

3.2. Az antennákkal kapcsolatos fontosabb fogalmak és jellemzők

3.2.1. Az antenna funkciói

3.2.1.1. Adás, vétel, szórás

Az antenna elektromágneses hullámok kisugárzására és vételére szolgáló eszköz. A rádiórendszerekben betöltött funkciója alapján az antenna transzformátor a tápvonal és a szabad tér között. Ez azt jelenti, hogy az adóantenna az adóberendezésből hozzávezetett elektromágneses energiát kisugárzott elektromágneses hullámokká, a vevőantenna pedig a beeső elektromágneses hullámot vezetett hullámokká alakítja.

Az antenna harmadik funkciója az adás és vétel mellett a szórás, vagyis az elektromágneses tér eloszlásának módosítása. Ez úgy is tekinthető, hogy az antenna egyidejűleg vesz és ad, azaz a vett energiát részben vagy egészen visszasugározza.

3.2.1.2. Az antenna mint térbeli szűrő

Az antenna további fontos jellegzetessége, hogy sugárzása a tér különböző irányába; illetve érzékenysége ezen irányokból; nem egyenletes, hanem irányított. Az antennának ezt a tulajdonságát az antenna iránykarakterisztikája írja le.

Az adóantenna a betáplált teljesítményt az iránykarakterisztikával súlyozva sugározza ki, a vevőantenna pedig a beeső hullámot ezzel súlyozva veszi. Az antennát tehát úgy tekinthetjük, mint térbeli szűrőt.

Az elektromágneses hullámok fontos tulajdonsága a polarizáció, mely mint ismeretes általában elliptikus és ennek végtelen sok állapota lehetséges. Egy antenna maximális hatásfokkal csak egyetlen polarizáció kisugárzására vagy vételére alkalmas, az erre ortogonális polarizációt elnyomja, ezért ezt a tulajdonságot is tekinthetjük szűrésnek. Az antenna polarizációja szintén irányfüggő, melyet a polarizációs iránykarakterisztika ír le.

Az antenna irányítottságát és szelktív polarizációs tulajdonságát zsúfolt elektro- mágneses környezetben a kölcsönös zavarok elkerülése érdekében hasznosíthatjuk.

A továbbiakban az antenna iránykarakterisztikáit részletesen is tárgyaljuk. Mivel a reciprocitási tétel értelmében egy antenna adás- és vételi iránykarakterisztikája megegyezik, ezért csak az adási-iránykarakterisztikával foglalkozunk.

3.2.2. Az antenna iránykarakterisztikái

3.2.2.1. A szabadtéri és üzemi iránykarakterisztika

A gyakorlatban rendszerint az antenna távoltere érdekes, ezért az iránykarakterisztikával az antenna távolterének irányfüggését adjuk meg.

Az iránykarakterisztika meghatározásánál feltételezzük, hogy az antenna akadálymentes szabad térbe sugároz. Az így kapott iránykarakterisztikát az antenna szabadtéri iránykarakterisztikájának nevezzük.

Az akadálymentes szabad teret úgy is tekinthetjük, mint az antenna rádiócsatorna felé néző kapujának illesztett lezárását. Ezt rendszerint csak laboratóriumi körülmények között, reflexiómentesítő (elnyelő) anyaggal burkolt mérőszobában, vagy speciális antenna mérőterepen lehet biztosítani.

Adott rendszerben a telepített antenna iránykarakterisztikáját üzemi iránykarakterisztikának nevezzük, mely a környezet hatása miatt jelentősen eltérhet a szabadteritől.

3.2.2.2. Az antenna teljesítmény- és amplitudó iránykarakterisztikája

Az antenna távolföldi térerőssége \mathcal{G} és φ irányú lineárisan polarizált komponensekkel felírva egy adott \mathbf{r} helyen a következő

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = E_{\mathcal{G}} \cdot \mathbf{e}_{\mathcal{G}} + E_{\varphi} \cdot \mathbf{e}_{\varphi} \quad (3.26)$$

ahol

$E_{\mathcal{G}}$ és E_{φ} komplex skalárkomponensek

$\mathbf{e}_{\mathcal{G}}$ és \mathbf{e}_{φ} ortogonális egységvektorok.

