

CRCS ALAPÚ RADAR TESZTER FEJLESZTÉSE

A légiirányításban használt primer radarok igen összetett szerkezetek, melyeknek megbízható pontos működése létfontosságú feladatuk teljesítése szempontjából. A rendszer felépítése következtében eddig egyes részeit nem, vagy csak igen jelentős munkálatok árán voltak képesek működés közben tesztelni a radar üzemeltetői. Ezt a feladatot hivatott megoldani a HungaroControl számára készülő radarteszter eszköz, melyet a BME Szélessávú és Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriuma fejleszt.

A RADAR HATÁSOS KERESZTMETSZET

A továbbiakban feltételezzük, hogy az olvasó tisztában van a radarok alapvető mérési és működési módszereivel [1]. Ezek ismertetésére a továbbiakban nem térünk ki.

A radar hatásos keresztmetszet (Radar Cross Section - RCS) annak a mérőszáma, hogy egy tárgy mekkora mennyiséget sugároz vissza az adott irányból érkező elektromágneses jelből. Ez az érték sok anyagi és az adott mérési esetre jellemző paramétertől függ, ezért volt célszerű bevezetni rá egy könnyebben kezelhető mennyiséget, az RCS-t.

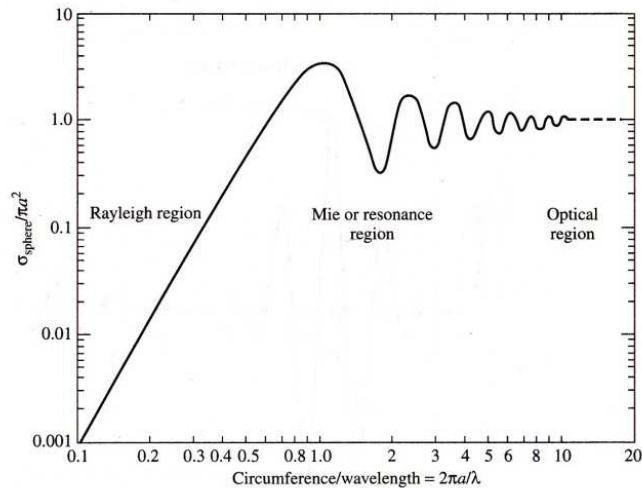
Ez a mérőszám még a következőképpen is definiálható:

$$\sigma = \frac{\text{A radar irányába visszasugárzott teljesítménysűrűség}}{\text{A céltárgyhoz érkező teljesítménysűrűség}} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{S_r}{S_i} \quad (1)$$

ahol S_r az echo teljesítmény sűrűsége a radarnál, S_i pedig a teljesítménysűrűség a céltárgynál. Ez esetben feltételezzük, hogy a radar és céltárgy közti távolság eléri azt a mértéket, mely esetén az EM hullám már síkhullámnak tekinthető. Így a kapott eredmény egy felületelemet jelöl, mértékegysége négyzetméter. Szokták még dBsm-ben is megadni az RCS értékét, ez a m^2 -re vonatkoztatott dB értéket jelöli.

Az RCS értéke nagyban függ a céltárgy hullámhossz értékéhez viszonyított méretétől. Ezen viszony alapján három zónát különböztetünk meg. Abban az esetben mikor a λ értéke jelentős a vizsgált objektumhoz mérten azt mondjuk, hogy a tárgy a Rayleigh szórás zónában esik. Ekkor a σ értéke jól jellemezhető a frekvencia negyedik hatványával. Ilyenkor a céltárgy mérete jobban befolyásolja a mérés eredményét, mint az alakja. Mikor a hullámhosszhoz csekély a tárgy geometriai méretéhez képest akkor az optikai zónában van, ez esetben a σ értéke jóval nagyobb mértékben függ a cél alakjától (rálátás szögétől), mint fizikai méretétől. E két zóna közt helyezkedik el a rezonancia zóna, mikor a hullámhossz összemérhető a cél fizikai paramétereivel.

A három zóna a következő ábrán látható egy vezető fémgömb esetére (1. ábra).



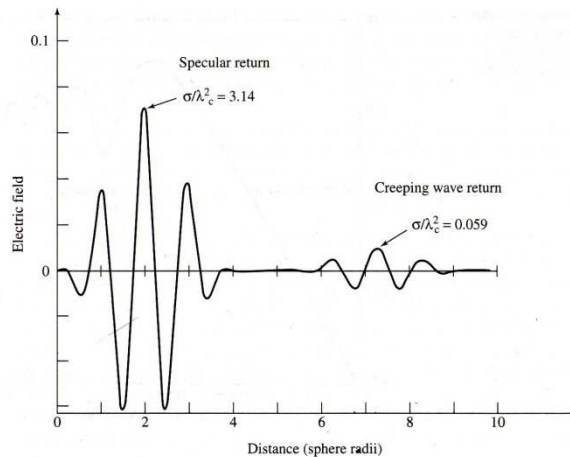
1. ábra Gömb normalizált RCS értéke [1]

Egyszerű felületek

Egyszerű felületek például a gömb, henger, egy lapos felület, kúp, vagy a rúd. Néha komplexebb céltárgyak RCS-e leírható ezek, mint építőelemek segítségével.

A gömb

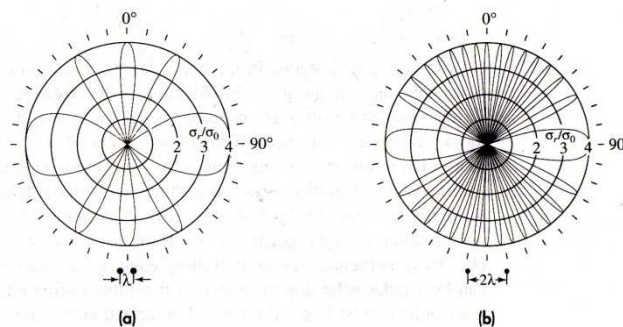
A gömb az a felület, mely a legegyszerűbb a radar hullámok visszaverődésének bemutatására. Minden irányból egyformán látszik, és ugyanúgy sugároz. Az RCS-ét az 1. ábra mutatja $2\pi a/\lambda$ függvényében, azaz a kerületet a hullámhossz függvényében ábrázolva, ahol a a sugár. Az ábrát a kivetített fizikai felület mértékével, πa^2 -tel normálták. A három zóna jól látható az ábrán. Mikor $2\pi a/\lambda > 1$ (Rayleigh zóna) az RCS értéke a frekvencia negyedik hatványával arányos. Ha $2\pi a/\lambda \gg 1$ (Optikai zóna) esetén az RCS megközelíti a céltárgy fizikai felületének méreteit. Az optikai esetben a visszaverődés nem a teljes felületről, hanem annak csak egy részéről verődik vissza, mint mikor egy fém gömböt fotózunk vaku segítségével. A rezonancia zónában az RCS $2\pi a/\lambda$ -nak megfelelően oszcillál. A radar keresztmetszetben a frekvencia megváltozása során fellépő ingadozások oka az, hogy nem egy, hanem két hullám verődik vissza, egy *direkt* és egy *kúszó (felületi)*. Az első a gömb radarhoz közelebbi felületéről tér vissza, a második megkerüli a gömb felületét és csak azután tér vissza. Minnél hosszabb ez az elektromos út, annál kisebb lesz a keresztmetszet fluktuációja (2. ábra).



2. ábra Egy vezető gömb felületéről visszavert jel [1]

Összetett felületek

Az olyan összetett felületek RCS-e, mint repülő, hajók, földi járművek jelentősen változhat a rálátás szögétől és a használt frekvenciától. Egy komplex céltárgy minden egyes visszaverő felülete saját echoval rendelkezik, amit jellemezhetünk az amplitúdójával és a fázisával. Ezek a jelek összeadódnak a radar jel vétele során és így alkotják a teljes echot. Ha ezek egymáshoz viszonyított helyzete vagy a rálátási szög változik, az változást jelent az echo fázisában.



