

1. FÁZISVEZÉRELT ANTENNARÁCSOK

1.1. AZ ANTENNARÁCSOK ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

Napjainkban a korszerű radarok sugárnyaláb eltérítései három egymástól jól elkülöníthető csoportra osztható:

- Antennarácsok
- Monopulse elvű radarok
- Szintetikus apertúrájú radarok

A két utóbbi elv az előadásomnak nem kapcsolódó témája, így ezekkel nem foglalkozom.

Az antennarácsokban az eltérítési módszereknek három csoportja van:

- Fázisvezérlés
- Amplitúdóvezérlés
- Frekvenciavezérlés

Fázisvezérlésnél az egyes sugárzók fázisviszonyait fázistolókkal változtatva azonos amplitúdó eloszlást feltételezve mozgatják a fázisfrontot, s ezzel az iránykarakterisztikát.

Amplitúdóvezérlésnél az elemi sugárzók bemeneteit kommutálják, ezzel változtatják a helyi, vagy parciális iránykarakterisztikát és változik a teljes felületre vonatkozó eredeti iránykarakterisztika paramétere is. A kommutálásokat iránycsatolókkal, ferrites polaritásváltókkal, PIN-diódás fázistolókkal oldják meg.

Frekvenciavezérlésnél a tápvonalban terjedő jel frekvenciáját, ezzel együtt az antennarácsra jutó jel frekvenciáját változtatjuk, s ezáltal változik az elemi rések gerjesztésének fázisviszonya is.

A fázisvezérelt antennarácsok (FAR-ok) rendkívül rugalmas rendszerek megvalósítására alkalmasak, egyidejűleg több nyaláb kialakítható, valamint szokványos karakterisztikák nagy kisugárzott teljesítmény mellett megvalósíthatók.

Korábban az antennarácsokat kisebb hullámhosszokon a kevésbé bonyolult reflektoros antennák még kiszorították. Napjainkban azonban a mikrohullámú technika és a számítástechnika gyors fejlődése az elvet gyakorlatban kivitelezhetővé tette.

Ehhez a feltételeket az elektronikus úton vezérelhető fázistoló és kapcsoló teremtette meg. Az antennák paramétereit a sugárzók geometriai elhelyezése, valamint a gerjesztő jelek amplitúdója és fázisa határozza meg.

A FAR nyílásfelületén belül számos egyforma sugárzó (például: rés vagy dipólsugárzó) van elhelyezve. A FAR működése azon alapszik, hogy a kívánt iránykarakterisztika létesítéséhez a nyílásfelületen szükséges térerősség eloszlás ismeretében sok kisméretű sugárzót kell megfelelő törvényszerűség alapján gerjeszteni.

A gerjesztési törvény függvényében nemcsak iránykarakterisztika formát, hanem annak térbeli elmozdulását is meg lehet valósítani. Gyakorlati követelmény az oldalszirom elnyomás, amely a széleken lévő sugárzó elemek miatt következik be.

Az antennarácsok lehetnek aktív és passzív rendszerűek. Az aktív rendszerben minden egyes elem után diplexereket és erősítőket helyeznek el. A passzív megoldásoknál egyetlen táplálási pont van.

Napjainkban a gyakorlatban a passzív antennarácsokat alkalmazzák a kisebb költségek miatt. Itt egy közös jelgeneráló és jelvevő egység van, s ezek jeleit manipulálják különböző beépített fázistolók segítségével.

A legnagyobb problémát a gyakorlatban az okozza, hogy hogyan lehet megvalósítani az elosztó áramkört úgy, hogy a kapcsolt jelünk fázistolót legyen, de azonos amplitúdó viszonyokkal.

Ennek megoldására három módszer van:

- Leágazásos módszer
- Optikai módszer
- Mátrix módszer

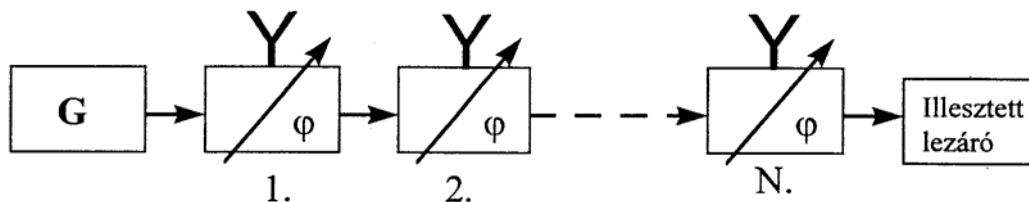
A következő fejezetben ezeket a módszereket mutatom be.

