Optoelektronikai Kommunikáció

A jel modulációja és multiplexelése

(OK-3)



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:

- Definiálni és megmagyarázni az analóg és a digitális jelek közötti különbséget.
- Megismertetni a telekommunikációban használatos fontosabb definíciókat és fogalmakat.
- Bemutatni a különbözõ modulációs rendszerek szükségességét és azok különbözõ jellemzõit.
- Megismertetni a multiplexelés, az impulzuskód moduláció és a digitális kommunikáció alapvetõ tulajdonságait.

A fejezet elolvasása után tudni kell:

- Az analóg és digitális mennyiség definícióját.
- Az analóg mennyiség digitálissá alakításának a folyamatát.
- A sávszélesség fogalmát, látni a jelentõségét.
- A moduláció különbözõ fajtáit, látni az értelmét.
- Az idõosztásos multiplexelés, a frekvencia multiplexelés, a mintavételezés és a különbözõ típusú modulációk alapelveit.

Elõismeretek:

Jelen fejezet anyagának tanulmányozása elõtt szükség van **Az elektromágneses spektrum - OK-2** anyagának ismeretére.

Tartalom

Bevezetés 1

A kommunikációban használt fontosabb fogalmak 2

A sávszélesség 2

A csillapítás 3

A decibel-skála 3

A zaj és a jel/zaj viszonyszám 4

A moduláció 5

Az amplitúdómoduláció (AM) 6

A féloldalsávos technika (SSB) 8

A frekvencia-moduláció (FM) 8

Elõnyök és hátrányok 10

Az impulzus-amplitúdó moduláció (PAM) 11

A kommunikációs rendszerek struktúrája 12

A multiplexelés 13

Frevencia-multiplexelés 13

Idõ-multiplexelés 14

A Nyquist kritérium 15

Digitális jelek 16

Az impulzuskód moduláció (PCM) 16

Az impulzusszélesség moduláció (PWM) 17

Az impulzus pozíció moduláció (PPM) 17

Az analóg/digitál és a digitál/analóg átalakítás 18

A digitális kommunikációs rendszer 18

A digitális rendszerek elõnyei 19

Összefoglalás 20

Ellenõrzõ kérdések 21

Válaszok 22

Kulcsszavak 23

Bevezetés

Jelen fejezetben azokat a módszereket vizsgáljuk meg részletesen, amelyeknek az információt elõbb alá kell vetni, hogy az elküldhetõ, továbbítható legyen. Ez többnyire valamilyen modulációt jelent. A modulált jel lehet analóg, mint amit a mûsorszórásban használnak, vagy lehet digitális. Napjainkban a digitális jelek használata egyre növekszik, s különösen nagy jelentõsége van a száloptikai kommunikációban.

Elõször azonban néhány fontos definíció ismertetését adjuk meg, hogy leírhassuk az egyes rendszerek teljesítõképességét.

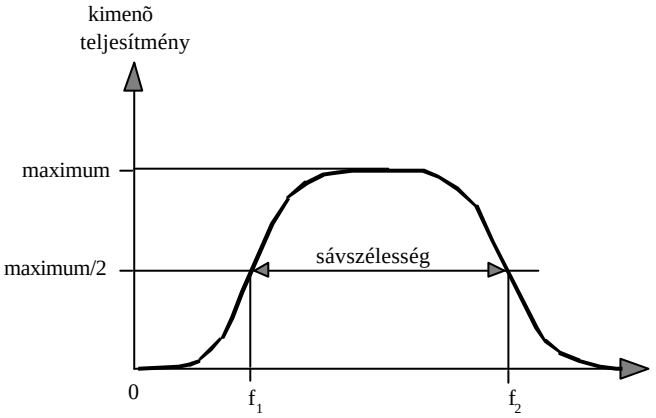
A kommunikációban használt fontosabb fogalmak

A sávszélesség

A legtöbb elektromos áramkör frekvenciafüggõen viselkedik. Ez azt jelenti, hogy ha az áramkör bemenetére adott jel frekvenciáját változtatjuk, miközben nagysága változatlan marad, a kimenõ jel gyorsan csökken, ha a bemenõ jel egy bizonyos frekvencia alá (f_1), illetve valamely frekvencia fölé (f_2) kerül. Ezt a jelenséget az áramkörök mindig jelen levõ saját belsõ kapacitása és induktivitása okozza.

Ha az f_1 és az f_2 frekvenciákat azokban a pontokban választjuk meg, ahol a kimenõ jel a maximális érték fele, akkor a sávszélességet a következõ formula adja:

$$BW=f_2-f_1$$



A sávszélesség az a frekvenciatartomány, amelyben az áramkör használható. A sávszélességet az f_2-f_1 különbséggel definiáljuk, ahol f_1 az alsó és f_2 az ún. felsõ határfrekvancia. Ezekben a pontokban a kimenõ jel a maximális érték felére esik vissza.

A sávszélesség fogalma nagyon fontos a kommunikációs technikában. Ez határozza meg, hogy a rendszer mennyi információt képes továbbítani egy meghatározott idõtartam - mondjuk egy másodperc - alatt. . Példaként vizsgáljuk meg a kézírást. A sávszélességet a másodpercenként leírt betûk számával mérhetjük. Ha most a kezünkre egy nehéz súlyt kötünk, akkor lecsökken az írásunk sebessége, így csökken a sávszélesség. Az elektromos áramkörök esetében a kapacitás úgy viselkedik, mint a kézírásnál a kézre kötött súly, azaz csökkenti a sávszélességet.

A csillapítás

Ha valamely elektronikus alkatrész, vagy adatátviteli összeköttetés kimenetén a jel amplitúdója kisebb, mint a bemenetére adott jelé, azt mondjuk, hogy csillapítás lépett fel. Definíció szerint a ***csillapítás*** a kimenõ és a bemenõ teljesítmény hányadosa. A csillapítást az áramkörök belsejében levõ veszteségek okozzák.

A decibel-skála

A csillapítást *decibel*ben szokás megadni. A ***decibel-skála*** két teljesítmény arányának (P_1/P_2) logaritmikus skálán való kifejezése. Ezzel a:

$$\text{csillapítás (dB)} = 10 \log_{10} \frac{\text{kimenõ teljesítmény}}{\text{bemenõ teljesítmény}}$$

vagy, mivel a teljesítmény a feszültség négyzetével arányos:

$$\text{csillapítás (dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{kimenõ feszültség}}{\text{bemenõ feszültség}}$$

A két teljesítmény hányadosával kifejezett mennyiségnek nincs mértékegysége, vagy más szóval dimenziója. A ***decibel (dB)*** definíció szerint ezen hányados logaritmusa. Ha a mért teljesítményt az 1mW-hoz viszonyítjuk (kimenõ teljesítmény=1mW), az eredményt ***dBm***-mel jelöljük.

