

### 3.11. Rádió adás és rádió vétel

#### 3.11.1. Alapfogalmak

##### Rádióösszeköttetés

A rádióösszeköttetés az adó- és a vevőállomás közötti vezeték nélküli jelátvitelt jelent. (Az átvitt jel lehet távirójel, hang, állókép, mozgókép, digitális adatjel, stb., a lényeg az átvitel vezeték nélküli jellege.) A rádiózás egyik alapvető célja a beszéd, zene, azaz hangok átvitele, ezért elsőként a hang tulajdonságait foglaljuk össze.

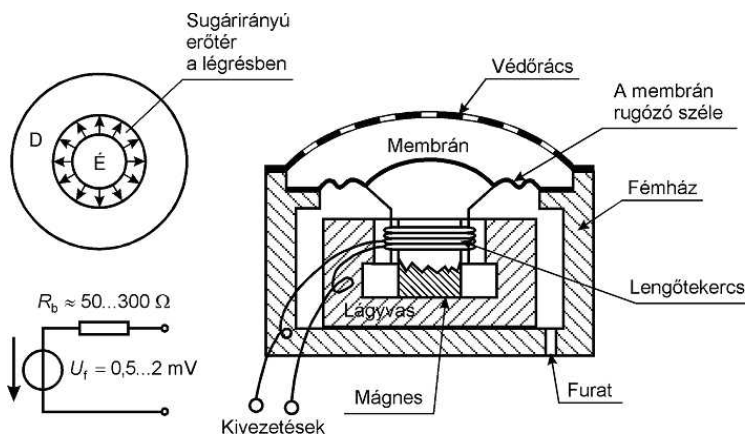
##### A hang és jellemzői

A hang egy hangforrás (húr, membrán, emberi hangszál) rezgéseként jön létre. Ez a rezgés a környező levegőben nyomáshullámokat kelt, melyek (levegőben, 20°C hőmérsékleten) 340 m/s sebességgel terjednek. A levegő nyomáshulláma a fülbe jutva rezgésbe hozza a dobhártyát, a fül szervei ezt a rezgést alakítják hallható hanggá.

A hang jellemzői:

- Frekvenciája (másodpercenkénti rezgésszáma), ez határozza meg a hang „magasságát”. A hallható hangok frekvenciatartománya kb. 16...16000 Hz (idősebb korban a magasabb hangokat már nem halljuk).
- Hullámhossza: a levegőben ez a kialakult nyomáshullám egy teljes periódusának a hossza. Mivel a hang a levegőben  $v=340\text{m/s}$  sebességgel terjed, és az 1 s alatt lezajló periódusok számát  $f$  frekvencia adja meg, egy hullám hosszát a  $\lambda = v/f$  összefüggésből határozhatjuk meg.
- A hangerősség, mely a hang nyomásváltozásainak nagyságától függ. A tapasztalat szerint a fülben 10-szer, 100-szor, 1000-szer nagyobb hangnyomásra nem keletkezik ugyanannyiszor erősebb hangérzet, hanem kb. logaritmikusan erősödő hang létesít a fülben arányosan erősödő hangérzetet. Ha a hang intenzitását az 1000 Hz-es hang meghallásához szükséges minimális hangintenzitáshoz ( $10^{-12} \text{ W/m}^2$ ) viszonyítják, az intenzitás logaritmikusan számított mértékegysége a *phon*. (Hallásküszöb: 0 phon, suttogás: 20 phon, csendes beszélgetés: 50 phon, forgalmas utca: 68 phon, nagyongora, max. hangerő: 90 phon, nagyzenekar: 104 phon, fájdalomküszöb - az ilyen erős hang már fájdalomérzetet okoz - : 130 phon.)
- a hangszín, amely attól függ, hogy a rezgésben az alapharmonikus frekvencián kívül milyen harmonikusok vannak jelen, és milyen arányban. Ez teszi megkülönböztethetővé pl. az azonos magasságú, de különböző hangszerből származó hangokat.

A levegő nyomáshullámait *mikrofonnal* alakítják villamos jellé (a pillanatnyi hangnyomással arányos váltakozófeszültséggé), és így dolgozzák fel. A talán leggyakrabban alkalmazott, ún. dinamikus mikrofon működését az 1. ábra mutatja.



1. ábra

Mint az ábra bal felső részén látható, a kialakított mágneses kör északi pólusa a középső henger, amelyet egy légrés, majd a déli pólus körgyűrűje vesz körül. A légrésben megközelítőleg minden irányban azonos az indukció.

A légrésbe nyúlik be a membránhoz erősített lengőtekercs, melynek kivezetései képezik a mikrofon elektromos kimenetét. A merev membrán körkörös rugalmasan van a mikrofon dobozához rögzítve. A doboz furatán keresztül a belső légnyomás csak lassan veszi fel a külső légnyomás átlagos értékét.

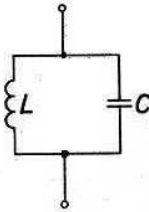
Ha a membrán külső oldalára hang (azaz a levegő nyomáshulláma) hat, a membrán a hangnyomás változásának megfelelően rezgésbe jön, és vele rezeg a mágneses kör légrésében elhelyezkedő lengőtekercs. Az indukcióvonalakat metsző tekercsben indukálódó váltakozó feszültség amplitúdója a hangintenzitással arányos, frekvenciája megegyezik a hang frekvenciájával.

Szokásos hangerőnél a kimenő feszültség néhány mV amplitúdójú, a lengő tekercs ellenállása néhány száz  $\Omega$ .

