Optoelektronikai Kommunikáció

Az elektromágneses spektrum

(OK-2)



Budapesti Mûszaki Fõiskola
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Fõiskolai Kar
Számítógéptechnikai Intézete
Székesfehérvár

2002.



Budapesti Mûszaki Fõiskola
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Fõiskolai Kar
Számítógéptechnikai Intézete
8002. Székesfehérvár
Budai ut 45. pf. 34.

tel.: (22) 316-260
fax: (22) 312-337

dr. Hudoba György, 2002.

A fejezet célja:

- Megismertetni a hullám fogalmát
- Tisztázni az elektromágneses spektrum leírásához használatos fogalmakat.
- Az elektromágneses hullámok fõbb tulajdonságainak bemutatása és megismertetése

A fejezet elolvasása után tudni kell:

- A hullámelmélet alapvetõ fogalmait.
- Az elektromágneses hullámok fõbb tulajdonságait
- Az elektromágneses hullámok típusait és terjedési módjait.
- Az elektromágneses spektrum felosztását

Elõismeretek:

Jelen fejezet anyagának tanulmányozása elõtt szükség van:
A kommunikáció rövid története - OK-1 anyagának ismeretére.

Tartalom

Bevezetés 1

Hullámok 2

Az elektromágneses spektrum 3

Az elektromágneses sugárzás fizikai tulajdonságai 5

A szabad sugárzás 5

A hullámvezetés 8

Az elektromágneses spektrum felosztása 12

Összefoglalás 14

Ellenõrzõ kérdések 15

Válaszok 16

Kulcsszavak 17

Bevezetés

Elõfordul néha, hogy bár esik az esõ, a Nap kibukkan a fellegek közül és az égen feltûnik a szivárvány. A szivárvány színei - a vöröstõl az ibolyáig - együtt a fehér fényt adják. A fizika nézõpontjából tekintve ezek a színek a Napból sugárzó energia, pontosabban szólva a látható fény hullámhossz szerint sávokba rendezett színképét, vagy idegen szóval spektrumát alkotják.

A valóságban a látható színkép csak egy nagyon szûk tartománya a teljes elektromágneses spektrumnak, amely a nagyenergiájú röntgensugárzástól a nagyon kis energiát hordozó rádióhullámokig terjed. Ez a teljes elektromágneses spektrum jellegzetes tulajdonságokat mutató tartományokra osztható fel, melyek majd mindegyike használható valamilyen kommunikációs rendszerben.

A következõkben áttekintjük a teljes elektromágneses spektrumot, annak különbözõ tartományait és a kommunikációs rendszerekben való felhasználásukat.

Hullámok

Hogy megbeszélhessük a spektrum tulajdonságait, elõbb meg kell ismerkednünk néhány alapvetõ hullámtani fogalommal:

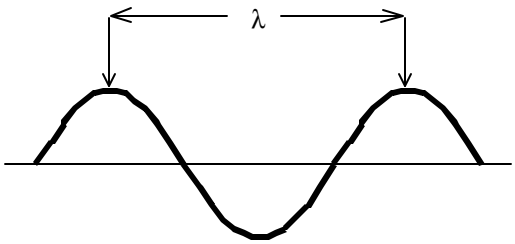
- *hullám*
- *hullámhossz*
- *frekvencia*
- *terjedési sebesség*

A hullám

Ha követ dobunk egy nyugvó felszínû víztócsába, megfigyelhetjük, hogy a víz felületén a csobbanás helyétõl kiindulva kör alakú hullámok futnak szét. Ez egy mechanikai hullám, melyet a közeg (esetünkben a víz) megzavarása váltott ki. Az elektromágneses hullámokra is hasonló törvények vonatkoznak, mint a mechanikai hullámokra. Ha az elektromos töltés gyorsul (azaz, ha az elektromos áram nagysága vagy iránya megváltozik), elektromágneses hullám keletkezik és terjed a tér minden irányába.