A kommunikációs rendszerekben az erõsítést és a csillapítást *decibel*ben adják meg. Ha a P_1/P_2 teljesítmény arányának logaritmusa pozitív ($P_1/P_2>1$), akkor a rendszer erõsít, ha negatív ($P_1/P_2<1$), akkor csillapít.

dB	P_1/P_2	*%*
50	10^5	10^7
10	10	10^3
6	3,98	398
3	1,99	199
1	1,26	126
0	1	100
-1	0,79	79,4
-3	0,5	50
-6	0,25	25
-10	0,1	10
-50	10^{-5}	0,001

Néhány teljesítményviszony dB-ben kifejezve

A zaj és a jel/zaj viszonyszám

Minden olyan jelet, ami nem része az információnak, a kommunikációs összeköttetésben zajnak tekintünk. A zaj forrása lehet természetes eredetû, vagy lehet mesterséges, valamilyen emberi tevékenység. A természetes zajforrások lehetnek a rendszeren kívüliek, mint pl. a Nap, a kozmikus sugárzás, de keletkezhet zaj magában a rendszerben is, pl. az ellenállások, vagy a félvezetõk termikus zaja. Mivel a zaj erõsen befolyásolja a kommunikációs rendszer információátvivõ képességét, nem csoda, hogy az adatátviteli technikában ez a leggyakrabban tárgyalt témakör.

A jel/zaj viszonyszám

A kommunikációs rendszerekben nem a zaj abszolut értéke, hanem hanem annak a hasznos jel teljesítményéhez való viszonya a döntõ tényezõ. Ezért hasznos definiálni a ***jel/zaj*** viszonyszámot, ami a jel és a zaj teljesítményének a hányadosa. A *jel/zaj* viszonyszámot, vagy *jel-zaj viszony*t szintén decibelben fejezzük ki.

Valamely áramkör, vagy berendezés kimenetén és bemenetén mérhetõ *jel/zaj* hányados a rendszer zajosságára jellemzõ. Az angol terminológiában ezt *noise figure*-nek (NF) nevezik.

$$NF = \frac{\text{kimeneti} \quad jel / zaj}{\text{bemeneti} \quad jel / zaj}$$

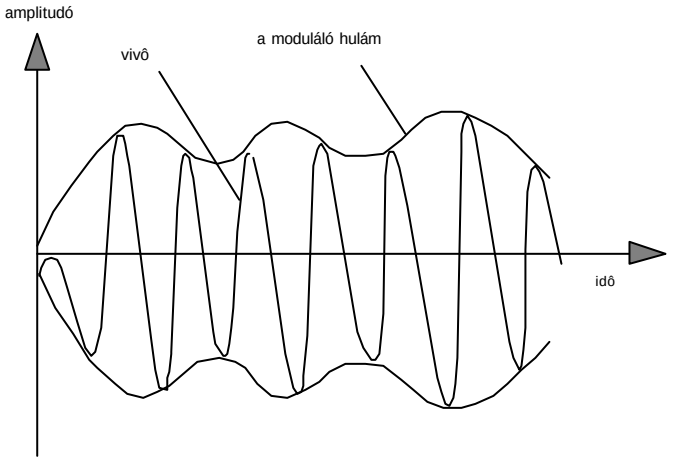
Ha az NF értéke 1, azt jelenti, hogy a rendszer nem termel zajt. Ha egynél kisebb, a rendszer zajos.

A moduláció

Tegyük fel, hogy üzenetet akarunk küldeni a barátunknak. E célból fogunk egy üres papírlapot, beletesszük egy borítékba és postára adjuk. Barátunk a megkapott levélbõl semmiféle információhoz nem jut. Természetesen írni is kell valamit a papírra. Csakúgy, mint a fenti példában az üres papírlap, egy folyamatos szinuszhullám sem hordoz információt. Hogy közölhessünk vele valamit, egy információt hordozó hullámot kell rá ültetnünk. Ezt a folyamatot nevezzük ***moduláció***nak, magát a szinuszhulámot pedig ***vivõ***nek.

Felmerülhet a kérdés, hogy miért van szükség a vivõre? Miért nem lehet az információt (beszédet, zenét, ...stb.) közvetlenül elektromos jellé alakítani? Mindennek két oka is van. Elõször is, hogy az elektromágneses hullámokat megfelelõ hatásfokkal sugározhassuk, az adásra használt antenna mérete a korábbiakban említettek szerint a hullámhossz felénél nem lehet rövidebb. A hangfrekvencia tartományába esõ eletromágneses hullámok hullámhossza sok (ezer) kilométer. Másrészt, ha minden adó ugyanazon a frekvencián sugározna, az eredmény az lenne, mintha több száz ember beszélne egyszerre, ugyanabba a teremben. Tehát az egymáshoz közel levõ rádióadóknak más más vivõfrekvenciát kell használniuk.

A *vivõ* modulációjának sok fajtája van. Hogy információt ültessünk rá, változtathatjuk a vivõ *A* amplitúdóját vagy az *f* frekvenciáját, közvetlenül az átvinni kívánt információnak megfelelõen. Az elsõként említett rendszert ***amplitúdómoduláció***nak (***AM***), míg a másikat ***frekvenciamoduláció***nak (***FM***) nevezzük.



Az amplitúdómoduláció (AM) során a vivõ amplitúdóját változtatjuk

Van egy másik módszer is, amely néha hasznos lehet a katonai, vagy a nagy távolságú polgári összeköttetésben; a morze kódolás. Ekkor a vivõfrekvenciát

rövidebb/hosszabb idõre bekapcsolják, a morze kódnak megfelelõen. A rövid ideig bekapcsolt vivõ a pontot, a hosszabb ideig sugárzott pedig a vonást jelenti. A pontok és vonások egy-egy meghatározott csoportja az ábécé egyes betûit kódolja (ld. OK-1). Ezt a fajta modulációt ***impulzusmoduláció***nak nevezzük.

Az amplitúdómoduláció (AM)

Az amplitúdómodulációt elsõ ízben 1906-ban alkalmazták, mikor egy kanadai, név szerint Reginald Fessenden több mint 300 kilométerre küldött vele zenét. A drótnélküli telegráf operátorai roppantul elcsodálkoztak, mikor vevõjükbõl a morze kódok helyett zenét hallottak. Ez volt a modern rádió születése.