2. EGYENLŐ AMPLITÚDÓ ELOSZLÁST BIZTOSÍTÓ ÁRAMKÖRÖK

2.1. Leágazásos módszer

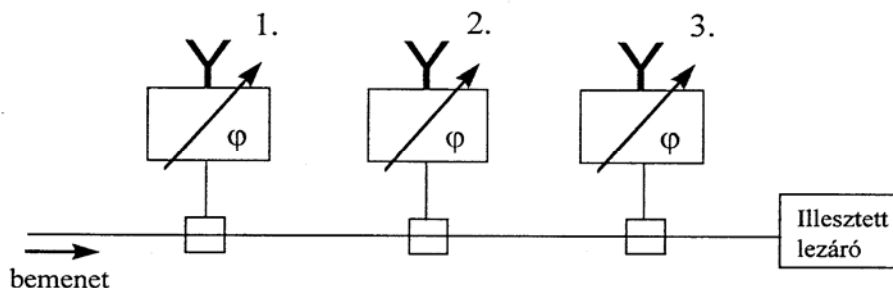
A tápvonallal történő táplálás szerint lehet soros, vagy párhuzamos. A párhuzamos lehet egyszintű, vagy többszintű struktúra. A soros táplálás lehet tápvonalszelekciós, vagy közvetlen becsatolású.

Tápvonalszelekciós: lényege, hogy a fő gerjesztő tápvonal fázisforgatókkal szekciókraven felosztva. Az antennákról csökkenő intenzitású jel jön le, előnye viszont az egyszerű kialakítás.



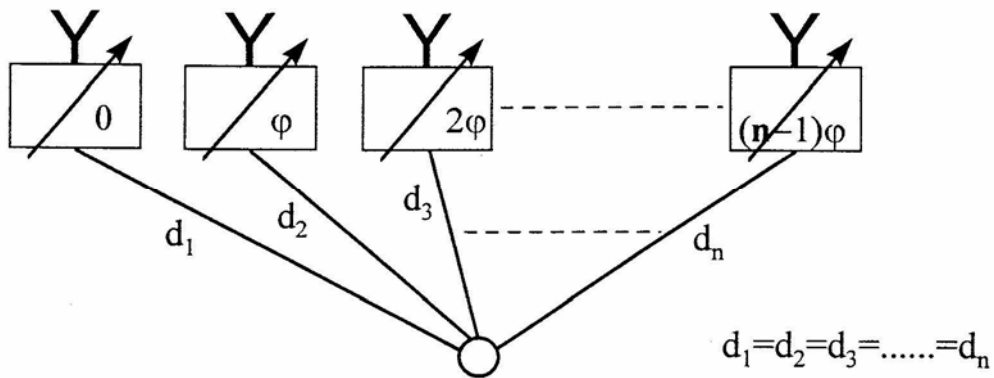
1. ábra Tápvonalszelekciós módszer

Közvetlen becsatolású: a sugárzó elemek elé egy közös tápvonallal közvetlenül becsatolt fázisforgatókon keresztül érkezik a jel.



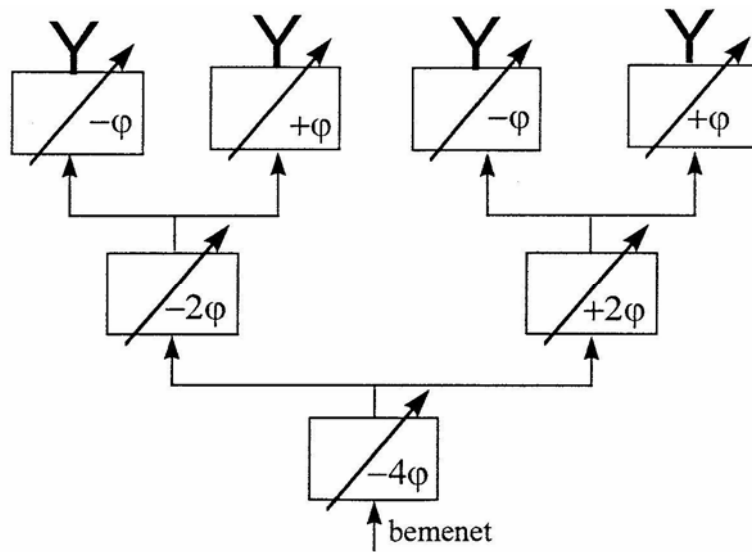
2. ábra Közvetlen becsatolású módszer

Párhuzamos egyszintű táplálás: minden sugárzó elem saját, egyéni értékkel rendelkező fázistolón keresztül kapja a táplálást.