Hullámhossz, frekvencia, terjedési sebesség

Visszatérve a szemléltetõ példánkhoz, a tócsában terjedõ vízhullámokhoz, a két egymást követõ hullámhegy (vagy hullámvölgy) távolsága a ***hullámhossz***. A víz felszínén úszó kis fadarab a hullámmal együtt emelkedik és süllyed. A hullám e fontos jellemzõje a ***frekvencia***, amit az egy másodperc alatt bekövetkezõ emelkedések és süllyedések számával mérünk. Mértékegysége a *Hertz* (Hz). [Hertz, Heinrich Rudolf (1857 - 1894) - német fizikus. A katódsugárzással és az elektrodinamikával foglalkozott. Felfedezte és tanulmányozta az elektromágneses hullámokat, valamint a fényelektromos jelenséget.] 1 Hz=1 ciklus másodpercenként. Végül ha kiszemelünk egy hullámcsúcsot, amint az szétfut a víz felszínén, megfigyelhetjük, hogy az egy jól meghatározott sebességgel halad. Ez a hullám ***terjedési sebesség***e.



A hullámhossz két csúcs közötti távolság

Amikor beszélünk, hanghullámokat keltünk, melyek frekvenciája a 10Hz és a 15 kHz közé esik. Ezek bizonyos szempontból hasonlítanak a vízhullámokhoz, azonban sokkal gyorsabban terjednek.

A *hullámhossz,* a *frekvencia* és a *terjedési sebesség* között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$v = f \cdot l$$

ahol v - a hullám *terjedési sebessége* [m/s]

f - a hullám *frekvenciája* [Hz=1/s]

l - a *hullámhossz* [m]

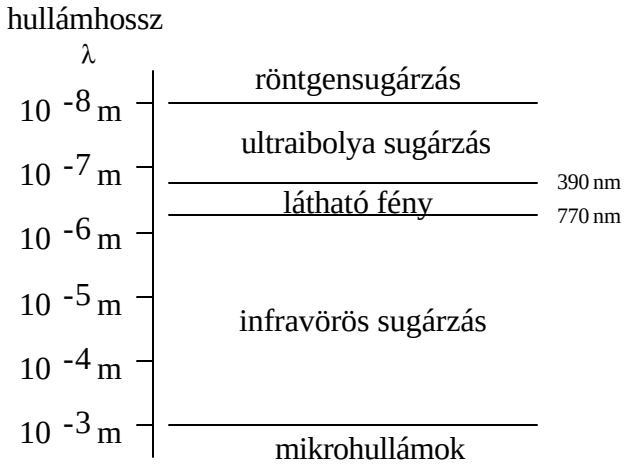
A l jel neve lambda, s a görög *l* betûnek felel meg.

A *hullám v* terjedési sebessége mechanikai hullámok esetén a közeg sûrûségétõl függ. A hanghullámok sebessége tengerszinten kb. 330 m/s. Az elektromágneses hullámok vákuumban 300 ezer km-t tesznek meg másodpercenként. Ezt a - természetben elérhetõ legnagyobb - sebességet *c*-vel szokás jelölni. Az elektromágneses hullámok közegben a *c*-nél lassabban haladnak. Az üvegben pl. a fény sebessége v=200 000 km/s.

Az elektromágneses spektrum

Az ***elektromágneses spektrum*** a teljes mérhetõ frekvenciatartomány, a nagyon alacsony rádiófrekvenciáktól a látható fényen át a röntgensugárzásig és még azon is túl. A következõkben megtárgyaljuk az elektromágneses hullámok áthaladását a különbözõ anyagokon, s megvizsgáljuk, hogy azok milyen hatással vannak a hullámok terjedésére. A spektrum különbözõ tartományainak az információátvitelben betöltött szerepével is foglalkozunk.

A látható, azaz a szemünkkel érzékelhetõ fény spektruma a teljes elektromágneses tartománynak csak elenyészõ töredéke. A szemünkkel nem látható sugárzás detektálására az elektromágneses sugárzásnak az anyagra gyakorolt hatását használjuk ki. Ilyenek pl. a különlegesen érzékenyített fotográfiai filmek, vagy különféle elektronikus alkatrészek (pl. fotodiódák). Ezeket majd a késõbbiekben tárgyaljuk (OK-7). A következõ diagram az elektromágneses spektrum optikainak nevezett, vagyis a szemünkkel látható részét mutatja.