A továbbiakban bennünket elsősorban a teljesítménysűrűség érdekel, ezért írjuk fel a (3.26) képletet egy valós skaláramplitudó és egy egységnyi abszolútértékű vektor szorzataként. Ez utóbbi a teljesítménysűrűséget nem befolyásolja, de tartalmazza a hullám

polarizációját.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sqrt{|E_\vartheta|^2 + |E_\varphi|^2} \left[\frac{E_\vartheta}{\sqrt{|E_\vartheta|^2 + |E_\varphi|^2}} \mathbf{e}_\vartheta + \frac{E_\varphi}{\sqrt{|E_\vartheta|^2 + |E_\varphi|^2}} \mathbf{e}_\varphi \right] = E_o(\mathbf{r}) \cdot \mathbf{p}(\mathbf{r}) \quad (3.27)$$

ahol

E_o a térerősség skalár amplitudója

$\mathbf{p} = p_\vartheta \cdot \mathbf{e}_\vartheta + p_\varphi \cdot \mathbf{e}_\varphi$ a polarizációs vektor

$p_\vartheta = \frac{E_\vartheta}{E_o}$ és $p_\varphi = \frac{E_\varphi}{E_o}$ a polarizációs vektor komplex komponensei

$|\mathbf{p}| = 1$ a polarizációs vektor abszolút értéke 1

Az antenna sugárzása a távotérben az origóból kifelé haladó gömbhullámmal írható le. Ennek amplitudója és fázisa a távolsággal az ismert $e^{-j\beta r}/r$ törvényszerűség szerint változik, melyet a (3.27) képlet jobboldalán kiemelve a megmaradó feszültségszintű mennyiség már csak a szögkoordináták függvénye lesz.

$$\mathbf{E}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{e^{-j\beta r}}{r} U_o(\vartheta, \varphi) \cdot \mathbf{p}(\vartheta, \varphi) \quad (3.28)$$

Most írjuk fel a teljesítménysűrűséget a (3.28) képlet segítségével:

$$\mathfrak{S}(r, \vartheta, \varphi) = \frac{U_o^2(\vartheta, \varphi)}{240\pi r^2} \quad (3.29)$$

A (3.29) képletben $\mathfrak{S}(r, \vartheta, \varphi)$ mértékegysége W/m^2 , $\frac{U_o^2(\vartheta, \varphi)}{240}$ mértékegysége $W/szteradián$.

Emeljük ki a (3.29) képlet jobboldalán a maximális teljesítménysűrűséget, vagyis vezessük be a normalizált teljesítménykarakterisztikát

$$\mathfrak{S}(r, \vartheta, \varphi) = \mathfrak{S}_{\max}(r) \cdot P(\vartheta, \varphi) \quad (3.30)$$

ahol

$$S_{\max}(r) = \frac{U_o^2(\vartheta, \varphi)|_{\max}}{240\pi r^2} \quad (3.31)$$

$$P(\vartheta, \varphi) = \frac{S(r, \vartheta, \varphi)}{S_{\max}(r)} \text{ a normalizált teljesítmény iránykarakterisztika} \quad (3.32)$$

A (3.32) definícióból következik, hogy

$$F(\vartheta, \varphi) = \sqrt{P(\vartheta, \varphi)} \quad (3.33)$$

valós függvény, melyet normalizált feszültségiránykarakterisztikának, vagy másnéven amplitúdó iránykarakterisztikának nevezünk.

