

3. Antennák

3.1. Antennák feladata a rádiórendszerekben

A rádiózás elterjedésével egyrészt szaporodnak az üzemelő rádióberendezések, másrészt újabb területek nyílnak meg a rádiótechnika számára. Mindez azzal jár, hogy a rádiórendszereknek és bennük az antennáknak a minőségileg is új követelményeket egyre bonyolultabb elektromágneses környezetben kell kielégíteni. Ezért sokasodnak, részletesebbek és szigorúbbak lesznek az antennák működését leíró műszaki jellemzők is. Az antennák legfontosabb alkalmazási területei a hírközlés, a műsorszórás, a lokáció és a rádióasztrológia. Bár az antennák alapfunkciója mindig ugyanaz, az egyes alkalmazások mégis gyökeresen eltérő megoldásokat eredményeznek azáltal, hogy az antenna más-más paraméterére helyezik a hangsúlyt.

Ebben a fejezetben röviden összefoglaljuk az antennák legfontosabb rendszertехnikai funkcióit, és egyszerű példákban bevezetjük azokat az antennajellemzőket, amelyekkel az antennákkal szemben támasztott műszaki követelmények számszerűen is megfogalmazhatók.

3.1.1. Az antenna

3.1.1.1. Adó- és vevőantenna

Az antenna elektromágneses hullámok kisugárzására és vételére szolgáló eszköz.

A rádiórendszerekben betöltött szerepe alapján az antenna a tápvezeték és a szabad tér közötti transzformátor, mely a tápvezetéken hozzávezetett energiát kisugárzott elektromágneses hullámmá (adóantenna) az antennára beeső elektromágneses hullámot pedig vezetett hullámmá alakítja (vevőantenna). Fontos, hogy az antennák a tápvezetékhez és a szabad térhez egyaránt jól illeszkedjenek.

Az adási és vételi funkció külön antennával, egy antennával felváltva, vagy egy antennával egyidőben is realizálható.

3.1.1.2. A szóró antenna

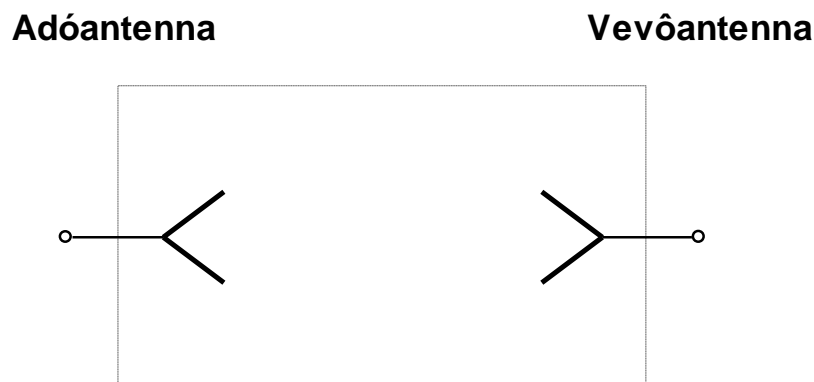
Az antenna más áramköri elemek csatlakozására szolgáló végződésekkal ellátott fémtest. Az antennán kívüli térrészből érkező hullámok térbeli eloszlását és intenzitását az antenna jelenléte megváltoztatja. Az idegen testnek ezt a hatását szórásnak nevezzük.

Szórás minden kölső térbe helyezett antennán kialakul. A szórási tulajdonságok az antenna alakjával és lezárásával változtathatók. Egyes rendszerekben az antenna feladata kizárólag szórás, vagyis a beeső tér meghatározott módon való visszasugárzása. Így működik néhány mesterséges lokátor-céltárgy ("bólya") és a tádióhírközlő rendszerek passzív ismétlő állomása.

A szórás az antenna harmadik alapfunkciója, amelyet különösen az utóbbi időben egyre több területen alkalmaznak.

3.1.1.3. A rádiócsatorna

A rádiócsatorna alapvetően az a közeg, amely az adó- és vevőantenna között terjedő rádióhullámok fontosabb tulajdonságait (amplitudó, fázis, polarizáció, spektrum) meghatározza. Rendszertechnikai szempontból a rádiócsatorna az adóantenna bemenete és a vevőantenna kimenté közötti négyfólyus (3.1. ábra).