Az elektromágneses spektrum látható tartományának környezete

Nagy távolságú kommunikáció, azaz telekommunikáció megvalósítható akár kábelen küldött elektromos jelekkel, akár a térben vagy hullámvezetõben küldött elektromágneses hullámokkal.

kilométer	=	1km	=	10^{3}m
méter	=	1m	=	10^{0}m
milliméter	=	1mm	=	10^{-3}m
mikrométer	=	1mm	=	10^{-6}m
nanométer	=	1nm	=	10^{-9}m
(Ångström	=	1Å	=	10^{-10}m)
(megtûrt, de nem szabványos SI mértékegység)				
pikométer	=	1pm	=	10^{-12}m

A hosszúságegység többszöröse és törtrészei az SI mértékegységrendszerben

Az elektromágneses sugárzás fizikai tulajdonságai

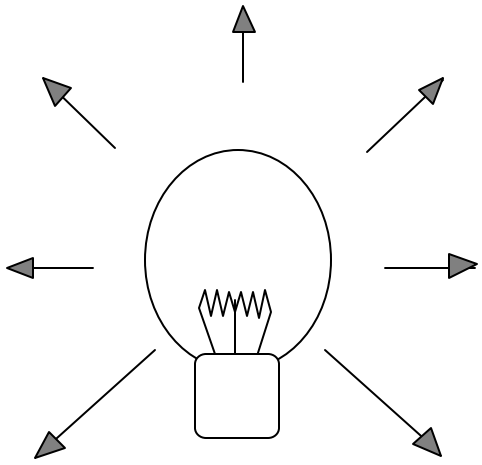
Mint azt már az elõzõkben említettük, elektromágneses sugárzás gyorsuló dektromos töltés hatására keletkezik. Nézzünk meg erre két példát!

Ha egy vezetõben folyó elektromos áram erõssége megváltozik, elektromágneses hullám keletkezik és terjed a tér minden irányába. Tipikusan az antennák mûködnek (sugároznak) így.

Esõs napokon néha villámokat láthatunk, amely az elektromos kisüléskor keletkezett elektromágneses sugárzás látható része. A villám úgy jön létre, hogy a felhalmozott töltések a - legtöbbször két felhõ között kialakult - ionizációs csatornán átütnek. Ha a rádiónk is be van kapcsolva, az elektromos kisülés rádiófrekvenciákon való sugárzását hallhatjuk is.

A szabad sugárzás

Az elektromágneses energia a forrásból rendszerint minden irányban egyenletesen sugárzódik szét. Gondoljunk pl. egy izzólámpára, melybõl a kisugárzott energia egy része a látható tartományba esik. A sugárzás intenzitása függ a fényforrás erõsségétõl, valamint a lámpa és a megfigyelõ közötti távolságtól.



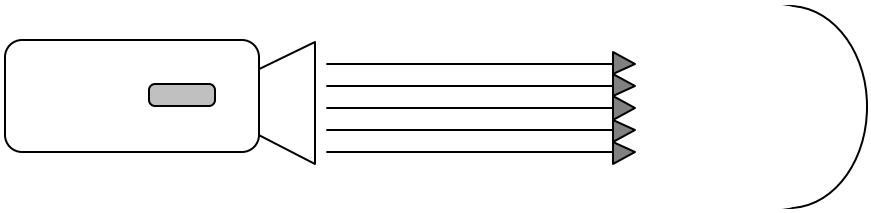
A sugárzás rendszerint egyenletes eloszlású

A sugárzó energia irányfüggetlen, egyenletes eloszlása elõnyös lehet ha azt például megvilágításra, vagy mûsorszórásra kívánjuk felhasználni. Ugyanakkor két pont közötti kommunikációra kevésbé alkalmas, mivel a kisugárzott energiának csak egy elenyészõ hányada jut el a vevõhöz, míg a többi kárba veszik.

Paraboloid alakú reflektorokkal, vagy speciálisan tervezett antennákkal elérhetõ, hogy az energiát egy irányba, a vevõ irányába sugározzuk csak ki. Erre hétköznapi példa a zseblámpa reflektora. Az irányított sugárzás megnöveli a kommunikáció hatótávolságát, mivel az energiát egy irányba koncentrálja, s ugyanakkor nem zavar más adatátviteli összeköttetéseket sem. Mindezek mellett azt is megnehezíti, hogy illetéktelenek lehallgathassák a továbbított információt.



