

FÁZISVEZÉRELT ANTENNARÁCSOK

AZ ANTENNARÁCSOK ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

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

- Antennarácsok;
- monopulse elvű radarok;
- szintetikus apertúrájú radarok.

Cikkemben csak az antennarácsokkal 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 dipólusugárzó) 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 diplexerek 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 fázistoló legyen, de azonos amplitúdó viszonyokkal.

Ennek megoldására három módszer van:

- leágazásos módszer;
- optikai módszer;
- mátrix módszer.

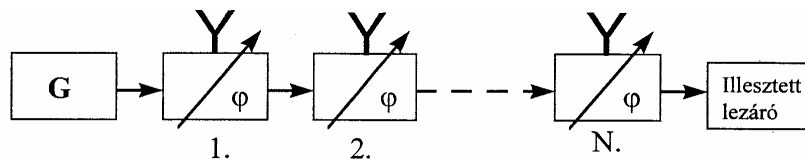
A következő fejezetben ezeket a módszereket mutatom be.

EGYENLŐ AMPLITÚDÓ ELOSZLÁST BIZTOSÍTÓ ÁRAMKÖRÖK

Leágazásos módszer

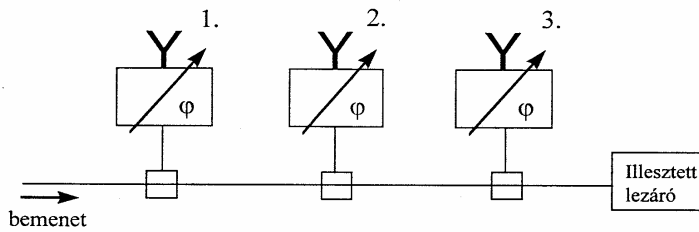
A tápvonallal történő táplálás szerint lehet soros, vagy párhuzamos. A párhuzamos lehet egyszintű, vagy többszintű struktúra. A soros táplálás lehet tápvonalszelekciós, vagy közvetlen becsatolású.

Tápvonalszelekció lényege, hogy a fő gerjesztő tápvonal fázisforgatókkal szekciókra van felosztva. Az antennákról csökkenő intenzitású jel jön le, előnye viszont az egyszerű kialakítás (1. ábra).



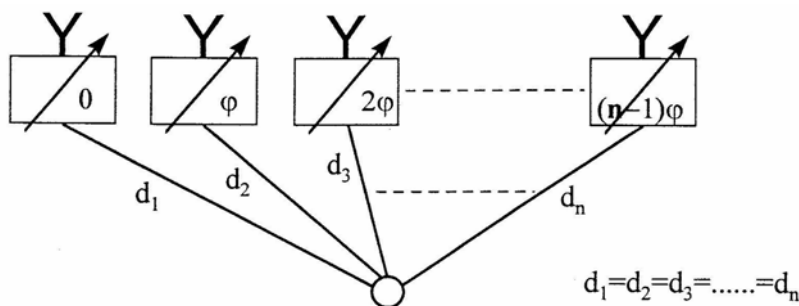
1. ábra. Tápvonalszelekciós módszer

Közvetlen becsatolású: a sugárzó elemek elé egy közös tápvonallról közvetlenül becsatolt fázisforgatókon keresztül érkezik a jel (2. ábra).



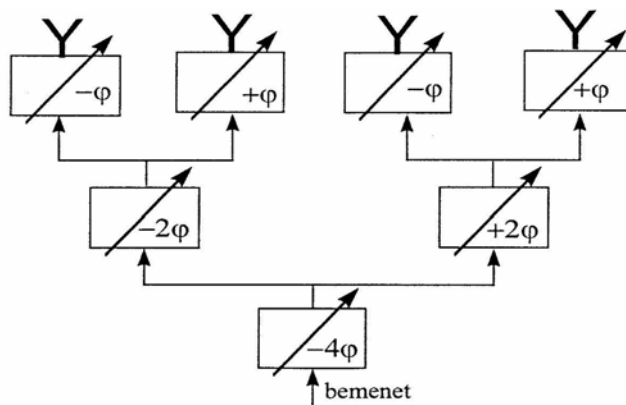
2. ábra. Közvetlen becsatolású módszer

Párhuzamos egyszintű táplálás: minden sugárzó elem saját, egyéni értékkel rendelkező fázistolón keresztül kapja a táplálást (3. ábra).