3.1. ábra A rádiócsatorna

E négyfólyus csillapítása a szakaszcsillapítás, melynek definíciója a következő:

$$a_{sz} = 10 \lg \frac{P_{be}}{P_{ki}} \quad [\text{dB}] \quad (3.1)$$

ahol

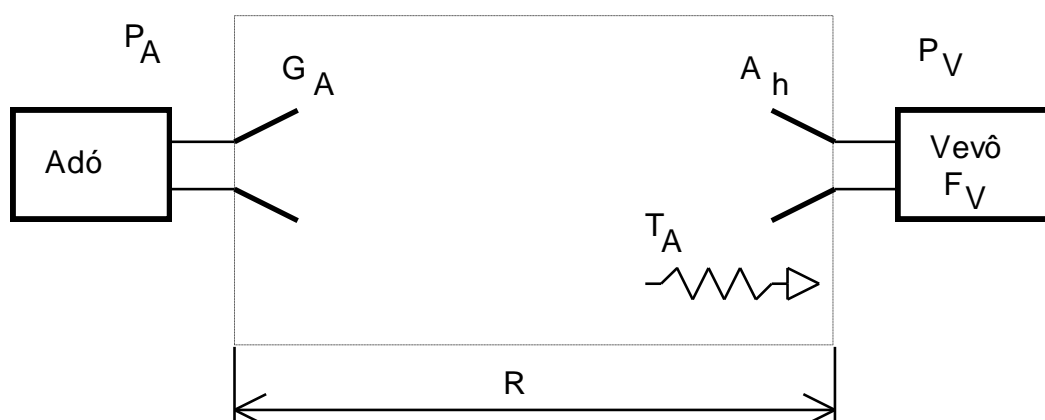
P_{be} az adóantennába betáplált teljesítmény
 P_{ki} a vevőantennából kivehető maximális hatásos teljesítmény

Mivel a rádiócsatornában a rádióhullámok mesterséges vezetés nélkül terjednek, ezért a szakaszcsillapítást elsősorban az adó- és vevőantenna között elhelyezkedő közeg tulajdonságai határozzák meg. A pontos összefüggések megállapítása a hullámterjedés témakör feladata. Mivel az adó- és vevőantenna a rádiócsatorna része, ezért a szakaszcsillapítás ezektől is függ.