Az egyenletes sugárzáseloszlás hatásfoka rossz a két pont közötti kommunikációban.



A reflektor, vagy a speciálisan tervezett antenna a forrás energiáját a vevõ irányába koncentrálja

Vannak azonban olyan tényezõk is, amelyek korlátozzák a szabadon terjedõ elektromágneses hullámokkal való kommunikáció hatótávolságát. Néhány fontosabb ezek közül:

- abszorpció (elnyelõdés) és az atmoszféra molekuláin való szóródás
- a terjedés irányában levõ akadályok, mint pl. hegyek, épületek, a Föd görbülete, ...
- természetes (pl. a Nap sugárzása) és az ember által okozott elektromos zajok, zavarok (pl. elektromos készülékek, motorok, világítás, ...)

Ezek a tényezõk legyõzhetõk, ha a megkívánt kommunikációs összeköttetéshez megfelelõ hullámhosszat választunk és elegendõen nagy teljesítményt alkalmazunk. Néha közbeesõ erõsítõ állomásokat kell alkalmazni, mint ahogy azt az elõzõ részben (OK-1) megtárgyaltuk.

A jó hatásfokkal történõ sugárzás érdekében az antenna hosszának az alkalmazott hullámhossz nagyságrendjébe kell esnie. (Közelítõ becslésként legyen pl. a fele!) A hullámhosszt a $v=f\lambda$ összefüggésbõl kaphatjuk meg.

A terjedés hullámhosszfüggése

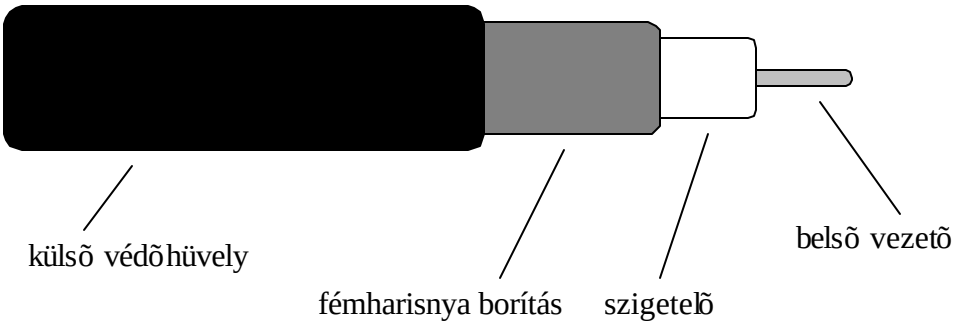
A néhány kHz-es nagyon alacsony (VLF) és a néhányszor 10kHz-es alacsony (LF) frekvenciás hullámok követik a Föld felszínét, megkerülik az akadályokat. A VLF tartományt csak néhány nagyon speciális esetben (mint pl. tengeralattjárókkal való összeköttetés) alkalmazzák, mivel az adáshoz szükséges antennák hossza a több kilométert is elérheti.

A néhány száztól a néhány ezer kHz-es közepes (MF) és magas (HF) frekvenciájú rádióhullámok az ionoszférán való törés és reflexió következtében visszatérnek a Föld felszínére. Ezen tulajdonságuk miatt alkalmasak rádió mûsorszórásra, amatõr rádiózásra, valamint számos polgári és katonai alkalmazásra.

A néhány száz MHz és a néhány GHz közötti nagyon nagy (VHF), ultra nagy (UHF) és szuper nagyfrekvenciás (SHF) hullámok egyenes vonalban terjednek. Ezen tulajdonságuk miatt közbülsõ reléállomások alkalmazása nélkül nagy távolságú összeköttetésekre nem alkalmasak. Ezeket a frekvenciákat használják a TV-sugárzásra, városok közötti telefonösszeköttetésekre, katonai és más polgári alkalmazásokra, valamint az ûrkutatásban. Minél nagyobb a frekvencia, az összeköttetés annál érzéketlenebb a külsõ zavarforrásokra.