3. ábra Két egyforma gömb esetén az eredő RCS [1]

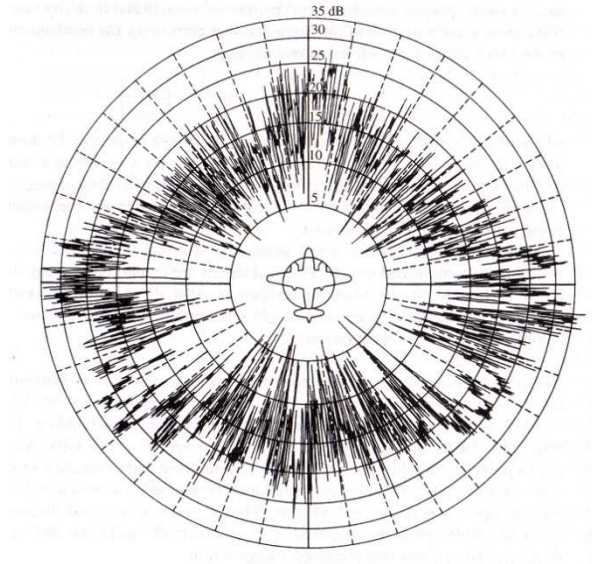
3. ábra egy komplex céltárgy RCS-ét mutatja a rálátás függvényében. A céltárgy két egyforma szóró tulajdonságokkal rendelkező gömbből áll, melyek egymástól (a) egy hullámhossznyi, (b) négy hullámhossznyi távolságra helyezkednek el egymástól.

Az ábrán jól látható, hogy ahogy a távolság nő a két céltárgy közt, úgy keskenyednek és sokasodnak a nyalábok az RCS-ben. Ezen egyszerű példa jól mutatja az összetett céltárgyak viselkedését.

Repülő

Egy sokak által használt példa a 4. ábra. Ez egy életnagyságú B-26-os gépről készült, melyet egy forgatható platformon helyeztek el, egy zavaroktól mentes hangárban és egy 3GHz-es frekvenciájú

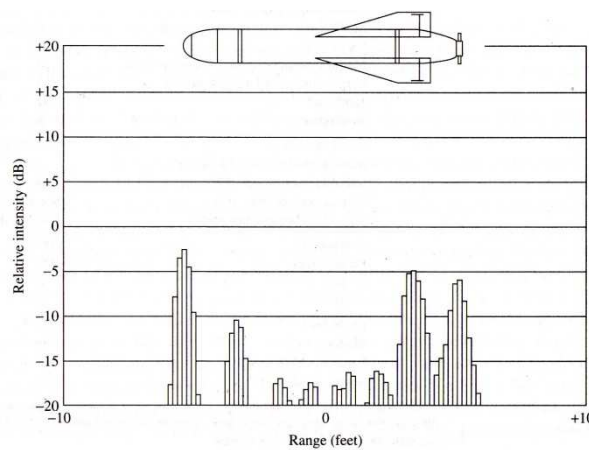
radarral vizsgálták. A mérés során a gép propellerei forogtak ezzel egy 1-2 kHz közötti modulációt okozva. Jól látható, hogy a rálátási szög függvényében milyen hirtelen változások léphetnek fel (akár 30dB). Az RCS maximum értéke a repülő oldalnézete során lép fel.



4. ábra B-26 RCS-e [1]

Egyéb célok

A rakéták radar keresztmetszet értékei jelentősen függenek azok típusától (5. ábra). Például egy ballisztikus rakéta eleinte az üzemanyag tankokkal felszerelve jelentős, de becsapódás előtt a robbanó fej RCS-e már jóval kisebb.



5. ábra Egy rakéta RCS-e [1]

Autók és egyéb földi járművek jelentős akár 200m^2 (100m^2 az átlag) keresztmetszettel is rendelkezhetnek egy X-sávú (azaz a 12-30 GHz frekvencia tartományban üzemelő) radar esetén.

RCS fluktuációk

Az egyszerűbb számítások érdekében az RCS értéket konstansként kezeljük az esetek jelentős részében. Azonban a valóságban ez az érték szinte sohasem konstans. A fellépő változásokat különböző külső hatások okozhatják (antenna iránykarakterisztikája, időjárási viszonyok, stb.). Az egyes tárgyak radar keresztmetszete érzékeny a rálátási szögére, így ha a tárgy mozog, és a szög változik, akkor az a visszavert jelben is változásokat fog okozni. Ezt a kvázi véletlenszerű ingadozást nevezzük fluktuációnak. Ilyenkor a jel mintáit egy valószínűségi változóval írhatjuk le.

Az RCS fluktuáció meghatározásának egy módja, hogy a radaregyenletben kijelölünk egy alsó határt, melyet a hatásos keresztmetszet értéke meghalad az idő egy jelentős részében (95-99 %). Gyakorlati indokok miatt választunk egy minimumot, mert így a választottnál mindig nagyobb lesz a valódi érték. Így ez a módszer egy óvatos becslést eredményez, ami rendelkezik még az egyszerűség előnyével is. A repülőket vagy rakéták esetében ez a választott minimum keresztmetszet érték a szemből (head-on) vagy hátulról (tail-on) rálátást jelenti.

Ahhoz, hogy helyesen ki tudjuk számolni az RCS fluktuációját, ismernünk kell a korrelációs tulajdonságokat és az eloszlás függvényt adott tárgy esetén.

A sűrűségfüggvény megadja annak a valószínűségét, hogy a keresett RCS egy adott σ és $\sigma + d\sigma$ érték közé esik, amíg az autokorrelációs függvény leírja a hatásos keresztmetszet korreláltságának mértékét az idővel és a pulzusok számával. Általában nem praktikus a radar működésének meghatározásához kellő összes adatot begyűjteni, hiszen a legtöbb eset túlságosan bonyolult ehhez. Gazdaságosabb módszer a keresztmetszet fluktuáló hatásának megállapítására egy elfogadható modell megalkotása és annak matematikai vizsgálata. Peter Swerling négy különböző fluktuációs modellt készített [2]. A négyből kettő esetben azt feltételezte, hogy a fluktuációk teljesen összefüggőek egy adott letapogatás (scan) alatt, de teljesen függetlenek letapogatásonként. A másik kettő esetben azt feltételezte, hogy a változások sokkal gyorsabbak és impulzusonként is függetlenek.

A Swerling-féle modellek megadják egy adott tárgy hatásos keresztmetszetének (RCS) fluktuációjának a valószínűségi sűrűség függvényét.

I. eset

A céltárgyról visszavert jel bármely letapogatás alatt konstans amplitúdóval rendelkezik, de ez az érték két letapogatás közt változhat, de letapogatásonként független. Ez a feltételezés figyelmen kívül hagyja az antenna nyaláb formájának hatását az amplitúdóra.

A hatásos keresztmetszet valószínűségi sűrűség függvényének leírására a következő kifejezést alkalmazzuk:

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{av}} \cdot \exp\left(-\frac{\sigma}{\sigma_{av}}\right), \sigma \geq 0 \quad (2)$$

Ahol σ_{av} az átlagos hatásos keresztmetszet. Ez az eset jó közelítést ad repülő céltárgyak esetén.

II. eset

A keresztmetszet valószínűségi sűrűségi függvénye megegyezik I. esettel, de most sokkal gyorsabb változást feltételezünk, mint az I. esetnél, itt a minták teljesen korrelálatlanok, azaz impulzusonként függetlenek.

III. eset

A minták közti korreláltság az I. esetnek megfelelő, de a valószínűségi sűrűségi függvény a következő:

$$p(\sigma) = \frac{4\sigma}{\sigma_{av}^2} \cdot \exp\left(-\frac{2\sigma}{\sigma_{av}}\right), \sigma \geq 0 \quad (3)$$

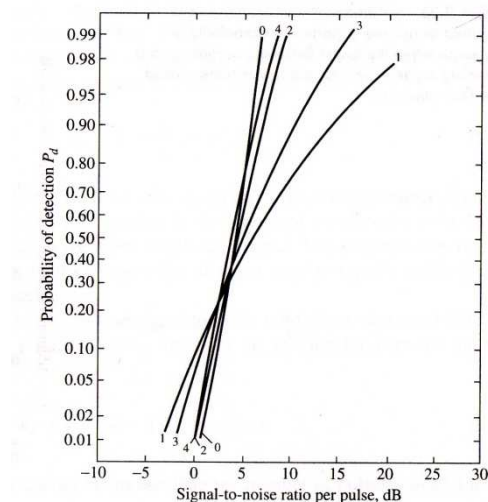
IV. eset

A minták itt is korrelálatlanok, és a valószínűségi sűrűségi függvény megfelel III. esetnek egyenletnek. A minták közti korreláció a II. esetnek megfelelő.

