



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

---

**Közlekedésmérnöki kar  
Közlekedésautomatika Tanszék**

## **Rádióhullámok és antennák**

*/áttekintő dolgozat/*

**Jóvér Balázs**

2001-10-24. Budapest.

# Tartalomjegyzék:

<b>I. BEVEZETŐ</b> .....	<b>3</b>
<b>II. A RÁDIÓHULLÁMOK</b> .....	<b>4</b>
1. ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOK FELOSZTÁSA .....	4
2. RÁDIÓHULLÁMOK TERJEDÉSE .....	5
<i>Alapok</i> .....	5
<i>A hullámtér tartományai</i> .....	7
<i>Elektromágneses hullámok és sugarak</i> .....	7
<i>Terjedés szabad térben</i> .....	9
<i>Hullámterjedés gömb alakú földfelület felett</i> .....	10
<i>Terepviszonyok hatása a hullámterjedésre</i> .....	11
<i>Ionoszférikus hullámterjedés</i> .....	11
3. A RÁDIÓHULLÁM JELLEMZŐI.....	12
<b>III. ANTENNÁK</b> .....	<b>15</b>
1. BEVEZETŐ .....	15
<i>A rádióadás elve</i> .....	15
Az adó oldal .....	15
Moduláció.....	15
<i>A rádióvétele elve</i> .....	16
A vevő oldal .....	16
Demoduláció .....	16
2. ALAPOK .....	16
<i>Adó és vevőantennák</i> .....	17
3. TÁPVONALAK.....	18
ANTENNA TÍPUSOK .....	20
<i>A szimmetrikus dipól</i> .....	22
<i>Az aszimmetrikus földelt antenna</i> .....	23
<i>Az összetett dipól-antenna</i> .....	23
<i>A keretantenna</i> .....	24
4. IRÁNYÍTOTT ANTENNARENDSZEREK.....	24
5. HOSSZÚ ÉS KÖZÉPHULLÁMÚ ANTENNÁK.....	25
6. RÖVIDHULLÁMÚ ANTENNÁK.....	25
7. ULTRARÖVIDHULLÁMÚ ANTENNÁK .....	27
8. MIKROHULLÁMÚ ANTENNÁK .....	28
<b>KÉPMELLÉKLET</b> .....	<b>29</b>
<b>FELHASZNÁLT IRODALOM</b> .....	<b>31</b>

## I. Bevezető

Az új magyar lexikon szerint a rádióhullámok definíciója a következő: a híradástechnikában (rádió-, televízió- stb. összeköttetéshez) alkalmazott elektromágneses hullámok, amelyek hullámhossza néhány tized millimétertől több kilométerig terjed (hullámsávok).

Az elektromágneses hullámok és ezen belül a rádióhullámok elméletének alapjait James Clerk Maxwell brit fizikus 1865-ben rakta le. Ekkor dolgozta ki elektromágneses fényelméletét, amely szerint a fény és az elektromos rezgések alapvetően azonos természetűek. Maxwell elméleti megfontolásainak kiindulópontja az a tény, hogy a mágnesesség és az elektromosság kölcsönös viszonyában egy bizonyos mennyiség, „kritikus sebesség” lép fel, amelyet 1857-ben Rudolf Kohlrausch és Wilhelm Weber német fizikusok a fénysebességgel azonosnak találnak. Ez a Weber-számként ismert mennyiség akkor vetődött fel, amikor Weber az elektromos áramsebességet akarta meghatározni. Ez a szám az elektromosság terjedési sebességét adja meg. Maxwell éppen ezért abból indult ki, hogy az elektromos rezgéseket és a fényhullámokat ugyanaz a közeg („éter”) vezeti. A fényt mint e terjedési irányra merőleges, transzverzális elektromos rezgést magyarázza. Ez a fölismerés elvben helyes. Hogy a rezgés az éter nélkül is végbemegy, azt később a relativitáselmélet magyarázza.

Rádióhullámokat először Heinrich Hertz német fizikus állított elő 1887-ben, bebizonyítva ezzel a Maxwell által elméletileg már 1865-ben leírt elektromágneses hullámok létezését. Hertz nagy frekvenciájú, a másodpercenkénti 300 milliót is elérő rezgésszámú elektromos rezgést hoz létre. Eközben szikraátütéseket figyel meg egy galvanikusan nem összekapcsolt szikraközön. Tanulmányozza a jelenség keletkezését, és sikerül az egyik legkorábbi parabolaantenna segítségével az általa még elektromos erejű sugaraknak nevezett elektromágneses hullámokat a téren át 10 méter távolságra továbbítania.

Az olasz Guglielmo Marconi márki elsőként adott le rádiójeleket. A húszéves, autodidakta Marconi a Hertz által 1887-ben fölfedezett elektromágneses hullámokkal végzett kísérletet. Megkonstruált egy adót (Hertz-féle szikraforrás) és egy vevőt, amely az 1890-ben Édouard Branly által fölfedezett jelenségen alapul, azon, hogy a rádióhullámok „összefogják”, összerendezik s ezáltal elektromos vezetővé teszik a vasreszeléket. A megfelelően erős szikra olyan erős elektromágneses hullámokat kelt, hogy a vevő még három kilométer távolságban is jelez: megszólaltat egy jelzőharangot.

A különböző elektromágneses hullámok közül híradás céljára hosszú ideig csak a fénysugarakat alkalmazták. A XIX. század végén felfedezték a leghosszabb elektromágneses hullámokat, amelyeket rádióhullámoknak neveztek el. Első gyakorlati alkalmazásuk Alekszandr Sztjepanovics Popov orosz fizikus és feltaláló (elektromérnök) nevéhez fűződik. Popov 1895. május hetedikén használja először az általa feltalált antennát (dipólantenna). Ezt az egyszerű jelfogó berendezést Marconitól (1894) függetlenül fejlesztette ki. Ezzel nagyban hozzájárult a rádió fejlődéséhez. Popov először olyan készüléket konstruál, amely a légköri zavarokat, zivatarokat tudja regisztrálni. Ez lényegében egy magasba nyúló vezető rúd, amely a zivatarok energiáját fogja fel. A kísérletek során Popov megállapítja, hogy a készülék a mesterségesen keltett elektromágneses hullámok felfogására is képes. 1896. március 24-én a szentpétervári egyetem kémiai intézetéből morzejelekkel, drótnélküli távirón közvetíti az elektromágneses hullámok feltalálójának tiszteletére a *Heinrich Hertz* szavakat. Ez az első rádiótávirat.

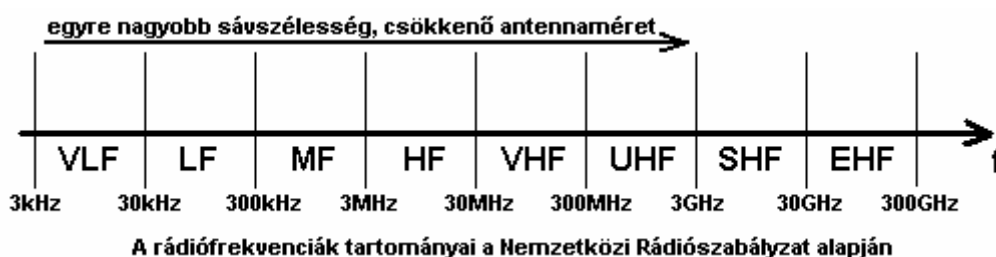
1898-ban Karl Ferdinand Braun német fizikus bevezeti a drótnélküli távírásba a zárt rezgőkört. Eddig az elektromágneses hullámokat egyszerűen szikraközrel állították elő. Braun ezt kombinálja egy tekercsből és kondenzátorból álló rezgőkörrel, és antennával kapcsolja össze. Így az elektromágneses hullámok egy meghatározott irányba sugározhatók.

## II. A rádióhullámok

### 1. Elektromágneses hullámok felosztása

Az elektromágneses hullámok növekvő rezgésszám (frekvencia) szerint az alábbiak: rádióhullámok (hosszú-, közép-, rövid- és ultrarövidhullámok), mikrohullámok, infravörös sugárzás, látható fény, ultraibolya sugarak, röntgensugarak,  $\gamma$ -sugarak, és kozmikus sugarak.

A rádióhullám – akárcsak a fény – elektromágneses hullám. A rádióhullámok éppolyan törvények szerint verődnek vissza, törnek meg, mint maga a fény. A visszaverődő rádióhullámokat használja fel például a rádiólokáció. Frekvencia szerinti felosztást szemléltet az **1. ábra**.



**1.ábra**  
Hullámsávok

**VLF:** Very Low Frequency, igen alacsony frekvenciák. A felületi hullámok igen nagy távolságokra terjednek. A legalsó ionoszféra rétegről visszaverődnek, mintegy hullámvezetőben terjednek, amelynek falait a föld és az ionoszféra alkotják. A többszörös visszaverődésnél azonban figyelembe kell venni, hogy minden ionoszférikus és minden földi visszaverődés veszteséggel jár, vagyis a belső energia nem verődik vissza teljes egészében.

További jelenség a fading<sup>1</sup>. VLF esetén fading jelenségek a felületi hullámok viszonylag magas térerőssége miatt úgyszólván nincsenek. Az adótól kiindulva a terjedés határáig a vétellehetőségek folyamatosak.

**LF:** Low Frequency, alacsony frekvenciák, hosszúhullámok. Nagyjából ugyanolyan tulajdonságúak, mint az igen alacsony frekvenciák (VLF), azonban a frekvencia növekedésével a felületi hullámok hatótávolsága lényegesen csökken. Fading-jelenségek ritkák, és általában nem nagy mértékűek. Használatuk szintén megbízható összeköttetést jelent a hullámterjedés határáig. Hátrányuk a magas légköri zavar szint. Antennáiknál probléma a nem elég magas hatásfok.

**MF:** Medium Frequency, közepes frekvenciák, középhullámok. Komoly szerepük van a rádiós műsorszórásban és a rádió navigációban. A középhullámoknál igen kellemetlen fading-ek léphetnek fel.

**HF:** High Frequency, magas frekvenciák, rövidhullámok. A rövidhullámú sávban a felületi hullámok terjedése már igen rossz és ezért kevés kivételtől eltekintve nem szokás a rövidhullámokat kis távolságra alkalmazni. A rövidhullámok igazi felhasználási területe közép- és nagy távolságok áthidalása (400km-en túl) a térhullámok segítségével. A fading-jelenségek rövidhullámokon igen gyakoriak és nagymértékűek.

**VHF:** Very High Frequency, igen magas frekvenciák, ultrarövid hullámok. Ebben a sávban a terjedés már jellegzetesen optikai, az adótól a vevőhöz csak az adóantennától közvetlenül eljutó, illetve a talajról tükrözött hullámok kiegészítve a refrakció jelenségével adják az

<sup>1</sup> Fading: „elhalkulás”. Ennek rövid magyarázata a következő (részletesen lásd később): a távoli rádióadások vételekor a vevőkészülékben előálló hangerőingadozás. Okai közül a legjelentősebb az interferencia-jelenség, mely az elektromágneses hullámoknak az ionoszférán történő visszaverődése következtében lép fel.

összeköttetés útját. A hatalmas sáv szélesség miatt ultrarövid hullámokon alkalmazható a televízió és frekvencia modulált műsorszórás, illetve a távbeszélő üzem.

**UHF:** Ultra High Frequency, ultra magas frekvenciák és **SHF:** Super High Frequency, szuper magas frekvenciák, mikrohullámok. A terjedés itt már teljesen mentes az ionoszférától, azonban mind inkább érvényesülnek a troposféra meteorológiai változásai. Ilyen például az esőcseppekről történő hullám visszaverődés, illetve a különböző hullámterjedési zavarok. Az igen kis hullámhosszak különleges nagy irányítású antennák alkalmazását teszik lehetővé és pedig olyan kis méretekben, hogy azok repülőgépeken, hajókon is könnyűszerrel elhelyezhetők. A kisugárzott energia nagymértékű fókuszolása lehetővé teszi azt, hogy két pont között igen kis energiával tudunk biztos összeköttetést teremteni. A mikrohullámok bő lehetőséget nyitnak a rádió navigáció alkalmazására, elsősorban radar készülékek terén.

**EHF:** Extra High Frequency, extra magas frekvenciák.

## 2. Rádióhullámok terjedése

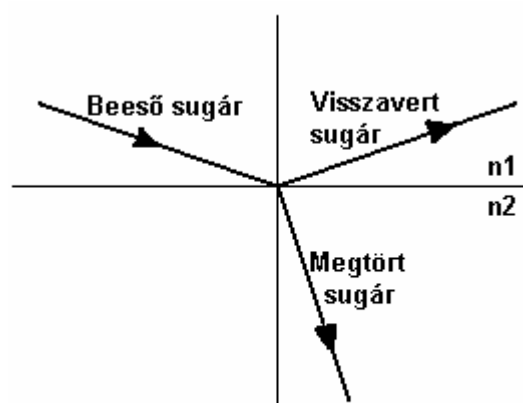
### Alapok

A rádióhullámok eredhetnek égitestekből is, de a mesterségesen keltett rádióhullámokat antennák sugározzák ki. A rádióhullámok terjedése a modern technikában nagy szerepet játszik. Legfontosabb alkalmazási területe a vezeték nélküli hírközlés különböző módjai (távíró, telefon, műsoradás, képtávíró, televízió), a rádió helymeghatározás, a rádió navigáció, a rádió távmérés, a rádió mélységmérés, a távvezérlés, stb. Minden rádió összeköttetés legalább három fő részből áll: adóból, közvetítő közegből és vevőből. Hullámterjedésen a rádió adóállomás antennája által kisugárzott elektromágneses hullámok közvetítő közegben történő haladását értik, tágabb értelemben azonban magában foglalja az adó- és vevőantenna sugárzási tulajdonságait is.

A szorosabb értelemben vett hullámterjedés legfontosabb típusai a következők: szabadtéri terjedés, a hullámok törése (refrakció), visszaverődése (reflexió), interferenciája, elhajlása (diffrakció), elnyelése (abszorpció) és szóródása (scatter). A hullámterjedés a közvetítő- és határközegek tulajdonságaitól, a hullámjellemzőktől is függ, valamint helyi és időbeli változásoknak van kitéve.