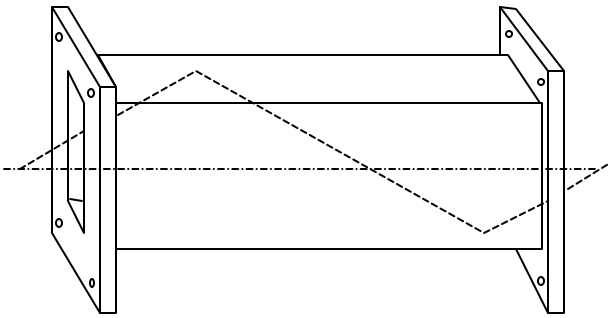
A hullámvezetés

Elektromágneses hullámokat lehet továbbítani *koaxiális kábel*eken, vagy *üreges hullámvezetõ*kön. A ***koaxiális kábel*** két koncentrikus vezetõbõl áll, melyek között szigetelõ, ún. dielektrikum van. A hullámokat a belül található fém vezeti, míg a külsõ vezetõ a külsõ elektromos zavarok ellen védi a jelet. Az ilyen kábelek a VHF sávig alkalmazhatók. Magasabb frekvenciákon a két vezetõ közti dielektrikumban már túlságosan nagy lesz a veszteség, ha a jeleket néhányszor tíz méternél nagyobb távolságra kívánjuk vezetni.



A koaxiális kábel szerkezete

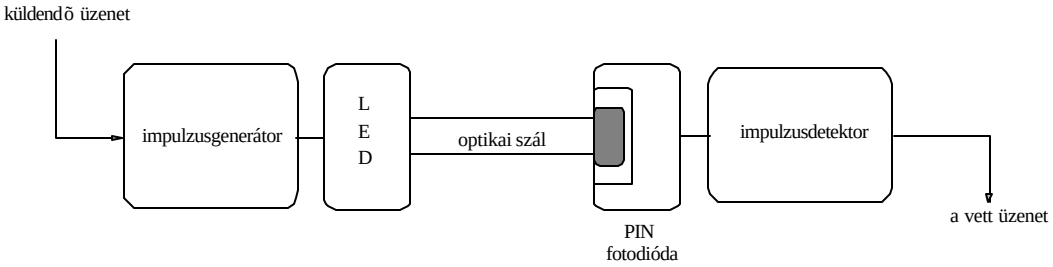
Az UHF sávban a hullámokat ***üreges hullámvezetõ***kön továbbítják. Ezek négyszög vagy kör keresztmetszetû csövek, melyek méreteit a továbbítani kívánt hullámok hullámhosszának megfelelõen kell tervezni.



Üreges hullámvezetõ

Az *elektromágneses hullám*ok, az információ *hullámvezetõ*kön való továbbításának elõnyei: a külsõ zavarok elleni hatásos védelem, valamint a kis veszteség, miáltal nagy távolságok áthidalhatók jelfrissítõ reléállomások beiktatása nélkül. A megoldás hátránya: nagyon drága.

Az infravörös és a látható fény tartományába esõ frekvenciákon *optikai kábel*eket alkalmaznak. Az ***optikai kábel*** egy vékony üveg- vagy mûanyagszál, amely a fény formájában megjelenõ energiát vezeti. A témát a késõbbiekben (OK-5) alaposan körbejárjuk.



Optikai kábel alkalmazása a telekommunikációban

a sáv számjele	frekvencia-tartománya	jelölése	megneve-zése
1 és 2	300 Hz alatt	százezer méternél hosszabb hullámok	ELF
3	300 - 3000 Hz	százezer méteres hullámok	ILF
4	3 - 30 kHz	miriaméteres hullámok	VLF
5	30 - 300kHz	kilométeres hullámok	LF
6	300 - 3000 kHz	hektométeres hullámok	MF
7	3 - 30 MHz	dekaméteres hullámok	HF
8	30 - 300 MHz	méteres hullámok	VHF
9	300 - 3000 MHz	deciméteres hullámok	UHF
10	3 - 30 GHz	centiméteres hullámok	SHF
11	30 - 300 GHz	milliméteres hullámok	EHF
12	300 - 3000 GHz	decimilliméteres hullámok	THF

A rádiósugárzásban használt frekvenciafelosztás

A fenti táblázat a rádiós összeköttetésekben használt terminológiát használva mutatja az *elektromágneses spektrum* felosztását.