### **Antenna, elektromágneses hullámok**

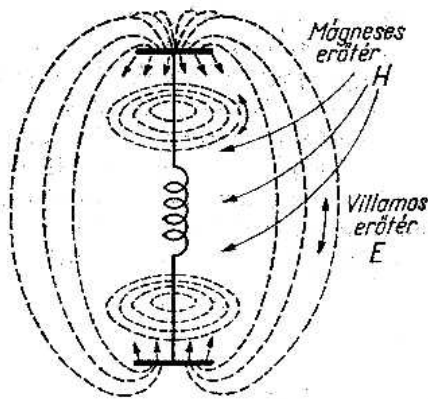
A 3.3 és 3.4. fejezetekben láttuk, hogy a nyugvó elektromos töltések villamos teret, az állandó sebességgel, egy irányban haladó töltések (= egyenáram) mágneses teret hoznak létre. A gyorsuló (sebességük nagyságát ill. irányát változtató) töltések (= váltakozóáram) pedig elektromágneses teret létesítenek, azaz olyan teret, amelynek villamos és mágneses komponense is van.

A rezgőkörben ilyen elektromágneses tér jön létre. A zárt rezgőkörben (2. ábra) az erőterek szóródása, így kisugárzása kicsiny.



2. ábra

Ha a kondenzátor lemezeit egymástól eltávolítjuk (3. ábra), nyitott rezgőkör jön létre, amely szintén rezgőképes, de az erővonalak a rezgőkörből kiléphetnek, és mint elektromágneses hullámok, (vákuumban vagy a levegőben) közel a fény sebességével terjednek, elektromágneses teret hozva létre.

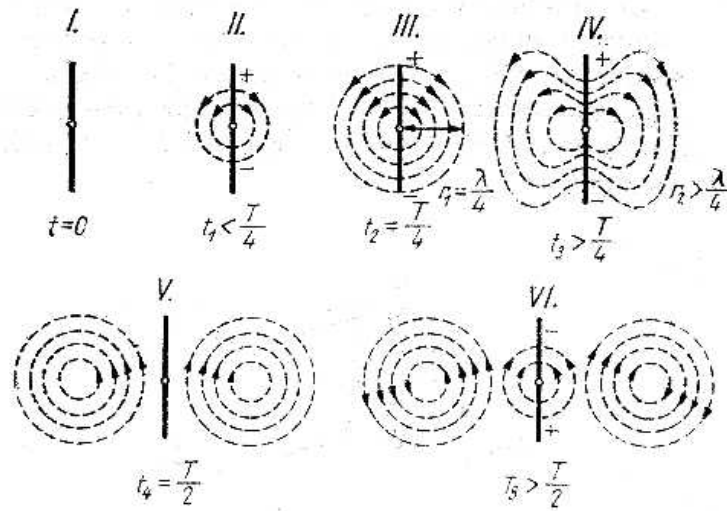


3. ábra

A nyitott rezgőkört antennának nevezik. A 4. ábrán látható (ún. dipól) antennáról az elektromágneses hullámok a következő módon szakadnak le:

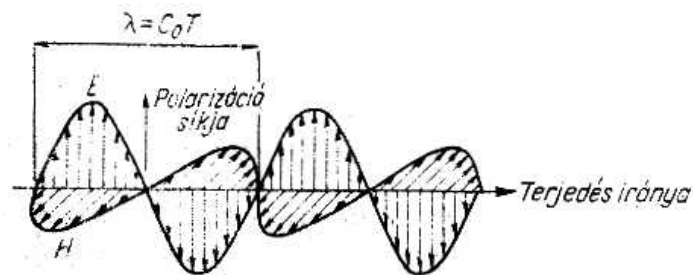
A kiinduláskor ( $t=0$ ) az antenna ágai által képzett kondenzátor töltetlen. Ha a kialakuló rezgés periódusideje  $T$ , a rezgés következő fázisában ( $t_1 < T/4$ ) a felső ág pozitív, az alsó ág negatív töltést nyer. A kialakuló villamos erőter felülről lefelé mutat. A töltés maximális értékét  $t_2 = T/4$  időpontban éri el. Ez után a töltés csökkenni kezd ( $t_3 > T/4$ ), a kialakuló erővonalak összehúzódnak. A töltés megszűnésekor ( $t_4 = T/2$ ) az

erővonalak kapcsolata az antennával megszűnik, önálló zárt kört alkotnak. Amikor pedig  $T_5 > T/2$  időpontban megkezdődik az antenna ágainak ellenkező polaritású töltődése, a keletkező erőter a leszakadt erőtereket eltaszítja, és azok a fény sebességével távolodnak.



4. ábra

A villamos erőtérrrel egyidejűleg mágneses erőter is kialakul, amely ugyanúgy változik és hagyja el az antennát, de síkja merőleges a villamos erőter síkjára. Így a kisugárzott elektromágneses hullám egymáshoz kapcsolt, egymásra merőleges villamos és mágneses erőtérből áll (5. ábra).



5. ábra

Az elektromágneses hullám erősségét a **villamos összetevő térerősségével** ( $E$ , mértékegysége:  $V/m$ , a gyakorlatban ennek törtrészei: a  $mV/m$  vagy  $\mu V/m$  is használatosak) szokták jellemezni. Kimutatható, hogy egy pontban az **elektromágneses hullám térerőssége fordítottan arányos a sugárzótól mért távolsággal, és arányos a kisugárzott teljesítmény négyzetgyökével.**

A kisugárzott elektromágneses hullámok **polarizációja** megállapodás szerint a kisugárzott elektromágneses rezgés **villamos** erőterének a síkja. A polarizáció síkjának azért van jelentősége, mert a vevőantennában (mint rezonáns rezgőkörben) a maximális energia akkor keletkezik, amikor az antenna polarizációs síkja megegyezik a vett jel polarizációjával.

Megjegyzés: A polarizációs sík a terjedés során megváltozhat. Pl. a rövidhullámú, térhullámokkal létesített összeköttetések során (ld. később) rendszerint ez a helyzet, így rövidhullámú antenna esetén nincs jelentősége, hogy milyen annak a polarizációja. A szokásos (pont-pont közötti) ultrarövidhullámú összeköttetéskor azonban a polarizációs sík nem fordul el, ezért fontos, hogy az adó- és vevőantenna polarizációs síkja azonos legyen.