Mint az elõzõkben már említettük, az amplitúdómoduláció során a vivõhullám amplitúdóját változtatják. A következõkben bemutatjuk ennek a matematikáját. A tiszta vivõhulám frekvenciája legyen f_c, amplitúdója pedig A_c. A szinuszhullámot ekkor a következõ egyenlet írja le:

$$\text{vivõfrekvencia: } X = A_c \sin 2\pi f_c t \tag{1}$$

ahol X a hullám pillanatnyi kitérése (amplitúdója) a t idõpontban. Az egyszerûség kedvéért tegyük fel, hogy a vivõt egyetlen tiszta szinuszos hanggal (pl. fütty) moduláljuk, amelynek frekvenciája f_m, amplitúdója pedig A_m.

$$\text{moduláló frekvencia: } \quad Y = A_m \sin 2\pi f_m t \tag{2}$$

Ha most ezt hozzáadjuk a vivõ amplitúdójához, azaz modulálunk, akkor annak amplitúdója a moduláló frekvenciával lineárisan fog változni. A kijövõ jel:

$$Z = (A_c + A_m \sin 2\pi f_m t) \sin 2\pi f_c t$$

Ezt átrendezve kapjuk:

$$Z = A_c (1 + \frac{A_m \sin 2\pi f_m t}{A_c}) \sin 2\pi f_c t \tag{3}$$

A $\sin 2\pi f_c t$ elõtt álló mennyiség adja az eredõ hullám amplitúdóját a t idõpillanatban, amit A_t-vel jelölhetünk:

$$A_t = A_c (1 + \frac{A_m \sin 2\pi f_m t}{A_c}) \tag{4}$$

Az amplitúdómoduláció eredményeképp kapott hullámformát az elõzõ ábra mutatja. A (3) formula a trigonometria szabályai szerint szinusz és koszinuszos tagok összegeként is elõállítható, az alábbiak szerint:

$$Z = A_c \sin 2pf_c t + \frac{A_m \cos 2p(f_c - f_m)t}{2} - \frac{A_m \cos 2p(f_c + f_m)t}{2}$$

Az eredmény azt mutatja, hogy az AM jel három komponensbõl áll. Az elsõ maga a vivõ:

$$A_c \sin 2pf_c t$$

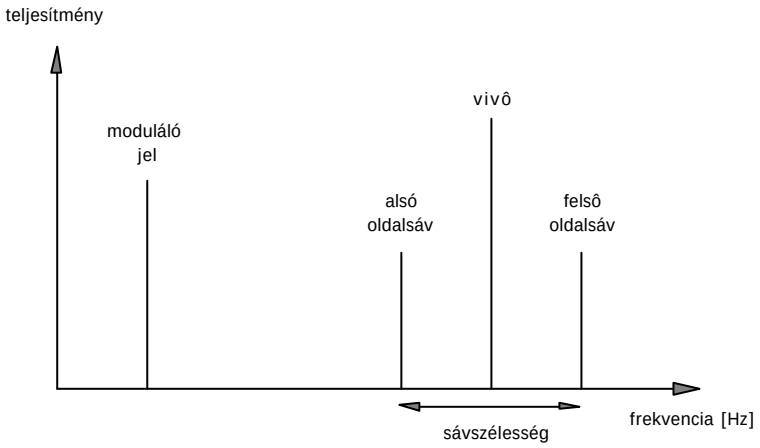
A második komponens a vivõ és a moduláló frekvencia különbségét tartamazza. Ezt ***alsó oldalsáv***nak (LSB) nevezzük:

$$\frac{A_m \cos 2p(f_c - f_m)t}{2}$$

A harmadik komponens a vivõ és a moduláló frekvencia összegét tartamazza, amit ***felsõ oldalsáv***nak (USB) hívnak:

$$\frac{A_m \cos 2p(f_c + f_m)t}{2}$$

Az alábbi diagram a vivõ és a moduláló jel mellett bemutatja a megjelenõ új frekvenciákat is. A sávszélesség értéke $2f_m$.Ha tehát például a 10Hz és 15kHz közé esõ zenei hangokat kívánunk sugározni, az adó kétszer akkora tartományt, azaz mintegy 30 kHz-et foglal el.



Az amplitúdómodulációnál fellépõ frekvenciák

A féloldalsávos technika (SSB)

Mivel az amplitúdómoduláció során két oldalsáv lép fel, s mindegyik egyaránt tartalmazza az f_m moduláló frekvenciát, felmerül a kérdés, hogy miért sugározzuk ki mind a két oldalsávot? Valóban, nincs szükség arra, hogy mindkét oldalsávot elküldjük. A féloldalsávos, vagy SSB technikában csak az egyik, vagy az alsót (LSB), vagy csak a felsõ (USB) sávot sugározzák ki, mig a másikat sõt, még magát a vivõt is elnyomják. Az SSB technika dupla elõnnyel rendelkezik.

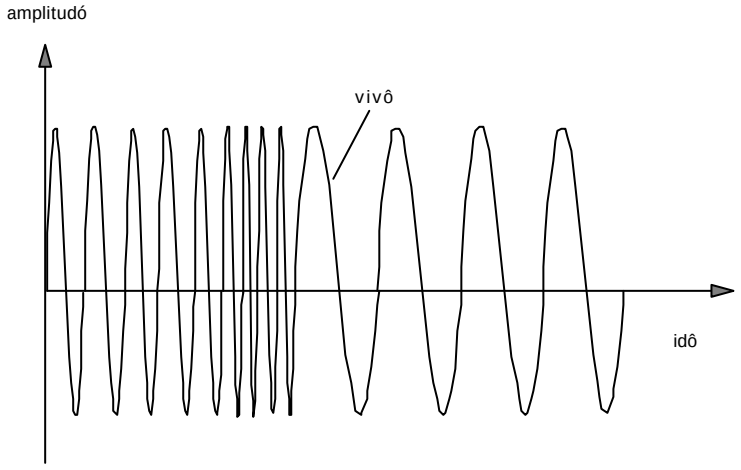
Elõször is, mivel csak az egyik oldalsávot sugározzuk, a másikat felhasználhatjuk más információ küldésére. Ezáltal az átviteli csatornák számát megkétszereztük.

Másrészt az összes rendelkezésre álló adóenergiát egy oldalsávba koncentráltuk, s nem osztottuk szét a két oldalsáv és a vivõ között. Így jelentõsen megnövelhetjük az adás hatótávolságát, vagy azonos távolságra való küldéshez lényegesen kevesebb energiát kell felhasználnunk.