3. ábra. Párhuzamos egyszintű táplálás

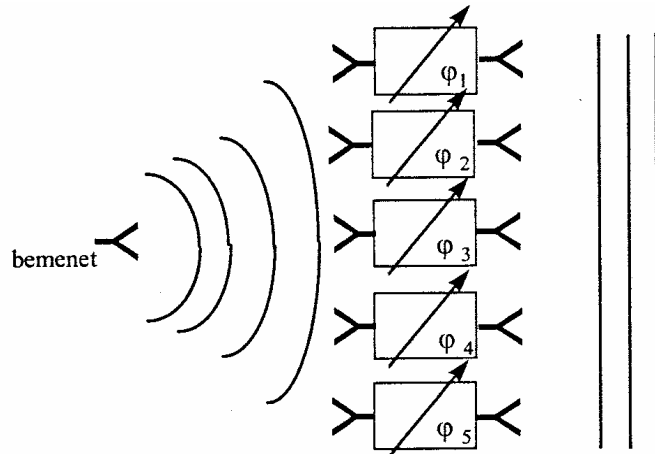
Párhuzamos többszintű táplálás: az egyes sugárzó elemek különböző fázisú táplálását többszintű fázistoló hálózattal valósítják meg (4. ábra). A fázistolás értéke a hálózatban szintenként változik.



4. ábra. Párhuzamos többszintű táplálás

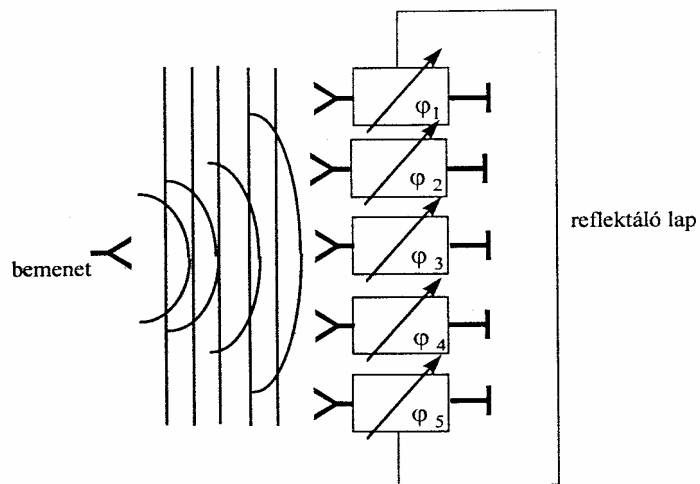
Optikai módszer

Átmenő típus: a primer sugárzó általában monopulse típusú tölcésugárzó, mely szférikus gombhullámokat állít elő (5. ábra). 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 (6. ábra). Az eredmény szintén síkhullámok sorozata.



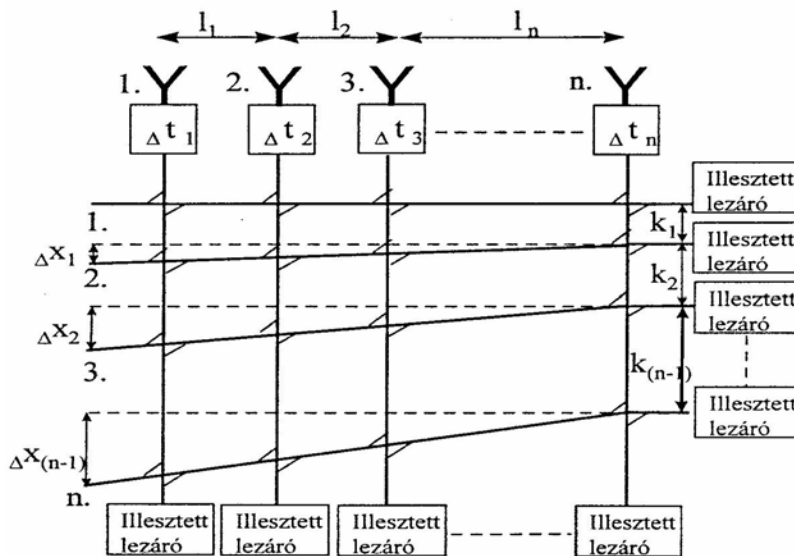
6. ábra. Reflexiós típus

Mátrix típusú nyálábeltérítés

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 készletteléssel.