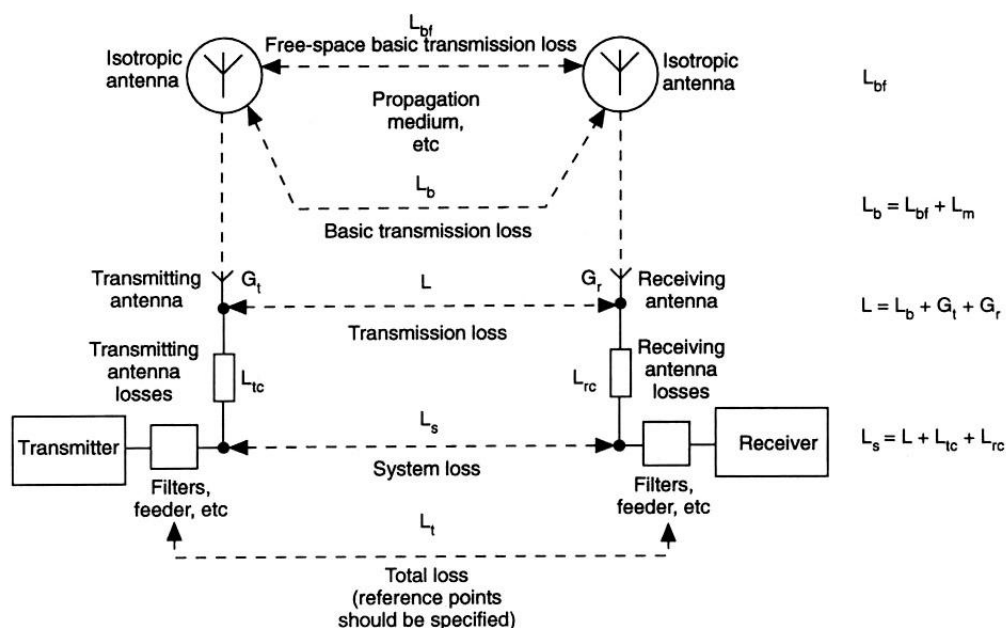
3.1.2. Alkalmazási példák

3.1.2.1. Hírközlő összeköttetés

Hírközlő rendszerekben az antenna szerepét az egyutas szabadtéri rádióösszeköttetés jel-zaj viszonyának kiszámításával illusztráljuk. Az összeköttetés vázlatát az 3.2. ábra mutatja.



3.2.a. ábra Hírközlő összeköttetés



3.2.b. ábra Hírközlő összeköttetés részletes modellje

A szakaszcsillapítás levezetéséhez először írjuk fel a teljesítménysűrűséget a vevőantenna helyén. Ha az adóantenna a tér minden irányába egyenlő intenzitással sugároz (izotróp antenna), akkor akadálymentes szabad térben (szabadtéri terjedés) a teljesítménysűrűség az adóantennától R távolságra a következő

$$S_0 = \frac{P_A}{4\pi R^2} \quad (3.2)$$

ahol

P_A az adóantennába betáplált teljesítmény.

Az antennák azonban a kívánt irányba nagyobb intenzitással sugároznak. Ezt a tulajdonságukat az antenna nyereségével fejezzük ki.

$$G_A = \frac{S_{\max}}{S_0} \quad (3.3)$$

ahol

G_A az antenna nyeresége

S_{\max} a fő sugárzási irányban előállított teljesítménysűrűség

S_0 az izotróp antenna által előállított teljesítménysűrűség.

A (3.3) képlet felhasználásával a teljesítménysűrűség a fő sugárzási irányban a következő:

$$S_{\max} = \frac{P_A G_A}{4\pi R^2} \quad (3.4)$$

A vevőantenna a beeső hullám teljesítménysűrűségét teljesítménnyé alakítja. Ezt a funkciót a vevőantenna hatásos felületével írjuk le.

$$A_h = \frac{P_V}{S} \quad (3.5)$$

ahol

A_h a vevőantenna hatásos felülete

P_V a vevőantennából kivehető maximális hatásos teljesítmény

S a vevőantennára beeső hullám teljesítménysűrűsége.

A vevőantennából kivehető maximális hatásos teljesítmény tehát a (3.4) és (3.5) képlet felhasználásával

$$P_V = \frac{P_A G_A A_h}{4\pi R^2} \quad (3.6)$$

Egy antenna nyeresége és hatásos felülete között az alábbi összefüggés áll fenn.

$$A_h = G_V \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.7)$$

ahol

G_V a vevőantenna nyeresége

λ az üzemi hullámhossz.

Ezzel

$$P_V = \frac{P_A G_A \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3.8)$$

A szakaszcsillapítás tehát a (3.1) és (3.8) képlet alapján a következő

$$a_o = 10 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 - (G_A + G_V) \quad (3.9)$$

ahol

G_A és G_V az adó- és vevőantenna nyeresége (dB-ben)

A (3.8) képlet levezetése során feltételeztük, hogy a hullám a két antenna között a szabad térben terjed, ezért a_o a szabadtéri csillapítás.

A valóságban a szakaszcsillapítás rendszerint nagyobb, mert a feltételezett idealizált körülmények nem teljesülnek.

A hullám a két antenna közötti térben nem akadálytalanul terjed, amit a szabadtéri csillapításhoz képest többletcsillapítással (a_t) veszünk figyelembe.

A terjedés folyamán a hullám polarizációja is megváltozhat, emiatt a vevőantennából kivehető teljesítmény tovább csökken. Ezt a polarizációs csillapítás (a_p) fejezi ki.

Végül a vevőantenna és a vevőkészülék közötti reflexiók (illesztetlenség) miatt is csillapítás (a_r) lép fel.