Bár négy esetről beszéltünk, szoktak még alkalmazni egy úgynevezett nulladik (vagy ötödik) esetet is, mikor azt feltételezzük, hogy a hatásos keresztmetszet konstans.

Az I. és II. esetben azt feltételezzük, hogy a tárgy több független szóró felületből áll, melyek közelítőleg egyforma visszaverő felülettel rendelkeznek. Elméletileg ezen felületek száma végtelenbe tart, de gyakorlatban majd látni fogjuk, hogy nem több négy-ötnél.

A III. és IV. esetben szereplő egyenletnél a felületet egy nagy és több apró visszaverő felülettel tudjuk modellezni. A fenti esetek mindegyikénél a radar egyenletbe σ_{av} -t kell behelyettesíteni.



6. ábra Detekciós valószínűségek a négy Swerling modell esetén [1]

Ahhoz, hogy a radar észleljen egy tárgyat, a jel-zaj viszonyának egy bizonyos értéket el kell érnie, anélkül, hogy a „vaklárma” valószínűsége egy adott küszöböt meghaladna. A különböző modellek tulajdonságainak összehasonlítását mutatja be a 6. ábra.

Jól látható, hogy a fluktuációmentes eset igényli a legkisebb jel-zaj viszonyt a nagy detektálási valószínűség eléréséhez. A 0,3-nál magasabb detekciós valószínűségnél azt láthatjuk, hogy kisebb jel-zaj viszonyt kívánnak meg azok az esetek mikor a minták függetlenek, míg a II. és IV. eset a fluktuáció mentes esetet közelíti meg. A pulzusok számának növelésével a fluktuáció kiátlagolódik.

A KŐRIS-HEGYI ATC RADAR

A radar teszter eszköz elsőként a Kőrís-hegyen található ATC radarhoz kerül kihelyezésre, ezt fogja tesztelni. Ezért fontos megvizsgálnunk ennek a radarnak a működési elvét és mérési módszereit.

Jelenleg Kőrís-hegyen egy Raytheon ASR23SS PSR típusú radar üzemel. Ebben a fejezetben szeretném röviden bemutatni a radar mérések során alkalmazott impulzusokat, azok modulációját.

A távolföldi radar

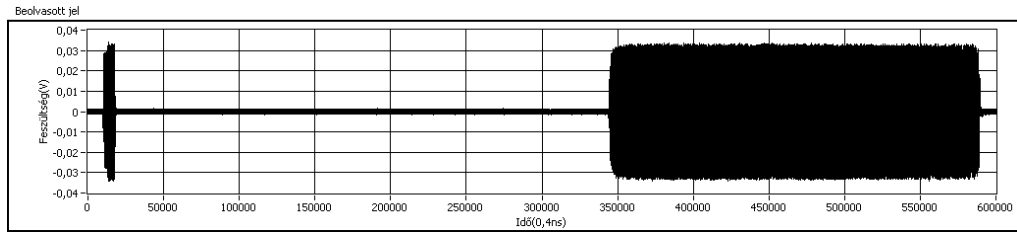


7. ábra A Kőrís-hegyi radar állomás

A Kőrís-hegyen lévő Raytheon ASR-23SS távolfelderítő radarnál a radar teremben négy csatlakozási pont található. Itt hozzáférhető a két KF (közép frekvenciás), az RF (rádió frekvenciás) és a szinkron jel mérési célokra. Ez utóbbi az RF jel mérésénél trigger jelként funkcionált. A radar két közép frekvenciát alkalmaz, egy 3,88 MHz-est és egy 27,19 MHz-est. Tartalékolási okok miatt két adó blokk üzemel folyamatosan a radarban, így meghibásodás esetén azonnal át lehet kapcsolni a tartalék adóra, mely addig egy műterhelésre küldi csak a jelet.

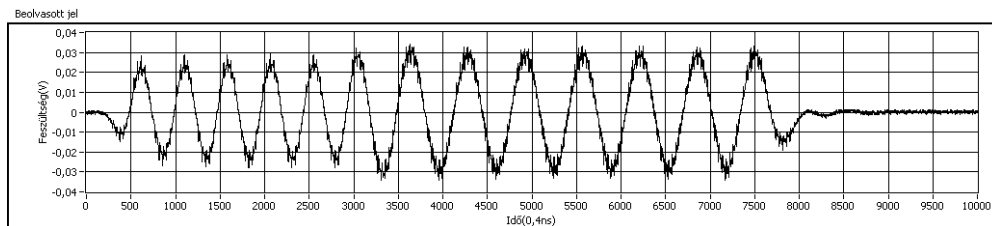
A KF jelek

A mért adatokat bemutató képek a Tektronix DPO 4104 oszcilloszkóp vezérlő program, valamint LabView felhasználásával készültek. Először vizsgáljuk meg az első KF jelet, ami 3,88 MHz-es!



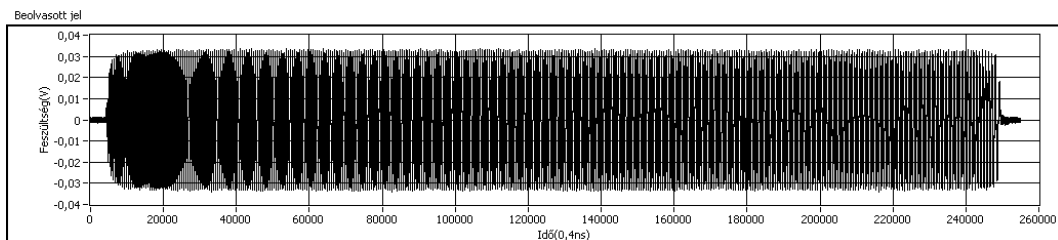
8. ábra A 3,88 MHz-es KF jel időtartománybeli jelalakja [3]

Jól látható mind a rövid, mind a hosszú impulzus képe (8. ábra). Ezek hossza 3,3 μ s és 100 μ s, a kettő közti szünet pedig 130 μ s.



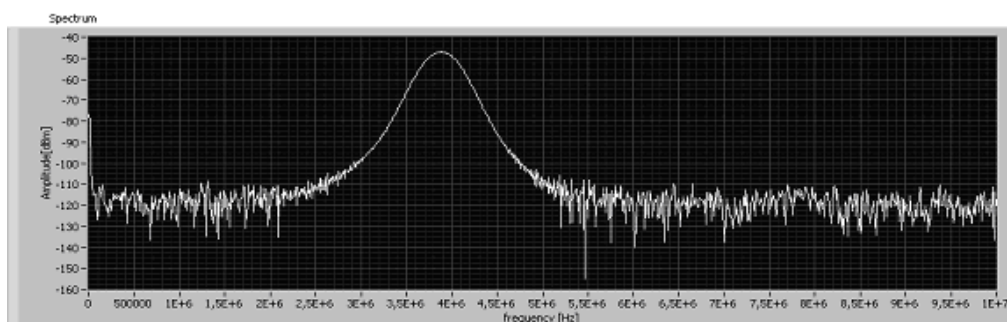
9. ábra A rövid impulzus időtartománybeli jelalakja (3,88 MHz) [3]

Látható a rövid impulzus időtartománybeli jel alakján (9. ábra), hogy két részből áll, egy nagyobb frekvenciájú, és utána egy kisebb frekvenciájú.