Az elektromágneses hullámok terjedés szerinti felosztása

A kisugárzott elektromágneses energia a frekvenciától függetlenül a hullámelmélet szabályainak engedelmeskedik: fénysebességgel terjed, visszaverõdik, megtörik, elhajlik, ...stb. Ezekkel a tulajdonságokkal a negyedik részben (OK-4) foglalkozunk részletesebben.

A sugárzó energia a hullámhosszától (frekvenciájától) függõen különbözõ módokon érheti el a rendeltetési helyét. Ennek megfelelõen vannak:

- *felületi hullámok*
- *térhullámok*
- *szórt hullámok*
- *ionoszférikus hullámok*

felületi hullámok: alacsony frekvenciájúak, azaz hullámhosszuk nagyon nagy, követik a Föld felszínét és görbületét.

térhullámok: egyenes vonalban terjednek

szórt hullámok: a troposzférában többszörösen megtörnek, visszaverõdnek, szóródnak, s így jutnak el az adóból a vevõantennába

ionoszférikus hullámok: melyek az ionoszféráról verõdnek vissza. Az ionoszféra számukra úgy viselkedik, mintha az égen egy nagy tükör lenne.

megnevezése	hullámhossz-tartománya	frekvencia-tartománya	adásmód	alkalmazás
ELF - VLF	10^8 - 10^4 m	3 Hz - 30 kHz	huzalpár, hosszúhullámú rádió	hang, telefon, adatátvitel, nagytávolságú navigáció
LF	10^4 - 10^3 m	30 - 300kHz	huzalpár, hosszúhullámú rádió	navigáció, rádió jeladók, hang és frekvenciaetalon sugárzás
MF	1000 - 100 m	300 - 3000 kHz	koaxiális kábel, hosszúhullámú rádió	amatõr rádiózás, AM mûsorszórás
HF	100 - 10 m	3 - 30 MHz	koaxiális kábel, rövidhullámú rádió	amatõr rádiózás, CB (UK), katonai kommunikáció, mobil rádiótelefon
VHF	10 - 1 m	30 - 300 MHz	koaxiális kábel, rövidhullámú rádió	FM rádió, navigáció, VHF televízió
UHF	100 - 10 cm	300 - 3000 MHz	rövidhullámú rádió, hullámvezetõ	CB rádió, kommunikáció (katonai), rádió, UHF televízió
SHF	10 - 1 cm	3 - 30 GHz	mikrohullámú rádió, hullámvezetõ	mikrohullámú összeköttetés, radar, kommunikáció (ûrkutatás)
EHF	10 - 1 mm	30 - 300 GHz	mikrohullámú rádió, hullámvezetõ	mikrohullámú összeköttetés, radar, kommunikáció (ûrkutatás)
infravörös, látható fény, ultraibolya	3.10^{-4} - 3.10^{-6} cm	10^{14} - 10^{16} Hz	lézer, optikai szál	Adatátvitel

