MF Transmissions by Receivers Having Ferrite-Rod Antennas, Electronics Letters 3rd January 1980, Vol 16 No. 1.
- [4] Frequency Measurements at Monitoring Stations. CCIR Report 272—3 §2.7
- [5] Field-Strength Measurements at Monitoring Stations. CCIR Report 273—4 §2
- [6] I. Novák: The Envelope Analysis Method — A New Technique for Measuring Co-Channel Interference in the LF and MF Bands. E. B. U. Review-Technical, August 1981, No. 188.
- [7] I. Novák: Use of the Signal Analyzer Type 2033 for High-Resolution Radio Field Strength Measurements. Brüel and Kjaer Application Note, 1982.
- [8] Mérési elrendezés kis relatív frekvenciatávolságú szinuszos jelek amplitúdójának és/vagy frekvenciaeltérésének mérésére. G 01 R 23/16 jelű magyar szabadalom.
- [9] Proposed Modification to Report 516-1. CCIR Document 10/198-E, 18 May 1981.
- [10] Proposed Modification to Report 274-4. CCIR Document 1/143-E, 18 May 1981.
- [11] I. Novák: Computer Aided High-Resolution Field-Strength Measuring System (Description of Errors of EAM Caused by the Envelope Detector. Sixth International Wrocław Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1982. pp. 579—588.
- [12] I. Novák: High Resolution Radio Frequency Measurements. Electronic Engineering, August 1984. pp. 41—46.
- [13] Nouvelle technique de mesure de l'intensité de champ et de la fréquence assistée par ordinateur pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude. Előadás kézirat, Limours mérőállomás, 1982 október.
- [14] Mérési elrendezés kis relatív frekvenciatávolságú szinuszos jelek frekvenciájának mérésére. 2144/82 Lajstromszámú magyar találmányi bejelentés.
- [15] R. B. Randall: Application of B & K equipment to Frequency Analysis, Brüel and Kjaer, September 1977.
- [16] H. Renders, J. Schonkens, G. Vilain: High-Accuracy Spectrum Analysis of Sampled Discrete Frequency Signals by Analytical Leakage Compensation. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement Volume IM-33, December 1984. pp. 287—292.