### **Frekvencia, hullámhossz, terjedési sebesség**

A kisugárzott jel *hullámhossza* a kialakult elektromágneses hullám egy periódusának hossza. A frekvencia és a hullámhossz összefüggése:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

ahol

$\lambda$  a hullámhossz (m)

$c$  az elektromágneses hullám terjedési sebessége (vákuumban ill. levegőben kb.  $3 \cdot 10^8$  m/s)

$f$  a rezgési frekvencia (Hz)

**Példa:** Egy rádióadó frekvenciája 18075 kHz. Mekkora a hullámhossza?

Megoldás: (a képletbe a megadott alapegységekben helyettesítjük be az értékeket)

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{18075 \cdot 10^3} = 16,598 \text{ m}$$

### **3.11.2. Vivőfrekvencia, moduláció**

A 4. ábrán látható, huzalból készült dipólantenna – mint később látni fogjuk – rezgőkörként akkor rezonál, ha hossza éppen a hullámhossz fele. Más rendszerű antennák optimális mérete is a hullámhossz fele, negyede körüli érték.

A  $\lambda=c/f$  összefüggésből adódik, hogy minél kisebb a frekvencia, annál nagyobb a hullámhossz. Ez azt jelenti, hogy ha nagyon alacsony (pl. hang-)frekvenciás villamos jelet kívánánk kisugározni, akkor ennek 10 km nagyságrendű hullámhossza miatt megvalósíthatatlanul hosszú antennákra lenne szükség.

Nagyfrekvenciás jel kisugárzásához viszont könnyen elkészíthető a megfelelő méretű antenna.

Ezért a hangfrekvenciás (vagy más, ún. *alapsávi*) jel rádióátvitelére a következő módon történik:

- Az *alapsávi* jellel (ez az átvinni kívánt jel, amelyet közvetlenül nem kívánunk kisugározni – pl. rádióadás esetén a hangjel, TV kép esetén a videojel) befolyásoljuk egy nagyfrekvenciás jel (*vivő*) valamelyik tulajdonságát. Ez az eljárás a **moduláció**.

**Amplitúdómoduláció** esetében a nagyfrekvenciás jel *amplitúdóját*, **frekvenciamoduláció** esetében a frekvenciáját változtatjuk meg az átvendő jel pillanatértékének megfelelően.

- Az ilyen módon *modulált* nagyfrekvenciás jelet sugározzák ki az antennával.
- A vevőantennában az elektromágneses hullámok feszültséget indukálnak, ebből a vevőkészülék áramkörei a venni kívánt állomás jeleit kiválasztják, erősítik, majd **demodulálják**, azaz visszanyerik az alapsávi jelet.

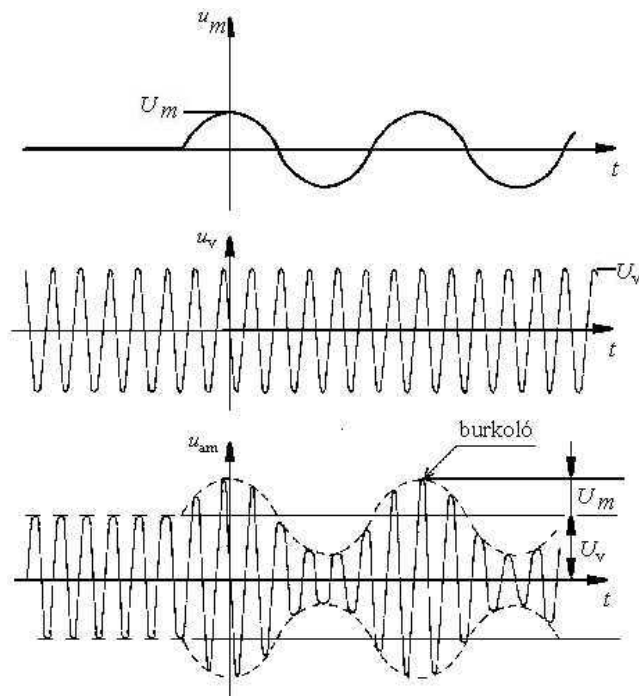
### **Amplitúdómoduláció (AM)**

Az amplitúdómodulált jel kialakulását a 6. ábrán láthatjuk. Fölül látható az átvinni kívánt alapsávi jel, a *moduláló jel* ( $u_m$ ), melynek csúcserőértékét az ábrán  $U_m$  jelöli. Középen a nagyfrekvenciás *vivő* ( $u_v$ ) időfüggvényét láthatjuk, melynek amplitúdója  $U_v$ . A moduláció során a vivő amplitúdójához hozzáadódik a moduláló jel pillanatértéke, és e két jel összege lesz a modulált  $u_{am}$  jel pillanatnyi amplitúdója.

A moduláló jel csúcserőértékének ( $U_m$ ) és a vivő csúcserőértékének ( $U_v$ ) a hányadosát **modulációs mélységnek** nevezik, és  $m$  –el jelölik:

$$m = \frac{U_m}{U_v}$$

A moduláló jel ( $u_m$ ) amplitúdójának változásakor változik a modulált jel ( $u_{am}$ ) *burkolójának* amplitúdója, a moduláló jel frekvenciájának változásakor pedig a *burkoló* frekvenciája.



