

## Valós idejű spektrumanalízis

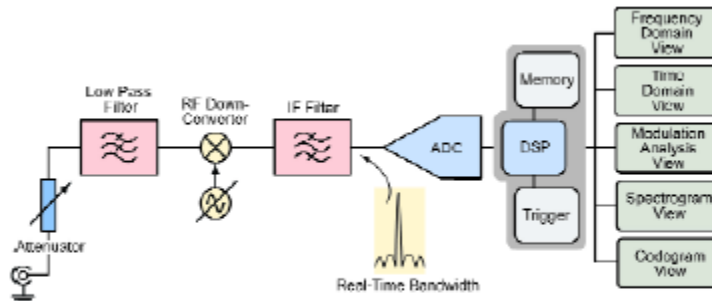
A rádiófrekvenciás jelek alkalmazásának és analízisének története egészen az 1860-as évekig nyúlik vissza, amikor is Maxwell matematikailag megjósolta az elektromágneses hullámok létezését. Azóta mérnökök és tudósok ezrei dolgoztak a rádiófrekvenciás elektromágneses hullámok innovatív, célorientált felhasználásán, például különböző információk nagytávolságú átvitelén a hullámok jellemzőinek módosításával, „modulálásával”. Természetesen ahhoz, hogy az újonnan fejlesztett rádiófrekvenciás technikák és áramkörök megfelelő működését ellenőrizzék és elemezzék, szükségessé vált a jel analízise a frekvenciatartományban is, és megszületett az ehhez szükséges műszer: a spektrumanalizátor. A hagyományos spektrumanalizátorok általában pásztázó, szuperheterodin elven működnek, vagyis az átfogott frekvenciasáv egyik végétől a másikig haladva, „pásztázva” mérik és jelenítik meg az adott frekvenciájú jelösszetevő amplitúdóját. Ez azt jelenti, hogy a működés elvéből következően minden időpillanatban csak egyetlen frekvencia-összetevőhöz tartozó amplitúdót képesek meghatározni, megjeleníteni. A befogott frekvenciatartomány teljes pásztázásához idő kell. Ez a műszaki megközelítés tehát akkor megfelelő, ha a vizsgált jel viszonylag stabil, spektruma nem változik az időben. Ha bármilyen változás következik be és ez a változás olyan frekvencián jelentkezik, amely egy adott időpillanatban éppen nem látható a spektrumanalizátor számára, akkor az nyilvánvalóan észrevétlen marad a mérés szempontjából.

A műszaki fejlődéssel azonban a spektrumanalízissel kapcsolatos követelmények is változtak, például azért, mert a modulációs technikák is egyre bonyolultabbak lettek. A vezeték nélküli hírközlés – amely egykor az egyszerű, folyamatos amplitúdó- és frekvencia-modulációs technikákat alkalmazta – ma már a sokkal bonyolultabb, az információt az idő-, frekvencia- és kód-tartományban szétterítő modulációs technikákat alkalmazza. Az ilyen jelek – mint például WLAN, DVB-T, RFID, 3G, 2G, – analízisére viszont már nem kielégítő egy átlagos pásztázó spektrumanalizátor.

A vektor-jelanalizátorok (VSA-Vector Signal Analyzer) is csak részleges megoldást adnak erre a problémára. Képesek arra, hogy pillanatszerűen készítsenek a vizsgált jelről a frekvencia- és a modulációs tartományban is, de az időben dinamikusan változó rádiófrekvenciás jelekről ezek sem adnak elegendő információt.

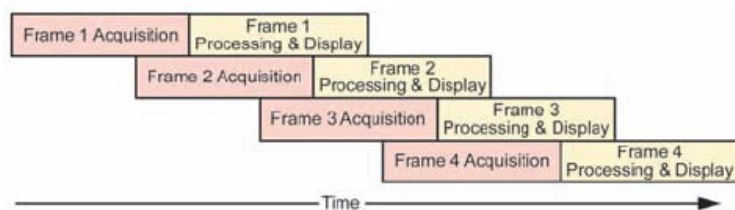
Ahhoz, hogy az időben változó spektrumot elemezni tudjunk, minden egyes időpillanatban minden egyes frekvenciát „látnunk” kell a befogott sávban. A Tektronix azért fejlesztette ki a valós idejű spektrumanalizátorokat, hogy ezek segítségével megbirkózhassunk az időben dinamikusan változó, illetve tranziens jellegű rádiófrekvenciás jelek befogásával, megjelenítésével és analízisével. A Tektronix RSA sorozatú valós idejű spektrumanalizátorok a hagyományos spektrumanalizátorokkal ellentétben nem a befogott frekvenciasávot pásztázzák végig, hanem a bejövő jelet digitalizálják, az egymás után következő 1024 mintavett pontból álló keretekre bontják, a kereteket blokkokba csoportosítják és azokon FFT műveletet, gyors Fourier-transzformációt hajtanak végre. Ilyen módon határozzák meg, „számítják ki” az egyes keretekhez, illetve a keretek által reprezentált bemenő jel-szakaszokhoz tartozó spektrumot.