A frekvencia-moduláció (FM)

A frekvenciamoduláció az amerikai Edwin Armstrong nevéhez fûzõdik (1939). A módszer a második világháború után vált népszerûvé.

Ebben az esetben az információt úgy ültetik a hordozóra, hogy annak frekvenciáját változtatják a moduláló jelnek megfelelõen. Az egyszerûség kedvéért ismét tisztán szinuszos hullámokat tételezünk fel.



A frekvenciamoduláció (FM) esetében a vivõ frekvenciája változik.

Az amplitúdómodulációnál látottakhoz hasonlóan most dióhéjban megmutatjuk a frekvenciamoduláció hogy írható le matematikailag. Legyen a két frekvencia az alábbi:

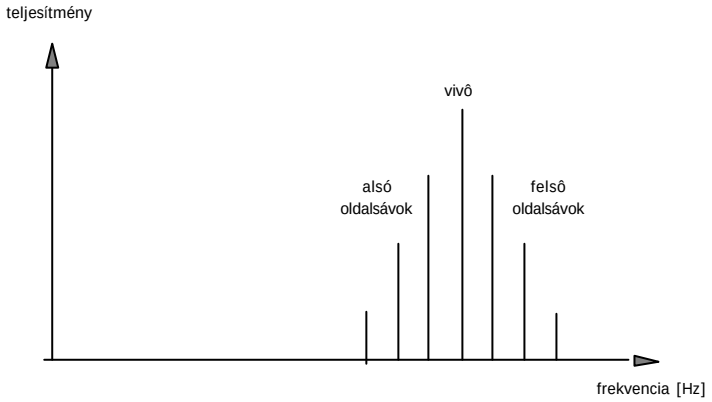
$$\text{vivõfrekvencia: } X = A_c \sin 2\pi f_c t$$

$$\text{moduláló frekvencia: } Y = A_m \sin 2\pi f_m t$$

Az FM rendszerben (az amplitúdómodulációval ellentétben) az f_c vivõfrekvencia nem marad állandó, hanem a moduláló frekvencia *Y amplitúdó*jának megfelelõen változik. Ez nem okoz gondot, feltéve, hogy a vivõfrekvencia elegendõen nagy, - a változás (frekvencialöket) nem haladja meg a 10 milliomod részt. (Ez az oka annak, hogy az FM adók 100 Mhz környékén, vagy a fölött mûködnek.) A frekvenciamoduláció képlete:

$$Z = f_c + kA_m \sin 2\pi f_m t$$

ahol a *k* arányossági tényezõ a moduláló frekvencia pillanatnyi feszültségértékének frekvenciává való alakítását jelenti. Ez az egyenlet nem olyan magától értetõdõ, mint az az amplitúdómodulációnál volt, és nem is bontható olyan könnyen frekvenciakomponensekre. Most csak a végeredményt, a frekvenciamodulált jel spektrumát mutatjuk be a következõ ábrán.



A frekvenciamodulált jel spektruma

Az AM-tõl eltérõen, az FM jel spektrumában a vivõfrekvencia mellett végtelen számú frekvenciakomponens jelenik meg. (Technikai okok miatt az ábrán csak hatot ábrázoltunk.) Szerencsére a magasabb rendû komponensek nyugodtan elhanyagolhatók, mivel amplitúdójuk már nagyon kicsi. A frekvenciamodulált jel adásához szükséges sávszélesség:

$$BW = 2kA_m$$

ahol kA_m a maximális frekvencia-eltérésbõl kapható.

Elõnyök és hátrányok

Az amplitúdómoduláció (AM) elõnyei:

- keskeny sávszélesség
- egyszerû és olcsó vevõkészülék

Az amplitúdómoduláció (AM) hátrányai:

- zajérzékeny (atmoszférikus és kozmikus eredetû zajok, melyek a jelhez adódva többnyire annak amplitúdóját befolyásolják)
- rossz hatásfokú adás

A frekvenciamoduláció (FM) elõnyei:

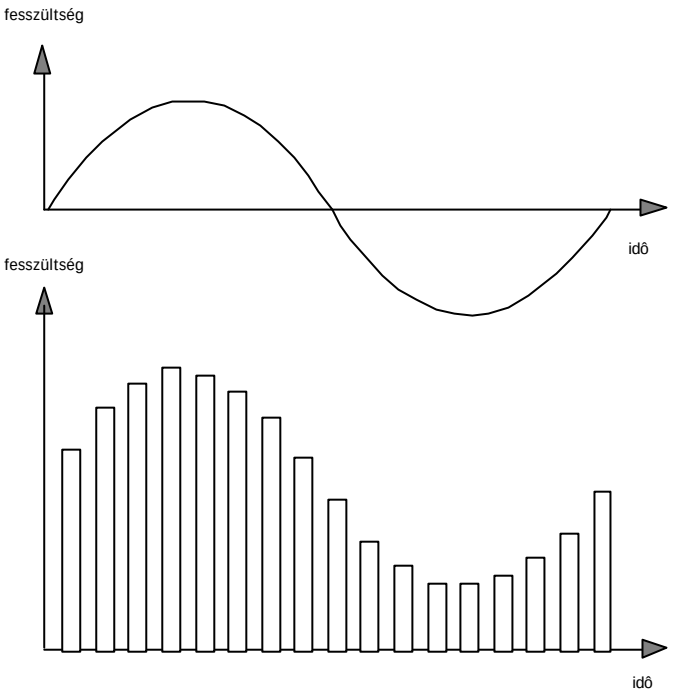
- kevésbé érzékeny a külsõ eredetû zajokra, mert azok az amplitúdót befolyásolják, míg most az információt a frekvencia változása hordozza
- az adó hatásfoka jobb

A frekvenciamoduláció (FM) hátránya:

- nagyobb sávszélesség

Az impulzus-amplitúdó moduláció (PAM)

Manapság másfajta modulációs módszereket is használnak. Ezek egyike az impulzus amplitúdó moduláció, melyet elsõsorban a gyógyászatban alkalmaznak. A telefóniában ez a módszer ma már elavultnak számít, bár még mûködik néhány PAM telefonközpont.