6. ábra

Ha a moduláló jel időfüggvénye

$$u_m = U_m \cos \omega_m t$$

és a vivő időfüggvénye

$$u_v = U_v \cos \omega_v t$$

az amplitúdómodulált jel:

$$u_{am} = (U_v + U_m \cos \omega_m t) \cos \omega_v t = U_v \cos \omega_v t + U_m \cos \omega_v t \cos \omega_m t$$

Az ismert trigonometrikus összefüggések szerint

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

A két egyenlet mindkét oldalát összeadva

$$\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta) = 2 \cos \alpha \cos \beta$$

Ebből kifejezhető

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta)$$

Jelen esetben  $\alpha = \omega_m t$ ,  $\beta = \omega_v t$  behelyettesítésével

$$u_{am} = U_v \cos \omega_v t + U_m \cos \omega_v t \cos \omega_m t = U_v \cos \omega_v t + \frac{1}{2} U_m \cos(\omega_v + \omega_m)t + \frac{1}{2} U_m \cos(\omega_v - \omega_m)t$$

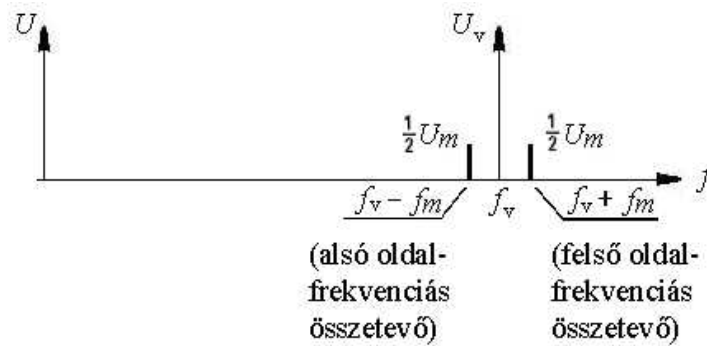
eredmény adódik, ami azt jelenti, hogy amplitúdómodulált jelünk három, különböző frekvenciájú komponensből áll:

$U_v$  amplitúdójú,  $\omega_v$  körfrekvenciájú szinuszből (ez maga a vivő),

$\frac{1}{2} U_m$  amplitúdójú,  $\omega_v - \omega_m$  körfrekvenciájú szinuszből (ez az *alsó oldalfrekvencia*),

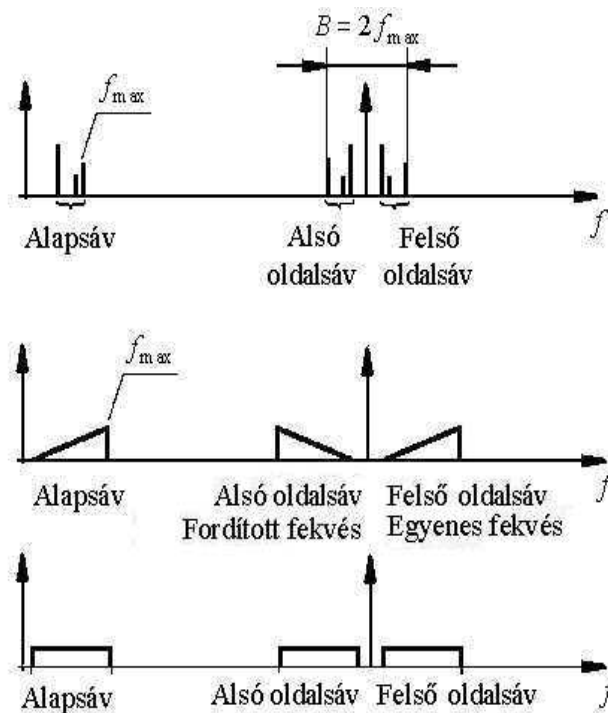
$\frac{1}{2} U_m$  amplitúdójú,  $\omega_v + \omega_m$  körfrekvenciájú szinuszből (ez a *felső oldalfrekvencia*).

E jeleket úgy is ábrázolhatjuk, hogy a grafikon vízszintes tengelyére nem az időt, hanem a frekvenciát mérjük fel (7. ábra). Ez a jel *frekvenciaspektruma*.



7. ábra

Ha a moduláló jel valamilyen hangforrásból (emberi beszéd, hangszer stb.) származik, akkor nem egyetlen szinuszból áll, hanem a hangfrekvenciás tartományba eső, különböző frekvenciájú és amplitúdójú szinuszjelek összességéből. Ennek megfelelően a modulált jel spektruma sem csak három komponensből áll, hanem tartalmaz komponenseket a vivőfrekvencia és a moduláló jel valamennyi összetevőjének megfelelő összeg- és különbségi frekvencián. Így nem két oldalfrekvencia jelenik meg, hanem két (alsó és felső) oldalfrekvenciák sokaságából álló *oldalsáv* (8. ábra).



8. ábra

Az ábra felső részének bal oldalán az alapsávi jelet láthatjuk. Három komponensből áll, melyek amplitúdója is különböző. Jobb oldalon a modulált jel spektruma látható. Megfigyelhető, hogy **az adó a frekvenciatartományban  $B = 2 f_{\max}$  szélességű sávot foglal el.**

Az alapsávi jel legkisebb frekvenciájú komponense (legnagyobb amplitúdója alapján felismerhető a modulált jel spektrumában is) mindkét oldalsávban a vivőhöz a legközelebb esik (a vivő és a legkisebb frekvencia összege ill. különbsége), így az alsó oldalsáv a felső tükörképe, mintegy „kifordulva” tartalmazza a moduláló jel spektrumát.

A sávok „fekvését” sokszor a középső ábra szerinti módon jelzik: a kis moduláló frekvenciát kisebb, a nagyot nagyobb amplitúdóval ábrázolva, az alapsávi jel és a modulált jel oldalsávjai mint háromszögek jelennek meg.

Az ábra alsó része az oldalsávok egy másik, szokásos ábrázolási módját mutatja.

A bemutatott modulációs módot – utalva arra, hogy a modulált jel két oldalsávot tartalmaz – **kétoldalsávós amplitúdómodulációnak (AM-DSB, DSB = Double Side Band)** nevezik.

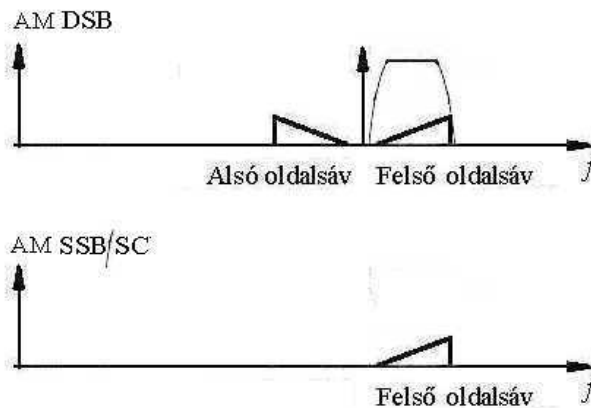
Az **alsó oldalsáv** jele **LSB** (Lower Side Band), a **felső oldalsáv**é **USB** (Upper Side Band).