A hullámterjedés legegyszerűbb esete a szabadtéri terjedés, amikor a teljesítménysűrűség a távolság négyzetével, illetve a térerősség a távolsággal fordított arányban csökken. Ez gyakorlatilag csak ideális esetre vonatkozik, amikor a légkör abszorpció (elnyelés) veszteséget nem okoz. Ez azonban a rövidebb mikrohullámoknál nem áll fenn, melyeknél az eső, köd és a légkör abszorpció vonalai jelentős csillapítást okozhatnak. Rendszerint azonban a föld két pontja között kell rádió-összeköttetést létesíteni. Ilyenkor a terjedést az alábbi körülmények módosítják: a föld véges vezetőképessége által okozott csillapítás, a föld görbültségének és a hegységeknek a hatása, a föld felületéről való visszaverődés hatása, a légkör változó törésmutatójának és végül, de nem utolsósorban a magas légkör ionizált rétegeinek hatása (2.

és 3. ábra). Ezek a körülmények lényegesen módosíthatják a hullámterjedést, többnyire hátrányosan, de egyes esetekben előnyösen. A hátrányosak között a legjelentősebb az



Akár a fény, a rádióhullám is megtörik és visszaverődik új közeg határán

2.ábra

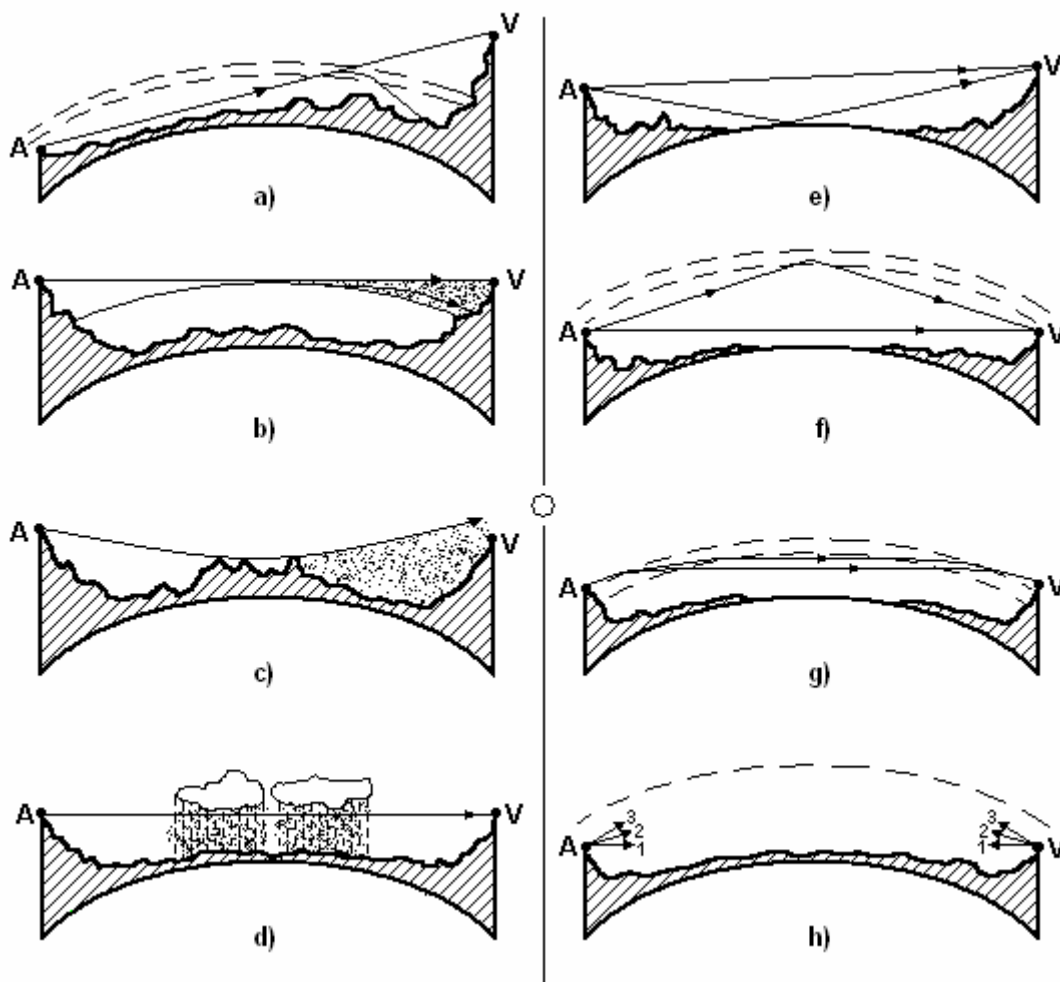
Hullámterjedés közeghatáron

elhalkulás („fading”) amelynek két fő fajtáját különböztetjük meg aszerint, hogy az előidéző ok a közvetlen térerősség-összetevő csillapítása (*csillapítás-elhalkulás*), vagy több térerősség-összetevő csillapítása (*interferencia-elhalkulás*).

- Csillapítási-elhalkulás. A szubsztandard terjedési viszonyoktól és a következtükben esetleg fellépő elhalkulási veszteségektől függetlenül sokszor a hullámmaláb kisebb-nagyobb részének defókuszolása vagy irányváltása idézi elő. A csillapítás-elhalkulások különböző lehetséges okai a **3/a-d ábrákon** láthatók. Ezek a következők:

- a) magas inverziós rétegen bekövetkező részleges visszaverődés,
- b) felületi inverziós réteg hatására kialakuló légköri hullámvezető (az inverziós réteget szárazföld felett derült időben a talaj éjszakai lehülése; tenger fölött pedig a hidegebb víz felett elhaladó melegebb, száraz levegőtömeg hozza létre),
- c) a közvetlen hullám csillapítása szubsztandard terjedési viszonyok hatására bekövetkező elhajlás miatt,
- d) légköri csapadékok okozta csillapítás.

- Interferencia-elhalkulás: Az adóból kisugárzott hullámok néha különböző utakon érik el a vevőt. A vett jel ilyenkor a különböző utakat megtett összetevőknek az antennák irányhatása alapján kiadódó eredője. Az időjárási viszonyok változása közben változnak az úthosszak és velük együtt az összetevők közötti fáziskülönbségek is. Ezek az elhalkulások elég gyakran szelektív jellegűek, vagyis csak bizonyos szélességű frekvenciasávban tapasztalhatók. Ez a



**3. ábra**

Különböző típusú elhalkulások  
(a-d csillapítás, e-h interferencia elhalkulások)

szelektivitás annál határozottabb, mennél nagyobbak az útkülönbségek. A többutas terjedés néhány lehetséges esetét mutatják a **3/e-h ábrák**. Ezek a következők:

- e) talaj-visszaverődés,
- f) magas fekvésű inverziós rétegeken bekövetkező visszaverődés,
- g) magas fekvésű inverziós réteg hatására fellépő többszörös terjedési utak,
- h) a tulajdonképpeni többszörös terjedési utaktól függetlenül többszörös terjedési módusok is lehetségesek, ha a légkörben hullámvezető alakul ki. E módusok száma annál nagyon, minél kisebb az alkalmazott hullámhossz a légköri hullámvezető határhullámhosszához képest. Mindegyik módus más és más sugárzási szögnek felel meg, ez magyarázza meg a fáziseltolásokat.

## A hullámtér tartományai

Az adóantennát körülvevő teret több tartományra osztották, bár az egyes tartományok határait nem lehet pontosan rögzíteni.

Szabad térben az antenna körül két tartomány van: a mágneses tér és a sugárzó tér. Az első az antenna közvetlen közelében van és közeltérnek is nevezik. Ennél a térerősség összetevők a távolság négyzetével és köbével fordítva arányosak. A sugárzó térben – amelyet távotérnek is neveznek – a térerősség összetevők a távolsággal fordítva arányosak. A mágneses tér külső határa ott van, ahol a mágneses térerősség elhanyagolható a sugárzó térerősséghez képest. Ez néhány hullámhossz távolságnál következik be. A sugárzó tér kiterjedése a szabad tér minden irányába végtelen.

Föld jelenléte esetén a közvetlen és a földről visszavert hullám egymással interferál mindkét tartományban, ebben az esetben interferencia tartományról beszélünk, amely jóval nagyobb kiterjedésű, mint a mágneses tér tartománya és közelítőleg a rádió horizonttal esik egybe.

A rádió horizonton túli tartomány a diffrakciós tartomány, melybe a sugarak nem közvetlenül, hanem elhajlás révén jutnak el. A diffrakciós tartomány két részre különül. A közvetlenül a rádió horizont előtti és a közvetlen utána levő az exponenciális tartomány, mivel itt a rádióhullámok csillapítása közelítőleg exponenciális törvény szerint következik be. A másik a turbulens tartomány, mely az exponenciális tartományon túl helyezkedik el és amelyben a diffrakciótól eltérő jelenségek is felléphetnek. E tartományban a térerősség sokkal gyorsabban csökken annál, mint ami a diffrakció elméletből következik.

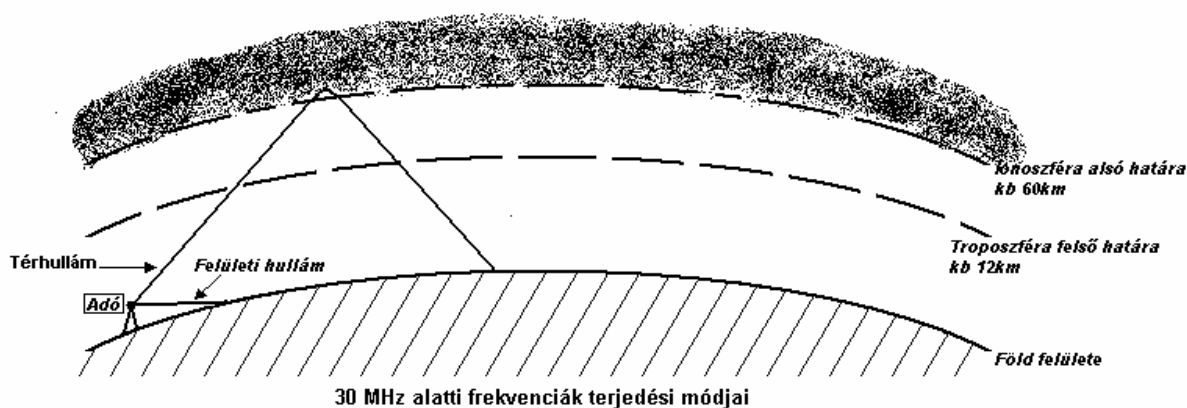
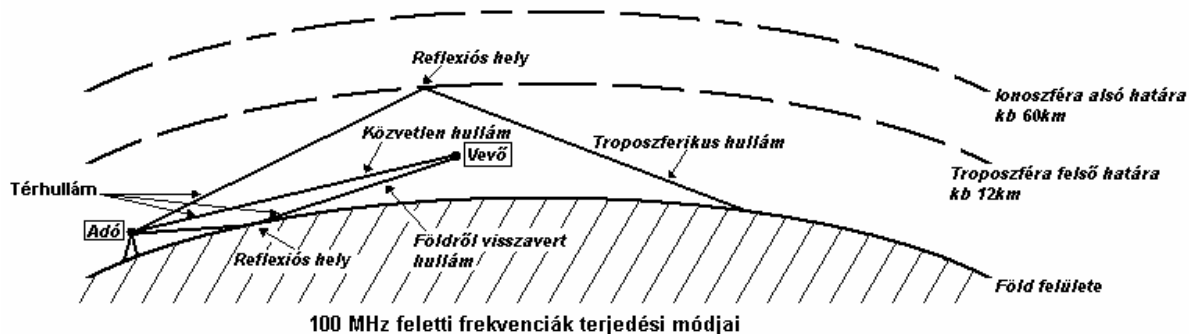
## Elektromágneses hullámok és sugarak

A rádióhullámok terjedésének mechanizmusát a hullám- és a sugárelmélet alapján lehet tárgyalni. Az előbbi általánosabb és a Maxwell-egyenletekből indul ki, az utóbbi a geometria optikai törvényeit alkalmazza. A rádióhullámot az elektromos és mágneses tér folytonos egymásba alakulása jellemzi, a kétféle térerősség energiája egyenlő mennyiségben van jelen és együtt alkotják a hullámot. A bármely árammal átjárt vezető körül megjelenő elektromágneses tér sugár irányban terjed meghatározott sebességgel és minél messzebb távolodik a vezetőtől, annál gyengébb lesz. Ez a tér a hanggal ellentétben nem igényel közvetítő közeget (pl. világtűri terjedés).

Abban az esetben, ha a terjedés szabad térben történik, a hullám terjedési sebessége és hullámhossza változatlan marad. Anyag jelenléte megváltoztatja a hullám terjedésének irányát, sebességét és egyéb jellemzőit. A föld felülete – mint görbe határközeg – visszaveri és szétszórja a rádióhullámokat. A hullámelmélet mindezen tényezőket figyelembe veszi, míg a sugárelmélet nem. Óvakodni kell attól, hogy a sugárelméletet olyan esetekben is alkalmazzuk, ahol esetleg nem érvényes.

Minden körsugárzó (egyenletes irányjelleggörbéjű – ld. később) antenna az energiája egy részét a földfelület mentén, másik részét pedig különböző magassági szögekben sugározza ki. A földfelület mentén kisugárzott energia ún. talajhullámok vagy felületi hullámok, a ferde szögekben felfelé kisugárzott energia pedig ún. térhullámok alakjában terjed.

Egy adóantenna által kisugárzott rádióhullámok terjedése attól függ, hogy milyen frekvenciájú hullámról van szó. 30 MHz alatt a felületi- és térhullám, míg 100 MHz felett a közvetlen, reflektált és troposzférikus hullám dominál. 30 és 100 MHz között mindegyik hullám fellép. A kétféle esetet szemlélteti a **4. ábra**.



**4. ábra**

Rádióhullámok terjedési módjai

Az adóantenna által kisugárzott hullámok három csoportba oszthatók: közvetlen, visszavert és felületi hullám. A két első összegét térhullámnak nevezik. A közvetlen hullám a kisugárzott energia azon részét tartalmazza, amely közvetlen egyenes úton halad a vevőantennához. A közvetlen hullám a föld felületétől függetlenül terjed. A visszavert (reflektált) hullámoknak négy fajtája van: földről visszavert, ionoszférikus, troposzférikus és atmoszférikus hullám. A földről visszavert hullám az energia ama részét tartalmazza, amely közvetlen úton, egyenes vonalban halad a föld felületéig, ott visszaverődik és úgy jut egyenes úton a vevőantennához. A felületi hullám, más szóval talajhullám a kisugárzott energia azon részét tartalmazza, amely a föld felülete mentén a föld görbületét követve terjed. Ezt a hullámot a föld jelenléte idézi elő, és nem magyarázható meg a geometria optikai törvényeivel, vagy a sugárelmélettel.