3.2.2.3. A komplex vektor iránykarakterisztika

Az amplitúdó iránykarakterisztika bevezetésével a (3.28) képlet az alábbi alakra hozható.

$$\mathbf{E}(r, \vartheta, \varphi) = U_{\max} \frac{e^{-j\beta r}}{r} F(\vartheta, \varphi) \cdot \mathbf{p}(\vartheta, \varphi) \quad (3.34)$$

ahol

$$F(\vartheta, \varphi) \cdot \mathbf{p}(\vartheta, \varphi) \quad \text{az antenna komplex vektor iránykarakterisztikája.}$$

Az antenna polarizációs iránykarakterisztikája a polarizációs vektorból levezethető, valamelyik polarizációs jellemző irányfüggése. A gyakorlatban rendszerint az antenna keresztpolarizációs csillapítását adják meg, mely definíciószerűen a következő

$$a_p(\vartheta, \varphi) = 20 \lg \frac{p_n(\vartheta, \varphi)}{p_x(\vartheta, \varphi)} \quad [\text{dB}] \quad (3.35)$$

A térerősség (3.34) képlet szerinti felírásából következik, hogy a térerősség fázisát is a polarizációs vektor tartalmazza.

3.2.2.4. Komponens iránykarakterisztikák

A polarizációs komponensekre vonatkozó (komplex-skalár) iránykarakterisztikák definíciója a következő

$$F_n(\vartheta, \varphi) = \frac{E_n(\vartheta, \varphi)}{E_{n\max}} = F_n(\vartheta, \varphi) \cdot e^{j\Phi_n(\vartheta, \varphi)} \quad (3.36)$$

ahol

$F_n(\vartheta, \varphi)$ a főpolarizációs komponens amplitúdó iránykarakterisztikája

$\Phi_n(\vartheta, \varphi)$ a főpolarizációs komponens fázis iránykarakterisztikája

és az amplitúdó iránykarakterisztikára igaz, hogy

$$F_n(\vartheta, \varphi) = \frac{F(\vartheta, \varphi) |p_n(\vartheta, \varphi)|}{\{F(\vartheta, \varphi) |p_n(\vartheta, \varphi)|\}_{\max}} \quad (3.37)$$

és

$$F_x = \frac{E_x(\vartheta, \varphi)}{E_{x\max}} = F_x(\vartheta, \varphi) \cdot e^{j\Phi_x(\vartheta, \varphi)} \quad (3.38)$$

ahol

$F_x(\vartheta, \varphi)$ a keresztpolarizációs komponens amplitúdó iránykarakterisztikája

$\Phi_x(\vartheta, \varphi)$ a keresztpolarizációs komponens fázis iránykarakterisztikája

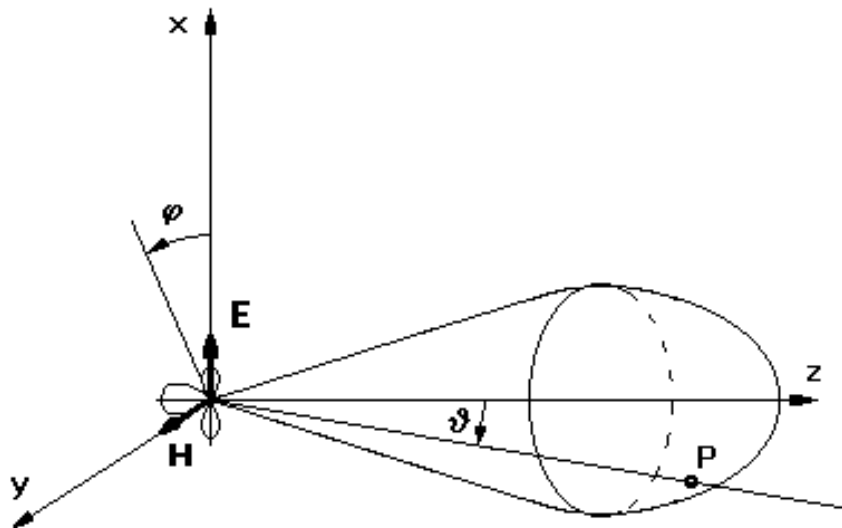
$$F_x(\vartheta, \varphi) = \frac{F(\vartheta, \varphi) |p_x(\vartheta, \varphi)|}{\{F(\vartheta, \varphi) |p_x(\vartheta, \varphi)|\}_{\max}} \quad (3.39)$$