Az AM-DSB jel előnye, hogy az ilyen jelből lehet a vevőkészülékben a legegyszerűbb áramkörrel visszanyerni a moduláló jelet (ez az eljárás a demoduláció), ezért a hosszú-, közép-, és rövidhullámú műsorszórásban kétoldalsávós amplitúdómodulációt alkalmaznak.

Két hátránya is van azonban ennek a modulációs eljárásnak:

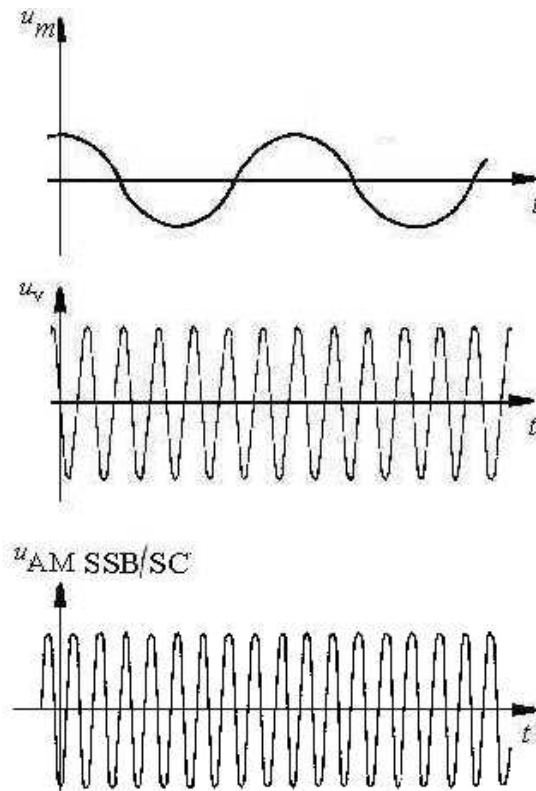
- Mint a jel spektrumából látható, maga a vivő állandó amplitúdójú, azaz a moduláló jelre vonatkozóan semmilyen információt nem tartalmaz (azt az oldalsávok hordozzák). Így vivő kisugárzásához (illetve még előtte, az előállításához) felhasznált teljesítmény mintegy veszendőbe megy.
- Az alsó és felső oldalsáv (bár fordított fekvésben) ugyanazt az információt tartalmazzák, így az adó kétszer annyi helyet foglal el a frekvenciatartományban, mint amennyire okvetlenül szükség lenne. Elegendő lenne az egyik oldalsáv kisugárzása.

E hátrányokat küszöböli ki az **egyoldalsávós (SSB = Single Side Band)** amplitúdómoduláció, a vivő elnyomásával (**SC = Supressed Carrier**) kombinálva. Az AM-DSB jelből pl. nagy jóságú kristály sávszűrővel választhatjuk ki az egyik oldalsávot; a jel többi komponensét a szűrő nem engedi a kimenetére (9. ábra). Az ábra felső részén a kiindulási AM-DSB jel és (vékonyabb vonallal) a sávszűrő átviteli görbéje látható, az alsó ábrán az AM-SSB/SC jel: sávszűrő által átengedett felső oldalsáv (USB).



9. ábra

Abban az esetben, ha a vivő frekvenciája  $f_v$ , a moduláló jel pedig egyetlen,  $f_m$  frekvenciájú szinuszjel, a kiválasztott felső oldalsáv egyetlen oldalfrekvenciát tartalmaz, melynek frekvenciája  $f_v + f_m$ . Ebben az esetben az AM-SSB/SC (USB) jel időképe is egyetlen,  $f_v + f_m$  frekvenciájú szinuszjel. (10. ábra).



10. ábra

**A moduláló jel ( $u_m$ ) amplitúdójának változásakor változik a modulált jel ( $u_{AM-SSB/SC}$ ) jel amplitúdója is, a moduláló jel frekvenciájának változása pedig a modulált jel frekvenciájának változását idézi elő.**

Megjegyzés:

Kvadratúramoduláció (QAM = Quadratura amplitúdómoduláció)

A kvadratúramoduláció a kétoldalsávós amplitúdómoduláció speciális formája. Egyetlen  $\omega_c$  körfrekvenciájú vivőt egyidejűleg két különböző jellel ( $u_{m1}$ ,  $u_{m2}$ ) modulálnak:

$$u_{QAM} = u_{m1} \cos \omega_c t + u_{m2} \sin \omega_c t$$

A kvadratúramodulált jelnek nem csak az amplitúdója, hanem fázisa is hordoz információt. A modulált jel mindkét komponense ugyanabba a frekvenciasávba esik, így sávzélessége nem nagyobb, mint az AM-DSB jelé. (Demodulálása két,  $\cos \omega_c t$ , ill.  $\sin \omega_c t$  fázisú szorzó demodulátorral történhet, ld. 3.12.1. pont.)

Kvadratúramodulációval viszik át pl. a színinformációt az NTSC és PAL színes televíziós rendszerekben, de ilyen modulációt alkalmaznak a GSM távközlésben is.

