



KANDÓ KÁLMÁN
VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

Braun Ferenc – Eperjesi Gyula – Konkoly Dóra

Híradástechnika – digitális adatátvitel

ÓE-KVK 2134

Budapest, 2015

Tartalom

Előszó.....	4
1. Kétpólusok, kétpóluspárok vizsgálata	5
1.1 Rezgőkvarc	5
1.2 Kerámia szűrő	8
1.3 Kétpólusok átviteli karakterisztikájának vizsgálata	9
1.3.1 Vizsgálat SWEEP generátorral	9
1.3.2 Mérés hagyományos analóg oszcilloszkóppal	10
1.3.3 Vizsgálat digitális oszcilloszkóppal.....	12
2. Feladatok	15
2.1 Kerámia szűrő karakterisztikájának felvétele.....	15
2.2 Rezgőkristály karakterisztikájának felvétele	15
2.3 Kétpólusok vizsgálata	16
3. Modulációk.....	18
3.1 Elméleti alapok	18
3.1.1 Amplitúdómoduláció.....	19
3.1.2 Szögmodulációk.....	23
3.2 Modulációs mélység mérés XY üzemmódban.....	26
3.3 Modulációs meredekség.....	26
3.4 FM jel vizsgálata.....	27
3.5 FM modulátor meredekség vizsgálat.....	30
4. Feladatok	31
4.1 AM.....	32
4.2 FM	33
4.3 Ellenőrző kérdések	33
5. Optikai kommunikáció	34
5.1 Háromszög hullámforma generátor.....	35

5.2 Mintavevő és tartó (S/H)	36
5.3 A/D átalakító	37
5.3.1 Párhuzamos összehasonlító A/D átalakító	37
5.3.2 Kettős integráló A/D átalakító	39
5.3.3 Fokozatosan közelítő elvű (SAR) A/D átalakító	40
5.4 D/A átalakító	41
5.5 Szűrő áramkörök.....	43
6. Feladatok.....	45
6.1 Elektromos-optikai (E/O) átalakító frekvenciajellemzői	45
6.2 Komparátor vizsgálata	48
6.3 A/D átalakítás.....	51
6.4 PCM kommunikáció háromszög hullámforma generátorral.....	53
6.5 RS-232C jelszintjeinek vizsgálata	55

Előszó

Kedves Olvasó!

A híradástechnika jelek feldolgozásával, tárolásával és azok továbbításával foglalkozó tudományág. Ezek a jelek természetesen valamilyen formában információt hordoznak.

Ebben a jegyzetben az analóg és digitális elektromos jelek átvitelének alapjait vizsgáljuk gyakorlatias formában.

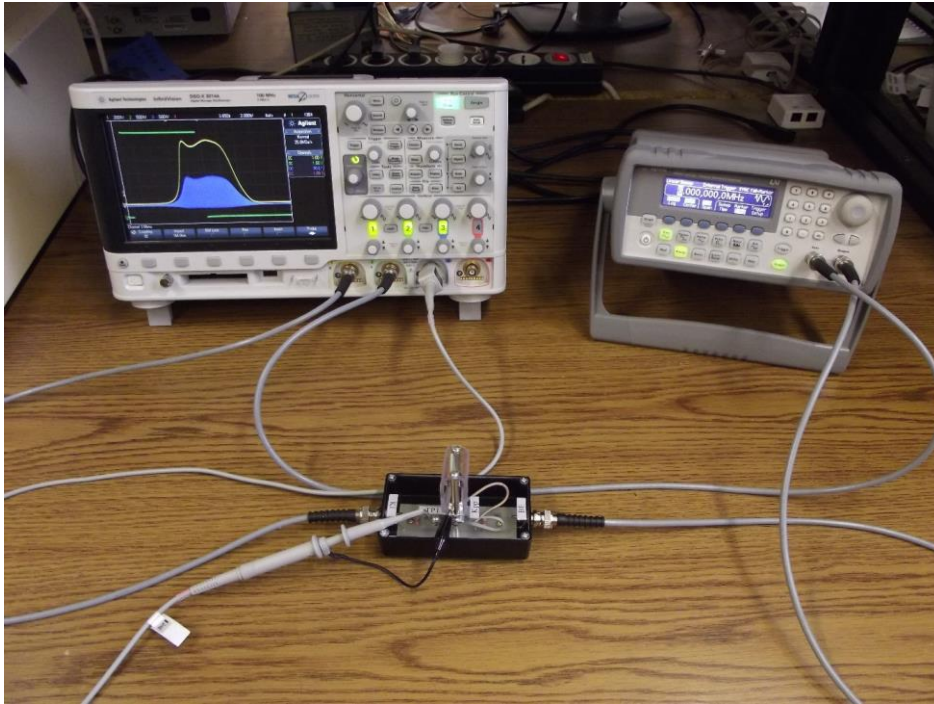
A jegyzetünk három fő témakört tárgyal:

- A jelátviteli rendszerekben használt tipikus kétpóluspárok;
- Modulációs technikák;
- Analóg jelek digitalizálása, majd ezek továbbítása optikai átvittel.