Az 1. ábra mutatja a valós idejű spektrumanalizátor egyszerűsített felépítését.



1. ábra Valós idejű spektrumanalizátor blokkvázlata

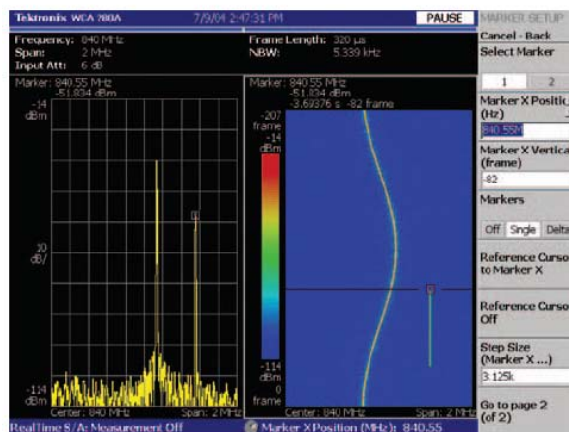
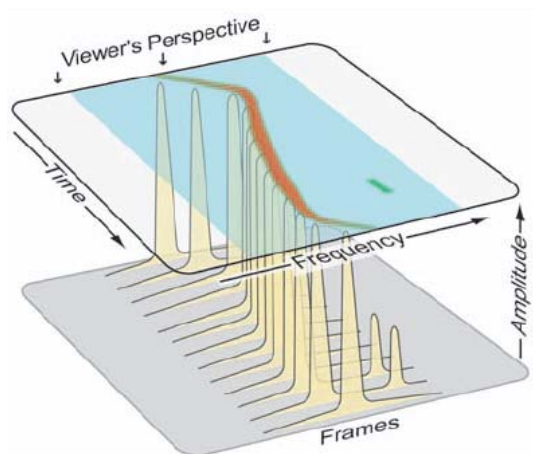
Ha a keretek mintavételezése időben átlapolódik, akkor a teljes időtartományban, a frekvencia-átfogás teljes sávszélességében biztosítottuk a folytonos jelbefogást, mint az a második ábrán látható. Miközben egy keret feldolgozása, a hozzá tartozó spektrum meghatározása folyik, már a következő keret befogása, mintavételezése, tárolása is megtörténik. Nincs kieső időpillanat, így a bejövő jel frekvenciatartománybeli megjelenítése is folyamatos lehet.



2. ábra A keretek átlapolása

A folyamatos frekvenciatartománybeli megjelenítés igen szemléletes módja a spektrogramnak nevezett kijelzési mód. Ekkor a befogott frekvenciatartomány az X tengelyen, az idő az Y tengelyen jelenik meg, míg a frekvencia-összetevők amplitúdóját, a felénk mutató Z tengelyen mért intenzitását színnel kódolva ábrázolja a spektrumanalizátor. Az Y tengelyen mért idő természetesen folyamatosan változik, így a 3. ábrán látható spektrogram az analizátor folyamatos működése esetén a vízéséshez hasonlatosan mozog fentről lefelé.