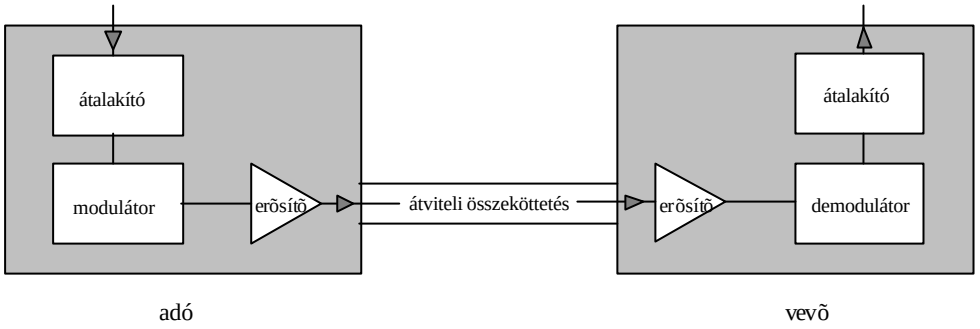


Az impulzus amplitúdó moduláció (PAM)

Az ábráról láthatjuk, hogy az analóg jel mintavételezésével impulzusok sorozatát kapjuk. Ezen impulzusok magassága (nagysága) megfelel az analóg jelnek a mintavételezés idõpontjában felvett értékének. Az analóg jel helyett ezeket az impulzusokat továbbítják.

A kommunikációs rendszerek struktúrája

Minden kommunikációs rendszer alapvetõen nagyon hasonló, csupán a részletekben különböznek egymástól, attól függõen, hogy milyen modulációs rendszert használ. Az átalakító lehet pl. egy mikrofon. Ennek kimenetérõl az elektromos jel a modulátorba kerül, ahol azt az oszcillátorral elõállított vivõfrekvenciára ültetik. A vevõ oldalon a demodulátor pedig leválasztja az információt a modulált jelrõl.



A kommunikációs rendszerek általános struktúrája

A valóságos rendszerek természetesen ennél sokkal bonyolultabbak, mivel ki kell tudniuk választani a kívánt frekvenciát, s az összes többit pedig el kell nyomni. Ehhez a rendszereknek hangolhatóknak kell lenniük.

A multiplexelés

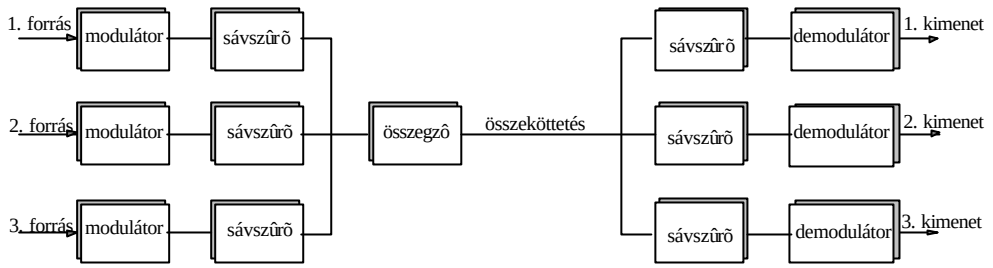
Amint a kereskedelem, a népesség és az életszínvonal emelkedik, úgy nõ az igény a jobb és gyorsabb kommunikáció iránt. Az egyik lehetséges megoldás az lehet, hogy egyre több fizikai összeköttetést teremtünk, azaz több kábelt fektetünk le, több rádióadót üzemeltetünk, több mûholdat bocsátunk fel ... stb. Ez azonban nagyon drága lenne. A kommunikációképesség növelésének, a nagy mennyiségû információ átvitelének másik útja a *multiplexelés*.

A ***multiplexelés*** azt jelenti, hogy egyidejûleg több jelet viszünk át egy adatátviteli csatornán anélkül, hogy a jelek elveszítenék azonosíthatóságukat. A *multiplexelés*t nem szabad összetéveszteni a *moduláció*val. A moduláció lehetõvé teszi, hogy a kisfrekvenciás, vagy kényelmetlenül kezelhetõ jeleket rövidhullámú vivõn továbbítsuk. A multiplexeléssel több modulált jelet viszünk át ugyanazon idõtartam alatt. (Megjegyzendõ, hogy különbözõképpen modulált jeleket is multiplexelhetünk.)

Frevencia-multiplexelés

Az emberi beszéd már jól érthetõ, ha az átviteli csatornán számára a 300Hz és a 3400Hz közötti tartományt biztosítjuk. Az összeköttetés (legyen az kábel, elektromágneses sugárzás, ...) sávszélessége azonban sokkal nagyobb. Így lehetõvé válik, hogy ezt a szélesebb spektrumot keskenyebb frekvenciasávokra, alcsatornákra bontsuk, s mindegyiken egy idõben hozzunk létre összeköttetést. Ezt a technikát ***frekvencia-multiplexelés***nek nevezzük.

Az alábbi ábrán az 1., 2 és 3-mal jelölt források jelentsék például egy-egy telefon mikrofonjának jelét. Ezután mindegyiket úgy moduláljuk, hogy az csak egy meghatározott frekvenciatartományt, egy keskeny sávot foglaljon el. Ezt valósítja meg a sáváteresztõ erõsítõ. A jeleket azután elektronikusan összeadják és ezzel modulálják a vivõt. A vételi oldalon a fentiek ellenkezõje történik. A jel demodulálása után sávszûrõk segítségével az egyes források jeleit szétválogatják. Minél szélesebb az átviteli csatorna, annál több forrás jelét lehet rajta egyidejûleg továbbítani.

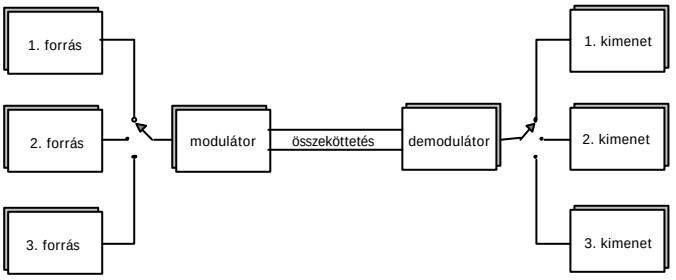


A frekvencia-multiplexelés. Az összeköttetést használó mindegyik csatorna különbözõ frekvenciasávot foglal el.

A frekvencia-multiplexelés ezen módját gyakran alkalmazzák pl. a tenger alatti kábeleken, lehetõvé téve ezzel, hogy egy kábelen egyidejûleg több ezer hangcsatornát továbbítsunk. Mint az elképzelhetõ, mind az adó oldalán, mind a vétel helyén a szûrõkörök pontos összehangolása életbevágóan fontos.