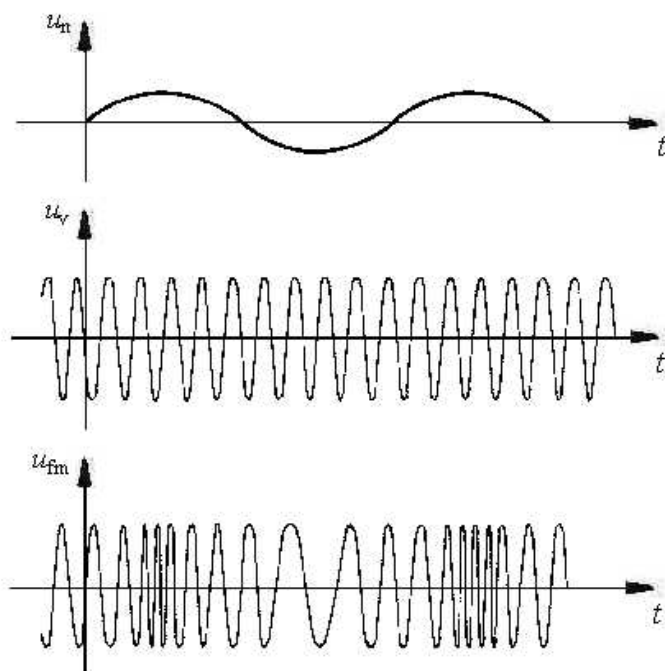
### Frekvenciamoduláció (FM)

A frekvenciamoduláció során a vivő *frekvenciáját* változtatjuk a moduláló jel pillanatértékével arányosan. A moduláló jel maximális értékénél a legnagyobb a vivő frekvenciájának megváltozása; ez a maximális vivőfrekvencia változás a **frekvencialöket ( $\Delta f$ )**. Frekvenciamodulációnál az ún. *modulációs index* a frekvencialöket és a moduláló jel frekvenciájának hányadosa:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Színuszos moduláló jel esetén a frekvenciamodulált jel alakulását a 11. ábra mutatja.





11. ábra

A frekvenciamodulált  $u_{fm}$  jel amplitúdója állandó, frekvenciája pedig a moduláló jel pillanatértékétől függ: az ábrán a moduláló jel amplitúdójának növekedésekor a modulált jel frekvenciája nő.

**A moduláló jel ( $u_m$ ) amplitúdójának változása a frekvenciamodulált jel ( $u_{fm}$ ) frekvenciájának változását okozza, a moduláló jel frekvenciája azt határozza meg, hogy a modulált jel frekvenciája milyen időközönként változik.**

Számítással kimutatható, hogy a frekvenciamodulált jel is egy sávot foglal el a frekvenciatartományból. A sáv szélesség a modulációs indextől függ:

- Keskeny sávú frekvenciamodulációnál (NBFM = Narrow Band Frequency Modulation)  $m \leq 1$ , ekkor a sáv szélesség  $B \approx 2 f_m$ , azaz a moduláló jel legnagyobb frekvenciájának kétszerese.
- Széles sávú frekvenciamodulációnál (WBFM = Wide Band Frequency Modulation)  $m > 1$ , a sáv szélesség pedig  $B \approx 2 \Delta f$ , azaz a löket kétszerese.

### **Fázismoduláció ( $\Phi M$ )**

Ha a moduláló jel pillanatértékével arányosan a vivő *fázisát* változtatjuk meg, *fázismodulációról* beszélünk. A **fázislöket ( $\Delta\Phi$ )** a moduláló jel maximális értékéhez tartozó fázisszög változás (radiánban kifejezve).

Matematikai módszerekkel kimutatható, hogy a fázismoduláció és a frekvenciamoduláció „rokonságban” vannak egymással, és  $f_m$  frekvenciájú, szinuszos moduláló jel esetén a  $\Delta\Phi$  fázislöketű fázismodulált jel azonos a  $\Delta f = f_m \Delta\Phi$  frekvencialöketű frekvenciamodulált jellel.

Ezért a fázismodulált jel időképe, spektruma, sáv szélessége az egyenértékű frekvenciamodulált jelével azonos. Ez esetben a *modulációs index* ( $m$ ) megegyezik a fázislökettel:  $m = \Delta\Phi$

## **DIGITÁLIS MODULÁCIÓ**

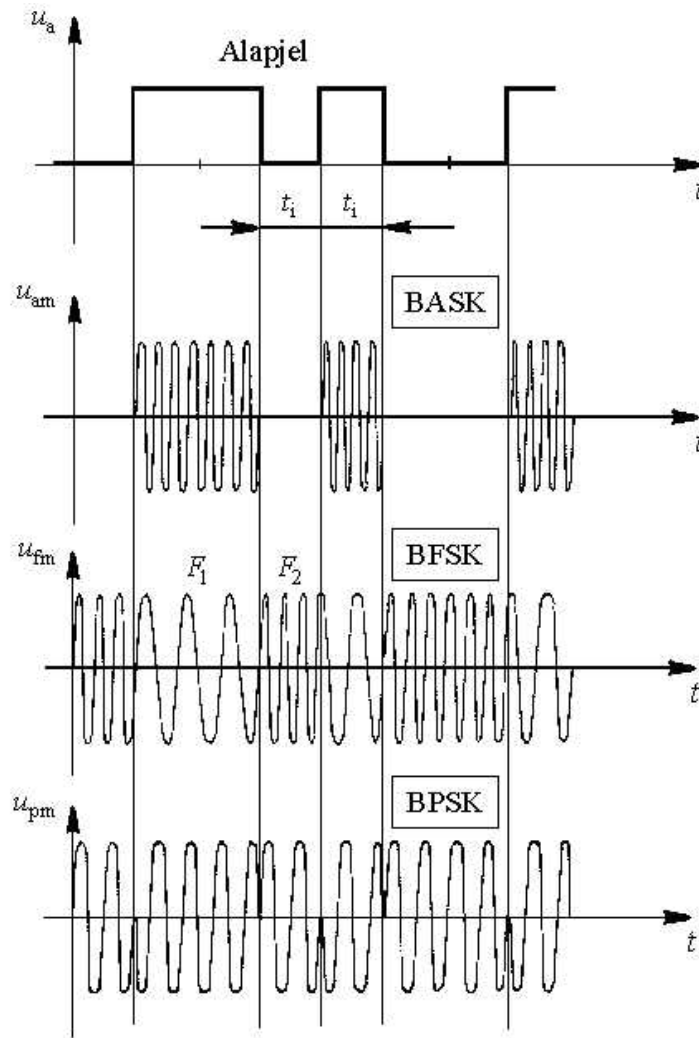
### **BINÁRIS MODULÁCIÓS ELJÁRÁSOK**

A távközlés történetében a hangátvitelt megelőzte a Morse-jelek átvitele. Az átviendő jel kétállapotú digitális (billentyű lenyomva / billentyű felengedve), azaz bináris, ezért az amplitúdó- frekvencia- és fázismoduláció jelölését ilyen moduláló jel esetén a B (Binary) betűvel kezdik. Magukat a modulációs eljárásokat *amplitúdó- frekvencia- ill. fázisbillentyűzésnek* nevezik.