7. ábra. Mátrix típusú nyálábeltérítés

ahol:

$$k_1 < k_2 < \dots < k_{(n-1)}$$

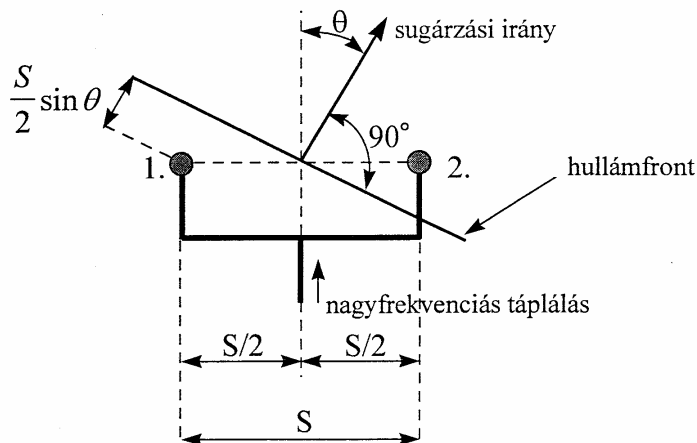
$$\Delta X_1 < \Delta X_2 < \dots < \Delta X_{(n-1)}$$

$$l_1 = l_2 = \dots = l_n$$

A FÁZISVEZÉRELT ANTENNRÁCS MŰKÖDÉSI ELVE

Két elemi sugárzó dipól iránykarakterisztikájának meghatározása

Az elemi sugárzókat a következő 8. ábra szerint helyezzük 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 beemenő 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

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

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.

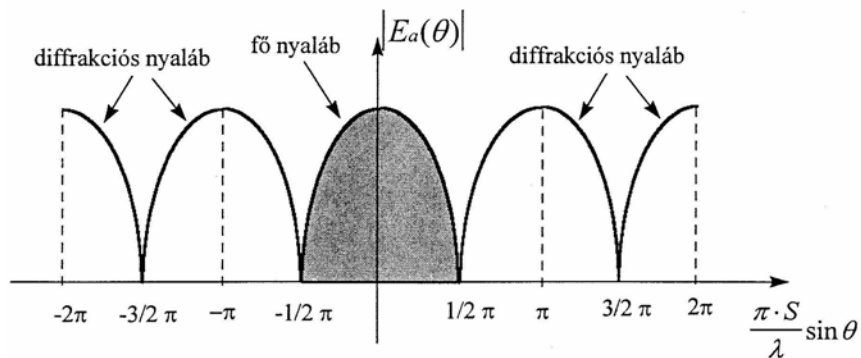
Az iránykarakterisztika lokális maximumokat vehet fel ott, ahol $\varphi = 0$, azaz:

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

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

Ezek a helyeken maximumai vannak az iránykarakterisztikának.

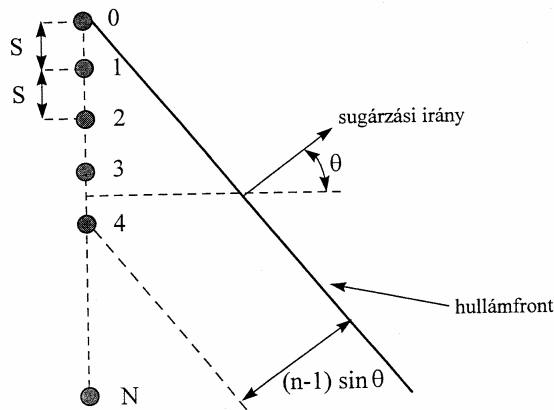
A $[-\pi/2-\pi/2]$ intervallumban az iránykarakterisztikának fő nyalábja van. Az ezen kívül eső tartományokban diffrakciós nyalábok találhatók. Ennek megfelelően egy két antennából álló rendszer iránykarakterisztikája a következő.



9. ábra. A két elemből álló rendszer iránykarakterisztikája

„N” számú izotróp elemi sugárzóból 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 kétsugárzós 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.

$$\theta_{3dB} = \frac{50.8^\circ \cdot \lambda}{N \cdot S} \quad (9)$$

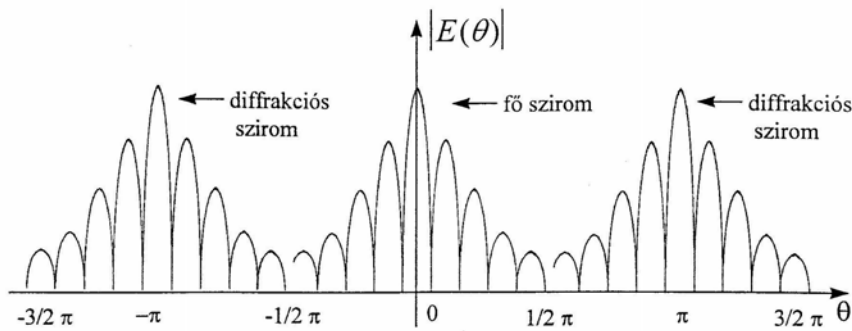
Nagyobb θ értéknél, illetve kisebb méretű apertúra esetén az $E(\theta)$ összefüggés kiegészül a Huygens féle együtthatóval.