A 3 MHz alatti és a 30 MHz feletti hullámok (ez utóbbiak az interferencia tartományon belül) főleg felületi hullámok formájában terjednek. A felületi és a térhullám szerepe viszonylag jelentéktelen 100 MHz felett. A térhullám energiájának egy része visszaverődhet a troposzférában, vagy ionoszférában. Az ionoszférikus hullámot az ionoszféra visszaverése idézi elő. A 60 MHz feletti hullámok ritkán terjednek az ionoszféra közvetítésével. A troposzférikus hullámot a troposzféra törésmutatójának változásai idézik



elő. Atmoszferikus hullámnak azt a hullámot nevezik, amelyet nem az atmoszféra normális törése, hanem egyéb sajátosságai idéznek elő. E hullámok jelentősége azonban nem nagy.

Összefoglalva tehát a rádióhullámok terjedhetnek a Föld felülete mentén, a levegőben, ill. visszaverődve a Föld felületén vagy a nem egyenlő törésmutatójú légrétegek határfelületén. A felületi hullámok a talaj okozta veszteségek miatt csillapodnak. A csillapodás mértéke függ a hullámhossztól. Felületi terjedés révén kb. 500 hullámhossznyi sáv hidálható át, tehát *hosszúhullámokkal* még kétezer kilométer is, de *középhullámokkal* csak néhány száz kilométer. Így a horizontig létesíthető rádióösszeköttetés. A horizont távolsága nő az antennamagassággal. A *rövidhullámok* az ionoszféra magasabb rétegein visszaverődnek, és ilyen módon igen nagy távolságok hidálhatóak át velük. Ha a rádióhullámok a Föld felülete mentén is és az ionoszférán is visszaverődnek, akkor előfordulhat, hogy egy helyen ismét összetalálkoznak és gyengítik egymást (fading, lásd később). Az *ultrarövid hullámok* lényegileg kizárólag egyenes mentén terjednek, csak kis körzetet fognak át, azaz hatótávolságuk kicsi. Ugyanakkor a légköri és egyéb villamos zavarokra nem érzékenyek, továbbá az ultrarövid hullámsávban a mai adóállomások sokszorosa is elhelyezhető. Talajmenti terjedésük igen veszteséges volna, ezért nagyobb távolságokra csak felemelt antennákkal sugározhatók. A *mikrohullámok* terjedése is lényegében egyenes vonalú.

## Terjedés szabad térben

A hullámterjedés megismerésénél célszerű a legegyszerűbb közegben, a szabad térben (vákuum) történő hullámterjedésből kiindulni. Feltételezzük, hogy a tér homogén izotrop vezető adott áramsűrűséggel, térbeli töltéseloszlás nélkül.

A közvetítő közeg tehát:

- mind mágnesesen, mind elektromosan izotropikus, azaz valamennyi irányban azonos tulajdonságokkal bír.
- jellemzői a mágneses permeabilitás ( $\mu$ ) és a dielektromos állandó ( $\epsilon$ ).
- elektromosan semleges, úgyhogy térbeli töltések nincsenek, azaz a térbeli töltéssűrűség zérus.
- elektromosan vezet, azaz az áramsűrűség nem zérus.

A bevezetőben említett J. C. Maxwell-ről elnevezett egyenletek ezek alapján a következőképpen írják le az elektromágneses hullámok terjedését:

$$\frac{4\pi i}{c} + \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = \text{rot}H \text{ és}$$

$$-\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} = \text{rot}E \quad \text{ahol } c = \text{fénysebesség}$$

Az első egyenlet szerint tehát a vezetési áram ( $i$ ) és az eltolási áram ( $\epsilon \frac{\partial E}{\partial t}$ ) együttesen mágneses teret ( $H$ ) ébresztenek. A második egyenlet pedig azt jelenti, hogy ezen mágneses tér változása elektromos teret ( $E$ ) létesít.

A hullámok terjedésénél kétféle sebességet kell megkülönböztetnünk. Az egyik a *fázissebesség* ( $v$ ), amely alatt a kérdéses közegben a hullámhegyek, illetve –völgyek terjedési sebességét értjük.  $v=c/n$ , ahol  $n=\sqrt{\epsilon\mu}$  a kérdéses közeg törésmutatója. Ha ez a törésmutató kisebb mint 1, akkor a fázissebesség nagyobb a fény terjedési sebességénél, azaz  $n<1$  esetén a szabad térhez képest a hullámhossz megnő. Az előbbi megállapítás látszólag ellentmond a relativitáselméletnek, azonban a  $v$  fázissebesség nem az energia továbbítási sebessége. Az

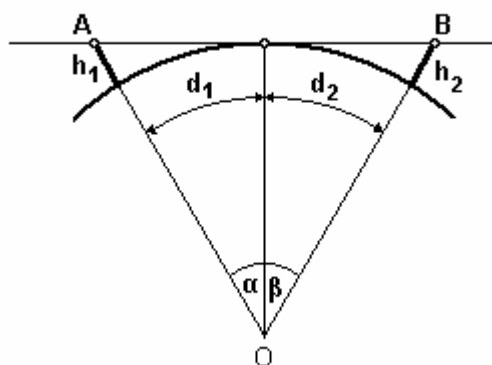
energiatovábbítás ugyanis a csoportsebességgel ( $V_{cs}$ ) történik. A csoportsebesség:  $V_{cs} = cn$ . Szabad térben azonban  $\varepsilon = 1$  és  $\mu = 1$ , azaz  $n = 1$ . Tehát  $V_{cs} = v = c$ .

## Hullámterjedés gömb alakú földfelület felett

Homogén közegben a rádióhullámok egyenes vonalban terjednek. Ha a felszínen valamilyen akadály van, vagy egyszerűen a föld görbültsége akadályozza a terjedést, akkor a hullámok elhajlás (diffrakció) útján is célhoz juthatnak, bár esetleg csak igen kis térerősséget hoznak létre. Az elhajlás annál kevésbé érvényesül, minél rövidebb a hullám. Ultrarövid- és mikrohullámoknál elhajlás alig következik be.

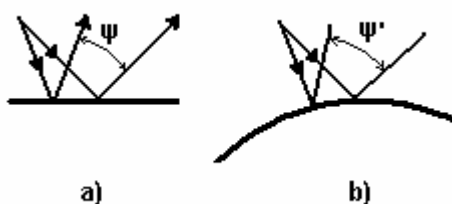
A föld görbültségének hatása az ultrarövid- és mikrohullámok terjedésénél háromféle módon érvényesül. *Először* korlátozza az optikai látótávolságot (5. ábra), amely az adó- és vevőantenna magasságától függ:

$d = d_1 + d_2 = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ , ahol  $h_1$  és  $h_2$  – az adó- illetve vevőantenna magassága – méterben értendő, de az eredményt kilométerben kapjuk. A görbült földfelület feletti terjedésnél optikai horizont előtti és utáni tartományt különböztetünk meg. *Másodszor* az optikai látótávolságon belül megváltoztatja a reflexiós jelenségeket. Gömb alakú földfelület esetén nagyobb adó- és vevőantenna magasságok mellett állnak elő ugyanazon viszonyok, mint sík földfelület esetén. Ezért bevezették az ún. vonatkoztatási antennamagasság fogalmát, melynek segítségével a sík földre levezetett képletek minden további nélkül alkalmazhatók. Görbült föld esetén a közvetlen és a földről visszavert hullám  $\Delta r$  útkülönbsége eltér a sík földnél lévő értéktől, és megváltoznak az interferencia viszonyok is. A reflektált sugár is erősebben széttart (6. ábra), azaz  $\Psi' > \Psi$  ezért a sík földre levezetett reflexiós tényezőt megszorozzák az ún. divergencia tényezővel. *Harmadszor* gömb alakú földfelület esetén a hullámok az optikai látótávolságon túl is terjednek, részben a felületi hullámként az atmoszferikus törés, részben szórás következtében.



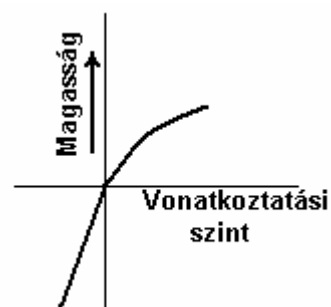
5. ábra

Optikai látótávolság meghatározása



6. ábra

Reflektált sugár széttartása  
a) sík b) gömb alakú földfelület esetén



7. ábra

Hullámelhajlás a törésmutató folytonos változása esetén

A Föld felszíne feletti magasság növekedésével csökken a törésmutató értéke, mivel csökken a nyomás és a vízgőz tartalom. A korábban már említett  $n=c/v$  képlet alapján ebből az következik, hogy a  $v$  fázissebesség felfelé haladva növekszik. Ultrarövid-hullámoknál (30 MHz felett) általában horizontális terjedéssel számolunk. Mivel a törésmutató a földtől felfelé távolodva csökken, a sugár a föld felé elhajlik (7. ábra). A rövidhullámoknál hasonló jelenség lép fel az ionoszférában, csak még sokkal nagyobb a sugarak elhajlása (lásd később).

A felületi hullámok tehát a Föld görbületét követve terjednek. Ilyen terjedés csak függőleges polarizációjú hullámok<sup>2</sup> mellett lehetséges. Függőleges antenna esetén a földben pozitív tükörkép keletkezik, melyben azonos fázisú áram folyik, mint a tényleges antennában, ami kétszeres térerősséget létesít. Vízszintes antennánál negatív tükörkép keletkezik, ami a föld felszínén a térerősséget kioltja. Ezért felületi ellátáshoz csak függőlegesen polarizált hullámok használhatók.

Ideális esetben a föld vezetőképessége végtelen, ami az antenna közvetlen közelében megfelelő földhálózattal megközelíthető. Ha a talaj vezetőképessége véges értékű, a terjedés veszteséges lesz és az adóantennától távol kisebb térerősséget kapunk annál, amely ideális föld esetén lépne fel. A terjedési csillapítás annál nagyobb, minél kisebb a föld vezetőképessége.

A felületi hullámterjedés feltételei hosszú- és középhullámoknál megvannak, mert ebben a hullámtartományban a föld által okozott terjedési csillapítás nem túl nagy. Ezzel szemben az ultrarövid hullámok már aránylag rövid távolságoknál is jelentősen csillapodnak. A felületi hullámoknál a hullámhossz csökkenésével rohamosan nő a csillapítás. A földfelületet ugyancsak a hullámhossztól függő távolságban tekinthetjük csak síknak: hosszú- és középhullámok esetén kb. 100km-ig, rövidhullámoknál kb. 50 km-ig, ultrarövid hullámoknál kb. 10 km-ig, mikrohullámoknál kb. 5 km-ig.

## Terepviszonyok hatása a hullámterjedésre

A terepviszonyok az ultrarövid- és mikrohullámok terjedését kétféle módon befolyásolják: a hegygerincek és egyéb terepakadályok a hullámokat elhajlítják, másrészt az egyenetlen terep (pl. vízfelület felett a hullám) befolyásolja a reflexiós jelenségeket. Mivel az elektromágneses hullámok töréséről és szórásáról van szó, általában nem elégséges a geometria optikai törvényeit alkalmazni, az elméleti tárgyalást a hullámoptika (diffrakció elmélet) szerint kell végezni. Ennek részletezésére ezen dolgozat keretein belül nincs mód, ezért csak utalni tudok az [5] irodalomra.

## Ionosferikus hullámterjedés

A hullámterjedés tárgyalásának utolsó alfejezetében essen szó az ionoszférában végbemenő folyamatokról.

A rövidhullámok a húszas évek elején kezdődő felhasználása során kitűnt, hogy ezekkel sokkal nagyobb távolságok hidalhatók át, mint a hosszú- és középhullámokkal. Ezeket a hullámterjedési jelenségeket nem lehetett az addig megismert elméletekkel megmagyarázni. Kenelly és Heaviside fedezték fel, hogy a légkör felső rétegeiben egy vagy több vezető rétegnek kell lennie, mely az antenna ferdén felfelé irányuló sugárzását visszaveri a Föld felszínére.

Az ionoszféra befolyással van a közép-, sőt a hosszúhullámok terjedésére is, sőt lehetőséget ad nagy távolságú ultrarövid hullámú összeköttetések létesítésére.

A felső atmoszféra vezetővé válását az igen kis nyomású levegő ionizálódásával magyarázzák. Éppen ezért hullámterjedési szempontból leglényegesebb a légkör iontartalma. Ha a levegő molekulái, illetve atomjai elektromossá válnak, ionizált állapotról beszélünk. Ha valahonnan egy foton érkezik az atom közelébe és olyan közel kerül az atommag (proton) körül keringő valamelyik elektronhoz, hogy taszító erejével el tudja távolítani protonjától, az elektronját veszített proton pozitív ionná válik. Negatív ion úgy keletkezik, hogy az előbbi

<sup>2</sup> Az elektromágneses hullámot polarizáltak mondjuk, ha a villamos térerősség vektorának rezgési állapota törvényszerűleg meghatározott.

módon leszakadt elektronok mozgásuk közben nekiütődnek egy molekulának, vagy molekulacsoportnak és rájuk tapadnak.

A Nap ibolyántúli sugárzása a gázok molekuláiról elektronokat szakít ki, miáltal a magas légkörben szabad elektronok és ionok keletkeznek. Ez meghatározott hullámhosszúságú sugárzás elnyelésével jár. A szabad pozitív ionok ugyanakkor vonzzák az elektronokat és ha közelükbe kerülnek, újból elfogják azokat. Ezáltal egy állandó visszaalakulási folyamat (rekombináció) áll elő és az ionizáció mértéke, vagyis a térfogategységben levő szabad töltéshordozók száma csak addig nőhet, míg a térfogategységben másodpercenként keletkező ionok száma nagyobb a másodpercenként eltűnő ionok számánál.

Az ionoszférikus hullámterjedésre hatással van a *Föld mágneses tere*, mivel megváltoztatja az elektronok és ionok mozgásirányát; a *sarki fény*, melyet az ionoszféra fokozott ionizációja kísér; a *Nap*, a napfolt-ingadozások és a napkitörések által, amikor is megnövekszik az ultraviola és a lágy röntgen sugárzás, fokozva ezzel az alsó rétegek ionizációját; valamint a nem szabályos ionizációt előidéző tényezők, úgymint a *meteoritok* atmoszférába történő bejutása és a *zivatarok* alkalmával keletkező légköri elektromosság. Mindezek közül legjelentősebb a Nap ibolyántúli sugárzása által előidézett ionizáció.