3. ábra Párhuzamos egyszintű táplálás

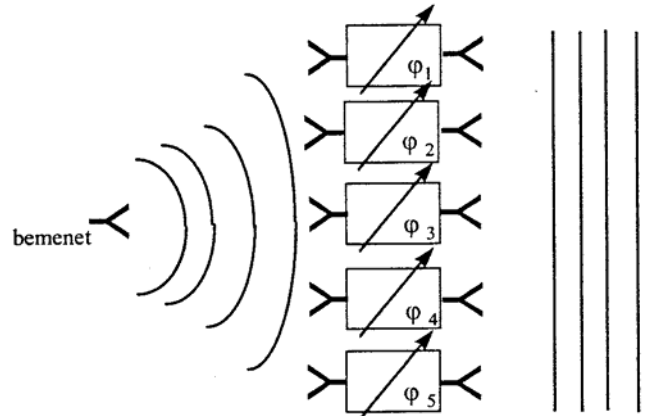
Párhuzamos többszintű táplálás: az egyes sugárzó elemek különböző fázisú táplálását többszintű fázistoló hálózattal valósítják meg. A fázistolás értéke a hálózatban szintenként változik.



4. ábra Párhuzamos többszintű táplálás

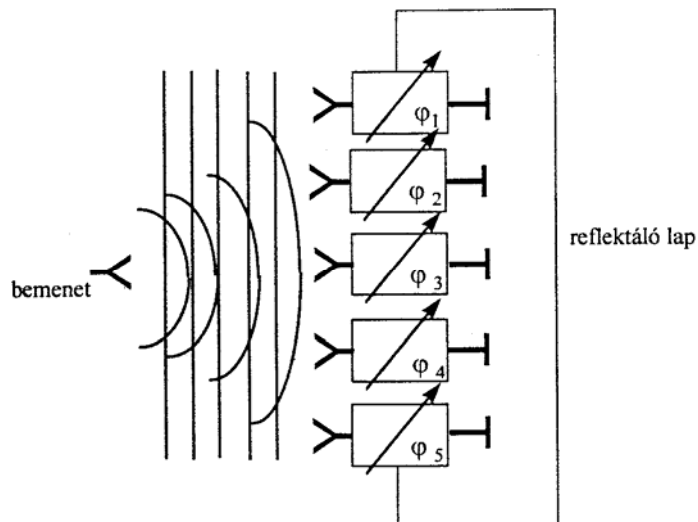
2.2. Optikai módszer

Átmenő típus: a primer sugárzó általában monopulse típusú tölcésű sugárzó, mely szférikus gombhullámokat állít elő. A fázistolók vevőantennával vannak ellátva, és a kimeneteik sugárzó dipólra kerülnek. Az így kapott eredmény síkhullámok sorozata.



5. ábra Átmenő típus

Reflexiós típus: ez a megoldás teljes mértékben megegyezik az átmenő típussal, azzal a különbséggel, hogy a dipólok jeleit itt reflektáló lappal visszaveretik. Az eredmény szintén síkhullámok sorozata.