### **BASK (Binary Amplitudo Shift Keying) (A1A, CW=Continuous Wave)**

A hagyományos táviró jelátvitelnél a billentyű lenyomásakor modulálatlan vivőfrekvenciát sugároznak ki, a billentyű felengedésekor pedig a kimenő feszültség 0.

A 12. ábra felső,  $u_A$  jele a billentyűző jelet, alatta az  $u_{AM}$  jel a BASK eljárással modulált jelet mutatja.



12. ábra

### **BFSK (Binary Frequency Shift Keying)**

A frekvenciabillentyűzés során a billentyű felengedett állapotában  $F_2$  frekvenciájú, lenyomott állapotában  $F_1$  frekvenciájú jelet sugárzunk. A jel időképét a 12. ábra  $u_{fm}$  jele mutatja.

### **BPSK (Binary Phase Shift Keying)**

A billentyű lenyomásakor a kisugárzott, állandó frekvenciájú jel fázisát változtatják meg 180 fokkal ( $\Pi$  radiánnal). A jel időképét a 12. ábrán láthatjuk (alsó ábra,  $u_{pm}$ ).

### **Sávszélesség**

Számítással kimutatható, hogy a BASK, BFSK és BPSK modulált jelek sávszélessége egyaránt az elemi impulzusidőtől (a 12. ábrán  $t_i$ ) függ, és pedig

$$B = \frac{2}{t_i}$$

**Példa:** Táviró (CW, BASK) adásnál az elemi jel („pont”) időtartama 8 ms. Mekkora az adás sávszélessége?  
**Megoldás:**  $B = 2/t_i = 2/8 \cdot 10^{-3} = 250$  Hz.

### Adatátviteli sebesség

Egységnyi, 1 bit (bit = bináris unit) információt hordoz egy kétállapotú adatjel (amelynek értéke egyforma valószínűséggel lehet 0 vagy 1).

Az információ átviteli sebességének mérőszáma az időegység (1 s) alatt továbbított bitek száma. Mértékegysége: bit/s (nagyobb egységek: kbit/s, Mbit/s).

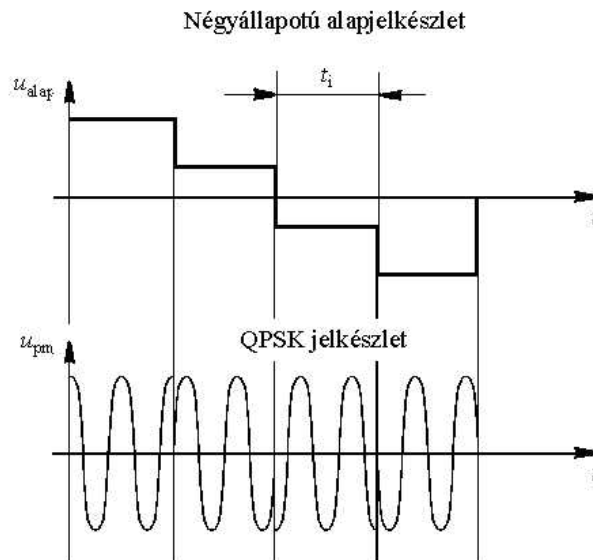
### Modulációs sebesség (Baud rate)

A modulációs sebesség azt mutatja meg, hogy egységnyi (1 s) idő alatt hány elemi jel küldhető. Mértékegysége a Bd (Baud).

Példa: Az európai rendszerű távgépíró elemi jelének időtartama 20 ms, így modulációs sebessége  $1/20\text{ms} = 50 \text{ Bd}$ .

### NÉGYÁLLAPOTÚ FÁZISMODULÁCIÓ (QPSK =Quaternary Phase Shift Keying)

Többállapotú billentyűzésnek nevezik, ha a nagyfrekvenciás jelet kettőnél több állapotú digitális jellel modulálják. Négyállapotú, QPSK jel időfüggvénye látható a 13. ábrán. (Azért a fázisbillentyűzés a szokásos, mert azonos átviteli körülmények között, és adott adóteljesítménynél ezzel az eljárással a legkevesebb a vételi hiba.) Az alapjel négy állapotának a QPSK jel 0/90/180/270 fokos fázisszöge felel meg.



13. ábra

Két bináris impulzusnak összesen négy kombinációja lehetséges (00, 01, 10, 11), ezért két bitnyi információt egyetlen négyállapotú impulzusba lehet „tömöríteni”, így az átvitelhez szükséges sávszélesség a felére csökken:

$$B = \frac{1}{t_i}$$

### HIBAJAVÍTÓ KÓDOLÁS (CRC, FEC)

Az átviteli csatornában fellépő zajok, zavarok miatt digitális jelátvitelnél tévesztés fordulhat elő, azaz vételkor az „1” jelszintet „0”-ként, a „0” jelszintet „1”-ként érzékeljük. A távgépíró pl. ilyen esetben téves karaktert üt le.

A digitális jelfeldolgozás lehetőséget ad arra, hogy (az átvendő bitsorozatot további, az átvendő bitekből képzett ellenőrzőbitekkel kiegészítve) a vételkor felismerjük, vagy akár ki is javítsuk a tévesztett biteket. A tévesztett bitek felismerése, ill. javítása céljából képzett és átvitt biteket (amelyek tehát az átvendőhöz képest további információt nem tartalmaznak) **redundáns** biteknek nevezik, az eljárást pedig, amikor a vételkor a redundáns bitek felhasználásával felismerik (javítják) a hibákat, **ciklikus redundanciavizsgálatnak** ill. **hibajavításnak** (CRC = Cyclic Redundancy Check = ciklikus redundanciavizsgálat, FEC = Forward Error Correction = hibajavítás).