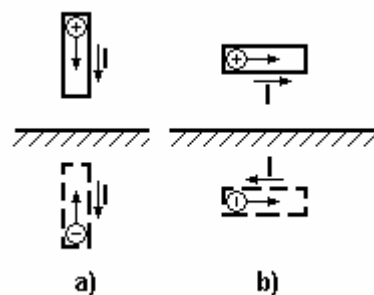
Az ionoszféra hullámterjedési szempontból veszteséges közeg, azaz csillapító hatása van az elektromágneses hullámokra. Tökéletes reflexió (veszteségmentes visszaverődés) tehát a valóságban nincs. Az ionoszférikus csillapítás fizikai magyarázata a következő: a rádióhullámok az elektronokat rezgő mozgásba hozzák. Ezek véletlenszerűen ütköznek semleges gázmolekulákkal és ionokkal. Az ütközések alkalmával elveszítik rezgési energiájuk egy részét. A hullámok hosszegységre eső abszorpciója az ütközési frekvenciától és az elektronkoncentrációtól függ, melyek mindegyike a Föld feletti magasság függvénye. Matematikai levezetés nélkül: a csillapítás a frekvencia növekedésével csökken, másrészt az elektronkoncentrációval és az ütközési frekvenciával egyenesen arányos. Tehát az energia egy része elvész, míg egy újabb része keresztülhatol az ionizált rétegeken, és kijut a világűrbe.

### 3. A rádióhullám jellemzői

Tükörkép: A „tükörkép” keletkezését a következőképpen tisztázhatjuk (**8. ábra**): ha az ideális vezetőfelület felett adott magasságban valamilyen töltés jelenik meg, az elektrosztatikus vonzás következtében megváltozik a felületen lévő szabad töltések eloszlása. Ennek eredményeképpen a felületen olyan erőter alakul ki, amelyet az esetben kapnánk, ha a vezetőfelületet egy, az eredeti töltéssel azonos nagyságú, de ellenkező előjelű töltéssel helyettesítenénk, és ez utóbbit a kérdéses felület alatt az adott távolságban helyeznénk el. Az eredeti töltés és a vezetőfelületen lévő töltések eredő erőtere ugyanis pontosan megegyezik a két ellentétes töltés erőterével. A második, képzetes töltést az eredeti töltés tükörképének nevezzük.

Az elmondottak alapján megállapíthatjuk, hogy a jól vezető föld jelenléte lényegesen befolyásolja egy antenna tulajdonságait. Az antenna alatti föld hatása egy olyan második antenna hatásával egyenértékű, amelyben az áram iránya vagy megegyezik az eredeti antennában folyó áram irányával (függőleges antenna), vagy pedig ellentétes ez utóbbival (vízszintes sugárzók)

Polarizáció: A polarizációval az antenna által keltett sugárzás villamos térerősség vektorának térbeli elhelyezkedését adjuk meg. Legegyszerűbb esetben az E vektor iránya időben állandó, leggyakrabban függőleges vagy vízszintes. Legtöbb esetben azonban bonyolultabb a helyzet.

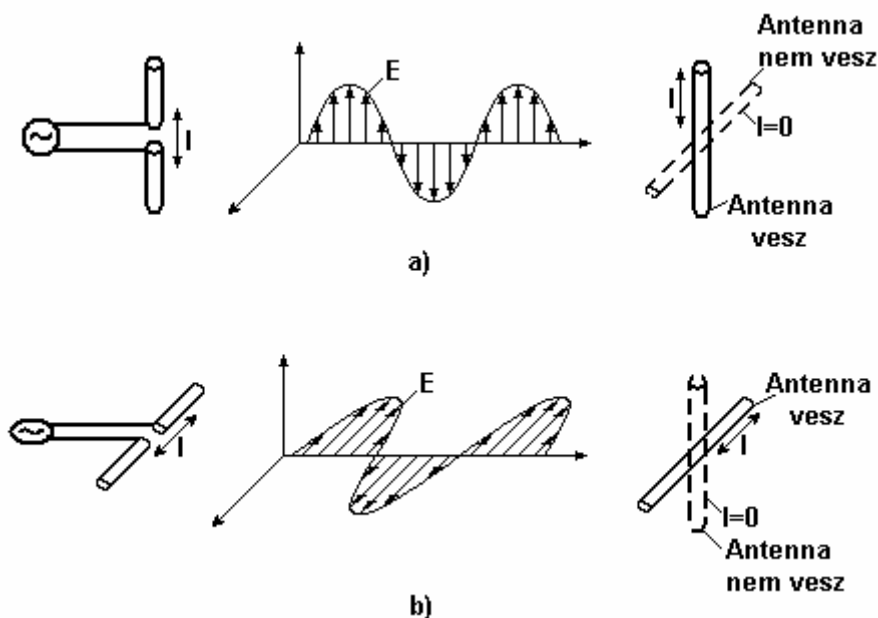


**8. ábra**

Antenna tükörképe és áramai

Ha az antennára jellemző polarizációt adjuk meg, akkor azt mindig a fő sugárzási irányra értjük, más irányokban ugyanis a polarizáció ettől eltérő is lehet.

Az elektromágneses hullámot polarizáltnak mondjuk, ha a villamos térerősség vektorának rezgési állapota törvényszerűleg meghatározott. A polarizáció kérdése a rádiótechnikában igen lényeges. Így például ha a vízszintesen polarizált hullámok erőterébe függőleges vevőantennát helyezünk, ebben az antennában semmilyen indukált áramot nem kapunk (9. ábra).



9. ábra

Dipól-antenna hullámainak polarizációja  
a) függőleges polarizáció; b) vízszintes polarizáció

Minél jobban megközelíti a vevőantenna tengelyének iránya a polarizáció irányát, annál nagyobb a beeső hullámoknak az antennára kifejtett hatása.

Ha az eredő térerősség amplitúdója nagyság- és irány szerint állandó, maga a térerősség pedig az idő és hely függvényében szinuszosan változik, azaz a két térerősség összetevő fázisban van, akkor lineáris polarizációról beszélünk.

Cirkuláris polarizációnál az eredő térerősség nagysága állandó, de iránya periodikusan változik.

Elliptikus a polarizáció, ha a térerősség összetevők amplitúdója és fázisa tetszés szerinti értéket felvehet.

**Fading:** „elhalkulás”. A térerősség pillanatnyi értéke az átlagérték körül kisebb-nagyobb mértékben ingadozhat. Ezt a jelenséget Fading-nek nevezzük. Általában az adó és vevő között különböző utakon terjedő hullámok interferenciája, vagy az ionoszféra szabálytalan változásai idézik elő.

Ahogy az eddigiekben láttuk, a Nap hatására az ionoszféra állandóan vándorol, annak rétegeiben a szabadelektronok száma nem állandó, hanem a magasság függvényében változik, vagyis az ionoszféra inhomogén. Az adóból az ionoszférába jutó rövidhullámokat az részben elnyeli, részben visszaveri. Ezáltal a vétel gyengül vagy torzul, esetleg teljesen meg is szűnik.

A hullámterjedési zavarok legnagyobb részét különböző utakon terjedő hullámoknak a vevőkészüleknél való találkozásából előálló interferencia zavarok teszik ki. Az interferencia folytán akár a találkozó hullámok amplitúdóviszonya, akár fázisviszonya változik az időben, az eredő jel erőssége az időben változó lesz. Ez az *interferencia-fading*.

Lehet azonban, hogy csak egy úton érkezik a vevőhöz az adó jele. Ha ez a hullám az ionoszféráról visszavert hullám, akkor az ionoszféra abszorpciójának illetve a polarizációnak időbeni változása (a polarizációs ellipszisek tengelyeinek forgása) szintén a jelerősség időbeni

hullámzását eredményezi. Az első esetet – tehát amikor az ionoszférikus abszorpció időben változó – *abszorpciós fading*-nek, míg a második esetet *polarizációs fading*-nek nevezzük.

Ha az adás frekvenciája igen közel van a visszaverő réteg határfrekvenciájához, az ionizáció kisebb csökkenésekor a jel a réteget átütheti, ilyenkor *határionizációs fading*-ről beszélünk.

Néha hirtelen eltűnnek a jelek. Ezt a jelenséget a Nap felületén előidézett szoláris erupcióról jövő robbanásszerű ionizáló sugárzás okozza, melyet *Dellinger-Mögel effektus*nak nevezünk. A napkitörések az ionoszféra bizonyos rétegeinek hirtelen ionizációját és ennek következtében abszorpcióját idézik elő.

Mozgó adó – például szatellit – viszonylagos helyzete az ionoszféra irregularitásaihoz képest szintén eredményezhet fading-et.

A kozmikus rádiójajok okozta fading-et gyakran *szcincilláció*nak nevezik.

Mivel a fading frekvenciafüggő, különböző mértékben zavarhatja az adás spektrumát, illetve az oldalsávokat. Ez a burkoló torzítását idézi elő és *szelektív fading*-nek nevezzük, ami az interferencia fading speciális esete.

A már említett sarki fény okozta gyengülés annál nagyobb, minél közelebb haladnak a hullámok a mágneses pólusokhoz<sup>3</sup>. Ez a *sarki fény okozta fading*.

A térerősség-ingadozások legfőbb jellemzői az eloszlás, az időbeli és a helyi felépítés.

A vevőkbe (pl rádiókészülék) már az 1930-as évektől automatikus fading-szabályozót építettek be. A fading kiküszöbölése az erősítés szabályozásával történik, ekkor a rádióhullám egyenfeszültségű szintjét használják fel az erősítő automatikus szabályzására. Régebben ezt szabályozó elektroncsövek végezték, többnyire automatikus kapcsolásra.

Reflexiós tényező: A rádióhullám visszaverődésénél előálló veszteség.

---

<sup>3</sup> A mágneses sarkok nem esnek egybe a földrajzi sarkokkal és földrajzi helyük sem állandó, hanem körben mozognak.

## III. Antennák

### 1. Bevezető

Az antennák tárgyalása előtt – az előző fejezethez kapcsolódva – nézzük meg, mi is történik az adó, illetve a vevőoldalon.

### A rádióadás elve

Kezdetben csak jelek továbbítására szorítkoztak. Az adóberendezés az antennát nagyfrekvenciás feszültséggel táplálta. Ezt a feszültséget a távirójeleknek megfelelően szaggatták, így az adóantenna sugárzása is szaggatottá vált; a vevőállomáson a szaggatott sugárzás vételéből megfelelő erősítés után távirójeleket állítottak elő.

#### Az adó oldal

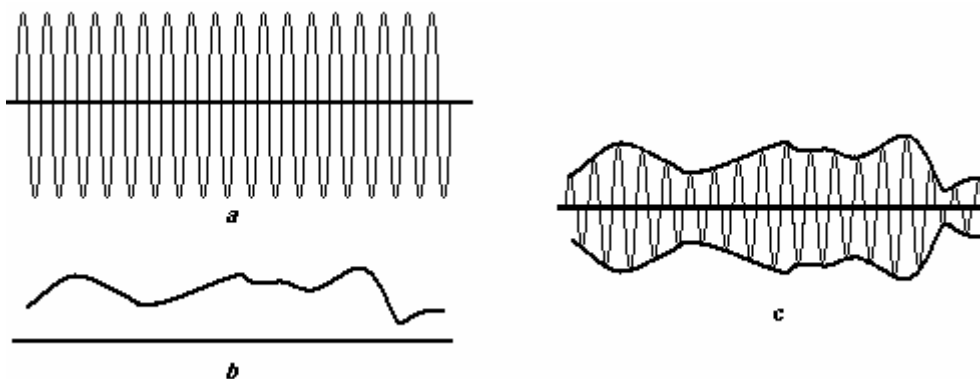
A hang kis rezgésszáma miatt ugyanakkor a hangfrekvenciás rezgések közvetlen kisugárzásra nem alkalmasak. Kisugárzásra ezért a nagyfrekvenciás rezgéseket kell olyanokká alakítani, amelyek magukon viselik a hang frekvenciáját is.

A rádióberendezések feladata elektromágneses hullámok kisugárzása útján távirójelek, beszéd, zene, kép továbbítása nagy távolságra. A rádióhullámokkal teremtik meg az összeköttetést az adó és a tőle esetleg több száz kilométer távolságra levő vevő között. A stúdióban a hang a mikrofonból erősítőbe kerül, ahonnan kábelen az adóállomáshoz vezetik. Itt az elektromágneses hullámok keltéséhez szükséges csillapítatlan rezgéseket a továbbítandó beszéd, zene vagy kép rezgéseivel befolyásolják (modulálják). Másképpen az adóban a hangot, illetve képet, stb. átalakítják *elektromos jelekké*, és ezekkel változtatják az összeköttetést létesítő hullám jellemzőit, amplitúdóját, frekvenciáját, fázisát.

#### Moduláció

Azt az eljárást nevezzük tehát modulációnak, amellyel a nagyfrekvenciás rezgések amplitúdóját, frekvenciáját vagy fázisát a hangfrekvenciás rezgések ütemében változtatják. Eszerint beszélhetünk amplitúdó-, frekvencia-, illetve fázismodulációról.

Az amplitúdó-moduláció például abban áll (**10. ábra**), hogy a nagyfrekvenciás rezgések amplitúdóját (a) a hangrezgések (b) változásainak ütemében változtatják, és így a nagyfrekvenciás rezgésre a hangfrekvenciás rezgést mintegy „rúltetik” (c).



**10. ábra**  
Amplitúdó-moduláció

## A rádióvétel elve

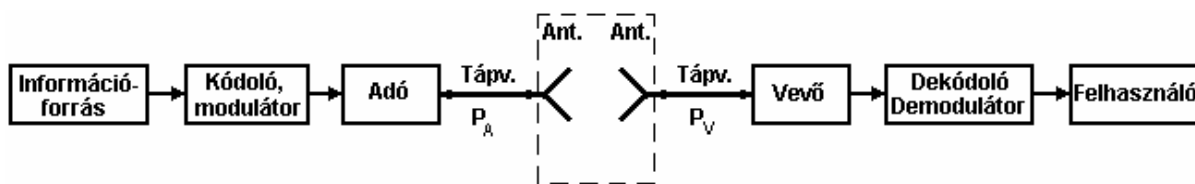
### A vevő oldal

A térben tovaterjedő elektromágneses hullámok az útjukba kerülő vezetőket metszik, indukáló hatást fejtenek ki. Ugyanolyan frekvenciájú, de kisebb feszültséget hoznak létre, mint amilyen a sugárzó antennában volt. A vevőben ezeket a *jeleket* ismét leválasztják a rádióhullámról, felerősítik és visszaalakítják az eredeti jellé, hanggá, képpé, stb. (demoduláció).