6. ábra Reflexiós típus

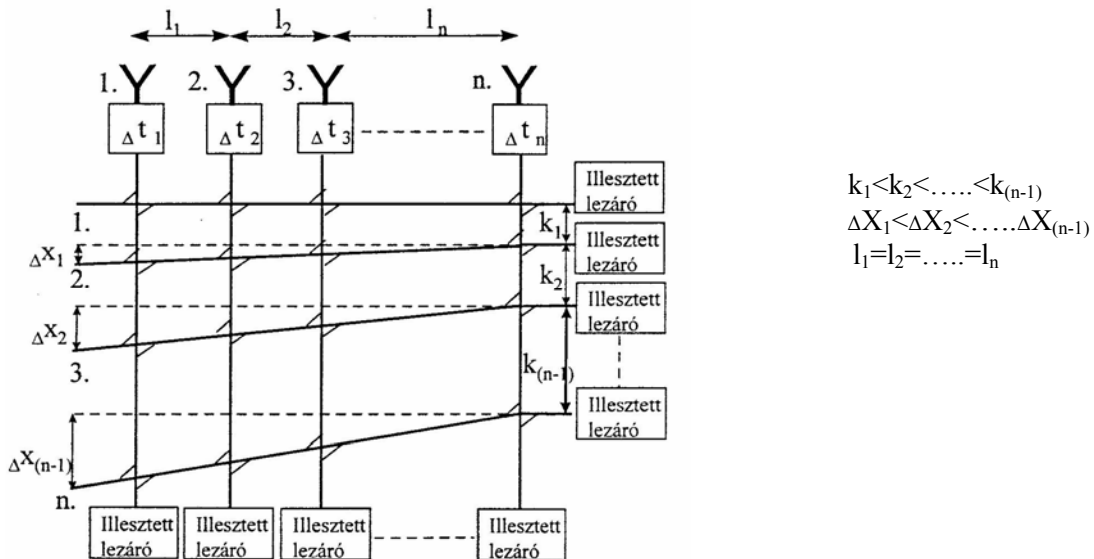
2.3. Mátrix típusú nyalábelterítés

Lényege, hogy mátrixszerű kapcsolat van a gerjesztő és sugárzó tápvonalak között.

Annyi gerjesztő tápvonal szükséges, ahány különböző szögértékre van beállítva az antenna rendszer.

A módszer lehetővé teszi $\pm 90^\circ$ -os tartományon belül a sugárnyaláb eltérítést, de a szöghelyzetek diszkrétnek lehetnek csak. A tápvonalakat iránycsatolókkal kötik össze, és mind a sugárzó, mind a gerjesztő tápvonalak végei illesztett lezárával vannak lezárva.

A módszer gyakorlatilag egy multiplexelt lineáris antennarács beépített késleltetésekkel.

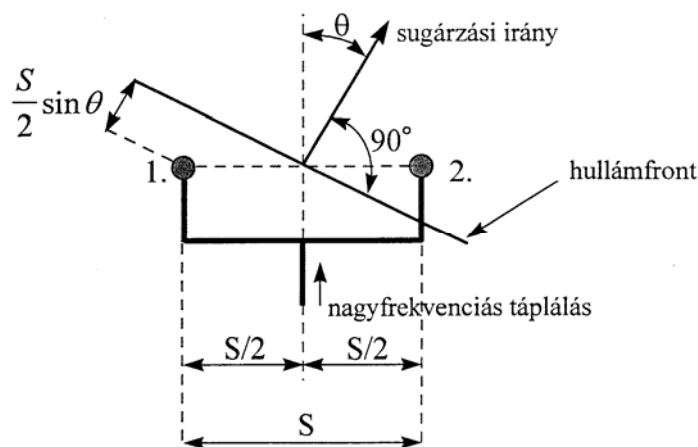


7. ábra Mátrix típusú nyalábelterítés

3. A FÁZISVEZÉRELT ANTENNARÁCS MŰKÖDÉSI ELVE

3.1. Két elemi sugárzó dipól iránykarakterisztikájának meghatározása

Az elemi sugárzókat a következő, 8. ábra szerint helyezük el egymás mellett.



8. ábra Két elemi sugárzóból felépített antenna

A sugárzási irány, tehát az iránykarakterisztika merőleges a kialakuló hullámfrontra. A két izotróp sugárzó egymástól S távolságra helyezkedik el. Ha a bemenő teljesítményt egységnyinek vesszük és a két sugárzó a középpontban táplálva azonos gerjesztést kap, akkor az antenna távoli zónákra a jelek vektoriális összege a következő.

$$E_q(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[e^{j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \left(\frac{S}{2} \sin \theta \right)} + e^{-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \left(\frac{S}{2} \sin \theta \right)} \right] \quad (1)$$

ahol: S - a sugárzók távolsága

λ - a NF-ás táplálás frekvenciájából adódó hullámhossz

θ - az iránykarakterisztika maximumának szöge a merőleges irányhoz képest

Felhasználva az Euler formulát, miszerint:

$$e^{j\varphi} = \cos \varphi + j \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

$$e^{-j\varphi} = \cos \varphi - j \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

majd a (2)-es és (3)-as egyenleteket összeadva, és az így kapott egyenletet $\cos \varphi$ -re rendezve kapjuk a következő, (4)-es összefüggést.

$$\cos \varphi = \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2} \quad (4)$$

Legyen

$$\varphi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{S}{2} \cdot \sin \theta \right) \quad (5)$$

Ekkor a normalizált antennaegyenleten alkalmazva az Euler formulát megkapjuk az antenna iránykarakterisztikáját.