Az, hogy egy eljárás adott számú átvitt bit esetén hány hibát képes felismerni, illetve javítani, az átvitt redundáns bitek számától függ. Minél több a redundáns bit, annál nagyobb az eljárás hibajavító képessége. Ha a rendszer felismeri a hibát, de nem tudja kijavítani, automatikusan az adatok újra küldését kéri.

### **3.11.3. Rádióvétel**

A rádióadó által előállított modulált vivőfrekvenciát az adóantenna kisugározza. Az elektromágneses hullámok közel a fény sebességével terjednek, és a vétel helyén elektromágneses térerőt hoznak létre.

A vezető anyagokban az elektromágneses térerő feszültséget indukál. Ilyen vezető a vevőkészülék *antennája*, amely – az adóantennához hasonlóan – nyitott rezgőkörként fogható fel, melyen azon a frekvencián indukálódik a legnagyobb feszültség, amely az antenna saját rezonanciafrekvenciája. A vevőantennában (a vevőantenna tulajdonságain kívül az adóállomás teljesítményétől, távolságától, antennájától, és a terjedési viszonyoktól függően) néhány tized  $\mu\text{V}$  és néhány V közötti csúcserértékű nagyfrekvenciás (más kifejezéssel *rádiófrekvenciás*, *RF*) feszültség keletkezik, amelynek amplitudója, frekvenciája természetesen a modulációnak megfelelően változik.

A vevőantenna környezetében nem csak a venni kívánt adóállomás kisugárzott jele létesít elektromágneses teret (és indukál az antennában feszültséget), hanem – a terjedési viszonyoktól is függően – számos más adóállomásé is. A rádióvétel során az első feladat az antenna által szolgáltatott, különböző adóállomásoktól származó rádiófrekvenciás jelek közül a venni kívánt adótól származó jel *kiválasztása*. Ezt az egyes adóállomások *vivőfrekvenciájának* különbözősége teszi lehetővé. A venni kívánt adóállomás RF jelét a vevőkészülék a további feldolgozáshoz megfelelő szintre *erősíti*, majd **demodulálja**, azaz visszanyeri az alapsávi moduláló jelet. Hangjel esetén azt *hangfrekvenciás erősítés* után a *hangszóró* alakítja vissza a levegő nyomáshullámává.

### **3.11.4. Az amatőr rádióállomás**

Az amatőr **rádióállomás** magába foglalja a *rádióberendezést* (rádió adó, adó-vevő), a tápellátását szolgáló egységet, az antennát és tartozékait. A továbbiakban először a rádióberendezés működését vizsgáljuk.

#### **Az amatőr rádióberendezés és az amatőr gyakorlatban használt modulációs eljárások**

Az amatőr rádióforgalom lebonyolításához rádió *adóra* és *vevőre* van szükség. Ezek különálló készülékek is lehetnek, de – különösen, amióta az amatőrök jellemzően gyári, és nem maguk építette berendezésekkel dolgoznak – az *adó-vevők* terjedtek el. Ennek kényelmi okai is vannak (pl. az adó és a vevő frekvenciája együtt változtatható, így gyors és zavarmentes az ellenállomás frekvenciájára hangolás), és gazdasági okai is: az adó-vevő berendezésnek egyes fokozatait mind az adó, mind a vevő használja, így ezeket a fokozatokat nem kell duplán elkészíteni.

A kifejezetten amatőr célokra gyártott berendezések eleve az amatőr gyakorlatban használt modulációs módokon működőképeseek. Ezek a következők:

- CW (Continous Wave), A1A: táviró üzemmód, a modulálatlan vivőhullám billentyűzése (ki/bekapcsolása) a táviró (Morse-) jelek ütemében.
- LSB (Lower Side Band), J3E: távbeszélő üzemmód, AM-SSB/SC, csak az alsó oldalsáv kisugárzása,
- USB (Upper Side Band), J3E: távbeszélő üzemmód, AM-SSB/SC, csak a felső oldalsáv kisugárzása,
- FM (Frequency Modulation), F3E: távbeszélő üzemmód, FM
- AM (Amplitudo Modulation), A3E: távbeszélő üzemmód, AM-DSB

Az AM (=AM-DSB) üzemmód az amatőr gyakorlatban ma már nem használatos, felváltotta az SSB (USB, LSB) üzem.

Valamennyi más amatőr üzemmód (rádiótávgépíró, lassú letapogatású televízió, packetrádió, stb.) visszavezethető ezen modulációs módok valamelyikére, tehát az ilyen módokon működőképes rádióberendezés minden felmerülő igényt ki tud elégíteni. (Magasabb kategóriájú rádióberendezések sokszor közvetlenül is alkalmasak pl. a rádiótávgépíró vagy packetrádió jelek fogadására, feldolgozására.)

A rádió műsorvételre szolgáló rádióvevők csak AM és FM vételre szolgálnak, (és sávzélességük is viszonylag nagy), tehát további áramkörök beépítése nélkül CW, LSB, USB amatőr adások vételére akkor is alkalmatlanok, ha vételi frekvenciatartományukba amatőr sáv is belesik.

### **3.11.5. A hullámsávok felosztása**

A vivőfrekvencia értékétől függően az alábbi megnevezéseket és jelöléseket használjuk:

| Megnevezés           | Jelölés | Frekvencia       | Hullámhossz |
|----------------------|---------|------------------|-------------|
| Hosszúhullámok       | LF      | 30...300 kHz     | 10...1 km   |
| Középhullámok        | MF      | 300 kHz... 3 MHz | 1000...100m |
| Rövidhullámok        | HF      | 3...30 MHz       | 100...10m   |
| Ultrarövidhullámok   | VHF     | 30...300 MHz     | 10...1m     |
| Deciméteres hullámok | UHF     | 300...3000 MHz   | 1...0,1m    |