Idõ-multiplexelés

A frekvencia-multiplexelés alternatívája az *idõosztásos multiplexelés*, vagy *idõ-multiplexelés*. Ebben a rendszerben a különbözõ információforrások jelét egymás után sorban mintavételezik, és az eredményt a megfelelõ idõpontban elküldik. A kommunikációs idõt tehát felosztják a források között. Innen ered az eljárás elnevezése: ***idõosztásos multiplexelés***.



Az idõ-multiplexelés. A különbözõ forrásokból származó információt mintavételezik, és elküldik, mikor rá kerül a sor.

A Nyquist kritérium

A mintavételezést úgy képzelhetjük el, mint egy forgó kapcsolót, bár a valóságban mindez elektronikusan történik. A vételi oldalon szintén elképzelhetünk egy forgó kapcsolót, amely az elõzõvel szinkronban forog, s így a mintákat szétosztja a megfelelõ helyre. Hogy az elküldendõ jel változását követni, és a vevõben korrekt módon, információvesztés, vagy hamis információ keltése nélkül visszaállítani lehessen, teljesülnie kell a ***Nyquist kritérium***nak: a mintavételi frekvencia legalább a duplája legyen az elküldendõ jelben fellépõ maximális frekvenciának.

A fenti tétel alkalmazására vizsgáljuk meg a következõ példát. Tegyük fel, hogy a mintavételezett jel zene, és a legmagasabb hang frekvenciája a 15kHz-et nem haladja meg. Esetünkben így minden másodpercben legalább 30 ezerszer kell mintát vennünk.

Természetesen minél több forrásunk van, annál rövidebb idõ áll rendelkezésre minden egyes mintavételezéshez. Ha sávszélesség nem elég nagy, a rövid impulzusok elkenõdnek, szétfolynak, s átfedik egymást. Íly módon az információ egy része elvész.

A multiplexelésnek ezt a formáját gyakran alkalmazzák a telefon technikában. Azt persze szükségtelen külön mondani, hogy a pontos idõzítés milyen fontos, mind az adónál, mind a vevõnél, a szinkronizációról nem is szólva. Az *idõosztásos multiplexelés* olcsóbb kezd lenni a *frekvencia-multiplexelés*nél.

Digitális jelek

Információ átvitelére két fajta jel használható: *analóg* és *digitális*. Az ***analóg*** jel olyan jel, melynek amplitúdója vagy frekvenciája közvetlenül jellemzi az eredeti jelet. Az impulzus-amplitúdó modulált jelek analóg jelek, hiszen az információt az impulzus amplitúdója hordozza.

Ha a jel amplitúdójával, vagy frekvenciájával nem törõdve csupán az impulzus meglétét vizsgáljuk, ***digitális*** jelrõl beszélünk. Ebben az esetben az analóg hulámformát *digitális* impulzusok sorozatával reprezentáljuk, amely az analóg jel valamely tulajdonságát kódolja. A *digitális* jelek estében tehát az impulzusok amplitúdója jelentéktelen, kizárólag az impulzussorozatot vesszük figyelembe.

Digitális jelek küldéséhez nem használhatunk az *AM*, *FM* vagy *PAM* moduláció egyikét sem, hasonlóképp le kell mondanunk a frekvencia multiplexelésrõl is, mivel ezek mindegyike a jel amplitúdóját, vagy frekvenciáját változtatja meg, az elküldendõ információnak megfelelõen.

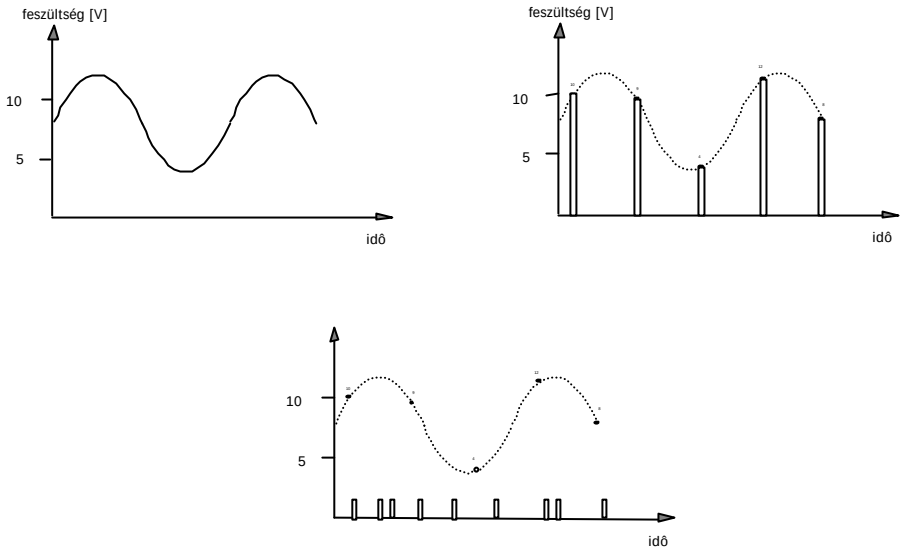
Az impulzuskód moduláció (PCM)

Ha *PAM* rendszerben kapott impulzusok amplitúdóját (egy bizonyos pontosságon belül) megmérjük, ***digitális*** értéket kapunk, amit pl. egy kettes számrendszerbeli számmal fejezhetünk ki. (A ***digit*** számjegyet jelent.) A kettes számrendszer használata azért terjedt el, mert mert abban csak két számjegy, a "0" és az "1" szerepel, melyeket elektromosan valamely jel "ki" vagy "be"-kapcsolt állapotával reprezentálhatunk. A bináris számjegyeket ***BIT***-eknek hívjuk.

A változó magasságú (amplitúdójú) impulzusok helyett most egy-egy sorozat azonos amplitúdójú impulzust küldünk el. Mindegyik sorozat az eredeti impulzus magasságát kódolja, bináris számként. Az ***impulzuskód moduláció*** (***PCM***) ilyen jelekbõl áll. A *PCM*-hez igen meredek fel- és lefutású keskeny impulzusok szükségesek, ami csak nagyobb sávszélességgel érhetõ el.

Azt, hogy a mintavételezett jel amplitúdóját a digitalizált érték milyen pontossággal adja vissza, a felhasznált bitek száma határozza meg. Minél több bitet használunk, annál jobb lesz a felbontás, a bináris szám annál közelebb lesz a tényleges értékhez. Nyolc bit esetében a felbontás 2^8, azaz a minta amplitúdójában 256 különbözõ szintet tudunk megkülönböztetni.