$$E_a(\theta) = \cos \left(\frac{\pi \cdot S}{\lambda} \cdot \sin \theta \right) \quad (6)$$

ahol: $E_a(\theta)$ -az antenna iránykarakterisztikája

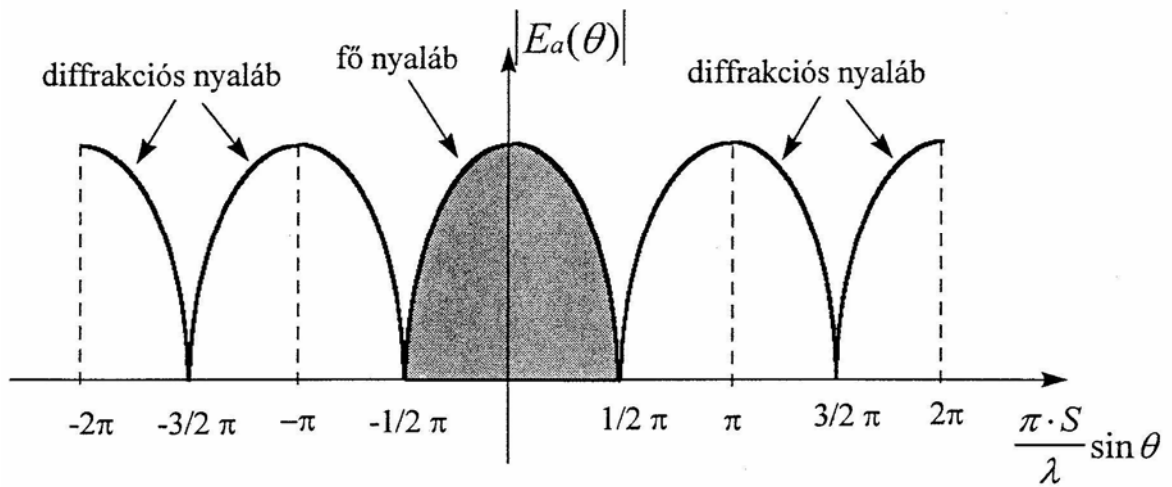
Az iránykarakterisztika lokális maximumokat vehet fel ott, ahol $\varphi=0$, azaz:

$$\sin \theta = \frac{m \cdot \lambda}{S} \quad (7)$$

ahol: $m=0,1,2,3,\dots,k$

Ezek a helyeken maximumai vannak az iránykarakterisztikának.

A $[-\pi/2-\pi/2]$ intervallumban az iránykarakterisztikának fő nyalábja van. Az ezen kívül eső tartományokban diffrakciós nyalábok találhatók. Ennek megfelelően egy két antennából álló rendszer iránykarakterisztikája a következő.

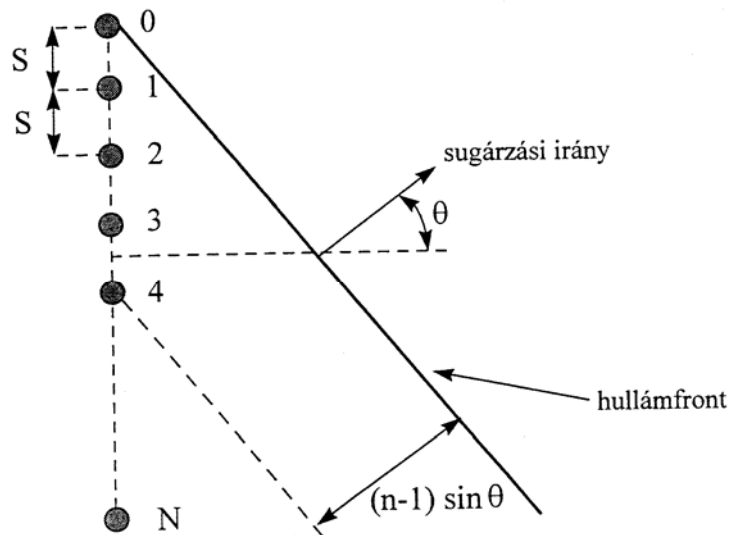


9. ábra A két elemből álló rendszer iránykarakterisztikája

3.2. „N” számú izotróp elemi sugárzókból álló lineáris antennarács

iránykarakterisztikája

A két elemből álló összeállítás után most egy N elemből álló antenna iránykarakterisztikáját fogjuk vizsgálni.



10. ábra N elemből álló antennarendszer

Az n -edik elem és a hullámfront közötti távolság $(n-1) \cdot \sin(\theta)$. A sugárzó elemek közötti távolság S , és a sugárzók a két antennás példához hasonlóan azonos amplitúdójú gerjesztést kapnak. A diffrakciós maximumok szintén azokon a helyeken alakulnak ki, mely helyekre a (7)-es feltétel teljesül.

