

Modulációk

Ebben a mérésben a három alapvető modulációs eljárással ismerkedünk meg. A mérés célja a korábban megismert jelalakoknak és egy gyakorlatban megvalósított áramkörnek a vizsgálata. A valósághoz hasonló körülményeket modellezve a zaj hatását is figyelembe vesszük. A méréshez mérőegységeket, egy zajgenerátort és egy számítógépet használunk fel.

A mérési jegyzőkönyvben szerepelniük kell a vizsgált jelalakoknak, a különböző jel/zaj viszonyhoz tartozó hibákat összefoglaló táblázatnak és a táblázat eredményeiből rajzolt grafikonnak.

Modulációk fajtái.

Egy szinuszos jelet egyértelműen meghatároz az amplitúdója, a frekvenciája, és (egy referenciához viszonyított) fázisa. Ezek bármelyikének megváltozása hordozhat hasznos információt. Attól függően, hogy ezek közül melyik paraméterét változtatjuk meg a jelnek, beszélhetünk amplitúdó-, frekvencia- vagy fázismodulációról. Ez a változás lehet folytonos vagy diszkrét. Folytonos változásra példa a mősorszóró rádiózás (AM - FM), amivel mi most nem foglalkozunk. Diszkrét modulációt is sok helyen alkalmaznak; például a Commodore és Spectrum típusú számítógépeknél magnóra történő adatrögzítéskor frekvenciamodulációt, műholdas távközlésben fázismodulációt, távirójelek átvitelénél amplitúdó-modulációt használtak.

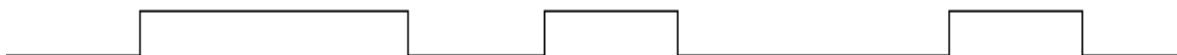
A diszkrét változás vizsgálatát is leszűkítjük a kétértékű (bináris) modulációra. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy két érték között "kapcsolgatunk", ezért ezt a módszert angol elnevezéssel shift keyingnek (szó szerinti fordításban : váltó billentyűzés) hívjuk.

Amplitúdó shift keying (ASK)

□

A két állapot minél jobb megkülönböztethetősége érdekében az egyik állapotban maximális, a másikban minimális (0) amplitúdót alkalmazunk.

Modulálójel:



Modulált jel:

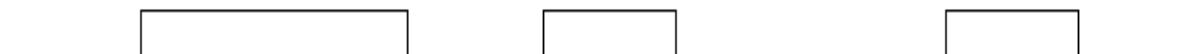


1 ábra

Fázis shift keying (PSK)

A két állapot akkor különböztethető meg a legjobban, ha egymáshoz képest 180° -os a fáziseltérés.

Modulálójel:



Modulált jel:



Referenciajel:

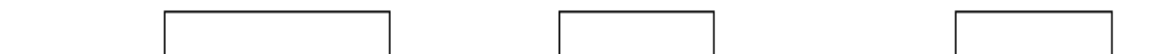


2 ábra

Frekvencia shift keying (FSK)

Két egymástól jól megkülönböztethető frekvenciát alkalmazunk. A frekvencia-eltérés folyamatosan változó fáziskülönbségnek is felfogható.

Modulálójel:



Modulált jel:



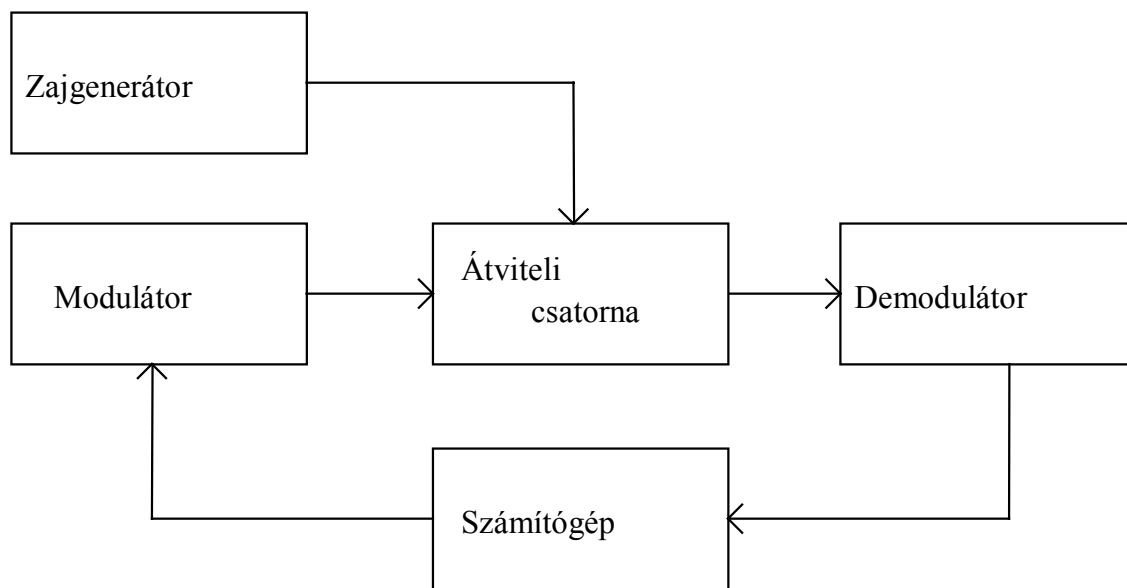
3 ábra

A mérési összeállítás elemei.

A mérés blokkvázlata.

Mindhárom modulációs eljárás mérése megegyezik abban, hogy a számítógép adja a jeleket, amivel modulálunk és a számítógép dolgozza fel a kapott jelsorozatot. Egy mérési ciklus meghatározott számú bit elküldéséből és vételéből áll. Egy ciklus befejezése után a vett biteket összehasonlítja a program az elküldöttekkel, kiértékeli az előfordult hibákat, kiírja a képernyőre az eredményt, majd automatikusan újraindul a következő ciklus. Dugaszolással lehet kiválasztani az éppen vizsgált eljárást. Az ASK és PSK esetén a demodulátor azonos, FSK esetén más típusú demodulátort kell használni. A modulátor és a demodulátor között elhelyezett áramkör modellezi az átviteli csatornát. Itt keveredik a hasznos jelhez a zaj, aminek szintjét be lehet állítani.

A blokkvázlat :