Ha a mintavételi frekvencia 8 kHz, valamint 8 bitet használunk a minta amplitúdójának mérésére, az adatátviteli sebesség 64 kbit/s lesz. Ez a példa is mutatja, hogy az eredeti jel sávszélességénél a digitális jelek átviteléhez lényegesen nagyobb sávszélesség szükséges.



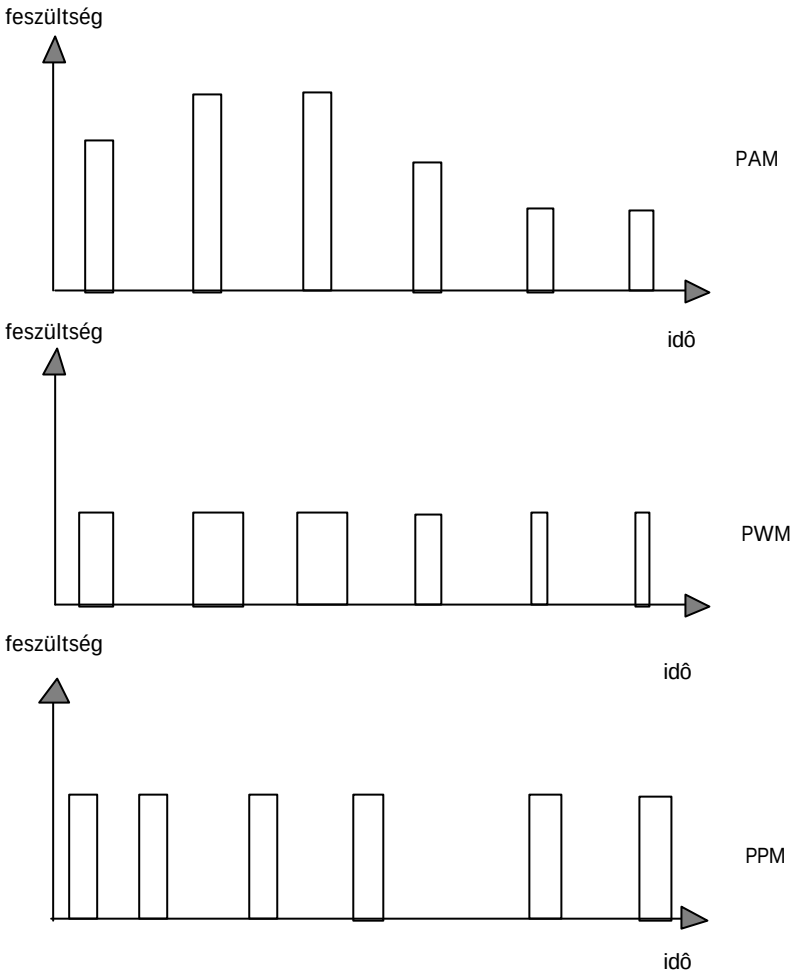
Az impulzus-kód moduláció. Az impulzusok az eredeti jel magasságát állítják elõ binárisan, mindegyik mintavételi periódusban.

Az impulzusszélesség moduláció (PWM)

Elektromos áramkörökkel a változó magasságú *PAM* impulzusokat könnyen át lehet alakítani állandó magasságú, de változó szélességû impulzusokká, melyekben az impulzusok szélessége felel meg az analóg jel amplitúdójának. Ezt nevezzük ***impulzusszélesség moduláció***-nak ***(PWM)***.

Az impulzus pozíció moduláció (PPM)

Az elektronikus áramkörökkel az impulzusok szélességének megváltoztatása helyett az is lehetséges, hogy az impulzus idõzítését változtatjuk meg. Ekkor ***impulzus pozíció moduláció***-ról (***PPM***) beszélünk.



A PAM, PWM és PPM modulált jelek összehasonlítása.

Az analóg/digitál és a digitál/analóg átalakítás

Azt az áramkört, amely az analóg jelet digitálissá alakítja, ***analóg/digitál átalakítónak***, vagy ***A/D konverter***nek nevezzük. Az *A/D átalakítók* napjaink legfontosabb áramköreinek egyike, melyek részletezése meghaladja jelen tantárgy kereteit.

A másik fontos áramkör a ***digitál/analóg átalakító***, amely az elõzõnek ellentéteként a digitális jelet analóg feszültségértékké alakítja vissza.

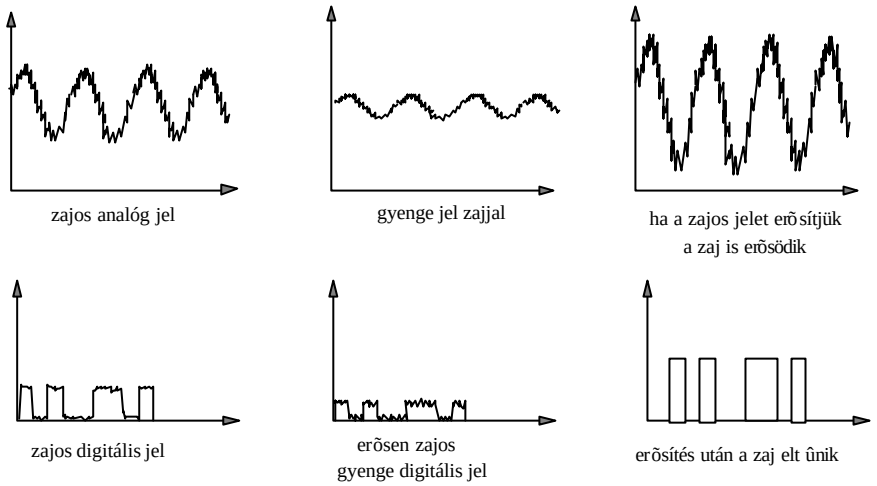
A digitális kommunikációs rendszer

A *digitális kommunikációs rendszer*eket két nagy csoportra oszthatjuk; a kis távolságú (pl. egy épületben levõ számítógépek közötti), valamint a nagy távolságú (telefon, kábel, vagy mûholdas) összeköttetésekre. Az elsõ esetben a digitális információt (különbözõ szintû impulzusokat) közvetlenül kábelen vezetjük az adóból a vevõbe, az utóbbiban a digitális információval modulált hordozót küldjük el.

A digitális rendszerek elõnyei

A digitális kommunikáció legnagyobb hátránya az, hogy nagy sávszélességet igényel. A mérnökök mégis megfizetik ezt az árat a rendszer egyéb elõnyei miatt.