Megjegyezzük, hogy a különféle rádiórendszerekben használt antennák keresztpolarizációs csillapítása a főirányban 20-40 dB, ezért $F(\vartheta, \varphi)$ és $F_n(\vartheta, \varphi)$ között csak a főiránytól távolabb van számottevő különbség.

Az is igaz viszont, hogy az antennát térbeli szűrőnek tekintve $F_n(\vartheta, \varphi)$ "zárósávi" (vagyis főnyalábon kívüli) csillapítását leronthatja $F_x(\vartheta, \varphi)$ nem megfelelő viselkedése.

3.2.2.5. Az iránykarakterisztika ábrázolása

Távolról nézve az antenna pontszerű és gömbhullámot sugároz, ezért az iránykarakterisztikát legszemléletesebben gömbi koordináta-rendszerben ábrázolhatjuk (3.4. ábra)



3.4. ábra Iránykarakterisztika ábrázolása

A koordinátarendszert úgy vesszük fel, hogy a fő sugárzási irány a z tengelybe essen, az x-z tengely pedig az **E** és **H** vektor irányába (lineáris polarizáció esetén).

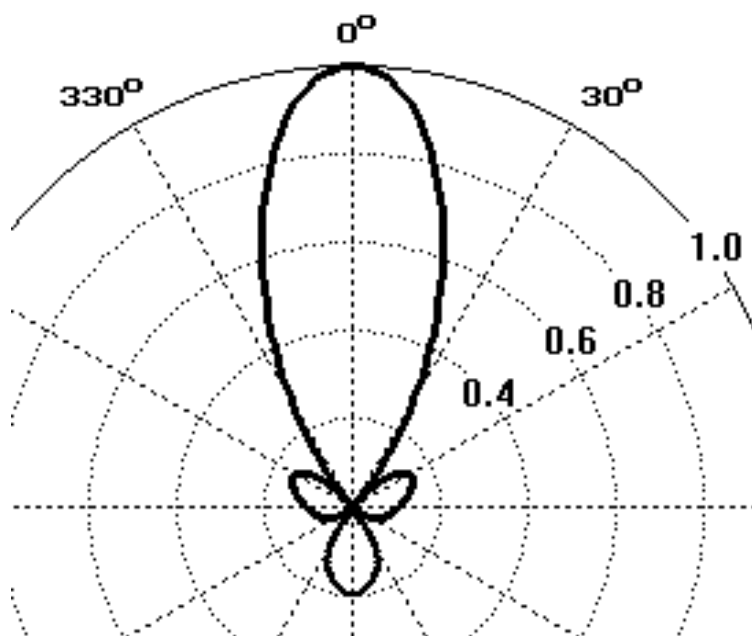
A 3.4. ábra szerint tetszőleges (ϑ, φ) irányban a relatív amplitudó a térbeli iránykarakterisztikát leíró felület P pontjáig húzott rádiuszvektor hossza.

A fázis- és polarizációs karakterisztika ilyen, a teljes 4π térszögtartományt felölelő ábrázolására rendszerint nincs szükség, ezért ezeknél a főnyalábhoz közeli szögekre a derékszögű ábrázolás szokásos.

Az antenna térbeli iránykarakterisztikája igen szemléletes képet mutat az antenna sugárzásáról, de előállításuk elég munkaigényes, ezért csak ritkán alkalmazzák. Régen fontosabb esetekben gipszből maketteket készítettek, ma háromdimenziós számítógépes ábrázolást alkalmaznak.