Az iránykarakterisztika keskenyebb, mint kétsugárzás esetben és kialakulnak újabb mellékszirmok is. Az iránykarakterisztika egyenlete a következő.

$$E(\theta) = \frac{\sin \left[\pi \cdot \left(\frac{N \cdot S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta \right]}{\pi \cdot \left(\frac{N \cdot S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta} \quad (8)$$

ahol: N - az elemi sugárzók száma.

$E(\theta)$ - az N elemből álló antenna iránykarakterisztikája

Az összefüggés egy állandó amplitúdóval gerjesztett N elemű apertúra térerősség eloszlásának Fourier transzformáltja. Az $N \cdot S$ szorzat az antenna effektív felülete.

A kapott $E(\theta)$ karakterisztika jól közelíti a valóságos, gyakorlati karakterisztikát kis θ értéknél, valamint az apertúra megfelelően nagy geometriai méreténél.

A karakterisztika szélessége 3dB-es szinten a következő.

$$\theta_{3dB} = \frac{50,8^\circ \cdot \lambda}{N \cdot S} \quad (9)$$

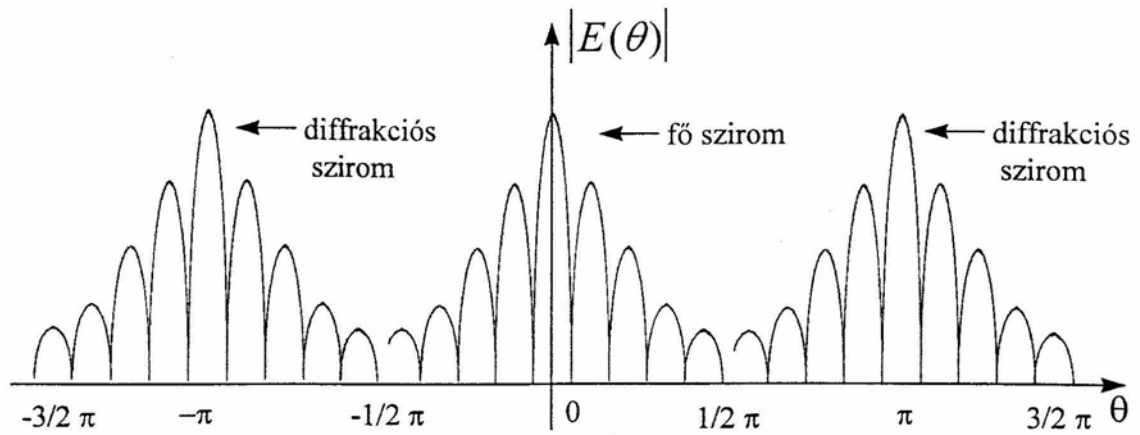
Nagyobb θ értéknél, illetve kisebb méretű apertúra esetén az $E(\theta)$ összefüggés kiegészül a Houghens féle együtthatóval.

$$E(\theta) = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta) \cdot \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{N \cdot S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta \right]}{\pi \left(\frac{N \cdot S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta} \quad (10)$$

ahol: $f_H(\theta) = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta)$ - Huygens féle együttható

Az $E(\theta)$ összefüggés felhasználásával például egy $N=10$ sugárzóelemből álló lineáris antennarács iránykarakterisztikája a következő.

$$|E(\theta)| = \frac{\left| \sin \left[N \cdot \pi \cdot \left(\frac{S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta \right] \right|}{\left| N \cdot \sin \left[\pi \cdot \left(\frac{S}{\lambda} \right) \cdot \sin \theta \right] \right|} \quad (11)$$



11. ábra

Egy tíz elemből álló sugárzó sor iránykarakterisztikája

3.3. A fázisfront (iránykarakterisztika) mozgatása

Az előzőekben egy N darabszámú sugárzó sor iránykarakterisztikáját vizsgáltuk. Ebben a fejezetben bemutatom, hogy több ilyen egymás mellé helyezett sugárzó sor, vagyis egy antennarács kialakuló iránykarakterisztikáját hogyan mozgathatjuk helyszög és oldalszög szerint.

Az antenna iránykarakterisztikájának mozgatásához az elemi sugárzókat a következő törvényszerűség szerint kell vezérelni.