A digitális rendszer legfõbb elõnye az, hogy figyelemre méltóan érzéketlen a zajokkal szemben. A nagy távolságú összeköttetéseknél ez a legfontosabb tényezõ. Különösen a mûholdas kommunikációban van ez így, melyben a rendelkezésre álló teljesítmény kicsi, s így a *jel/zaj* hányados értéke alacsony. A szemléltetés kedvéért az alábbi ábra bemutatja a zaj hatását mind az analóg, mind a digitális jelre.



A zaj hatása az analóg és a digitális jelre.

Az analóg jel esetében a rá került zaj nem választható le, hiába erõsítjük, a zaj is erõsödni fog, ami elõbb-utóbb meghamisítja a jel eredeti információtartalmát. A digitális jelek esetében, mikor is az információt csupán két, különbözõ jelszint hordozza, könnyû a jel közepén definiálni egy küszöbértéket, és visszaállítani az eredeti információtartalmat. A küszöbszint alatti érték 0, a fölötte levõ 1 lesz.

Másik elõnye a digitális kommunikációnak a (viszonylag) alacsony ára. A digitális áramköri elemek tömegtermeléssel sokkal olcsóbban állíthatók elõ, sokkal megbízhatóbbak és kompaktabbak, mint az analóg áramkörök.

Összefoglalás

A *sávszélesség*: BW=f_2-f_1 , ahol f_1 és f_2 a vágási frekvencia, ahol is a jelszint a maximális érték felére esik vissza.

A *csillapítás* a kimenõ és a bemenõ teljesítmény hányadosa.

Z*aj* minden olyan jel, ami nem része az információnak.

A *jel/zaj* viszonyszám a jel és a zaj teljesítményének a hányadosa.

A *noise figure* a kimeneten és a bemeneten mérhetõ *jel/zaj* hányadosa.

A hulám amplitúdójának (*AM*), vagy frekvenciájának (*FM*) az átvinni kívánt információnak megfelelõ változtatása a *moduláció*. Egy harmadik módszer az i*mpulzus amplitúdó moduláció* (*PAM*).

A *PAM* jelek digitalizálásával kapjuk az *impulzus-kód modulációt* (*PCM*).

Az *AM* és az *FM* oldalsávokat kelt. Az *SSB* technikában csak az egyik oldalsávot sugározzák.

A *frekvencia-* és az *idõosztásos multiplexelés* segítségével egy adatátviteli vonalon egyszerre több csatornán lehet kommunikálni.

A digitális technikában az alábbi modulációkat használják:

- *impulzus-kód moduláció (PCM)*
- *impulzus szélesség moduláció (PWM)*
- *impulzus pozíció moduláció (PPM)*

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. Mi a jel/zaj viszonyszám, és mi a jelentõsége?
2. Miért korlátozzák az adóállomások sávszélességét?
3. Miért kell az FM rádiónak a VHF sávban sugározni? Miért nem adhat pl. hosszúhullámon?
4. Melyek az SSB rendszer elõnyei?
5. Mi a multiplexelés, és milyen alternatívája van, ha létezik egyáltalán?
6. Mi az idõosztásos, és a frekvencia-multiplexelés?
7. Mekkora a megengedhetõ minimális mintavételi frekvencia, ha az információ a 300-3400Hz-es tartományba esik, s a vétel helyén tökéletesen akarjuk azt visszaállítani?
8. Mikor van szükség A/D konverterre?
9. Melyek a digitális kommunikáció elõnyei?

Válaszok

1. A *jel/zaj* viszonyszámot a tiszta jel és a tiszta zaj teljesítményének a hányadosa definiálja. Ez a definíció fontos kritériumot jelent a rendszert tervezõ mérnök számára, hogy megállapítsa, hogy a kommunikációs csatorna megbízható-e.

2. Az adóállomások sávszélességét azért korlátozzák, hogy egy idõben több adó is mûködhessen, egymás zavarása nélkül. Mindegyik adóállomást különbözõ vivõfrekvenciát használhat, s mivel a vevõk hangolhatók, egyszerre csak egy állomás hangját halljuk. A többi hullámot csillapítja.

3. Az FM rendszerek nagy sávszélességet követelnek, ezért a VHF sáv alatt nem használhatók.

4. Az SSB technika keskenyebb sávszélességet kíván, mint az AM, valamint sokkal hatékonyabban gazdálkodik a rendelkezésre álló energiával, mivel nem sugározza ki feleslegesen a vivõt és a másik oldalsávot.

5. A multiplexelés lehetõvé teszi, hogy egy idõben több csatornán kommunikáljunk, ugyanazon az összeköttetésen keresztül. A módszer alternatívája az, hogy minden csatornához külön kommunikációs összeköttetést létesítünk. Ez nagyon költséges és nem praktikus.

6. Az idõosztásos multiplexelés azt jelenti, hogy az elküldendõ analóg jeleket sorban egymás után mintavételezik, majd elküldik a vevõnek, ahol egy szinkronizáló áramkör segítségével a megfelelõ helyre továbbítják.

   A frekvencia-multiplexelés esetében mindegyik elküldendõ jelet különbözõ frekvenciasávhoz rendelik hozzá, melyeket összegezve küldenek el a vevõnek. A vevõ demodulálás után a jeleket a megfelelõ helyre juttatja.

7. A Nyquist kritériumnak megfelelõen, a megengedhetõ legkisebb mintavételi frekvencia a jelben levõ legmagasabb összetevõ duplája. Mivel esetünkben ez 3400 Hz, így a mintavételi frekvencia legalább 6800Hz kell, hogy legyen.

8. Analóg/digitál átalakítóra van szükség, mikor egy digitális eszköz (számítógép, digitális voltméter, ...) veszi a jeleket a külvilágból. Az A/D konverter idõrõl idõre (bizonyos sebességgel) átalakítja az adott analóg mennyiséget digitális értékké.

9. A a digitális kommunikáció elõnyei: magas fokú zajérzéketlenség, olcsó és kompakt hardware.

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.

sávszélesség	bandwidth
csillapítás	attenuation
deecibel (dB)	decibel
zaj	noise
jel/zaj viszonyszám	signal-to-noise ratio
moduláció	modulation
vivõ	carrier
amplitúdó moduláció	amplitude modulation (AM)
frekvencia moduláció	frequency modulation (FM)
féloldalsávos technika	single sideband (SSB)
frekvencia multiplexelés	frequency multiplexing
idõosztásos multiplexelés	time division multiplexing (TDM)
impulzus amplitúdó moduláció	pulse amplitude modulation (PAM)
impulzus-kód moduláció	pulse code modulation (PCM)
impulzus szélesség moduláció	pulse width modulation (PWM)
impulzus pozíció moduláció	pulse position modulation (PWM)

Jegyzetek