A gyakorlatban a térbeli iránykarakterisztika metszeteit alkalmazzák, mely már síkban ábrázolható. Az ilyen ábrázolásokat iránydiagramoknak nevezzük.

Leginkább a térbeli iránydiagram z tengelyen átmenő metszetei használatosak. Lineáris polarizáció esetén a $\varphi = 0$ és 90° -hoz tartozó tengelymetszetek az E-síkú és H-síkú iránydiagramokat adják, illetve mutat a 3.5. ábra.

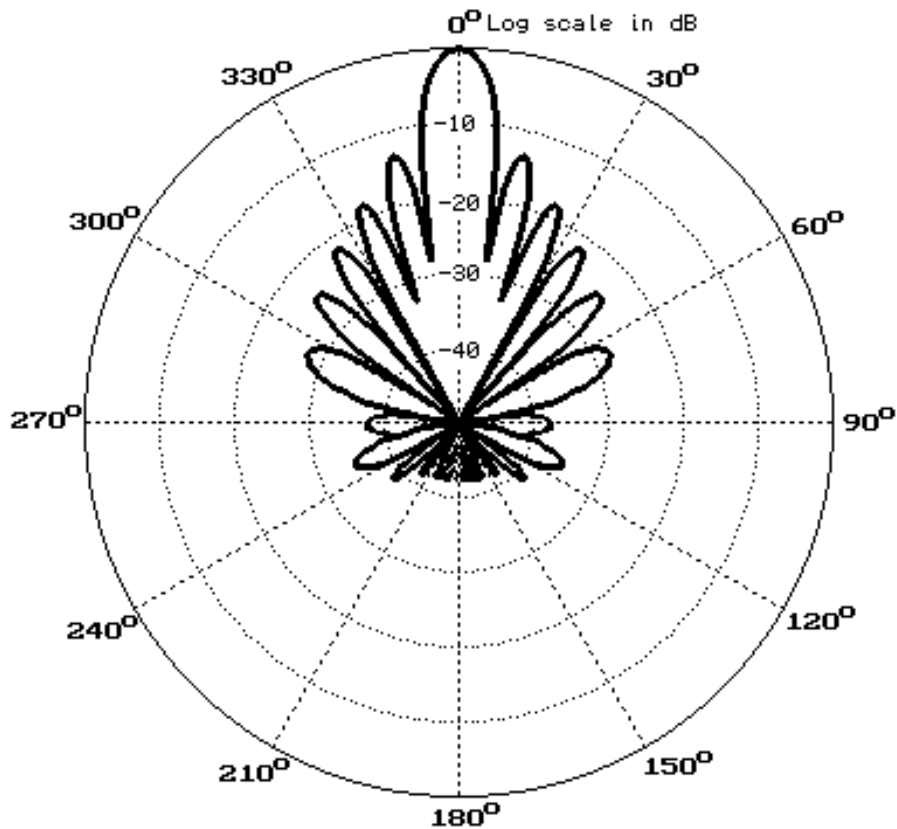


3.5. ábra Poláris, lineáris léptékű diagram

Mint a 3.5. ábrából látható, az iránykarakterisztika itt viszonylag széles főnyalábból és három melléknyalábból áll. A nyalábok között az amplitudó közel zérus, ezek helyét nullirányoknak nevezzük.

A térbeli szűrő analógiát követve a főnyaláb az áteresztő sávnak, az ezen kívüli tartomány a zárósávnak felel meg. A nullirányok a szűrő zérusainak felelnek meg.

A 3.5. ábrán $F(\vartheta)$ léptéke lineáris. Ez gyengén irányított antennák esetén kis amplitudókülönbségek kimutatására előnyös. Nem használható viszont az élesen irányított mikrohullámú antennáknál, ahol az amplitudó a főnyalábon kívül több nagyságrenddel is kisebb. Ilyenkor a logaritmikus léptéket (dB skála) kell választanunk. Ilyet mutat a 3.6. ábra.