### Demoduláció

Ha a hangszóróba modulált nagyfrekvenciás rezgést vezetnénk, beszédet nem hallanánk, mert a membrán ilyen gyors változásokat nem képes követni. A hangfrekvenciát ezért úgy választják le a nagyfrekvenciás rezgésről, hogy a modulált rezgéseket egyenirányítják. Ezzel a nagyfrekvenciás rezgésnek egyik irányú félperiódusai megmaradnak, amelyek a nagy periódusszám miatt már hullámzó egyenárammá folynak össze. A hullámzás a moduláló hangfrekvenciának felel meg, tehát a hangszóró membránja annak megfelelő rezgéseket végez. Az egyenirányítást régebben kristálydetektorral, majd elektroncsővel végezték.

Az elmondottakat foglalja össze a **11. ábra**.



**11. ábra**

Rádióösszeköttetés sematikus rajza

## 2. Alapok

Az elméleti fizika szerint az elektromágneses hullámokat gyorsuló mozgást végző elektronok sugározzák. Elektromágneses hullámokat úgy állíthatunk elő, hogy az elektronokat körpályán egyenletes sebességű mozgásra kényszerítjük. A rájuk ható centripetális gyorsulás következtében az ilyen elektronok elektromágneses energiát sugároznak ki a környező térbe. Ezt az elképzelést azonban műszakilag nagyon nehéz megvalósítani.

A második lehetőség az egyenes vonalú mozgást végző elektronok felhasználása. Magától értetődik, hogy az elektronokat nem lehet megszakítás nélkül állandóan ugyanabban az irányban gyorsítani. Egy bizonyos idő múlva ellenkező előjelű gyorsulás előidézésével az elektronokat vissza kell téríteni eredeti helyzetükbe. Ezután a folyamat újra kezdődik, és minden megismétlődik.

Mindez egészen egyszerűen megvalósítható, ha hosszú vezetőre váltakozófeszültséget kapcsolunk, amelynek hatására a vezető fémanyagában levő szabad elektronok periodikus rezgő mozgást végeznek.

A váltakozófeszültséggel táplált hosszú vezető a legegyszerűbb adóantenna, amely a váltakozófeszültséget szolgáltató generátor energiáját elektromágneses hullámok energiájává alakítja át.

A vétel helyén a fordított feladatot kell megoldani, vagyis az elektromágneses hullámok energiáját váltakozóáramú energiává kell változtatni. E célból elegendő, ha a váltakozó elektromágneses térbe valamilyen hosszú vezetőt helyezünk. A vezetőben levő szabad elektronok az elektromágneses tér hatására rezgő mozgásba jönnek, és a vezetőben



váltakozóáramot hoznak létre. Ez esetben a hosszú vezető vevőantenna, amely az elektromágneses hullámok energiáját váltakozóáramú energiává alakítja át.

Az antennát tápvezetéknek, tápvonalnak nevezett huzallal kötjük össze a vevővel vagy az adóval. Az antenna rezonáló rendszer, amelynek megvan a saját rezonanciafrekvenciája (önhullámhossza). A rezonanciafrekvencián működő antenna sugárzási tulajdonságai a legkedvezőbbek. Amint a későbbiekből kitűnik, az antenna önhullámhossza összehasonlítható geometriai méreteivel. A hosszú rádióhullámok felhasználását éppen ez nehezíti meg.

A már említett modulált nagyfrekvenciás rezgések bizonyos frekvenciasávot foglalnak el; ezért, hogy az átvitel torzításmentes legyen, az antennának egyenletesen kell átalakítania elektromágneses hullámokká e sáv valamennyi frekvenciáját. Azt, hogy a különböző frekvenciájú rezgések hogyan befolyásolják az antennát, az antenna frekvencia- vagy rezonanciagörbéje adja meg. Gyakorlatilag nem mindig lehetséges, hogy az antenna önhullámhosszán működjen. Ezenkívül nagyon sok adó széles frekvenciasávon működik, de csak egyetlen antennán sugároz. A frekvenciagörbe ismerete alapján előre megmondhatjuk, hogyan viselkedik majd az antenna, ha az egyik üzemi frekvenciáról áttérünk a másikra, és mit kell tennünk ahhoz, hogy antennánkat a leghatásosabban használhassuk ki.

Itt jegyezném meg azonban, hogy minden antennának végtelen sok rezonanciafrekvenciája van. A rezonancia fellépte csupán az  $l/\lambda$  arány nagyságától függ, azaz az antennahossz és a hullámhossz határozza meg. Ha tehát az antenna  $l$  hosszát állandó értéken tartjuk, és változtatjuk a hullámhosszt, az antennában mindannyiszor rezonanciát kapunk, valahányszor az antenna hossza maradék nélkül osztható a félhullámmal. A legnagyobb rezonanciahullám az lesz, amelynek fele éppen megegyezik az antenna hosszával. Ezt a hullámot nevezzük az antenna önhullámhosszának. Azok az ennél rövidebb hullámok, amelyek az antenna szintén rezonanciában van, az antenna felharmonikusai. A felharmonikusokat azzal a számmal jelöljük, amely megadja, hogy az antennahuzal hossza hányszorosa a félhullámnak.

Mint minden energiaátalakító esetében, az antennából és tápvonalból álló rendszer működésére is az egyik legjellemzőbb adat a hatásfok. A hatásfok alapján állapíthatjuk meg, hogy a bevezetett villamos rezgések teljesítményének hányadrésze alakul át elektromágneses energiává.

Az antenna a különböző irányokban egyenetlenül sugároz, vagyis irányító hatású. Az antenna irányító hatását az irányjelleggörbével szoktuk jellemezni; ez a görbe megadja, hogy az antenna a különböző irányokban viszonylag milyen erősséggel sugároz energiát.

Az antennából és a tápvonalból álló teljes rendszer működésének hatásossága és gyakran az antenna irányjelleggörbéje is erősen függ a tápvonalak tulajdonságaitól és attól, hogy az antennát hogyan kapcsoljuk össze a tápvonallal. Annak feltételét, hogy a tápvonal a generátor teljes energiáját átadja az antennának, illesztési feltételnek nevezzük. E feltétel teljesítéséhez többnyire különleges illesztőtagokra van szükség. Végül nagyon fontos az antennából és a tápvonalból álló rendszer és a generátor közötti csatolás helyes megválasztása és az antennakör hangolásának módja.

## **Adó és vevőantennák**

Az antenna tehát elektromágneses rezgések kisugárzására, illetve vételére szolgáló berendezés (nyitott rezgőkör). Általában jól vezető fémből készül. Az antennák kiviteli formái változnak aszerint, hogy hosszú-, közép-, rövid-, ultrarövid- vagy mikrohullámok kisugárzásához, illetve vételéhez alkalmazzák.

A hosszú és középhullámú antennák általában függőleges vastornyok, szigetelőkön állnak.

Rövid és ultrarövid hullámok vételére és adására dipólok kombinációjából készült antennát használnak. Ez a két vagy több antennából álló rendszer (antennarendszer) lehetővé teszi az irányított adást, illetve irányított vételt.

Mikrohullámok irányított adására és vételére paraboloid reflektorokkal kiegészített antennákat használnak.

Elektromágneses hullámok kisugárzására hosszú egyenes vezető (antenna) alkalmas. *Sugárzó antennát* kapunk, ha a zárt rezgőkört nyitott rezgőkörre alakítjuk át. A sugárzó antenna energiát fogyaszt, amely azonban nem alakul át hővé a vezetőben, hanem a térbe távozik. Ahogy már említettem, ha az antenna saját frekvenciáját sikerül összhangba hozni a tápláló feszültség frekvenciájával, hatásosabb kisugárzást érünk el.

Az antennák a rádióhírközlés lényeges elemei. Az *adóantennák* az adóberendezésben előállított nagyfrekvenciás energiának a vevőkészülék, illetve vevőkészülékek felé való továbbítását, kisugárzását valósítják meg. A *vevőantennák* az adóantenna által kisugárzott hullámoknak a vevőkészülékek részére való felfogására szolgálnak. Az antennák működésének ismerete és megfelelő antennák alkalmazása egyik sarokpontja a rádióhírközlés jó és gazdaságos megvalósításának.

Az adóantennák kétféle szempontból vizsgálhatók. Nézzük az antennákat, mint az adóberendezést terhelő *hasznos ellenállást*. Ilyen szempontból az antennáknak elsősorban a táplálási kérdései érdekelnek, vagyis, hogy az adóberendezés által termelt energiát minél jobb hatásfokkal alakítsák át kisugárzott energiává. A másik szemlélet, hullámterjedési szempontból vizsgálja a kérdést és a hullámterjedés megszabta körülményeknek megfelelő sugárzási karakterisztikák alakulását nézi, illetve azok célszerű kialakítását tekinti elsődleges feladatnak.

Az adóantenna legfontosabb tulajdonsága az erősítés. Erősítés (G) alatt az a viszonyszám értendő, mely a kérdéses antenna által létrehozott teljesítménysűrűség és egy minden irányban egyenletesen sugárzó, ugyanannyi teljesítménnyel táplált antenna által létrehozott teljesítménysűrűség összehasonlításából származik. Azaz  $G=P/P_0$ , ahol P a kérdéses antenna által létrehozott teljesítménysűrűség,  $P_0$  pedig a minden irányban egyenletesen sugárzó antenna által létrehozott teljesítménysűrűség ugyanolyan távolságban.

Az antenna feladata tehát az, hogy az adó által termelt nagyfrekvenciás energiát kijuttassa a térbe, illetve a tér egy meghatározott részébe, vagy energiát vegyen fel a térből, illetve a tér egy meghatározott irányából és ezt a vevőbe juttassa. Az antenna ebben a szerepében transzformátornak tekinthető, mely a tápvonalat illeszti a térhez.

Drága, különleges antennákat inkább az adóoldalon érdemes alkalmazni. Ez már csak azért is igaz, mert általában egy adóhoz több vevő tartozik. Ugyanakkor egy jó vevőantennával igen hatásosan lehet csökkenteni az ipari természetű rádiózavarokat. Célszerű a vevőoldalon is irányított antennákat alkalmazni, így aránylag kis adóenergiával zavartalan összeköttetés biztosítható.

### 3. Tápvonalak

A tápvonalak vezetik a nagyfrekvenciás energiát az adóból az antennába, illetve az antennából a vevőbe. Keresztmetszeti méreteik sokkal kisebbek vagy ugyanolyan nagyságrendűek, mint a hullámhossz, hosszúságuk pedig sokszorosa a hullámhossznak.

A tápvonalaktól elsősorban azt követeljük meg, hogy az adóból az antenna, illetve az antennából a vevő felé vezetett nagyfrekvenciás energiából semmit ne sugározzanak ki, és ne torzítsák el az adó-, illetve a vevőantenna irányjelleggörbéjét.

A tápvonalakra vonatkozó második követelmény, hogy a nagyfrekvenciás energia átvitele a lehető legnagyobb hatásfokú legyen. A tápvonal vezetőiben és szigetelőiben ennek megfelelően minimumra kell csökkenteni a melegedési veszteségeket.

A harmadik követelmény szerint a tápvonal mentén olyan értékre kell csökkenteni a nagyfrekvenciás feszültségeket, hogy ne következzenek be átütések, és ily módon a lehető legnagyobb teljesítményt lehessen átvinni.

Végül a negyedik fő követelmény szerint a tápvonalaknak nem szabad észrevehető mértékben eltorzítaniuk a továbbítandó jeleket.

A *tápvonalak elmélete* már komolyabb elmélyülést igényel, s terjedelemben is túllép ezen dolgozat határain, mely így csupán két fontos fogalom megértését tűzi ki célul. Ez a *haladóhullám* és az *állóhullám* fogalma.

Amikor a (hosszú)vezetékre váltakozófeszültséget kapcsolunk, a vezetékben váltakozóáramú és –feszültségű hullám kezd terjedni, a huzalok közötti térben pedig váltakozó villamos és mágneses erőter keletkezik, amely szintén tovább terjed a huzalok mentén. Ezt az erőteret neveztük el elektromágneses hullámnak. A vezeték mentén az elektromágneses hullámok egy irányba terjednek. Az elektromágneses hullámok energiát szállítanak a generátorból a vezeték vége felé. A vezetéknek ezt az üzemmódot *haladóhullámú üzemenek* nevezzük. Haladóhullámok csak abban az esetben keletkeznek, ha a vezeték végén az elektromágneses hullámok teljes energiáját valami elnyeli, és így visszavert hullámok nem jönnek létre. Minthogy haladóhullámú üzemen a vezeték a generátor által szolgáltatott energiát teljes egészében elnyeli, és abból semmit sem ver vissza, a vezeték a generátor szempontjából tiszta ohmos terhelésként viselkedik. Éppen ezért haladóhullámú üzemen a vezeték áramának és feszültségének azonos fázisban kell lennie.

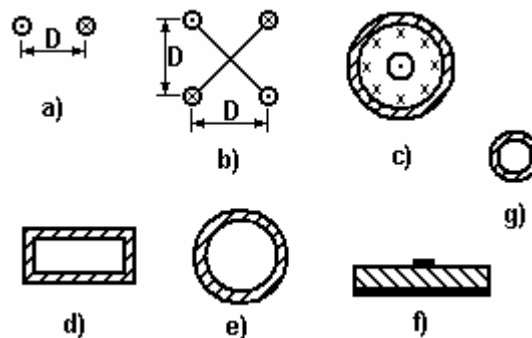
Nyitott végű vezetékre kapcsolva a generátort mást tapasztalunk. Ekkor a vezetékben elektromágneses hullám kezd terjedni. Ezt a hullámot beeső hullámnak szoktuk nevezni. A beeső hullám által szállított energia a vezeték nyitott végén nem nyelődhet el, tehát teljes mértékben visszaverődik, és visszatér a generátorhoz. Ezek szerint a vezetékben ellentétes irányokban egyidejűleg két elektromágneses hullám, egy beeső és egy visszavert hullám terjed. A két hullám a vezetékben összetevődik, aminek eredményeképpen ún. *állóhullámok* keletkeznek.