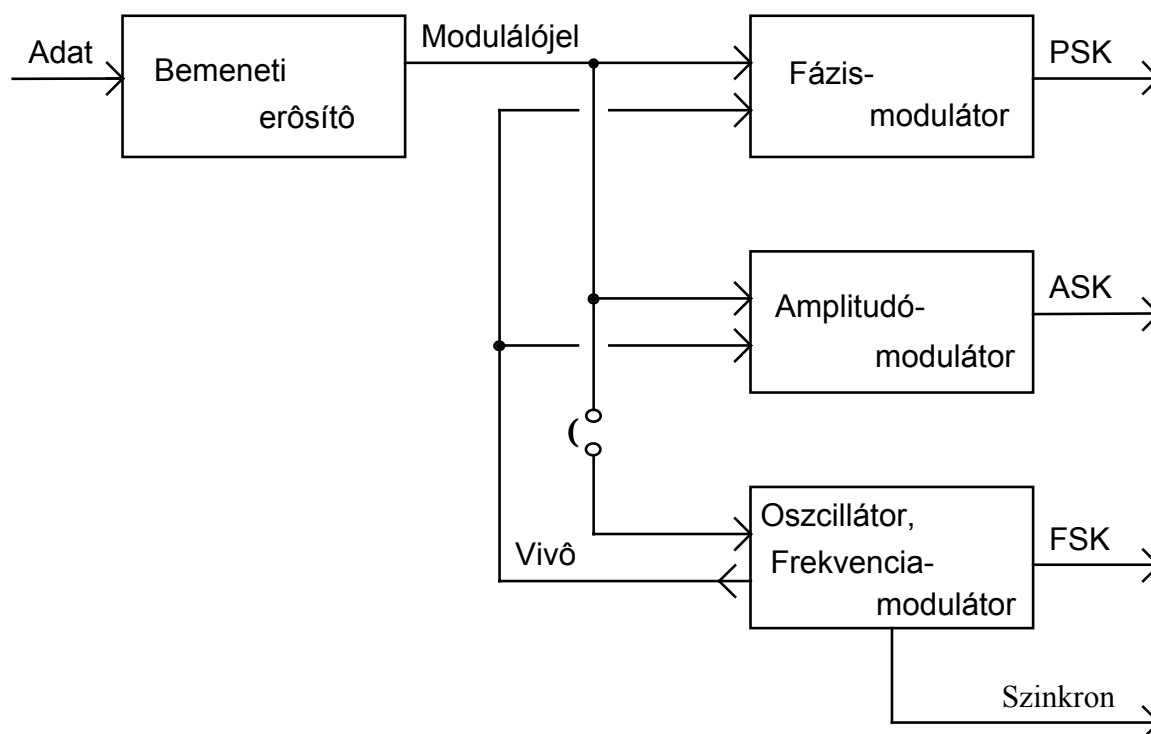


4 ábra

A modulátoregység.

A moduláló jelet a bemeneti erősítő fogadja, ami jelkondicionálást végez rajta. Az erősítő kimenetén meredek fel- és lefutású négyszögjelet kapunk, ami eljut az ASK és a PSK modulátorba és a megfelelő dugó elhelyezésével az FSK modulátorba is. Az erősítő kimenetén található egy aluláteresztő szűrő is, amit nem használunk. A modulátoregység tartalmaz egy szinuszos oszcillátort, ami a vivőt állítja elő. Van egy szinkron kimenete ("sync.") az ASK és PSK detektor részére. Mivel FSK esetén a vivő frekvenciája változik, ezért nem alkalmazható egyidőben mindhárom moduláció.

A modulátoregység blokkvázlata:



5 ábra

Az ASK és PSK demodulátor.

A dekódolást egy szorzó áramkört tartalmazó detektor végzi, ami egy referenciajelet igényel ("sync."). Ezt a jelet nekünk kell biztosítani a modulátorból. A gyakorlati megvalósításoknál a vett jelből kell előállítani, emiatt nem lehet 100%-os modulációt alkalmazni. A szorzó áramkör működése azon alapszik, hogy a referenciajellel azonos frekvenciájú jelet kiemeli az egyéb jel közül. (Ezt az elvet alkalmazzák a lock-in technikában).

A szorzó kimeneti jelének $\tau \gg \frac{1}{f_m}$ időre kiátlagolt értéke egy egyenszint lesz, ugyanis

$$\text{a referenciajel : } U_r \sin \omega_r t$$

$$\text{a modulált jel : } U_m \sin \omega_m t = U_m \sin [(\omega_r + \Delta\omega)t + \varphi]$$

$$U_{ki} = \frac{1}{\tau} U_r \cdot U_m \cdot \int_0^{\tau} \sin \omega_r t \sin [(\omega_r + \Delta\omega)t + \varphi] dt =$$

$$= \frac{1}{2} U_r U_m \cos \varphi \left[\frac{\sin \Delta\omega \tau}{\Delta\omega \tau} - \frac{\sin(2\omega_r + \Delta\omega)\tau}{(2\omega_r + \Delta\omega)\tau} \right] - \frac{1}{2} U_r U_m \sin \varphi \left[\frac{1 - \cos \Delta\omega \tau}{\Delta\omega \tau} - \frac{1 - \cos(2\omega_r + \Delta\omega)\tau}{(2\omega_r + \Delta\omega)\tau} \right] \approx$$

$$\approx \frac{1}{2} U_r U_m \cos \varphi \frac{\sin \Delta\omega \tau}{\Delta\omega \tau} - \frac{1}{2} U_r U_m \sin \varphi \frac{1 - \cos \Delta\omega \tau}{\Delta\omega \tau}$$

Ezt a közelítést akkor tehetjük meg, ha teljesül a $\Delta\omega \tau \ll 1$ feltétel.