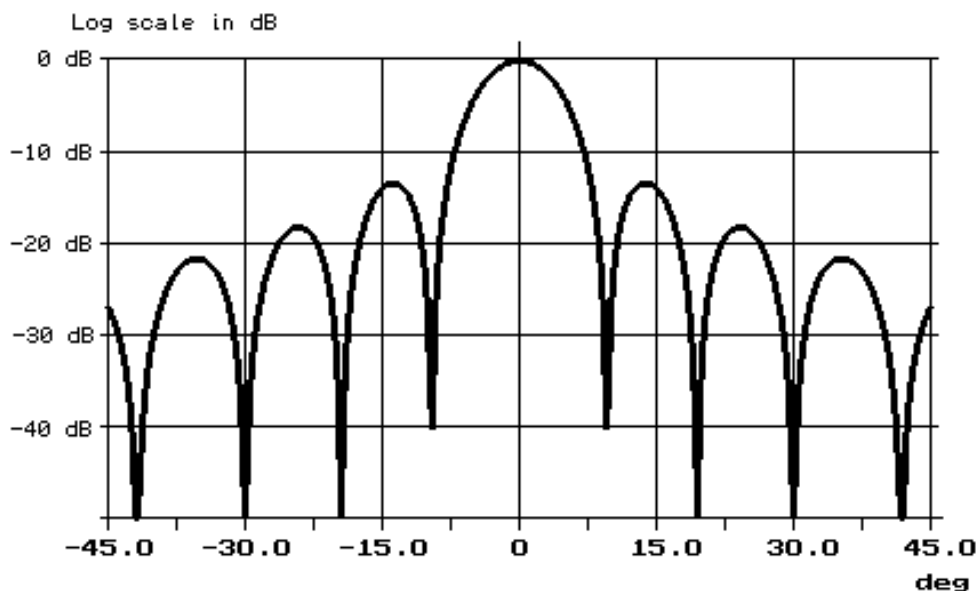


3.6. ábra Poláris, logaritmusos léptékű diagram

Mint a 3.6. ábrából látható az antenna hátrasugárzása (90° - 180° tartomány) legalább 40 dB-lel kisebb mint a főirányban, vagyis az iránykarakterisztika előre-hátra aránya 40 dB. Megemlítjük, hogy egyes mikrohullámú rádiórelé összeköttetések antennáitól 60-65 dB előre-hátra arányt kívánnak meg.

A főnyaláb és környezete az iránykarakterisztika legfontosabb része. Ennek részletes ábrázolása "kinagyítása" derékszögű koordinátarendszerben célszerű.

Ilyet mutat a 3.7. ábra.



3.7. ábra Derékszögű, logaritmikus léptékű diagram

Az antenna irányítottságát egyes esetekben elegendő a főnyaláb fokokban mért szélességével jellemezni. Mint a 3.7. ábrán is látható, erre szolgál Θ_{3dB} ; a 3 dB-es (vagy félteljesítményű) irányélességi szög, valamint főleg mikrohullámú antennák esetében a Θ_{10dB} ; a 10 dB-es irányélességi szög, és Θ_0 a főnyaláb kúpszöge, melyet a főnyalábot határoló nullairányok között mérünk.

Mint a 3.7. ábrából látható, a melléknyalábszint a főnyalábtól távolodva fokozatosan csökken, vagyis nő a melléknyaláb elnyomás.

3.2.3. Irányhatás és nyereség

3.2.3.1. Irányhatás

Az antenna irányítottságát egyetlen mérőszámmal az irányhatással is jellemezhetjük. Ez a főirányban kisugárzott teljesítménysűrűség és az azonos teljesítményt kisugárzó izotróp antenna teljesítménysűrűségének hányadosa.

$$D = \frac{S_{\max}}{S_0} \quad (3.40)$$

ahol

$$S_0 = \frac{P_s}{4\pi r^2} \quad (3.41)$$

P_s a kisugárzott teljesítmény.