Haladóhullámok esetén a feszültségamplitúdó a vezeték minden pontjában azonos, addig állóhullámú üzemen ez az amplitúdó pontról pontra, a kétszeres érték és nulla között változik. E változások a vezeték végétől számított félhullámonként periodikusan követik egymást. Az áramamplitúdó szintén pontról pontra változik, ez a változás azonban nem ugyanolyan jellegű, mint a feszültség esetén. Így például a vezeték végén az áramerősség mindig nulla. Minthogy az egyik végén nyitott, veszteségmentes vezeték nem fogyaszt energiát, hanem csupán felhalmozza azt a periódus egyes részeiben, hogy utána újra visszaszolgáltassa a generátornak, ezért az ilyen vezeték a generátor szempontjából meddő terhelést jelent.

Legegyszerűbb a csatolás, ha a tápvezeték haladóhullámú. Ez esetben az antennából és tápvezetékéből álló rendszer bemenőellenállása kizárólag ohmos jellegű, és az antennakörben nincsen szükség semmilyen különleges hangolóelemre. Csupán az szükséges, hogy változtatni lehessen az anódköri rezgőkör és az antennakör közötti csatolást.

Más a helyzet, ha a tápvezeték állóhullámokkal működik. Ekkor bemenőellenállásában reaktáns összetevő léphet fel, amelynek kiegyenlítésére a csatoló körben külön hangolóelemet kell alkalmazni. Éppen ezért ezek a csatolások bonyolultabbak, mint a haladóhullámmal gerjesztett antennák csatolásai.

A fent felsorolt négy fő követelménynek megfelelően a különböző hullámhosszakon különböző tápvonalakat alkalmazunk. A generátor és az antenna közötti csatolás módját elsősorban az alkalmazott antenna típusa, a tápvezeték alakja (**12. ábra**), a tápvezeték üzemmódja és végül az adó kimenőfokozatának kapcsolása szabja meg. Az **a)** és **b)** ábrán bemutatott kétvezetős, illetve négyvezetős szimmetrikus tápvonalban transzverzális elektromágneses hullám terjed, és a vezetékben ellentétes irányú áramok folynak. Ilyen tápvona-



**12. ábra**

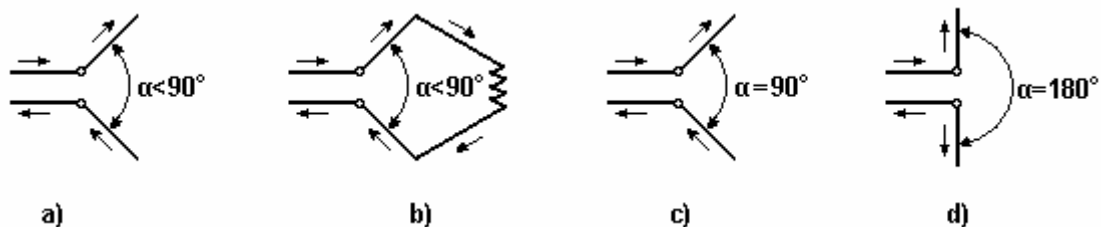
Különböző tápvonalak keresztmetszeti rajza

lakat hosszú-, közép- és rövidhullámok, részben pedig ultrarövidhullámok átvitelére alkalmaznak. A koaxális kábeleket és a merev koaxális tápvonalakat **(c) ábra**), amelyekben szintén transzverzális elektromágneses hullám gerjed, és az áramok ellentétes irányúak, főképpen a méteres és a deciméteres hullámokon alkalmazzák. A **d)** és **e) ábrán** derékszögű négyszög és kör keresztmetszetű csőtápvonal látható. Ezekben az alacsonyabb modulusú transzverzális elektromos hullámok és transzverzális mágneses hullámok terjednek. A csőtápvonalak általában a 10 cm-nél rövidebb hullámhosszakon használatosak. Végül a deciméteres és a centiméteres hullámok átvitelére szalagtápvonalakat is alkalmazunk **(f) ábra**). Ugyancsak ezeken a hullámhosszakon használatosak a vékony dielektrikum-réteggel bevont egyhuzalos tápvonalak (felületi hullámvezetők), amelyekben ún. felületi hullám gerjed **(g) ábra**). Ezekon kívül azonban más típusú tápvonalakkal is találkozhatunk.

## Antennatípusok

Az átviteli vonalakban alkalmazott huzalokkal kapcsolatban mindig arra törekszünk, hogy a rendszer ne sugározzon. Most viszont éppen ellenkező a feladat: a generátorhoz csatlakoztatott huzalokban fellépő villamos rezgéseket arra akarjuk felhasználni, hogy a környező térbe erős elektromágneses sugárzást bocsássunk ki. Ennek megvalósítására meg kell szüntetnünk az egyik okot, amely a tápvezetéseknél akadályozza a sugárzást. A lehetőségek a következők:

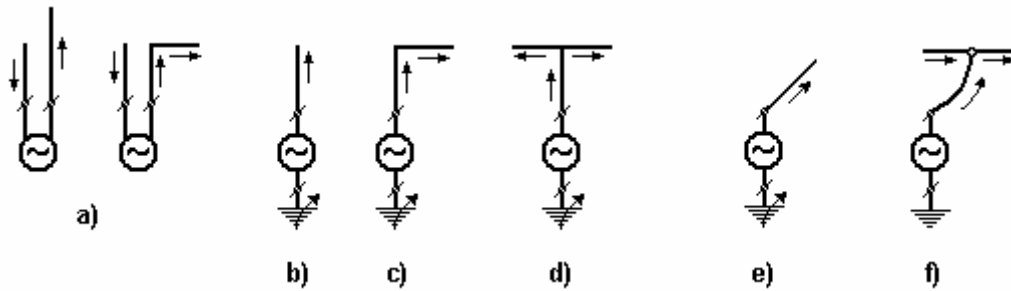
- a vezeték huzaljait bizonyos szögben úgy hajlítjuk szét, hogy a huzalokban folyó áramok iránya éppen ellentétes legyen. Ez az elv érvényesül az egymással hegyes szöget bezáró sugárzó huzalokból álló *V* antennában **(13/a ábra)** és rombusz antennában **(13/b ábra)**, a derékszögben széthajlított huzalokat tartalmazó *sarokantennában* **(13/c ábra)** és végül a *szimmetrikus dipólban* **(13/d ábra)**, amelynek huzaljai 180°-ra vannak szétnyitva. (A nyilak az antennában folyó áramok irányát tüntetik fel.)



13. ábra

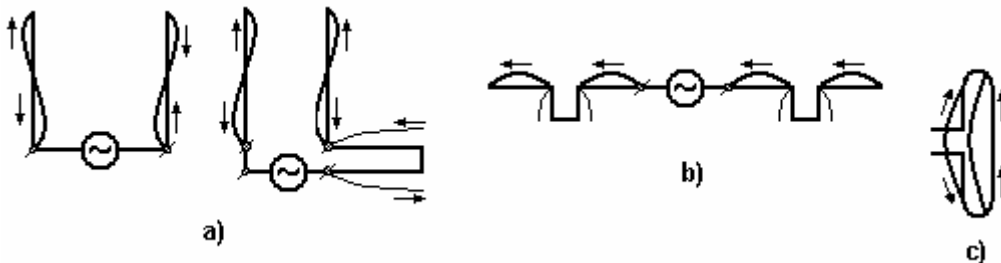
Sugárzórendszerek 1.

- Kiküszöböljük a második huzal kiegyenlítő hatását azáltal, hogy ezt a huzalt rövidebbre vesszük, vagy teljesen kihagyjuk a rendszerből. Az egyik huzal rövidítésével az ún. „*felső világítású*” antennánál találkozunk **(14/a ábra)**. A második huzal teljes elhagyásával úgynevezett *aszimmetrikus dipólt* kapunk **(14/b ábra)**. Az ezen az elven működő antennák mind az aszimmetrikus antennák csoportjához tartoznak. Ilyenek többek között a *fordított L-alakú* ( $\Gamma$ ) antenna **(14/c ábra)**, a *T-alakú antenna* **(14/d ábra)**, a *ferde antenna* **(14/e ábra)** és a *megcsapolásos antenna* **(14/f ábra)**. Az aszimmetrikus antennát tápláló generátor másik pólusát rendszerint földelik (a föld helyettesíti a második huzalt).



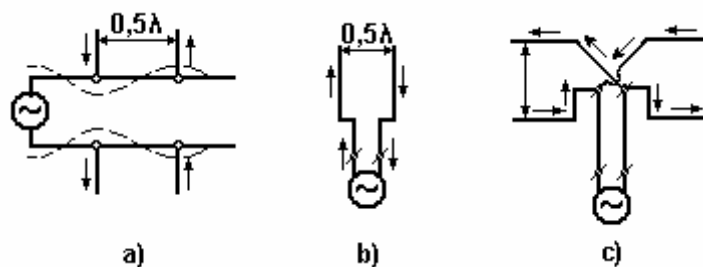
14. ábra  
Sugárzórendszerek 2.

- A két huzalban azonos fázisú áramokat létesítünk. E célból elegendő, ha például a vezeték egyik huzaljának egy félhullámú szakaszát sugárzásmentes hurokká alakítjuk át (**15/a ábra**). Ez esetben a huzalok szomszédos szakaszaiban azonos áramok folynak, és ezek kölcsönösen felerősítik egymás sugárzását. Ezt az elvet az azonos fázisban gerjesztett irányító hatású antennarendszerek különböző megoldásaiban, így például a **15/b ábrán** látható antennában, továbbá a *hurokdipólban* (**15/c ábra**) is nagyon sok helyen alkalmazzák.



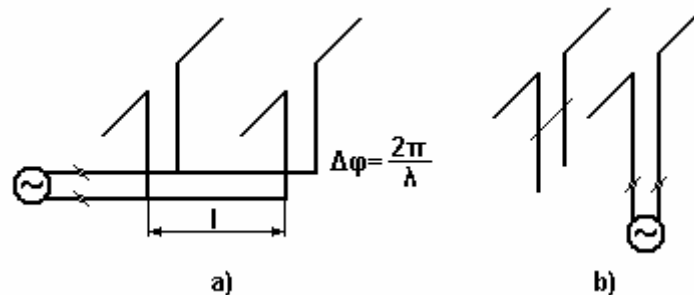
15. ábra  
Sugárzórendszerek 3.

- Az ellentétes fázisú áramokkal átjárt huzalokat úgy helyezük el, hogy a köztük levő távolság azonos nagyságrendű legyen a hullámhosszal. Ez esetben az egyes huzalok által bizonyos irányokban kisugárzott hullámok mentén nagyobb útkülönbségek lépnek fel, és így ezek a hullámok nem tudják teljesen kioltani egymást. Ezen túlmenően a huzalok közötti távolságot úgy is megválaszthatjuk, hogy egyes irányokban a huzalokról kiinduló hullámok összetevődjenek. Ezt igen elterjedten alkalmazzák az ellentétes fázisokban gerjesztett irányító hatású antennák számos változatában. A **16. ábrán** közölt példák alapján könnyen megérthető az ellentétes fázisú rendszerek előállításának elve. A **16/a ábrán** bemutatott antennában azáltal létesítünk a dipólokban ellentétes fázisú áramokat, hogy ezeket a dipólokat félhullámnyi távolságokban csatlakoztatjuk a tápvezetékhez. A **16/b ábrán** látható antenna egyik végén kiszélesített tápvezetéként fogható fel. A **16/c ábra** szerinti antennában a gerjesztőhuzalok keresztezésével biztosítható az áramok ellentétes fázisa.



16. ábra  
Sugárzórendszerek 4.

- Megváltoztatjuk a párhuzamos huzalokban folyó áramok fázisát. A két vagy több sugárzóból álló rendszerek áramai közötti távolságok és fáziskülönbségek megfelelő megválasztásával a legkülönbözőbb irányjelleggörbék állíthatók elő. A sugárzók áramai között szükséges fázisszög beállítására például a **17/a ábra** szerinti rendszerben megfelelően választjuk meg az antennák és a tápvezeték csatlakozópontjai közötti távolságot, a **17/b ábrán** mutatott esetben pedig egy hurokkal hangoljuk a másik dipól által indukált áramot. Ezeken az elveken működnek az egy irányban sugárzó antennák.



**17. ábra**  
Sugárzórendszerek 5.

Gyakoriak az olyan antennarendszerek, amelyekben egyidejűleg több elvet is felhasználnak a sugárzás kialakítására.

## A szimmetrikus dipól

A szimmetrikus dipól tehát olyan hosszú vezetéként fogható fel, amelynek huzaljait a vezeték nyitott végén  $180^\circ$ -ra szétahajlítjuk. Ennek következtében a dipól két felének szimmetrikus pontjaiban azonos irányban folynak az áramok.

Annak érdekében, hogy az antennahuzalban a legerősebb rezgéseket kapjuk, és így a sugárzás is maximális legyen, az antennát olyan feszültséggel kell gerjeszteni, amelynek frekvenciája megegyezik az antenna önfrekvenciájával. Bizonyítás nélkül: az antennában rezgések keletkeznek, e szabad rezgések kialakulása közben az antennában álló áram- és feszültség hullám keletkezik oly módon, hogy az antenna hossza mentén egy fél áramhullám és egy fél feszültség hullám lép fel. A szimmetrikus dipól-antenna önhulláma tehát az antenna huzalhosszának kétszerese:  $\lambda_{\text{ön}} = 2l$ . Éppen ezért a szimmetrikus dipólt *félhullámú dipólnak* is nevezik, amivel kiemelik, hogy hossza saját rezonanciahullámának a fele.