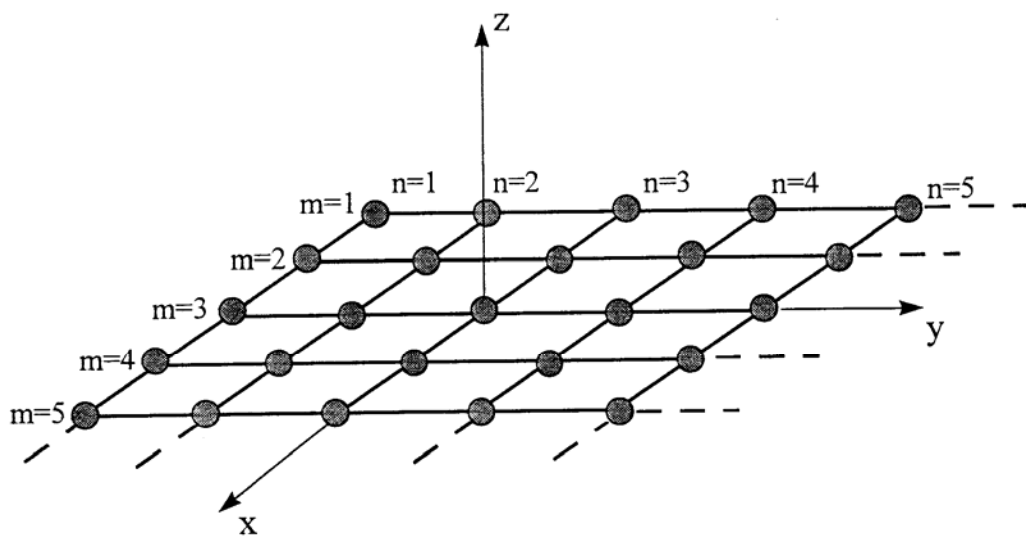
$$\Phi(m, n) = -\beta(m \cdot \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi_0 + n \cdot \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi_0) \quad (12)$$

ahol: $\Phi(\mathbf{m}, \mathbf{n})$ - koordinátafüggő fázistolás

\mathbf{m}, \mathbf{n} - elemi sugárzók elhelyezkedési koordinátái

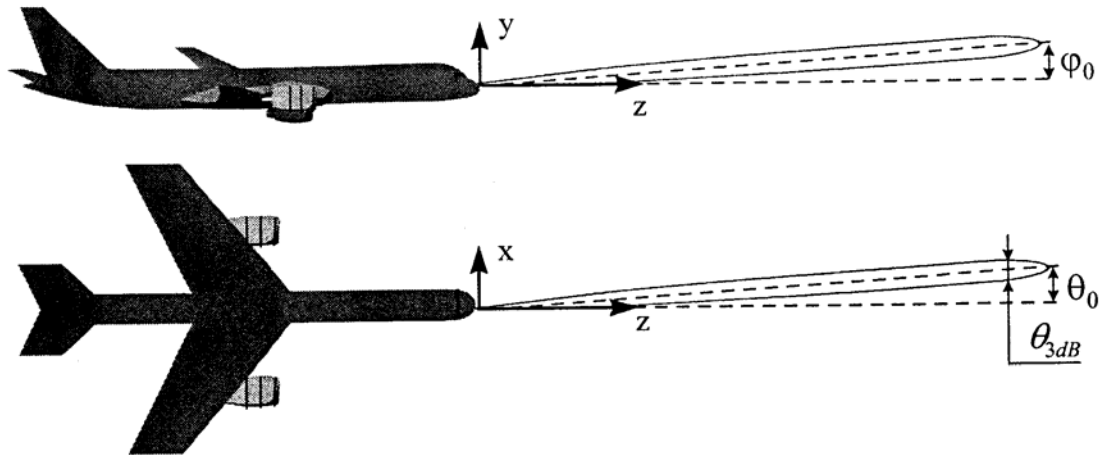
θ_0, φ_0 - az iránykarakterisztika maximumának szögei (θ_0 -oldalszög, φ_0 -helyszög)

$\beta = 2\pi/\lambda$



12. ábra Elemi sugárzókból felépített antennarács

Az oldalszög, helyszög és az iránykarakterisztikaszélesség fogalmait a következő, 13. ábra segítségével magyarázzuk. Az x , y , z tengelyek az antennarács fedélzetén történő elhelyezkedését szemléltetik a 12. ábra jelölései alapján.



13. ábra Az oldalszög, helyszög és iránykarakterisztika-szélesség fogalmait magyarázó ábra

ahol: θ_0, φ_0 - az iránykarakterisztika maximumának

szögei (θ_0 -oldalszög, φ_0 -helyszög)

θ_{3dB} -a karakterisztika szélessége 3dB-es szinten

A FAR-okban az x - y tengelyek mentén elhelyezett sugárzók egymáshoz viszonyított fázistolásai a következők.