Ha a modulált jel azonos frekvenciájú, mint a referenciajel ($\Delta\omega=0$), akkor egy egyenfeszültséget kapunk, aminek nagysága függ a modulált jel amplitúdójától (U_m) és a referenciához viszonyított fázisától ($\cos\varphi$). A referenciajelet tekinthetjük állandó amplitúdójúnak. Azonos fázis esetén maximális nagyságú ($\cos 0^\circ = 1$) jelet kapunk, ellenfázisú jel esetén ($\cos 180^\circ = -1$) azonos értékű, de ellentétes polaritású jelünk lesz.

Eltérő frekvenciájú vagy zaj jellegű bemeneti jelre 0 feszültséget ad az áramkör. A szorzó kimeneti jelét egy aluláteresztő szűrőn vezetjük át, ez végzi az integrálást. Egy hiszterézises komparátor dönti el a szűrő jele alapján, hogy 0 vagy 1 bit érkezett. A komparátornak van egy TTL szintű kimenete is a számítógép számára. A komparálási szint beállítása egy kompromisszum eredménye, ugyanis ASK esetén az amplitúdó értékének a felére kellene beállítani, míg PSK esetén 0 V-os szintre. A hiszterézisre a billenési bizonytalanság csökkentése érdekében van szükség.

Az FSK detektor.

A detektálást egy fázis-zárt-hurok (PLL) végzi melynek működési elve megtalálható az "Elektronika" jegyzetben ezért itt csak röviden áttekintjük :

- a feszültséggel vezérelhető oszcillátor (VCO) vezérlés nélkül f_0 frekvenciát ad,
- a fáziskomparátor (egy szorzó-áramkör) összehasonlítja a VCO jelét (f_2) a bemeneti jellel (f_1). A két jel egymáshoz viszonyított fázisától függ a fáziskomparátor kimeneti négy-szögjelének kitöltési tényezője, vagyis az egyenáramú átlagértéke.

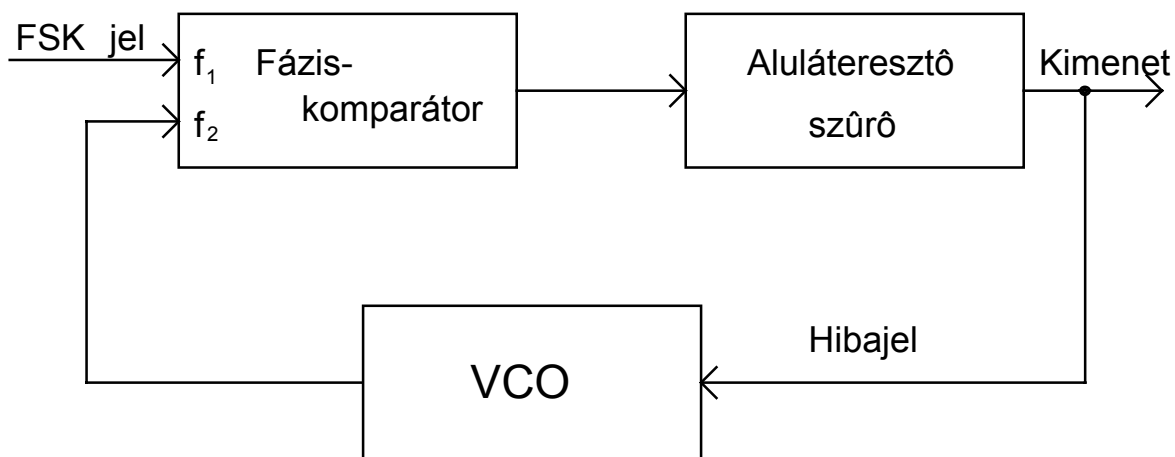
- egy aluláteresztő szűrő segítségével integráljuk ezt a négyszögjelet.

- az így kapott egyenfeszültséggel vezéreljük a VCO-t.

- ha a bemeneti jel frekvenciája és fázisa megegyezik az f_0 -al, akkor a szűrő kimeneti feszültsége = 0, egyébként a két jel fáziskülönbségével arányos előjeles érték.