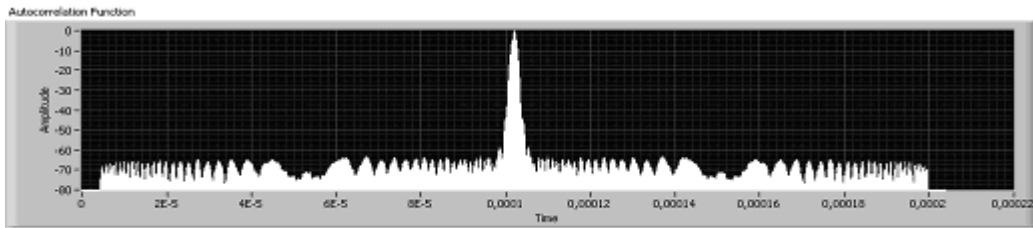


10. ábra A hosszú impulzus időtartománybeli jelalakja (3,88 MHz) [3]

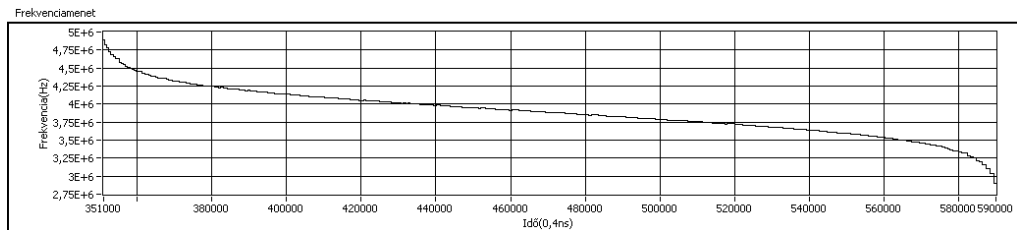
A 10. ábra már nem mutatja jól a jel frekvencia menetét, mint a rövid impulzusnál. Ezért azt egy periódusidőn alapuló analízis segítségével ábrázoltuk.



11. ábra A hosszú impulzus spektruma (3,88 MHz) [3]



12. ábra A hosszú impulzus autokorrelációs függvénye (3,88 MHz) [3]



13. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (3,88 MHz) [3]

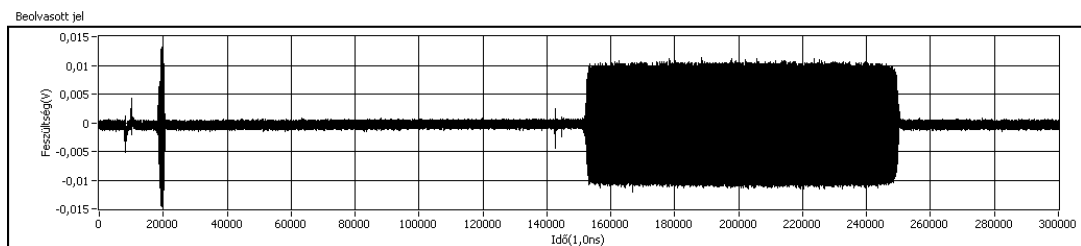
A kapott frekvenciameneten jól látható a nemlineáris jelleg, ami az alkalmazás szempontjából előnyös, mert alacsony melléknyaláb szintet eredményez az autokorrelációs függvénynél (12. ábra).

A frekvenciamenet jellemzői a következők:

- Közfrequencia 3,88 MHz
- Frekvencia löket 2 MHz
- A kezdő frekvencia kicsit kevesebb, mint 5 MHz
- A frekvencia a végén kicsit kevesebb, mint 3 MHz

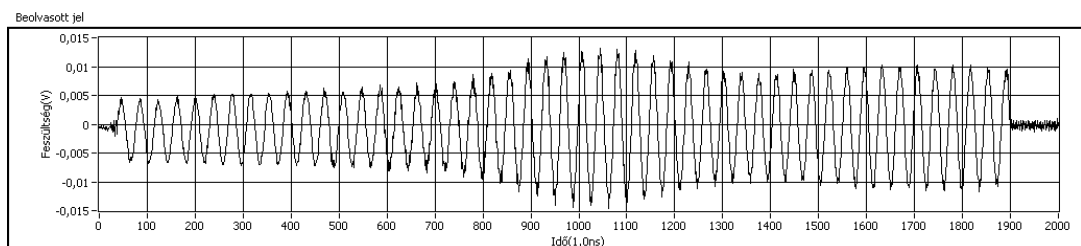
Ezek az értékek megfelelnek a vártnak.

Vizsgáljuk meg ezek után a másik 27,19 MHz-es KF jelet is.



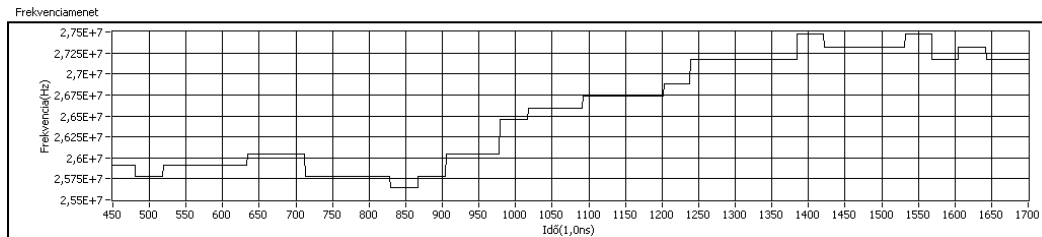
14. ábra A 27,19 MHz-es jel időtartománybeli jelalakja [3]

A első KF jelnél mért időtartamok a felkeverés hatására nem változtak meg.

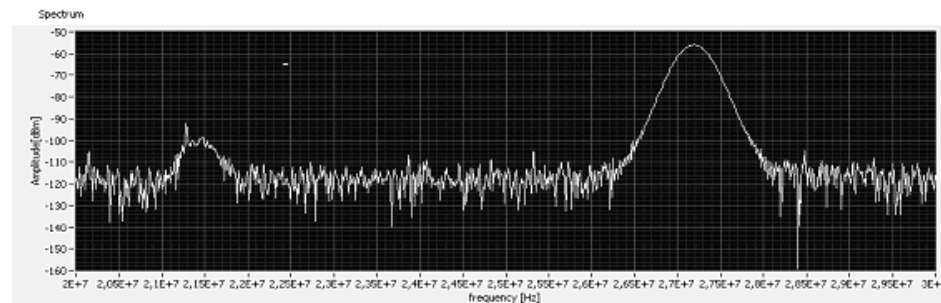


15. ábra A rövid impulzus időtartománybeli jelalakja (27,19 MHz) [3]

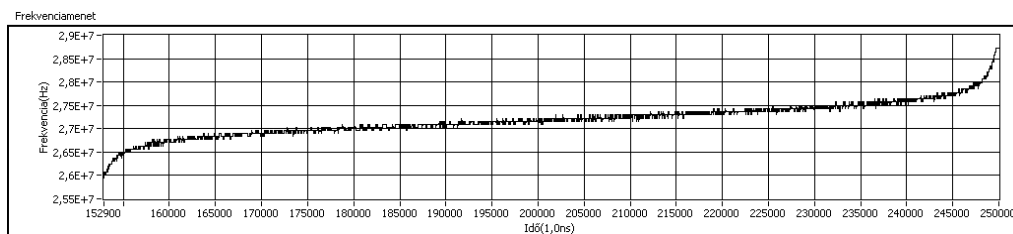
Az időtartománybeli jelen a frekvenciamenet már nem látható, mivel csak kismértékű, így azt az előbbi módon külön vizsgálva (16. ábra) jól elválasztható a két különböző frekvenciájú rész. Megfigyelhető, hogy a előző KF fokozattal szemben itt előbb a kisebb, majd utána következik a nagyobb frekvenciás rész.