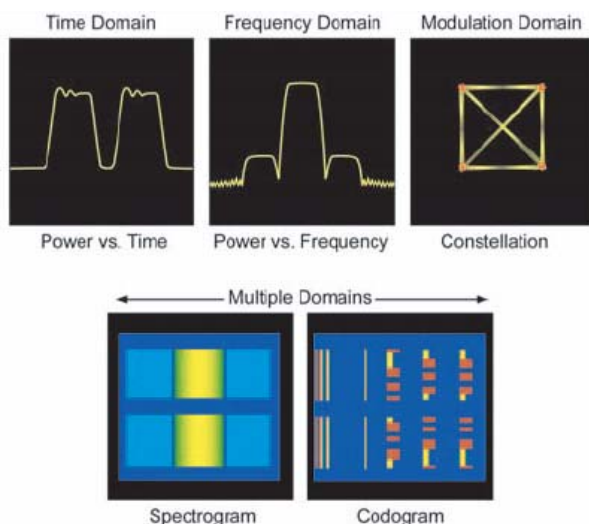
A spektrumanalizátor memóriájában nemcsak a már említett digitalizált bemenőjel-blokkok kerülnek tárolásra, hanem az egyes blokkokhoz tartozó, FFT-vel meghatározott spektrumok is, mégpedig szoros összerendezésben. Így, amennyiben a jelbefogást megállítjuk, akár el is indulhatunk visszafelé is az időtengelyen a spektrum időbeli változását elemezni. A 3. ábra spektrogramján egy vízszintes vonal jelzi az éppen vizsgált időpillanatot jelző kurzort, míg a baloldali ábra a hagyományos módon mutatja a bemenőjel spektrumát a kijelölt időpillanatban.



3. ábra A spektrum megjelenítése a valósidejű spektrumanalizátoron

Könnyen belátható, hogy a spektrogrammal bármilyen rövid időtartamú jelet, tranzienst megjeleníthetünk a spektrum-idő tartományban. Ugyancsak jól követhetők a frekvencia-ingadozások, a - színnel skálázott – amplitúdó-változások, a spektrumtelítettség, az időben elosztott, impulzusszerűen megjelenő jelek távolsága, a frekvencia hopping.

Miután a befogott jelet digitális formában tároljuk spektrumával együtt, lehetőség van arra is, hogy egyszerre több nézetből elemezhessük A valósidejű spektrumanalizátor egyedülálló tulajdonsága, hogy képes egyazon jel egyidejű, tehát időben korreláló elemzésére a frekvencia- az idő- és a modulációs tartományban is. Erre egyetlen más rendszerű analizátor sem képes. A modulációs analízis kiterjedhet az analógon kívül a digitális modulációkra is (FSK, BPSK, QPSK, QAM, OFDM, W-CDMA, GSM/EDGE, CDMA-2000, stb). Az RSA számos olyan mérést végez el, amely lényeges a jel modulációjának jellemzése szempontjából. Ilyenek például a konstellációs diagram, EVM mérés, fázishiba, demodulált I/Q az időben, szimbólumtábla, szemábra, stb.

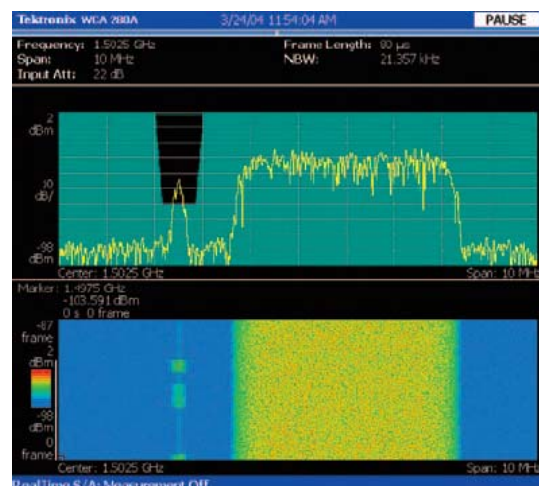
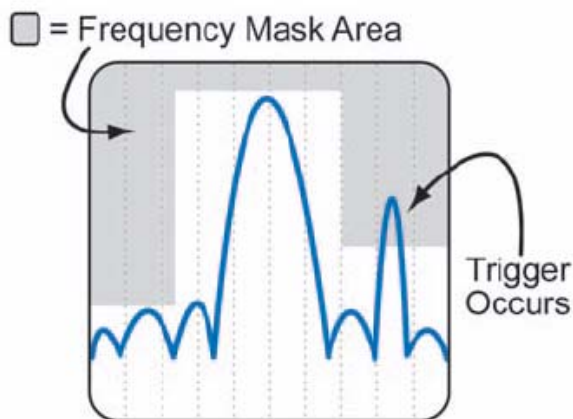