- az x tengely mentén:

$$\Delta\Phi_x = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \cdot dx \cdot \sin\theta_0 \cdot \cos\varphi_0 \quad (13)$$

- az y tengely mentén:

$$\Delta\Phi_y = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \cdot dy \cdot \cos\theta_0 \cdot \sin\varphi_0 \quad (14)$$

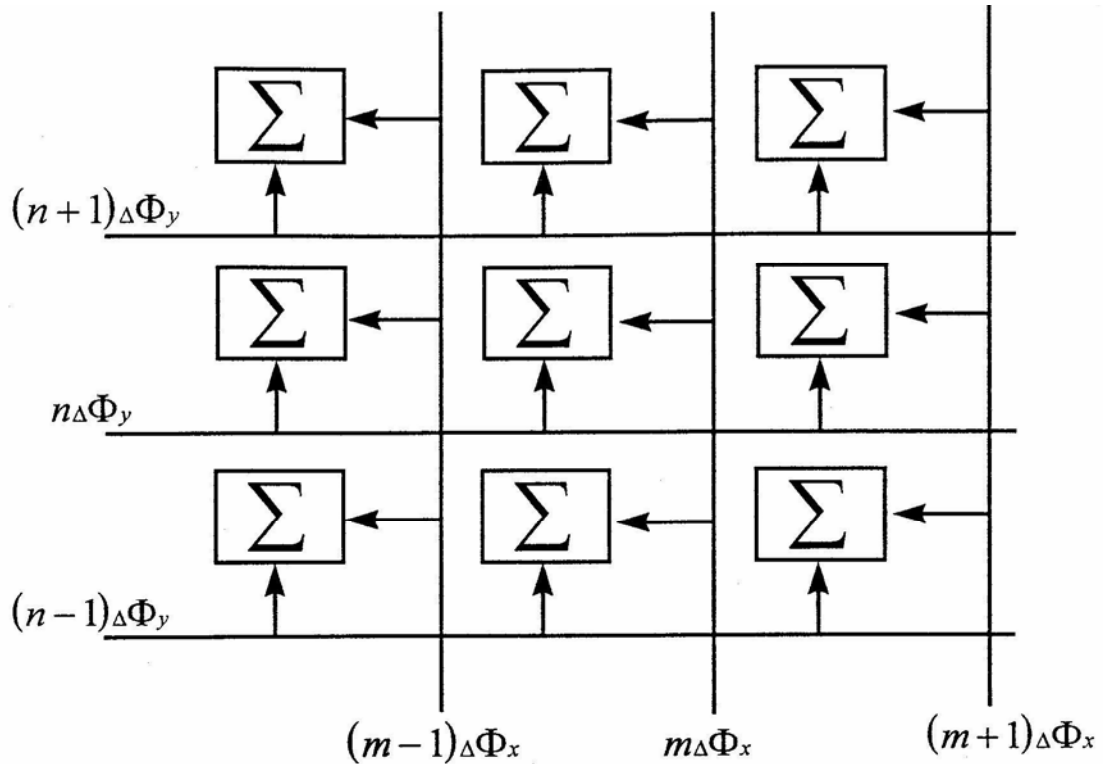
ahol: d_x, d_y - az x , y tengely mentén a sugárzók egymáshoz viszonyított távolsága

Az m -edik oszlop n -edik sorában elhelyezkedő elem fázistolása a következő.

$$\Delta\Phi_{mn} = m \cdot \Delta\Phi_x + n \cdot \Delta\Phi_y \quad (15)$$

Mind a FAR-felület, mind a fázistolás vezérelhetősége a mátrix rendszerű megvalósítást indokolja. Az utóbbi összefüggés összegzése miatt a sugárzó egy szummátorral egészül ki, melyre a $\Delta\Phi_x$ és $\Delta\Phi_y$ egész számú többszörösei kerülnek.

Így az x tengely mentén az m -edik oszlopban, az y tengely mentén az n -edik sorban elhelyezkedő sugárzó, illetve a szomszédos sugárzók fázisvezérlése a következő, 14. ábra alapján valósul meg.



14. ábra A sugárzók fázisvezérlésének megvalósítása

Felhasznált irodalom:

1. Dr.Almássy György: Mikrohullámú kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest,1973
2. Dr.Csorba János: A fedélzeti rádiólokátorok működésének elméleti alapjai, Szolnok, 1986
3. Dr.Istvánffy Edvin: Tápvonalak, antennák, hullámterjedés, Tankönyvkiadó, Budapest, 1967
4. George W. Stimson: Introduction to Airborne Radar (Second Edition), Chapter 3. Scitech Publishing Inc., New Jersey, 1988
5. Lufthansa: Training manual ATA Chapter 34. Navigation system. 1983