16. ábra A rövid impulzus frekvenciamenete (27,19 MHz) [3]



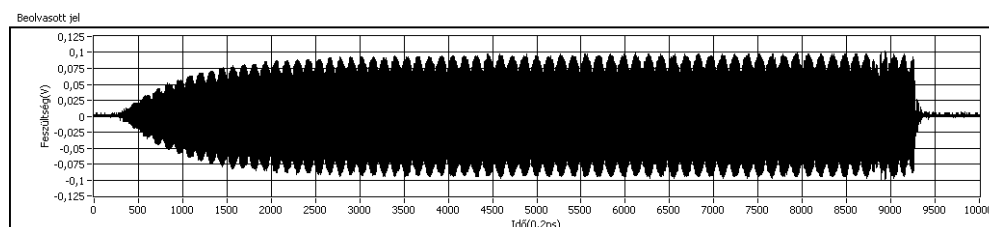
17. ábra A második KF jel spektruma (27,19 MHz) [3]



18. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (27,19 MHz) [3]

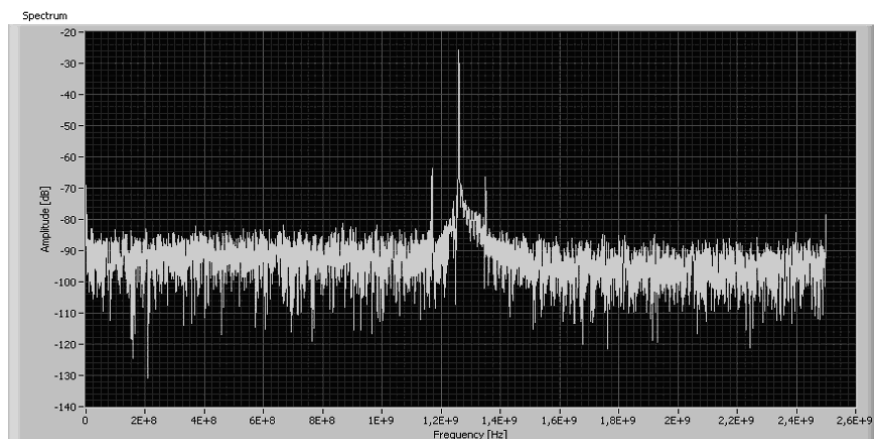
Az RF jel

Vizsgáljuk most meg a radar által kibocsátott RF jeleket.

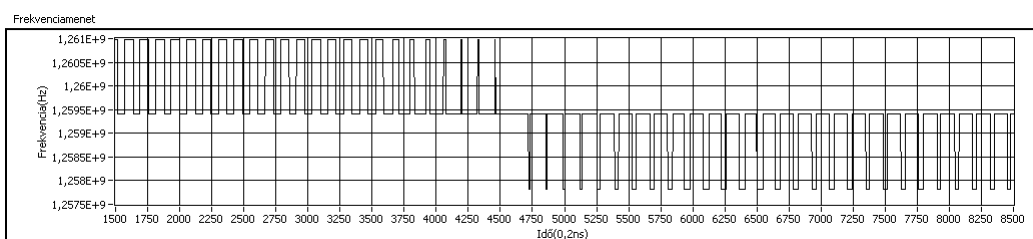


19. ábra A rövid impulzus időtartománybeli képe (1,3 GHz) [3]

A 19. ábraán látható jelalak a mérésnél használt műszer korlátai miatt torzult. Sajnos a műszer felső mérési határa 1 GHz, így a kapott eredmény az eredeti jeleknek csak a jellegét mutatja.

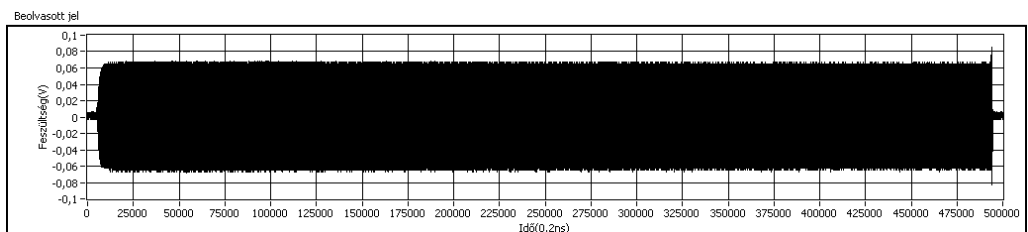


20. ábra A rövid impulzus spektruma (1,3 GHz) [3]

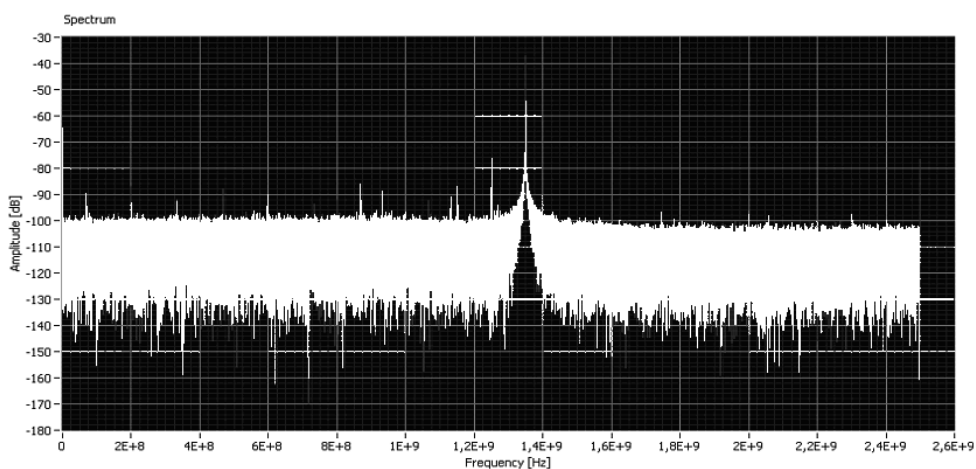


21. ábra A rövid impulzus frekvenciamenete (1,3 GHz) [3]

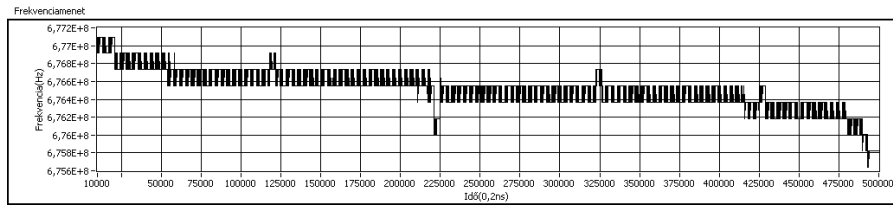
A mérési pontatlanság ellenére is látható, hogy a rövid impulzus frekvenciamenete (21. ábra) hasonló az eddigiekhez. Újfént tapasztalható a frekvenciamenet irányának változása.



22. ábra A hosszú impulzus időtartománybeli képe (1,3 GHz) [3]

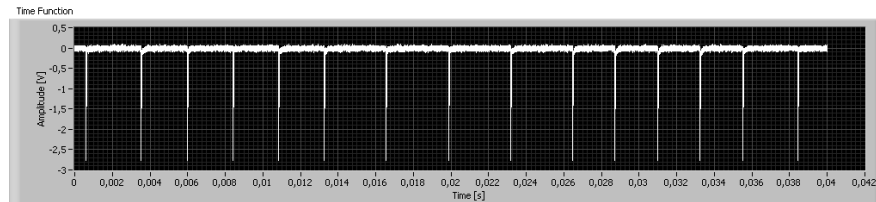


23. ábra A hosszú impulzus spektruma (1,3 GHz) [3]



24. ábra A hosszú impulzus frekvenciamenete (1,3 GHz) [3]

A hosszú impulzus mérése során is látható a műszer okozta pontatlanság.