4. ábra Egyidejű jelanalízis több nézetben

Az RSA műszercsalád beépített triggerelési eljárásaival gyorsan és pontosan foghatunk be ismeretlen, aperiodikus, tranzienst jeleket is. Különleges, csak az RSA-nál alkalmazott

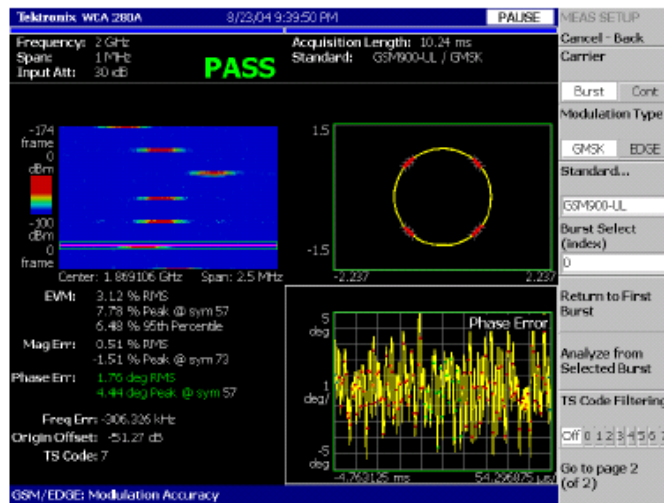
triggerelési mód a frekvencia-maszk triggerelés. Ennek lényege az, hogy egyszerű, grafikus eljárással egy amplitúdó-frekvencia diagramot, maszkot jelölünk ki a befogni kívánt frekvenciatartományban. Ha ebben a sávban, annak bármely frekvenciáján a bejövő jel szintje akár csak egy pillanatra is meghaladja a maszkon megszabott szintet, akkor ez elindítja a jelbefogást. Természetesen itt is létezik az elő-triggerelés lehetősége, tehát a memóriába a jelbefogást kiváltó eseményt megelőző pillanatok is eltárolhatók. Ne feledjük, hogy a valósidejű spektrumanalizátornál nincs kihagyott időpillanat: bármely, a vizsgált frekvenciasávba eső, megfelelő amplitúdójú tranziens garantáltan kiváltja a jelbefogást ( ld. 5. ábra ). Az eltárolt jel a már leírt módon utólag elemezhető.

A valósidejű spektrumanalizátor azáltal, hogy a mérési eljárásba bevonja az idő dimenzióját is, számos olyan mérési feladat elvégzésére képes, mely nélküle nagy nehézségekbe ütközne vagy egyenesen lehetetlen lenne. A teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány olyan alkalmazást, amelyekben különösen nagy segítséget nyújtanak a valósidejű spektrumanalizátorok. Ilyenek: tranziensek és dinamikusan változó jelek analízise, frekvenciacsomagok elemzése, rádióadók bekapcsolási tranzienseinek, PLL beállási folyamatának vizsgálata, időszakos interferenciák vagy zaj analízise, EMI diagnosztika, szórt spektrumú jelek befogása, frekvencia hopping analízise, frekvenciasávok használatának megfigyelése, illegális adások felderítése, lokátorok analízise.



5. ábra Frekvencia-maszk triggerelés

A Tektronix valósidejű spektrumanalizátorai közül az RSA2200A 3GHz, az RSA3300A, illetve az újonnan bejelentett RSA3408A 8GHz bemeneti frekvenciatartományú spektrumanalizátor. Az RSA3408A egyedülálló, 36MHz valósidejű jelbefogási sávszélességgel rendelkezik, opcionálisan akár 65,5 millió mintát, 1,28 másodpercnyi 36 MHz sávszélességű jelet is tárolhatunk 256 MB méretű memóriájában. A kiváló dinamikai tartomány és alacsony fáziszaj lehetővé teszi a nagy precizitású fáziszaj-méréseket és az alacsony jelszintű jelek vizsgálatát. Opcionális szoftvereivel könnyedén analizálhatóak a WLAN, RFID, 3G mobil, 2G mobil szabványok, GSM, PLL, EMC megfelelések. A 6. ábrán egy GSM jel analízisének eredménye látható, a frekvencia-hoppingot jól mutató spektrogrammal, konstellációs diagrammal, EVM méréssel és a fázishiba időfüggvényével.



6. ábra GSM jel analízise