Amikor a vezetéket sugárzó antennarendszerré, vagyis antennává alakítjuk át, hatásos veszteségei megnövekednek. A hőveszteségen kívül sugárzási veszteségek is fellépnek. Ezért az antenna által felvett teljes teljesítmény:  $P_A = P_\Omega + P_\Sigma$ , ahol  $P_\Omega$  a hőveszteségek teljesítménye,  $P_\Sigma$  pedig az elektromágneses sugárzássá átalakuló teljesítmény. A rendszer ezen hatásos veszteségeinek megnövekedését úgy foghatjuk fel, mintha megnőtt volna a rendszer ohmos ellenállása. Szintén számítások nélkül: az antenna hatásfoka annál nagyobb, mennél nagyobb a hőveszteségekkel kapcsolatos ellenálláshoz képest az antenna sugárzási ellenállása. Lényeges azonban a sugárzási ellenállás abszolút értéke is. Mint minden rezgőrendszerben, így az antennában is a rezonanciaáram és a rezonanciafeszültség, valamint a rezonanciában megfigyelhető többi tulajdonság lényegesen függ a sugárzási ellenállás nagyságától. Mennél nagyobb ez az ellenállás, annál kisebb az antenna rezonanciaáramának csúcsértéke. Mennél kisebb azonban az áramerősség, annál kisebb az antenna feszültsége is. Ez utóbbi előnyös, mert azt jelenti, hogy az antennán gyengébb szigetelés is megfelel. Mennél nagyobb a sugárzási ellenállás, annál szélesebb az antenna átviteli sávja, és annál kevésbé változik meg a bemenőellenállás, amikor megváltozik az adó üzemi frekvenciája. Változó frekvenciák esetén ez megkönnyíti az antenna, a tápvezeték és a generátor illesztését.

Alapvető kérdés tehát a sugárzási és a veszteségi ellenállás meghatározása.

A félhullámú dipól-antenna sugárzási diagramja – amely a sugárzás viszonylagos erősségét adja meg a különböző irányokban – a dipól tengelyére merőleges irányban maximumot mutat. Az irányszög csökkenésével a sugárzás erőssége csökken, és a dipól tengelyének irányában teljesen meg is szűnik. A dipól tengelyére merőleges síkban az antenna szimmetriája folytán minden irányban egyenletes sugárzást kapunk, és az irányjelleggörbe kör alakú.

Minden szimmetrikus antenna rezgőrendszert alkot, és jól sugároz minden olyan hullámon, amelyre nézve az antenna hossza a félhullám egész számú többszöröse.

## Az aszimmetrikus földelt antenna

Aszimmetrikus földelt antennát kapunk tehát, ha a függőleges antennát úgy helyezzük el, hogy az alsó vége földelve van. Ekkor az antenna önhullámhossza négyszer nagyobb, mint geometriai magassága. Éppen ezért az aszimmetrikus antennát *negyedhullámú antennának* is nevezik. Popov ajánlotta alkalmazását 1895-ben először, s a szimmetrikus antenna mellett igen elterjedt típusná vált. Használata azért előnyös, mert kicsi az önhullámhossza és egyszerű a szerkezete. E tulajdonságai különösen a viszonylag hosszú hullámokon érvényesülnek.

Mint hogy tükörképével együtt a földelt antenna szimmetrikus dipól-antennaként fogható fel, ezért föld feletti sugárzási jelleggörbéje teljesen megegyezik a félhullámú dipól jelleggörbéjével, ha ez utóbbi jelleggörbéjének alsó felét a föld felülete mentén elmetszük. Itt azonban a generátor földelt pólusának potenciálja mindig nulla. Ezért az aszimmetrikus antennák kapcsain mindig csak fele akkora potenciálkülönbség lép fel, mint a szimmetrikus antennák esetén. Ebből következik, hogy az aszimmetrikus antenna bemenőellenállása fele a szimmetrikus dipól bemenőellenállásának. Ugyanez vonatkozik a sugárzási ellenállásra is.

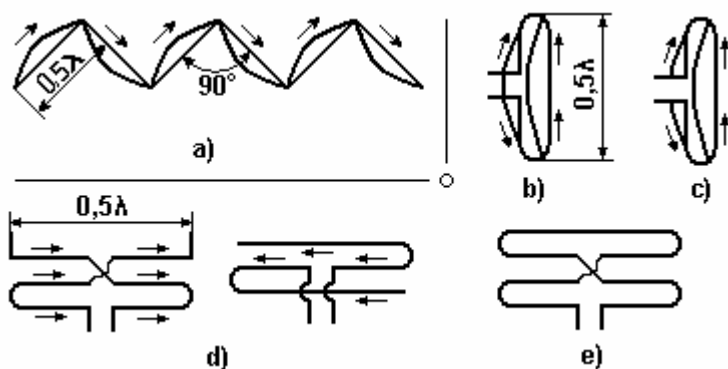
Az előbb elmondottak csak abban az esetben érvényesek, amikor a föld jól vezet, azonban ez nem mindig áll fent. Amikor a föld rossz vezető, akkor megváltozik az antenna sugárzási jelleggörbéje, megnő az antenna vesztesége, csökken a kisugárzott teljesítmény, romlik hatásfoka. Különösen nagy jelentőségű az antenna talppontjához közeli terület ellenállása, mert itt fut össze valamennyi földáram. Éppen ezért e terület vezetőképességének megjavítása céljából a földben fémlemezket és huzalokat ásnak el, a földet különböző sókkal itatják át, és ezzel megjavítják a talaj vegyi összetételét. Földelés helyett alkalmazható olyan huzalrendszer, melyet nem ásnak el a földbe, hanem a föld felett szerelnek fel, és amelyet ellensúlynak neveznek. Ennek elég jól kell árnyékolnia az antennahuzalt a földtől oly módon, hogy az antennából kiinduló erővonalak nagy része az ellensúly huzaljain haladjon keresztül.

Az aszimmetrikus antennák is rezgőrendszerek, és jól sugároznak azokon a hullámokon, amelyekre nézve az antennahossz a negyedhullám egész számú többszöröse.

## Az összetett dipól-antenna

A nagy sugárzási ellenállású antennák jó hatásfokkal, kis rezonanciaárammal és kis rezonanciafeszültséggel működnek, továbbá egyszerűen hangolhatók és állíthatók. Ezért mindig arra törekszünk, hogy az antenna sugárzási ellenállását a lehető legnagyobb mértékben megnöveljük. E feladat megoldására legelőször A.A. Pisztokolorsz ajánlotta azt az igen hasznos gondolatot, amely a hurokantennák típusaiban került változatos megvalósításra.

Megtehetjük például, hogy az antennahuzalt behajlítjuk azokon a helyeken, ahol ellenkező irányú áram kezd folyni. Ekkor az antennarendszerben folyó áramok térbeli iránya már megegyező minden szakaszban, és 90°-os behajlítás esetén teljesen megszűnik az egyes szakaszok sugárzásnak kiegyenlítő hatása. Az így kapott rendszert Sirkesz-féle antennának nevezzük (**18/a ábra**).

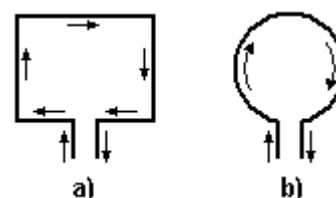


**18. ábra**  
Sirkesz és hurokantennák

Ha a hajlítás szögét  $180^\circ$ -ra vesszük, az antennában mindenhol egyező irányú áramokat kapunk. Ha a sugárzó szakaszok közötti távolság a hullámhosszhoz képest kicsi, az egyes szakaszok által kisugárzott hullámok a tér minden pontjába egyező fázissal érkeznek, és felerősítik egymást. Ilyen elven működő hurokantennák láthatók a **18. b-e ábrán**: **b**-hajlított dipól, **c**-nyitott hajlított dipól, **d**-3 elemes dipól, **e**-4 elemes dipól.

## A keretantenna

Az előzőekben tárgyalt antennáktól eltérően a keretantennát (**19. ábra**) a rezonanciahullámnál sokkal hosszabb hullámokon alkalmazzuk. A keretantenna rövidrezárt tápvezeték kiszélesített végeként fogható fel. Saját hullámhossza rendszerint 4-6-szor nagyobb, mint a benne felhasznált huzal teljes hossza. Minthogy a keretantenna méretei rendszerint sokkal kisebbek az üzemi hullámhossznál, a szemben fekvő oldalakban ellentétes irányú áramok folynak. Keretantenna oldalai nagyon kicsinyek, és az ellentétes fázisú sugárzóelemek nagyon közel vannak egymáshoz, ezért a sugárzási ellenállás és a hatásos magasság is nagyon kicsi. Ebből kifolyólag adókban ritkán használnak keretantennát. Ellenben vevőkészülékekben a keretantennák gyakran kerülnek alkalmazásra.



**19. ábra** Keretantennák  
(**a**-négyzetes **b**-kör alakú)

## 4. Irányított antennarendszerek

Az antennák sugárzásában fellépő irányítóhatás – amit már a félhullámú dipól-antennánál is láttunk – egyáltalán nem mondható hátrányosnak. Egészen ritka kivételektől eltekintve, az egészen egyenletes sugárzás nemcsak hogy nem kívánatos, de nem is előnyös, mert mindig vannak olyan irányok, melyekben nem érdemes energiát kisugározni, viszont mindig találhatunk egy olyan irányt is, amelyben maximális erősségű sugárzásra van szükség. Éppen ezért sokszor egészen éles irányítóhatású különleges antennarendszereket szerkesztenek.

Az eddig elmondottak alapján megállapíthatjuk, hogy minél nagyobb az antenna irányítóhatása, annál nagyobbak általában a méretei is. Ilyenkor ugyanis több olyan elemre van szükség, amely meghatározott irányokban felerősíti, más irányokban pedig gyengíti a sugárzást és ezáltal az irányjelleggörbében éles maximumokat és minimumokat hoz létre.

Irányított antennák alatt tehát mindig legalább két, de általában több elemből épített antennarendszereket értünk, ahol a kívánt irányban adónk teljesítményét meg tudjuk sokszorozni. Ha egy irányítóhatásuktól teljesen mentes adóantennát irányítóhatású antennával helyettesítünk, és a legerősebb sugárzást a vevő felé irányítjuk, azt tapasztaljuk, hogy megnő a vétel hangereje. Ezáltal ugyanolyan eredményt érünk el, mintha megnöveltük volna az adó teljesítményét. Azt a számot, amely megadja, hogy az irányítatlan antennának irányítóhatású antennával való helyettesítése után milyen mértékben csökkenthető az adó teljesítménye



ahhoz, hogy a fő sugárzási irányban újra az eredeti jelerősséget kapjuk, az *antenna nyereségi számának* vagy *erősítésének* nevezzük (G). Minthogy irányítóhatásoktól teljesen mentes antenna nincsen, ezért az erősítést reálisabban úgy határozzák meg, hogy a különböző antennák irányítóhatását valamilyen leggyakrabban alkalmazott gyenge irányítóhatású antenna sugárzásához viszonyítják. Ez rendszerint a félhullámú dipól-antenna. Ezt az erősítési értéket decibelben szokás kifejezni.

Hosszú-, közép-, rövid- és ultrarövid hullámokon az irányított antennákat rendszerint több állóhullámú antennáknak antennarendszerbe való egyesítésével készítjük.

*Függőnyantenna (tannenbaum)*, ha mind vízszintes, mind függőleges síkban akarunk irányítást, vagyis térbeli irányítás szükséges. Ilyenkor a dipólcsoportot és a dipólsort együttesen alkalmazzuk.

*Négyszögantenna*, dipólokból alkotott többemeletes antennarendszer. Vízszintes síkban körsugárzó, függőleges síkban pedig irányított.

*Dipólkeret antenna*, vagy *Alford antenna*. Ezek horizontálisan polarizált keretantennák.

## 5. Hosszú és középhullámú antennák

Minthogy vezetőfelület közelében a felületi hullám függőlegesen polarizált, ezért az energia nagy részét az antenna függőleges szakaszának kell kisugározni. A lehető legerősebb sugárzás elérése céljából minél magasabb antennát kell használni. E hullámsávban a vevőantennát is úgy kell kiképezni, hogy jelentős része függőleges irányú legyen.

Az antenna csak az esetben működhet rezonanciában, és csak akkor lesz elég nagy a sugárzási ellenállása és határfoka, ha méretei legalább megközelítik a  $0,25\lambda$  értékét, vagyis ha hosszúhullámon az antennamagasság néhány száz méter. Gyakorlatilag azonban nem lehet 200-300 méternél magasabb antennát (antennatornyot) építeni. Ezért az 1000 méternél hosszabb hullámokon rendszerint olyan antennákat kell alkalmazni, amelyeknek a hossza kisebb a rezonanciahossznál. Ennek következtében az antenna bemenőellenállásában kapacitív jellegű reaktáns összetevőt kapunk, és ennek kihangolására az antennával sorosan egy indukciós – ún. *hosszabbítótekerccset* – kell kapcsolni. Az ilyen antennák sugárzási ellenállása és ezzel határfoka kicsi. Ezért ehelyett a hosszt az antennának derékszögben való behatásával is növelhetjük ( $\Gamma$ -antenna), illetve növelhetjük az antennavégi áramamplitúdót azáltal, hogy a vízszintes kiegészítő részt két vízszintes sugár (T-alakú antenna) vagy pedig több ilyen sugár (ernyőantenna) alakjában képezzük ki. Előfordulhat továbbá, hogy a széles frekvenciasávon működő középhullámú antennáknál a bevezetett rezgések frekvenciája kisebb a rezonanciafrekvenciánál. Ez esetben az antenna bemenőellenállásának reaktáns összetevője induktív jellegű, és így hangolásához kondenzátort – ún. *rövidítő kondenzátort* – kell alkalmazni.

Ezeken a hullámsávokon alkalmazható antennák tehát: az aszimmetrikus antenna hosszabbítótekerccsel, a fordított L-alakú antenna ( $\Gamma$ ), a T-alakú antenna, az ernyőantenna, valamint a különféle toronyantennák (szigetelőre szerelt, párhuzamos táplálású, felül táplált antennák, stb.). Vételre egyszerű és árnyékolt keretantennák, továbbá goniométerantennák is használatosak.

## 6. Rövidhullámú antennák

Ahogy láttuk a rövidhullámok esetében a föld már mint igen rossz vezetőképességű közeg jelentkezik, tehát a felületi hullámok igen erős csillapítást szenvednek, és a rádióállomástól 10 km nagyságrendű távolságokban már annyira gyengék, hogy egészen nagy teljesítményű adóval sem lehet összeköttetést létesíteni.

Ezzel szemben az ionoszférában a rövidhullámok alig veszítenek energiájukból. Ezért az ionoszféráról visszavert térhullámok nagy erősséggel jelentkeznek. Ennek következtében a rövidhullámú távolsági összeköttetés kizárólagosan a térhullámok révén jön létre.