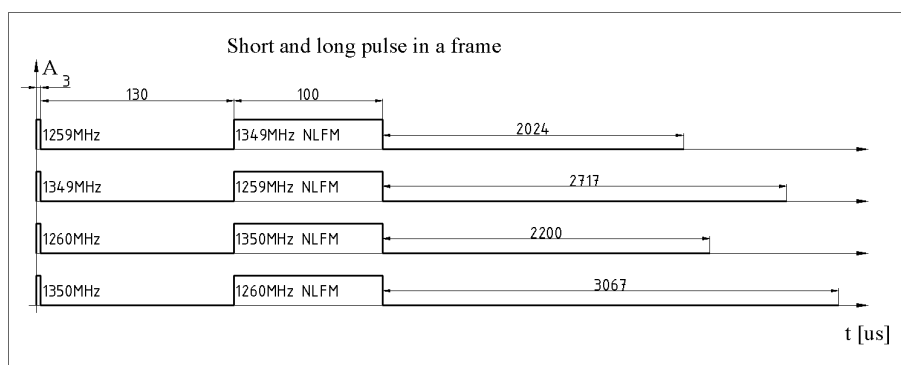


25. ábra A szinkron jel (változó PRF) [3]

A szinkron jelen (25. ábra) látható a folyamatosan változó impulzus ismétlési frekvencia (PRF), erre azért van szükség, hogy a vaksebességet kiküszöböljék. Ezt nevezik *sánta* (*staggered*) indításnak. A radarnál alkalmazott értékeket a következő táblázat tartalmazza.

PRF[Hz]	TPRF [ms]
339	2,94985
411	2,43309
303	3,30033
443	2,25734

1. A használt PRF értékek



26. ábra A radarnál használt impulzusok [3]

A RADAR TESZTER BEMUTATÁSA

A CRCS jelentése *Controlled Radar Cross Section* – irányított radar hatásos keresztmetszet. Egy radar mérés során a kibocsátott impulzus tulajdonságai alapján következtetünk az adott céltárgy egyes

paramétereire. A CRCS alapelve az, hogy ezen ismereteinknek megfelelően olyan jeleket küldjünk vissza a radarnak, melyek egy általunk kívánt céltárgynak megfelelőek lesznek. Így létrehozva egy olyan vizsgálatra alkalmas céltárgyat, melynek minden paraméterét ismerjük, ami alkalmas a radar esetleges hibáinak kiderítésére.

Ha a mért értékek nem az általunk generálttal megegyezőek, akkor tudni fogjuk, hogy a radar rendszer valamely része hibásan működik. Az eltérések vizsgálatával következtethetünk a hiba okára és kialakulási helyére a rendszerben.

A befolyásolható tulajdonságok

Vizsgáljuk meg, hogy mik azok a paraméterei egy céltárgynak, melyet a radar mér, és képesek vagyunk befolyásolni, s mi módon.

- Radiális távolság
- Radiális sebesség
- A céltárgy fluktuációja

A különböző szakirodalmak alapján ismerjük (referencia!!!!), hogy a radar mi módon méri a céltárgyak egyes paramétereit. Vizsgáljuk meg hogyan tudnánk ezek alapján félrevezetni a radart úgy, hogy azt a céltárgyat lássa amit mi szeretnénk.

Távolság

A radar a távolságot a jel visszatérési idejéből számolja. Ha ezt az értéket képesek vagyunk változtatni, akkor képesek vagyunk befolyásolni a céltárgy távolságát. Ennek egy lehetősége, hogy mikor adjuk ki az általunk generált jelet a radar jel vételéhez képest.

Sebesség

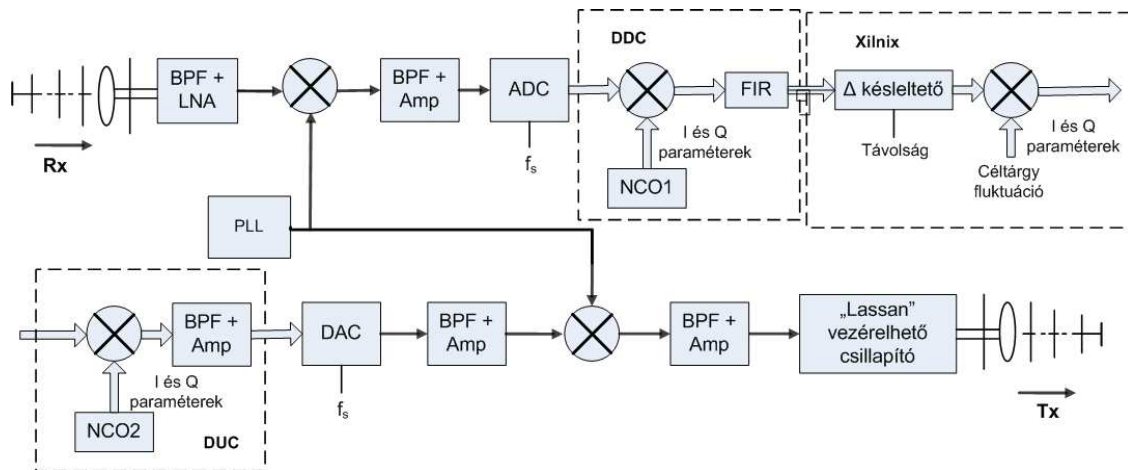
A radar a sebességet a Doppler frekvencia alapján számolja. Tehát a létrehozott céltárgy sebessége attól függ, hogy mekkora a frekvenciabeli különbség a radar impulzus és az általunk kiadott impulzus közt.

Fluktuáció

Ha ismerjük az általunk imitálni kívánt céltárgy fluktuációját, akkor azzal modulálva az általunk kibocsátott impulzust létrehozhatunk egy olyan echot, amit a radar a klasszifikációs eljárás során úgy azonosít, mint a céltárgy amit imitálni kívántunk.

A radarteszt felépítése és működése

A BME Szélessávú és Mikrohullámú Távérzékelés Laboratóriumában fejlesztett radar teszt eszköz működését mutatja be a 27. ábra. Az eszközt a laboratórium a HungaroControl Zrt. részére fejleszti.



27. ábra A laborban készült CRCS eszköz működése

Az eszközt soros kapcsolaton keresztül számítógépről vezérelhetjük, beállítva a kívánt céltárgy adatait.

Vétel és konvertálás

A CRCS eszköz egy a laborban 1300 MHz-re készített Yagi antennával veszi a kibocsátott radar jelet (Rx). Ezt követően a bemeneti jelet erősíti és sávszűri ($BPF+LNA$). A még RF (rádiófrekvenciás) jelet a PLL (Phase Locked Loop) által generált frekvenciával lekeveri KF -re (középfrekvencia) és kiszűri és erősíti a számunkra továbbiakban is fontos jeleket ($BPF+Amp$). Ezek után az ADC (Analog Digital Converter) f_s frekvenciával mintavételezi a jelet. A már digitális jelet vastag nyíllal jelöltem (27. ábra).

DDC - Digital Down Converter

Az immár digitális, de még valós jelet az $NCO1$ (Numerically-controlled Oscillator) által generált szinusz és koszinusz jelekkel keverve egy komplex jelet képez, melyet I (Inphase) és Q (Quadrature) paraméterrel adunk meg. A FIR (Finite Impulse Response) szűrő aluláteresztő szűrőként funkcionál, és csak a különbségi jelet átengedve alapsávi jellé képezi le a digitális komplex jelet.

Céltárgy paraméterek beállítása

A Δ késleltető nem más, mint egy állítható hosszúságú $FIFO$ (First In First Out) regiszter, mely segítségével beállítható a jel késleltetése. Ezzel befolyásolható a céltárgy radar által érzékelt távolsága. Az egyes tárgyak mind más radar hatásos keresztmetszettel rendelkeznek [1], mely alapján felismerhetők a radar számára. A kívánt céltárgyra jellemző I és Q paraméterrel modulálva a jelet alakíthatjuk ki a radar felé visszasugárzandó jelet.

DUC - Digital Up Converter

A radar echot ezután az $NCO2$ segítségével visszakeverjük KF frekvenciára. Ha a művelet során $f_{NCO1} \neq f_{NCO2}$ -vel, akkor azt a radar, mint Doppler-eltolódás érzékeli, azaz így imitálhatunk céltárgy sebességet. A felkeverés után fellépő melléktermékeket szűri a sávszűrő (anti-aliasing).