A teljes szakaszcsillapítás tehát

$$a_{sz} = 10 \lg \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 - (G_A + G_V) + a_t + a_p + a_r \quad [\text{dB}] \quad (3.10)$$

A vett teljesítményt dBW-ban az (3.1) képlet alapján az alábbi módon írhatjuk fel

$$10 \lg P_{ki} = 10 \lg P_A - a_{sz} \quad (3.11)$$

Az összeköttetésben a hasznos jelhez külső és belső eredetű zajok adódnak. A külső zajokat az antenna zajhőmérsékletével írjuk le, amelyet más zajos kétpólusokhoz hasonlóan az alábbi kélettel definiálunk.

$$P_{ZA} = k T_A B \quad [\text{W}] \quad (3.12)$$

ahol

P_{ZA} az antennából kivehető zajteljesítmény

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Joule/K}$ a Boltzmann állandó

T_A az antenna (ekvivalens) zajhőmérséklete

B zajsáv szélesség.

A vevőben keletkező zajt célszerű a vevő bemenetére redukált zajhőmérséklettel (T_V) megadni

$$T_V = (F_V - 1) T_o \quad (3.13)$$

ahol

T_o a szabványos szobahőmérséklet (293 K)

F_V a vevő zajtényezője

A vevő bemenetére számított teljes zajhőmérséklet tehát a következő

$$T_{be} = T_A + T_V \quad (3.14)$$

Ezzel a teljes bemeneti zajteljesítmény

$$P_{Zbe} = k T_{be} B \quad (3.15)$$

Ezt a gyakorlati számításokban célszerű logaritmikus egységben felírni az alábbi módon

$$10 \lg P_{Zbe} = -204 + 10 \lg \frac{T_{be}}{T_o} + 10 \lg B \quad [\text{dBW}] \quad (3.16)$$

ahol

$$10 \lg k T_o = -204 \text{ dBW/ Hz}$$

Az összeköttetés jel-zaj viszonya

$$\frac{S}{N} = \frac{P_V}{P_{Zbe}} \quad (3.17)$$

Az (3.8), (3.14) és (3.15) képlet alapján

$$\frac{S}{N} = \frac{P_A G_A G_V \lambda^2}{(4\pi R)^2 k T_A + T_V B} \quad (3.18)$$

Vagyis

$$\frac{S}{N} = 10 \lg P_A - a_{sz} - 10 \lg \frac{T_{be}}{T_o} - 10 \lg B + 204 \quad [\text{dB}] \quad (3.19)$$

A levezetett összefüggésekből látható, hogy az antennajellemzők a jel-zaj viszonyt a hasznos jel és a külső zaj szintjén keresztül egyaránt befolyásolják.

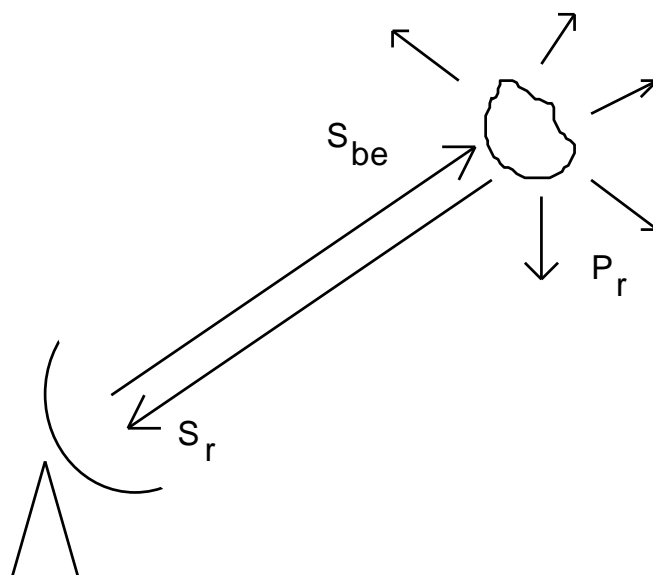
3.1.2.2. Rádiólokátorok

A rádiólokáció álló vagy mozgó céltárgyak felderítésére és helyzeti adatainak meghatározására szolgáló eljárás, amely rendszerint a lokátor jelének a céltárgyról visszavert töredékét dolgozza fel. A legelterjedtebb lokátor típusoknál az adás és vétel ugyanazzal az antennával történik.