Emlékeztetőül: a rövidhullámoknál gondot jelenthet a fading, vagyis amikor a vevőbe egy az ionoszféráról egyszer visszavert, valamint az ionoszféráról, földről, majd ismét az ionoszféráról visszaverődött hullám érkezik be, ezáltal térerősségingadozást okozva. Valamint az ionoszféra állapotára és ezzel a vétel minőségére – komoly hatást gyakorolnak a naptevékenységek, és így a napszakok, évszakok változása. Ezért lehet, hogy a rádióösszeköttetés folyamatosságának biztosítására több hullámhosszra van szükség, ezáltal igen széles sávú antennákat kell alkalmazni.

Mivel az ionoszférán bekövetkező visszaverődéskor a térhullámok többnyire megváltoztatják polarizációjukat, ezért rövidhullámon a sugárzás polarizációja nem annyira jelentős, azaz mind függőleges, mind vízszintes sugárzók használhatók.

Legegyszerűbb használható antennarendszer az aszimmetrikus földelt antenna. Előnye, hogy kisméretű, egyszerűen hangolható, sugárzási jelleggörbéje kedvező, s célszerű alkalmazni akkor is, ha az antenna tápvezeték nélkül közvetlenül az adóról táplálható. A talaj vezetőképessége szerint célszerű alkalmazási területe a tengerpart, vagy egyéb vízfelület mellett, ugyanakkor kerülendő az agyagos és köves, homokos talajokon. Használhatunk félhullámú aszimmetrikus antennát, L-alakú, vagy akár ferde antennát.

Bonyolult szerkezeti felépítése, továbbá a földelések és az ellensúlyok által okozott sokszor nagy veszteség jelentősen csökkenti a földelt alappontú aszimmetrikus antennák értékét. Ezért a rövidhullámsávban, ahol az antenna méretei nem okoznak olyan nagy gondot, ésszerűbbnek látszik szimmetrikus függőleges antennát alkalmazni, például a félhullámú dipólt. Területi alkalmazási lehetőségeik azonban hasonlóak a földelt antennához. Gondot jelenthet továbbá, ha nem sikerül szabad teret találni, s a sugárzót eltakarják a környező épületek.

A felsorolt okokból kifolyólag rövidhullámon többnyire vízszintes antennák kerülnek alkalmazásra. Ezeket könnyen felemelhetjük olyan magasra, hogy jó sugárzási tulajdonságokat kapjunk, és az antenna kikerüljön az árnyékból. További előnye a vízszintes félhullámú dipólnak, hogy a talaj vezetőképessége majdnem egyáltalán nem befolyásolja sugárzási jelleggörbéjét. Táplálása történhet középen, állóhullámú kéthuzalos tápvezeték végéről vagy pedig haladóhullámú kéthuzalos vagy egyhuzalos tápvezetékéről.

Rövidhullámú irányítóhatású antennarendszerek három fő eljárás szerint állíthatók elő. Az első eljárás szerint a felharmonikuson gerjesztett antennák irányítóhatását használjuk ki, a második szerint az antennát a dipólok többé-kevésbé bonyolult rendszeréből állítjuk össze, a harmadik eljárás pedig a haladó áramhullámú huzalok irányított sugárzásán alapul. Az irányítóhatású antennák hátránya, hogy általában nagy méretűek, ami megnehezíti szerkezeti megoldásukat és lehetetlenné teszi a forgatható antennák kialakítását. Kis szerkezeti módosítással a sugárzási tulajdonságok és az irányítóhatás kismértékű romlása árán azonban elérhető, hogy az antenna kisméretű és forgatható legyen. Ilyen típusok például a kettős gyűrűs dipól (20/a ábra) és a gyűrű alakú dipól (20/b ábra).



20. ábra  
Kisméretű irányítóhatású antennák

A különböző irányokba beállítható irányítóhatású antennákkal kapcsolatos feladat azonban nem csak forgó antennákkal oldható meg, hanem úgy is, hogy a jelleggörbét elektromosan változtatjuk. Így feleslegessé válik a forgatószerkezet, és olyan antennarendszerek is felhasználhatók, amelyeket nem is lehetne forgatni. Megoldási lehetőség, ha az egyik tápvezeték hosszát változtathatóvá tesszük, ezáltal a hozzá kapcsolódó dipól áramának fázisa befolyásolható, ezzel pedig a sugárzási jelleggörbe széles határok között változtatható.

## 7. Ultrarövidhullámú antennák

E sáv legjellegzetesebb sajátja, hogy a térhullámok nem verődnek vissza. Az ultrarövidhullámok ún. kritikus szöge nulla, vagyis az ionoszféra-rétegekre eső elektromágneses hullámok rendes körülmények között majdnem minden törés nélkül kijutnak a világűrbe és nem térnek vissza a Földre. Ennek következtében ultrarövidhullámú összeköttetés csak felületi hullámmal létesíthető. Az ultrarövid hullámok azonban csak kis mértékben követik a Föld görbületét. Éppen ezért az összeköttetés gyakorlatilag csak a közvetlen látási határon belül jöhet létre, vagyis csak olyan távolságokra terjeszthető ki, amelyen belül a földfelület görbülete nem takarja el az adóantennát a vevőantenna elől.

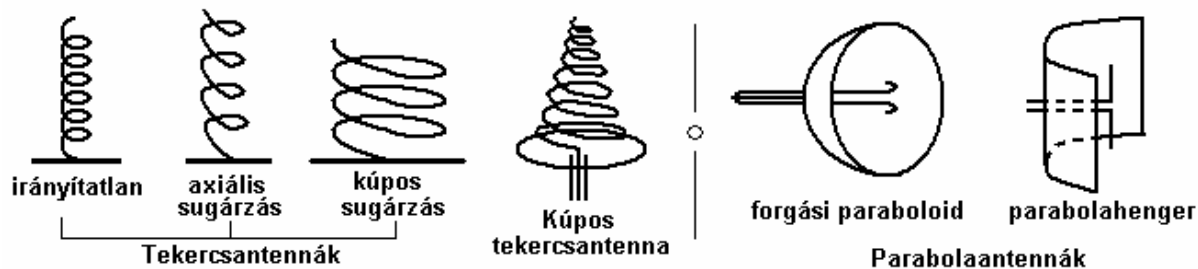
Az ebből következő gyakorlati szabály szerint nagytávolságú összeköttetések létesítéséhez minél magasabbra kell emelni a vevő- és az adóantennát. Ezen túl az antennának minél kisebb emelkedési szögben kell sugároznia.

Felületi hullámok esetén a látási határokon belül felállított vételi pontban ugyanolyan az elektromágneses hullámok polarizációja, mint az adóantennánál. Ha tehát ultrarövidhullámokon a lehető legjobb vételi viszonyokat akarjuk elérni, a vevőantenna polarizációjának egyeznie kell az adóantenna polarizációjával. (Városokban néha előfordul, hogy a magas épületeken bekövetkező többszörös visszaverődések hatására megváltozik a polarizáció síkja.)

Az ultrarövidhullámú antennákkal kapcsolatos egyik leglényegesebb feladat az antenna áteresztési sávjának kiszélesítése. A feladat nagy sugárzási ellenállású és nagy keresztmetszetű hurokdipólokkal oldható meg. Az ultrarövidhullámú antennák igen érzékenyek, tervezésüknél az alkotó alkatrészeknek igen nagy figyelmet kell szentelni. Az ultrarövidhullámú sugárzók fő típusa a félhullámú dipól-antenna. Táplálása mind közepén, mind pedig egyik végéről végezhető. Illesztésére legalkalmasabb a szétágazó vezetékdarab. Az antenna táplálásához nagyon sok esetben sugárzási veszteségektől mentes koaxális kábelt alkalmaznak.

Aszimmetrikus dipólt ultrarövidhullámon meglehetősen ritkán, többnyire olyankor alkalmaznak, amikor a sugárzót valamilyen fémfelület fölé (pl. gépkocsi tetején) kell felszerelni. Ez esetben a tápláláshoz koaxális kábelt érdemes használni, ahol a kábel középső vezetőjét összekötik a dipóllal, a külső vezetőt pedig a fémfelülethez csatlakoztatják.

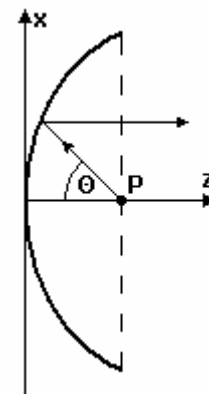
Az említetteken kívül alkalmaznak ebben a hullámtartományban tölcserantennát, reflektoros antennát, tekercsantennát, stb. (21. ábra).



21. ábra  
Tekercs- és parabolaantennák

A rádió-berendezésekben, különösen a rádiólokátorokban igen gyakoriak a parabolaantennák. A parabolaantennákat forgási paraboloid, nyitott vagy két oldaláról párhuzamos vezetősíkokkal határolt parabolahenger alakúra szokás kiképezni. A forgási paraboloidot dipólantenna gerjeszti; ez a dipól a fókuszban van elhelyezve, és az általa kisugárzott gömbhullámot a paraboloid síkhullámmá alakítja át. A parabolahenger primer sugárzója a fókuszvonalban elhelyezett lineáris antenna, és az utóbbi hengeres hulláma szintén síkhullámmá alakul át.

Ezekben az antennákban – akárcsak a lencsékben – a rádióhullámok optikai tulajdonságait hasznosítjuk. A parabola geometriai tulajdonságai olyanok, hogy a fókuszban kiinduló és a parabolafelületen visszaverődő sugarak a  $z$  tengellyel párhuzamosan haladnak tovább, és a fókuszban a paraboláig, majd a széleket az  $x$  tengellyel párhuzamosan összekötő – szagatottal jelölt – egyenesig megtett út hossza minden  $\Theta$  szögre azonos (22. ábra). Ily módon a parabolaantenna kimeneti nyílásában azonos fázisú felület jön létre, és éles irányíthatást kapunk.



22. ábra

Az ultrarövidhullámok tartományát rendszerint három altartományra: méteres, deciméteres és centiméteres hullámokra osztjuk. Mindegyik tartományban más és más jellegű berendezéseket kell alkalmazni.

- *A méteres hullámú antennák*

A méteres hullámok (10 m-től 1 m-ig) főként a televízióhoz, rádió navigációhoz és a távvezérléshez használatosak. Ennek az altartományban egy részét a rádióamatőrök rendelkezésére bocsátották.

Az ehhez a sávhoz tartozó hullámok csekély hossza következtében tág lehetőségek vannak az irányíthatóság antennák alkalmazására. Ezek az antennák forgatható kivitelben is könnyen előállíthatók, ami lehetővé teszi az irányíthatóság sugárzó előnyeinek teljes mértékű kihasználását.

- *A deciméteres hullámú antennák*

A deciméteres hullámokat (1 m-től 0,1 m-ig) rádiólokátorokban, távvezérlőkészülékekben és reléösszeköttetésekben használják.

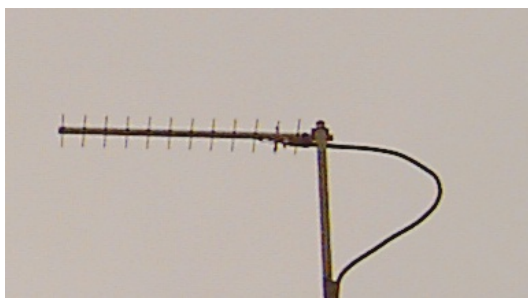
- *A centiméteres hullámú antennák*

A centiméteres hullámok (10 cm-től 1 cm-ig) elsősorban rádiólokátorokban kerülnek alkalmazásra.

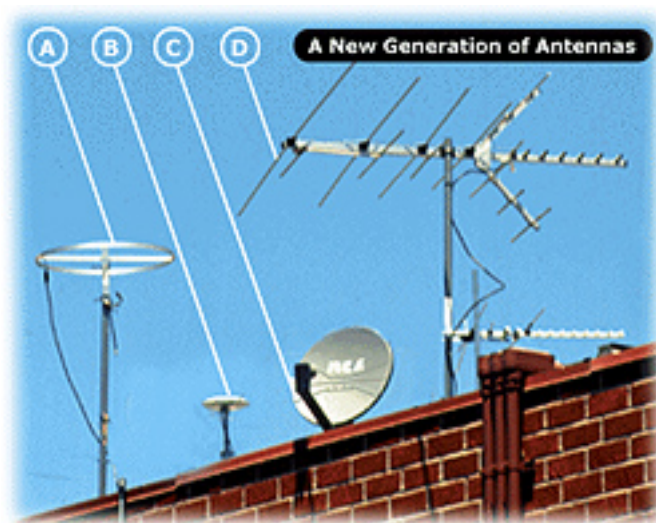
## 8. Mikrohullámú antennák

Ezen hullámsávban – hasonlóan az előzőhöz – széles körben alkalmazzák a lencseantennákat, a parabolarefektorokat és az ún. tölcserreflektoros antennákat. Utóbbiak reflektora szintén paraboloidfelületű, gyújtópontjuk azonban erősen excentrikus helyzetű.

## Képmelléklet



Egyszerű dipól-antenna



Különböző antennatípusok:

**A:** UHF/VHF irányított antenna

**B:** 360 fokos UHF/VHF antenna

**C:** Műholdvevő parabolaantenna

**D:** Hagyományos irányított UHF/VHF tetőantenna



Egydipólos antennapanel



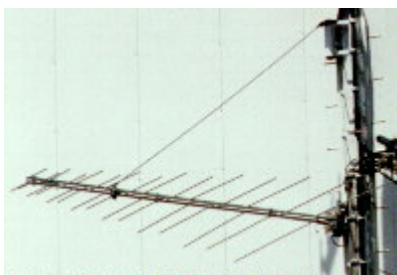
Ernyőantenna



Toronyantenna



Parabolaantennák



Dipólantennák

## Felhasznált irodalom

1. Új Magyar Lexikon kötetei
2. Felix R. Paturi: A technika krónikája [Officina Nova]
3. Madas László és Szentirmay László: Általános Elektrotechnika – Az ipari technikumok számára. 1963
4. Kodolányi Gyula: Rádióhullámok terjedése: antennák. 1954
5. Dr. Győry Tibor: Hullámterjedés. 1969.
6. D. P. Linde: Antennák és távvezetékek. 1955
7. G. T. Markov: Antennák. 1963.
8. Szekeres Béla: Antennák. 1969.
9. Szalai Pál István: Tápvonalak, antennák. 1966.
10. L. J. Libois: Mikrohullámú összeköttetések és modulációs rendszerek. 1960.
11. Telekommunikáció a közlekedésben egyetemi jegyzet, BME-KSK. 2000.

Képek forrása: Internet