Konvertálás és adás

A digitális KF jelet a *DAC* (Digital Analog Converter) ismét f_s frekvenciával visszaalakítja analóg formába. A *PLL* által generált frekvenciával pedig felkeverjük *RF*-re a jelet. A szűrés és erősítés után egy „*lassan*” vezérelhető csillapító segítségével állítjuk be a mozgó céltárgy távolodási sebességének megfelelő csillapítást a jelszinten. Erre azért van szükség, mert másképp nem tudnánk a radar teljes hatótávolságában (30km-300km) megfelelő értékeket generálni. Az eszköz a kész jelet egy a vételinek megfelelő Yagi antenna segítségével sugározza vissza a radar felé.

HELYSZÍNI ELRENDEZÉS?

A rendszer tesztüzemére a HungaroControl által üzemeltetett Kőrös-hegyi radar állomás mellett kerül sor. A tesztet a radartól légvonalban 1,5 kilométerre lévő Parajos-tetőn helyezzük el. Itt az eszköz a rádió tornyon helyezkedne el, hogy az imitált céltárgy jelét megfelelően tudja a radar felé sugározni, az ezt vezérlő számítógép viszont a radar oldalán volna. Így a radar tesztelések során a radar kezelői képesek lesznek egyazon helyről irányítani mindkét eszközt.

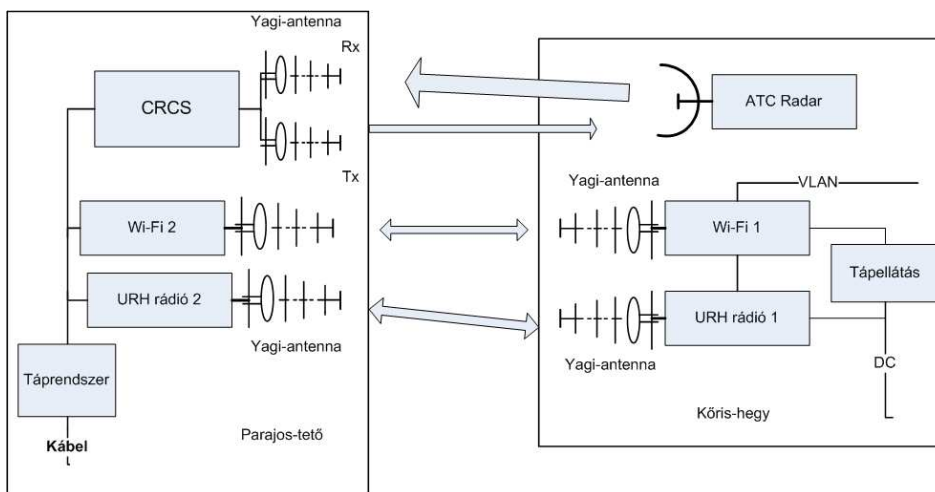
A rendszer helyszíni elrendezése miatt új feladatok jelentek meg, ezért szükségessé vált az eszközzel szembeni kezdeti követelmények megváltoztatása. Az új célok a következők voltak (i) egy egyedi tápellátást biztosító, valamint (ii) egy megbízható távvezérlés eredményező rendszer megvalósítása. Az elhelyezkedésből adódik, hogy a vezérlés nem oldható meg soros kapcsolat segítségével.

Kommunikáció

A teszter és a vezérlő eszköz között rádiós kapcsolat megvalósítására egy WiFi (IEEE 802.11g) összeköttetést alkalmaztunk (28. ábra). Az okok, amiért a WiFi-t választottuk a következők:

- a piacon kapható eszközök széles választéka
- sokféle kiegészítő (pl. antennák)
- kipróbált, tesztelt protokoll
- könnyű felhasználhatóság

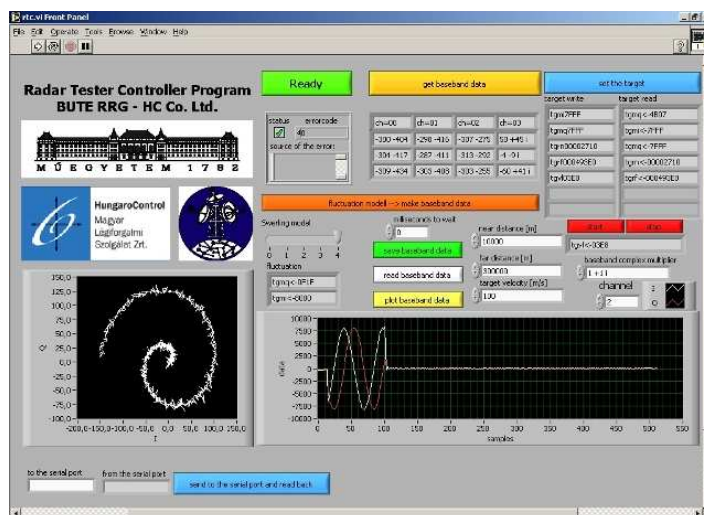
Az első helyszíni teszt során egy súlyos probléma adódott. Egy igen erős zavaró jelenség lépett fel a WiFi kapcsolat és a ATC radar egyidejű működése során. A radar impulzus hatására a WiFi vevőkészülék bemenetén elhelyezkedő LNA telítésbe került és a jel felharmonikusait állította elő. Ezek közül a második éppen egybe esik a rendszerben használt WiFi sávval. Ezt a problémát, egy korábbi munkánkban leírt módon [3], sikerült elhárítani egy saját készítésű sávszűrő alkalmazásával.



28. ábra A kommunikációs rendszer

A zavarás megszűntetése után az összeköttetés megfelelővé vált a kommunikáció számára. A teszter eszköz a korábban említetteknek megfelelően egyedül egy soros csatlakozóval rendelkezik a vezérlő üzenetek fogadására. Így szükségessé vált egy TCP – soros átalakító beiktatása, melyet egy beágyazott rendszerrel oldottunk meg. Az átalakítás után az adatokat a WiFi kapcsolat segítségével továbbítjuk a vezérlőegységnek.

A radartereszter a fenti TCP kapcsolaton keresztül vezérelhető, ASCII karakteres parancsok útján. Az operátorok számára egy felhasználó barát grafikus vezérlő program (GUI) is kialakításra került, jelenleg még csak Windows operációs rendszerek alá (29. ábra).



29. ábra A vezérlő program grafikus felülete

Ahogy a 28. ábra mutatja, létezik még egy rádiós összeköttetés a két torony között, mely a laborunkban kifejlesztett URH rádió adó-vevőközből áll. Ezen kapcsolat fő feladata a mért környezeti paraméterek (páratartalom, hőmérséklet, stb.) és a tápellátó rendszer állapotára vonatkozó adatok továbbítása. A rádiók által használt protokoll is a labor fejlesztése.

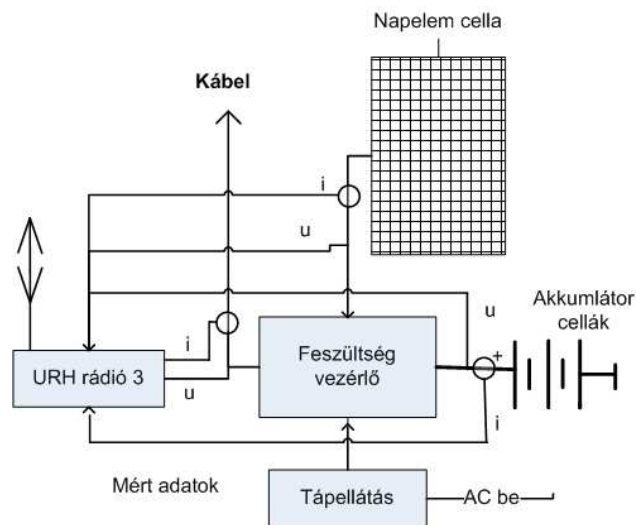
Mind az URH, mind a WiFi képes a másik feladatának ellátására, egy hiba-tűrő, redundáns rendszert alkotva.