- egyensúlyi állapotban a VCO frekvenciája megegyezik a bemeneti jel frekvenciájával és állandó értékű fáziskülönbség van közöttük. A szűrő kimeneti egyenfeszültsége állandó nagyságú.

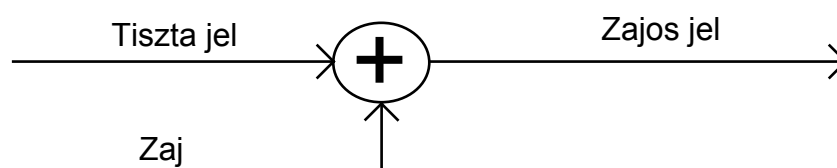
A PLL blokkvázlata :



6.ábra

A modellezett átviteli csatorna és a zajgenerátor.

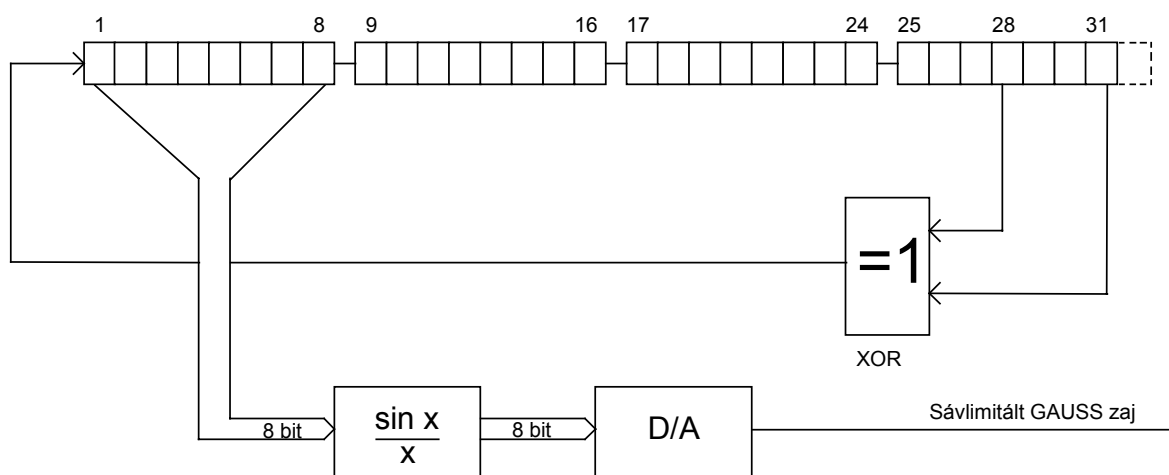
A valósághoz híven az adó és a vevő között történik "valami" a jellel. Az amplitúdó csökkenését nem vesszük figyelembe, azt ugyanis egyszerű kiegyenlíteni (magnöveljük az erősítést). A zajt viszont semmiképpen sem tudjuk elkerülni. A modell amit használunk a következőképpen néz ki:



7 ábra

A zajgenerátor sávlimitált Gauss zajt produkál. Ezt egy 31 bites shift-regiszter segítségével hozzuk létre úgy, hogy maximális hosszúságú jelsorozatot kapjunk. Ez azt jelenti, hogy egy állapot csak akkor fordul elő ismét, ha $2^{31} - 1$ állapoton átmegy a rendszer, vagyis $\approx 2.1474 \cdot 10^9$ lépésenként. A maximális hosszúságú jelsorozatot úgy állítjuk elő, hogy a 28. és a 31. helyértékről vett jelek XOR kapcsolatát vezetjük vissza az első helyértékre. Ebből az alsó 8 bitet használjuk fel egy digitál/analog konverter vezérléséhez. Ahhoz, hogy sávlimitált zajt kapjunk, $\sin x/x$ alakú függvénnyel súlyozottan konvertálunk.

A zajgenerátor blokkvázlata:



8 ábra

A keretprogram.

A számítógép bekapcsolásakor induló program segíti a mérési feladatok elvégzését. A program kezelése igen egyszerű:

-először a moduláció típusát kell megadni (a későbbiekben az "a" betű megnyomása után megváltoztatható):

1 : ASK

2 : PSK

3 : FSK

-ezután a mérési ciklusok hosszát kell meghatározni ("b" betűvel megváltoztathatjuk). A beírt számot 8-al osztható számra kerekíti.