A lokátor egyik legfontosabb jellemzője a hatótávolság, vagyis az a legnagyobb távolság, ahonnan még egy adott céltárgy felderíthető. A hatótávolság annál nagyobb, minél nagyobb mértékben veri (szórja) vissza a céltárgy a beeső hullámot a lokátor irányába. A céltárgyaknak ezt a tulajdonságát a hatásos reflektáló keresztmetszet (σ) írja le.

A hatásos reflektáló keresztmetszet definiálásánál a céltárgyat olyan antennának tekintjük, mely a vett teljesítményt izotróp antennaként és veszteség nélkül sugározza vissza. Ezen antenna hatásos felülete a céltárgy hatásos reflektáló keresztmetszete. Most írjuk fel ennek definícióját.

Tételezzük fel, hogy a lokátor S_{be} teljesítménysűrűséget állít elő a céltárgy helyén, a céltárgy által reflektált teljesítménysűrűség a lokátor helyén pedig S_r . (3.3. ábra)



3.3. ábra Rádiólokátor

A céltárgyat izotróp antennának tekintjük, így az összes reflektált teljesítmény és S kapcsolata.

$$P_r = S_r 4\pi R^2 \quad (3.20)$$

Az összes szórt teljesítmény egyenlő a vett teljesítménnyel, így a céltárgy, mint vevőantenna hatásos felülete a következő:

$$\sigma = \frac{P_r}{S_{be}} = \frac{S_r}{S_{be}} 4\pi R^2 \quad (3.21)$$

A valódi céltárgyak (repülőgép, rakéta stb.) hatásos reflektáló keresztmetszete nagyon függ a céltárgynak a lokátorhoz - és így a beeső hullám irányához - képest elfoglalt helyzetétől. Ebből a szempontból nemcsak az számít, hogy a céltárgy mekkora felületet mutat a lokátor felé, hanem az is, hogy a felület mennyire tükröz. (I. Táblázat)

I. Táblázat
Néhány céltárgy hatásos reflektáló felülete

Céltárgy	Írány	Felület, m^2
Kis repülőgép	Előlől, hátulról	0.2-10
Kis repülőgép	Oldalról	5-300
Nagy repülőgép	Előlől, hátulról	10-500
Nagy repülőgép	Oldalról	300-550

A lokátor hatótávolságának levezetéséhez vegyük figyelembe a lokátor adójának teljesítményét (P_A), antennájának nyereségét (G), azt a legkisebb jelteljesítményt (P_{\min}), amit még a lokátor vevője érzékelni képes és végül ismerjük a kisugárzott jel hullámhosszát (λ) is.

Az adó által a céltárgy helyén előállított teljesítménysűrűség

$$S_{be} = \frac{P_A G}{4\pi R^2} \quad (3.22)$$

A céltárgyról reflektált jel teljesítménysűrűsége a lokátor helyén az (3.21) képletből.

$$S_r = \frac{\sigma P_A G}{(4\pi R^2)^2} \quad (3.23)$$

A lokátor antennája által vett teljesítmény a (3.7) és (3.23) képletből.

$$P_V = \frac{P_A G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3.24)$$

Ha az (3.24) képletet az (3.8) képlettel összehasonlítjuk, akkor azonnal szembetűnik, hogy a kétszeres (oda-vissza) terjedés miatt a vett teljesítmény itt nem a távolság négyzetével, hanem a távolság negyedik hatványával csökken.

A hatótávolságot úgy kapjuk meg, hogy az (3.24) képletben $P_V = P_{\min}$ -t helyettesítünk.

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{P_A G^2 \lambda^2 \sigma}{P_{\min} (4\pi)^3}} \quad (3.25)$$

Az (3.25) képletből látható, hogy nagy hatótávolsághoz nagy adóteljesítmény, nagy antennanyereség, hosszú hullámhossz és érzékeny vevő kell. A távolfelderítő lokátorokra ez a jellemző.