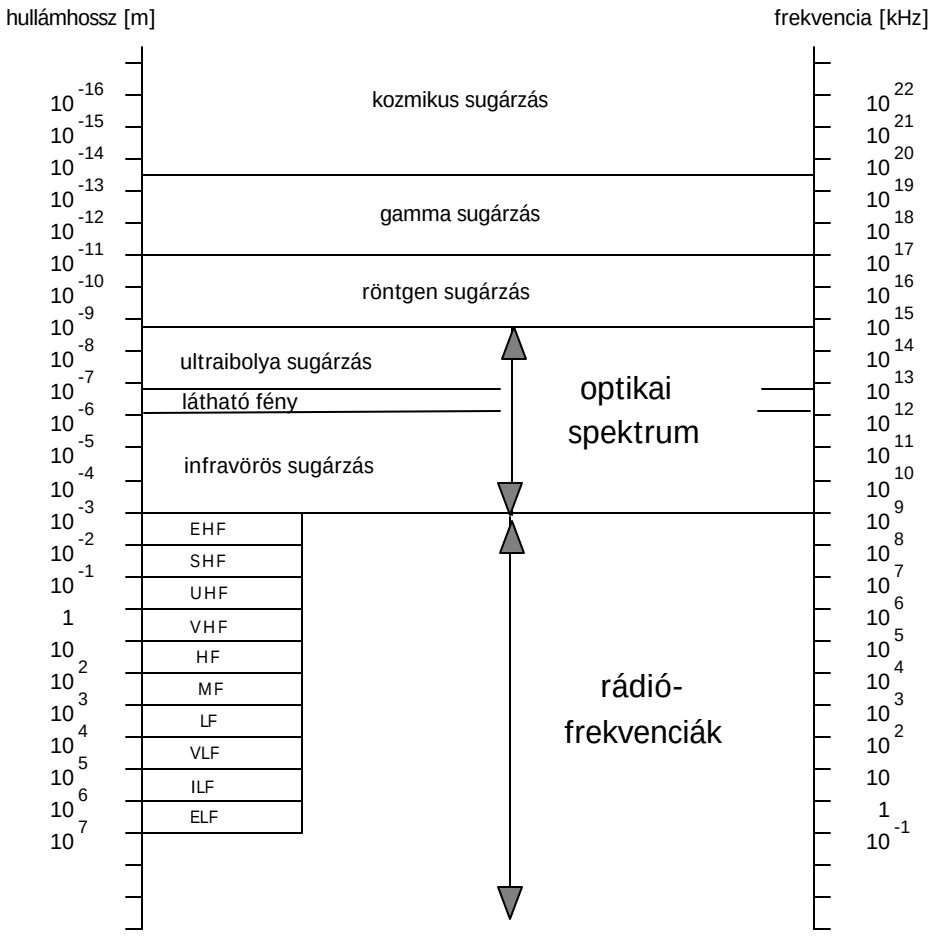
A hullámsávok és használatuk

ELF	Extremely Low Frequency
ILF	Infra Low Frequency
VLF	Very Low Frequency
LF	Low Frequency
MF	Medium Frequency
HF	High Frequency
VHF	Very High Frequency
UHF	Ulrta High Frequency
SHF	Super High Frequency
EHF	Extremely High Frequency
THF	Tremendously High Frequency

A hullámsávok nemzetközi jelölésének magyarázata

Az elektromágneses spektrum felosztása

Napjainkban, mikor a kommunikáció iránt igen nagy az igény, nemzetközi megállapodások rögzítik az elektromágneses hullámok felosztását a különbözõ célú felhasználások és felhasználók között.



A teljes elektromágneses spektrum

A felhasználókat négy csoportba osztották:

- *mûsorszórás*
- *navigáció*
- *amatõr*
- *fix, mobil földi, tengeri és légi*

A felhasználóknak szükségleteik és lehetõségeik alapján megfelelõ frekvencia-tartományokat jelöltek ki.

Van azonban még egy dolog, amit nem szabad figyelmen kívül hagyni. A használt frekvenciatartomány nem csak a kommunikáció minõségére van befolyással, hanem az elküldhetõ információ mennyiségére is. Minél magasabb az alkalmazott frekvencia, annál nagyobb lehet az adatátviteli sebesség. Ez az oka annak, hogy a fényhullámokkal (melyek nagyon nagy frekvenciájúak) dolgozó száloptikai kommunikáció jelentõsége napról napra nõ.

Összefoglalás

Ha az elektromos töltés gyorsul, *elektromágneses sugárzás* keletkezik.

A két hullámhegy (vagy hullámvölgy) közötti távolság a *hullámhossz*.

Az egy másodperc alatti oszcillációk számával mért mennyiség a *frekvencia*, melynek mértékegysége a Hertz (Hz).

A hullám sebessége, frekvenciája és hullámhossza közötti összefüggés: $v = f\lambda$.

A *teljes elektromágneses spektrum*ot úgy definiálhatjuk, mint a teljes mérhetõ frekvenciatartományt. A látható fény spektruma a teljes tartománynak csak elenyészõ hányada.