Egyedi tápellátás

Az egyedi tápellátás megoldására, a telepítési hely környezeti adottságait figyelembe véve, napelem cellás rendszert használtunk. Ez volt az egyetlen lehetőség, melyet megfelelően alkalmazni tudtunk a rádiótornyon Parajos-tetőn. A Korax Solar cég egy KS-240 modelljét alkalmaztuk. A napelem paramétereit a következő táblázat mutatja.

Típus	KS-240
A modul típusa	Monokristályos napelem modul
Üzemi hőmérséklet	-40–+85[C]
Csúcsteljesítmény	240[W]
Munkaponti feszültség	30.2[V]
Munkaponti áram	7.95[A]
A modul méretei	1657x977x39.5[mm]

2. táblázat A napelem cella adatai



30. ábra A tápellátó rendszer

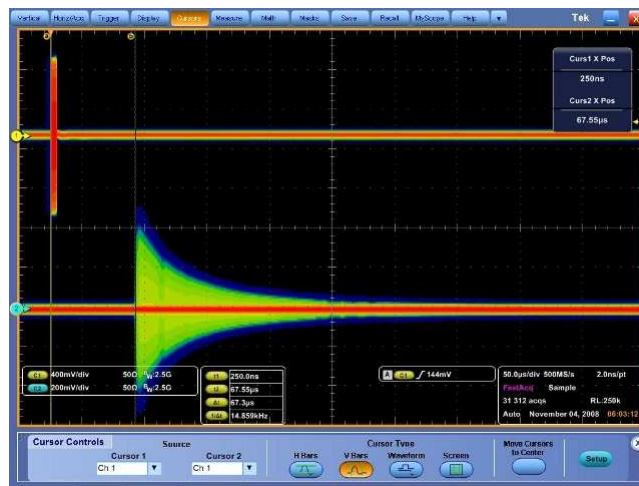
A rendszer kialakítását a 30. ábra mutatja. A jobb teljesítmény elérése érdekében egy monitorozó rendszert is kialakítottunk. Ez az alrendszer minden mért adatot továbbít az URH rádiós összeköttetésen keresztül a radar mellett lévő vezérlő egységnek. Az ábrán látható „Kábel” feliratú vezeték biztosítja a teszter eszköz számára szükséges feszültséget, áramot. A hálózati tápellátás csak, mint másodlagos lehetőség szerepel, újfent redundánssá téve a rendszert.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben ismertetjük a különböző mérések során kapott eredményeket.

Labor mérés eredményei

A laboratóriumi tesztek során egy rövid szinuszos jelet küldtünk a teszter bemenetére és vizsgáltuk a kimenetén érzékelhető jelet, ami egy távolodó céltárgyat imitált (31. ábra). A „lassan vezérelhető” csillapító hatása jól látható a kibocsátott jel csökkenése során (fading). Ez a csökkenés hasonló egy távolodó cél által okozott jelnél mérhetőhöz.



31. ábra A radar teszter laboratóriumi vizsgálata

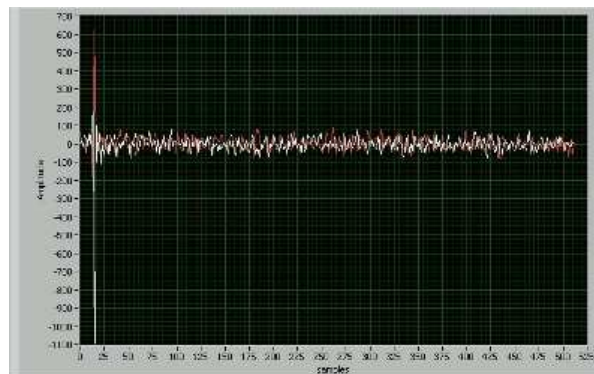
Helyszíni mérések

A helyszíni mérésekre Kőrishegyen került sor. A tesztert egy 1,5 km-re lévő toronyra rögzítettük, mind a teszter, mind a WiFi antennáit a primer radar felé állítottuk (32. ábra). A radar a köd miatt nem látható a képen.

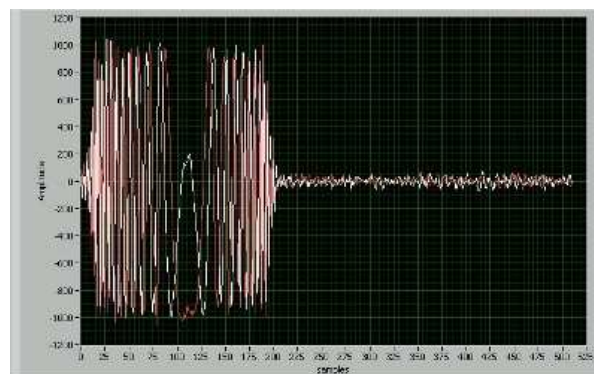


32. ábra Az antennák beállítása

A vett radar impulzusokat letöltöttük a teszterről a távoli elérésen keresztül.



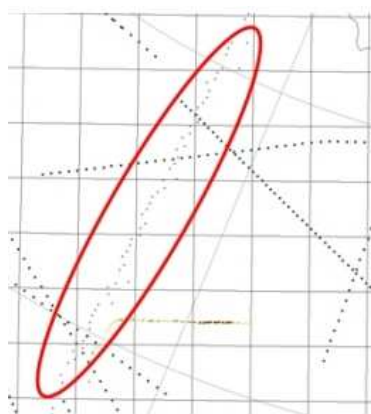
33. ábra A vett rövid radar impulzus



34. ábra A vett hosszú radar impulzus

Jól látható a nem lineáris FM moduláció a vett hosszú radar impulzus I-Q reprezentációján (34. ábra). Ezen adatok alapján kijelenthető, hogy a teszter képes a primer radar modulációs rendszerének vizsgálatára.

A primer radar éles helyszíni tesztje során sikeresen imitáltunk, a teszter segítségével, egy repülő mozgását utánozó céltárgyat. Az álcél 600 km/h radiális sebességgel haladt dél, dél-nyugati irányba, a radartól folyamatosan távolodva (30-300 kilométeres út). A radar vezérlő programból kimentett képen jól látható a céltárgy pályája (35. ábra). A többi repülőgép pályája az utólagos feldolgozás miatt tűnik egyenesebbnek (szekunder radartól származó mérések).



35. ábra Imitált céltárgy

ÖSSZEGZÉS

A primer radarok tesztelése egy meglehetősen összetett feladat, mind elméleti mind pedig mérnöki nézőpontból. A CRCS elméleti megoldás segítségével sikeresen kialakítottunk egy módszert, és egy azon alapuló megvalósított rendszert, annak minden elemével (hardver, irányító szoftver), a légiirányításban használt primer radarok tesztelésre.

A teszter sikeresen szerepelt az egyik magyarországi ATC radar egy helyszíni próbáján. Ezen mérés során többször generált ál céltárgyakat, melyeket a radar észlelt, amik valós repülők mozgását imitálták. A kísérletek alapján mondható, hogy a berendezés képes a teljes radar rendszer tesztelésére.

Egy lehetséges jövőbeni alkalmazásként a tesztert úgyis használhatnánk, mint egy antenna karakterisztika vizsgáló eszközt, mely gyors, de közelítő mérésekre képes. A vevő nagy dinamika tartományának köszönhetően, az antenna fő és mellék nyalábjai is egyaránt vizsgálhatóak lennének. Így a rendszer képes volna kiszűrni a lehetséges problémákat, mielőtt azok olyannyira jelentőssé válnának, hogy már a főnyalábot is befolyásolnák.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Merril I. Skolnik: Introductions to Radar Systems. McGraw-Hill Book Companies, Inc. 2001.
- [2] Peter Swerling: Probability of detection for fluctuating targets. RAND Corporation, Tech. Rep. RM-1217, ASTIA Document Number AD80638,1954.
- [3] BME HVT V2/619labor : Mérési jegyzőkönyv Kőrös-hegy – Parajos-tető, szeptember 2009.
- [4] Micskei Tibor, Seller Rudolf, “On problems occurring at close vicinity usage of WiFi and radars, especially ATC and weather” in Radioelektronika, 19th International Conference, Bratislava, Slovak Republic, 2009, pp.57–60.