A kisugárzott teljesítményt felírhatjuk az amplitudó iránykarakteristikával az alábbi módon

$$P_s = \oint\oint_A S(r, \vartheta, \varphi) dA = S_{\max} \oint\oint_A F^2(\vartheta, \varphi) dA \quad (3.42)$$

Behelyettesítve a (3.41) képletbe és áttérve a térszög szerinti integrálásra

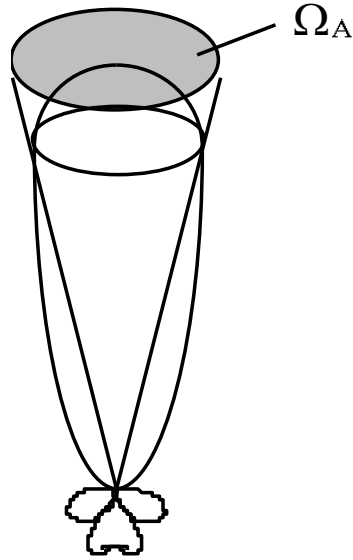
$$D = \frac{4\pi}{\oint\oint_{4\pi} F^2(\vartheta, \varphi) d\Omega} \quad (3.43)$$

ahol

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2}$$

A (3.43) képlet azt jelenti, hogy az antenna irányhatása csak az iránykarakteristikától függ. Ha tehát az antennát áramköri hasonlaltal négyfókusznak tekintjük, akkor az irányhatás a sugárzó kapu kapocspári jellemzője, és valójában adó- és vevőantennára egyaránt értelmezhető. Értelemszerűen értéke nem függ az antenna veszteségétől.

A (3.43) képlet nevezőjének mértékegysége szteradián. Ez úgy is felfogható, mint egy ideális antennanyaláb által elfoglalt térszögtartomány (3.8. ábra)



3.8. ábra

E térszögtartomány

$$\Omega_A = \oint_{4\pi} F^2(\vartheta, \varphi) d\Omega \quad (3.44)$$

ahol

Ω_A az ekvivalens antennanyaláb térszöge.

A gyakorlatban Ω_A közel egyenlő a főnyaláb 3 dB-es kontúrya által elfoglalt térszögtartománnyal. Ez lehetővé teszi, hogy az irányhatást jó közelítéssel kiszámoljuk az irányélességi szögből.

Ugyanis ideális tűnyaláb esetén

$$\Omega_A = \frac{\Theta_{3dB}^2 \pi}{4} \quad (3.45)$$

ahol

Θ_{3dB} a 3 dB-es irányélességi szög radiánban.

Átszámítva fokra és behelyettesítve a (3.43) képletbe az irányhatás közelítőleg

$$D \cong \frac{5250}{\Theta_{3dB}^2} \quad (3.46)$$

Körsugárzó antennánál

$$D \cong \frac{115}{\Theta_{3dB}^2} \quad (3.47)$$

3.2.3.2. Nyereség

Az antennanyereség a főirányban kisugárzott teljesítménysűrűség és az azonos bemenő teljesítményű izotróp antenna teljesítménysűrűségének hányadosa.

$$G = \frac{S_{\max}}{S_0} \quad (3.48)$$

ahol

$$S_0 = \frac{P_{be}}{4\pi r^2} \quad (3.49)$$

Az áramköri hasonlatnál maradva a nyereség tehát "transzferjellemző", vagyis függ az antenna veszteségétől. A fenti definícióból következik, hogy az antenna ohmos veszteségeit kifejező hatásfok a következő:

$$\eta = \frac{G}{D} \quad (3.50)$$

Adóantennáknál mindig törekszünk a maximális hatásfokra, így ezeknél a nyereség és az irányhatás rendszerint egyenlő.

Vevőantennák esetében - mint majd látni fogjuk - más a helyzet, itt gyakran az irányhatás fontosabb, ugyanis az interferencia érzékenységet ez határozza meg.