Az elektromágneses hullámokkal való telekommunikáció hatótávolságát korlátozó tényezõk: *elnyelõdés*, *szóródás*, a sugárzás útjába esõ akadályok, természetes és ember okozta elektromos *zajok*.

A kisugárzott energia különféle módokon érheti el a rendeltetési helyét. A frekvenciatartományától függõen vannak:

- *felületi hullámok*
- *térhullámok*
- *szórt hullámok*
- *ionoszférikus hullámok*

Az *optikai kábel*ek az infravörös és a látható fény tartományában használhatók.

Ellenõrzõ kérdések

Az alábbi kérdések segítenek eldönteni, hogy mennyit sikerült megjegyezni ebbõl a részbõl. Amennyiben valamelyik kérdésre nem tud helyes választ adni, akkor a megfelelõ szövegrészt újra át kell tanulmányoznia.

1. A hullámok melyik két nagy csoportjáról volt szó ebben a részben?
2. Zenehallgatás közben fülünk milyen hullámokat fog fel, s azok milyen frekvenciatartományba esnek?
3. Milyen hosszú antennát kell használnunk f=100 MHz-es rádióhullámok kisugárzására?
4. Miért elektromágneses és nem hanghullámokat használnak a telekommunikációban?
5. A tenger felszínén nincsenek akadályok. Ha VHF tartományba esõ hullámokat használunk kommunikációs célra, mi határozza meg a hatótávolságot?
6. Miért szükséges a frekvenciasávok felhasználók közötti felosztása?

Válaszok

1. Mechanikai hullámokról, melyek valamely közeg, mint pl. levegõ, víz, ... molekuláinak mozgását jelenti, és az elektromágneses hullámokról.

2. A hanghullámok levegõben terjedõ mechanikai hullámok, melyek frekvenciatartománya kb. 10Hz és 15 kHz közé esik.

3. A rádióhullámok fénysebességgel (c=300 000 000 m/s) terjednek. A feladatban szereplõ f=100 000 000 Hz és a $v=f\lambda$ összefüggésbõl: $\lambda = \frac{300000000 m/s}{100000000 Hz} = 3m$
   Mivel az optimális hossz a hullámhossz fele, az antennának $1{,}5m$ hosszúságúnak kell lennie.

4. A hanghullámok a levegõben terjedõ mechanikai hullámok, melyeknek így a hatótávolsága erõsen korlátozott. A terjedési sebessége kicsi, spektruma szûk, valamint könnyen elnyomhatják külsõ, természetes (pl. szél) vagy mesterségesen keltett zajok. Az elektromágneses hullámok ugyanakkor a fény sebességével haladnak, korlátlan távolságra, a spektrumtartománya széles, ami világméretû kommunikációt tesz lehetõvé.

5. A Föld görbülete. A maximális hatótávolság a horizont távolsága. A VHF és az annál magasabb frekvenciatartományba esõ hullámok egyenes vonalban terjednek, a vevõnek egy egyenesen kell lennie az adóval.

6. Ha a frekvencia beosztás nem történne meg, az azonos frekvencián, egymáshoz közel levõ adók jelei zavarnák egymást. Az eredmény ahhoz lenne hasonló, mint amikor sok ember egyszerre beszél.

Kulcsszavak

Jelen részben az alábbiakban felsorolt szakkifejezéseket tanultuk meg. Mielõtt tovább haladna, bizonyosodjon meg, hogy mindegyiket érti és ismeri. A felsorolásban megadjuk az angol szakirodalomban elõforduló megnevezését is.

hullám	wave
hullámhossz	wavelength
frekvencia	frequency
terjedési sebesség	propagation velocity
spektrum	spektrum
hullámvezetõ	waveguide
felületi hullám	surface wave
térhullám	space wave
szórt hullám	scattered wave
ionoszférikus hullám	sky wave
koaxiális kábel	coaxial cable
üreges hullámvezetõ	hollow waveguide
(szál)optikai kábel	fiber* optic cable

*az angol helyesírás szerint fibre, míg az amerikai szerint fiber, kiejtése mindkét esetben fiber.

Jegyzetek