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

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.

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



11. ábra. Egy tíz elemből álló sugárzó sor iránykarakterisztikája

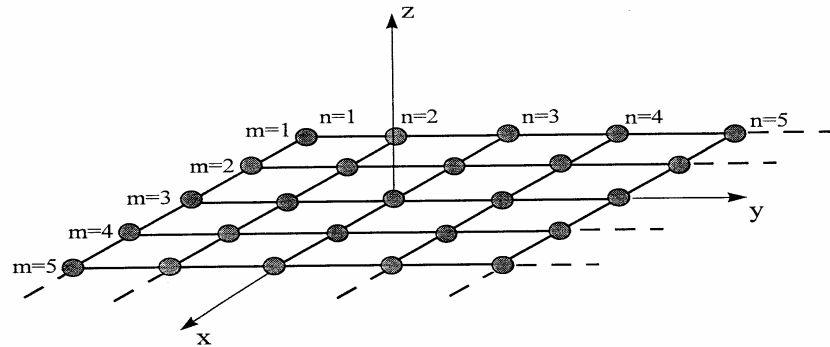
A fázisfront (iránykarakterisztika) mozgatása

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.

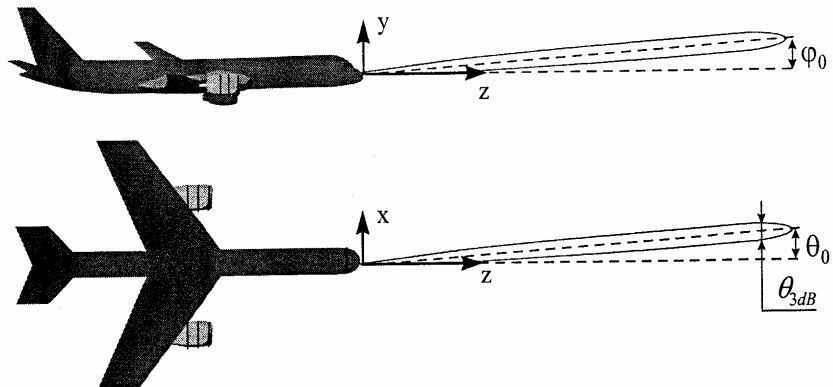
$$\Phi(m, n) = -\beta(m \cdot \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi_0 + n \cdot \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi_0) \quad (12)$$

ahol: $\Phi(m, n)$ - koordinátafüggő fázistolás;
 m, n - elemi sugárzók elhelyezkedési koordinátái;
 θ_0, φ_0 - az iránykarakteristika maximumának szögei (θ_0 -oldalszög, φ_0 -helyszög).



12. ábra. Elemi sugárzókból felépített antennarács

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



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

ahol: θ_0, φ_0 - az iránykarakteristika maximumának szögei (θ_0 -oldalszög, φ_0 -helyszög);
 θ_{3dB} - a karakteristika 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:

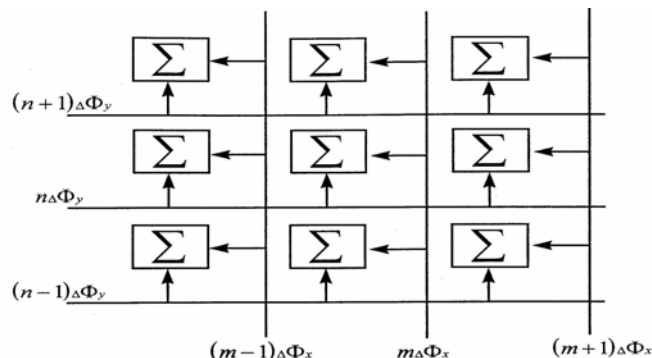
$$\Delta\Phi_y = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \cdot dy \cdot \cos\theta_0 \cdot \sin\varphi_0 \quad (14)$$

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 többszöröse 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, 1973.
- [2] Frigyes I., O. Schwelb, Bérces J.: „Investigation and improvements in microwave optoelectronic variable delay lines” *Microwave Symposium, Digest* San Francisco, 1996.
- [3] Nicholas Madamopoulos, Nabeel A. Riza: „Polarization selective hologrambased photonic delay lines” *Optics Communications*, 157, 1998. pp. 225–237.