-végül kiválasztjuk milyen bitmintával vizsgáljunk ("c" betűvel megváltoztathatjuk):

1 : véletlenszám generátorral előállított bitsorozattal

(azonos valószínűséggel lesznek 0 és 1 bitek),

2 : állandó 0 bitekkel,

3 : 1 0 1 0 1 0 1 0... bitekkel,

4 : állandó 1 bitekkel,

5 : 8 bites bináris alakban beadott kombinációval.

-az "r" betű leütésekor nullázódik a hibaátlag.

-a "v" betű hatására megméri az éppen aktuális jel- és zajszintet (mV-ban), kiszámítja a jel/zaj viszonyt (dB -ben) és kijelzi az értékeket. Ezt addig ismétli, amíg meg nem nyomunk egy másik billentyűt. A feszültség szinteket két A/D átalakító segítségével, az ismert definíció alapján határozza meg:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2 dt} \approx \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N U^2},$$

ahol U a mintavételi időkben felvett pillanatnyi érték,

N a mintavételek száma

A jel/zaj viszonyt a $20 \cdot \log \frac{U_{jel}}{U_{zaj}}$ [dB] képlet alapján számolja ki.

-a "t" betű leütése után folyamatosan 0 1 0 ... biteket küld a program, a hiba kiértékelése nélkül.

-az "s" betűvel be lehet fejezni a program futását .

A program induláskor automatikusan bekéri mind a három paramétert, és nullázza a hiba-átlagot. Futás közben a beállított paramétereket láthatjuk a képernyő felső részén, sárga színnel az aktuális, zöld színnel a lehetséges egyéb értéket. A képernyő alsó részén a program folyamatosan kiírja a mérési eredményeket, a kiküldött valahány bitből hány érkezett vissza helyesen és hány tévesen.

A képernyő alsó részén:

-a hibaarány mutatja a legutóbbi mérési ciklusban előfordult hibák százalékos arányát.

-a hibaátlag mutatja a program indítása (vagy az *r* betű legutóbbi megnyomása) óta összesen kiküldött és tévesen visszakapott bitek arányát százalékban.

-az utolsó 10-100 mérési ciklus hibaátlaga.

A program a mérési ciklus elején küld egy szinkron impulzust, amire szinkronizálni lehet az oszcilloszkópot. Minden egyes kiküldött bit után vár egy meghatározott ideig, utána beolvassa a detektor kimenetének állapotát és összehasonlítja az elküldött bittel. Miután az összes bitet elküldte és visszaolvasta, kiértékeli az előfordult hibák számát, majd a kapott eredményt a képernyőn megjeleníti. Ezután indul a következő ciklus.

A program indítása DOS-ból : a DN begépelésével behívja DOS Navigátort és a megjelenő menüben a mérés menüponttal indítja a mérést.

Egyéb tudnivalók.

A tápegység bekapcsolása után a mérési összeállítás nem biztos, hogy működőképes! Le kell ellenőrizni, hogy beindult-e a vivőfrekvenciás generátor. A "syn" feliratú ponton meg kell jelenni egy 100 kHz-es frekvenciatartományba eső jelnek. Ennek hiányában a tápegység ki- és bekapcsolásával el kell indítani a rezgést.

Az oszcilloszkóp számára kiadott szinkronjel a BNC típusú csatlakozóval ellátott koaxiális kábelon jelenik meg. A kiadott jelsorozat a zöld színű vékony vezetéken jut el a modulátorig. A vastag, sötét színű vezetéken fogadja a számítógép a detektált jelet. Ügyeljünk arra, hogy a számítógép bemenete csak TTL szintű jeleket képes feldolgozni, ennél nagyobb (pl. a komparátor kimenetén megjelenő kb. 10 V-os amplitúdójú) jel tönkre teszi!

+5 V-os tápfeszültséget csak a zajgenerátor használ, ±12 V-ot mindegyik mérőegység.