A tanulószó eredményes és kitartó munkát kívánunk!

Szerzők

1. Kétpólusok, kétpóluspárok vizsgálata



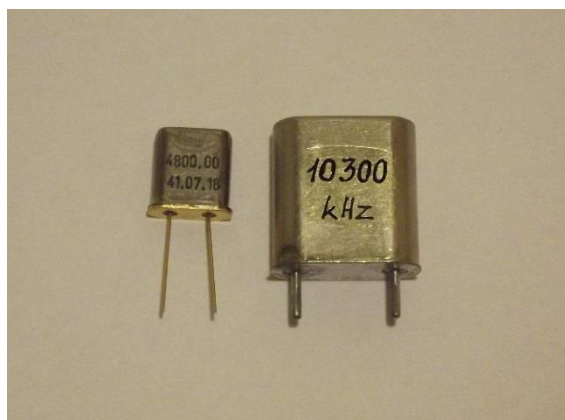
Elméleti alapok

A kerámia szűrőket, kvarcszűrőket, elektromechanikus szűrőket ma igen elterjedten használják a telekommunikációban, híradástechnikában. Alapvetően az igen nehézkesen gyártható, beállítható és kevésbé időt álló LC körök kiváltására fejlesztették ki őket.

1.1 Rezgőkvarc

A rezgőkvarcok (1.1-1. ábra) a piezoelektromos jelenség alapján működnek. Bizonyos anyagokban mechanikai deformáció hatására töltésszétválasztás jön létre, illetve elektromos erőterbe helyezve bizonyos mechanikai méretei megváltoznak. Mivel a kristálystruktúra következtében az atomok, illetve molekulák szabályos sorrendben helyezkednek el a kristálylapkában, egy adott frekvencián mechanikai rezonancia lép fel, amely természetesen visszahat a gerjesztő elektromos erőterre is. Többféle anyag mutat piezoelektromos

tulajdonságot, ezek közül áramköri alkalmazás területén kiemelkedik a kvarc (SiO_2). Főként oszcillátorokban és sávszűrőkben alkalmazzák.



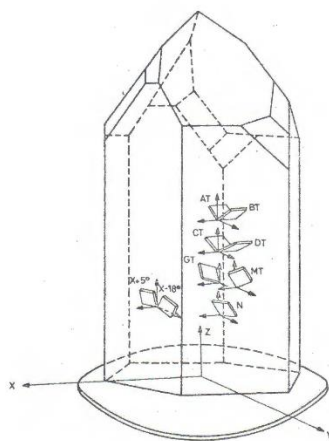
1.1-1. ábra

A kvarc természetben előforduló és mesterségesen előállított kristályai hexagonális hasáb formájában kristályosodik, amit mindkét végén egy-egy hatoldalú gúla zár le. E kristályokon kitüntetett irányok találhatóak, amelyek egy térbeni koordináta rendszert alkotnak. A hasáb hossz tengelye a hasáb „optikai” tengelye (z), erre merőlegesek a hasáb szemből látva lévő élén átmenő „villamos” tengelyek (x), s mindkettőre merőlegesek a hasáb szemből látva lévő oldallapjainak felezőjén átmenő „mechanikai” tengelyek (y), Az x és y tengelyekből 3-3db egyenértékű.

Az x és y tengely elnevezését onnan kapta, hogy a piezoelektromos hatás e tengelyek irányában ható erőre jelentkezik a legintenzívebben. Illetve e tengelyek mentén lép fel a legnagyobb mechanikai deformáció és akkor, ha az x tengellyel párhuzamos villamos erőterbe rakjuk.

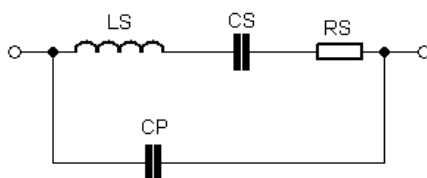
Ha az elektródákkal ellátott kristályra váltakozó feszültséget kapcsolunk, akkor ennek hatására kis amplitúdójú mechanikai rezgések keletkeznek. Ha a kristálydarabnak eltaláljuk a rezonancia frekvenciáját, akkor az amplitúdó megnövekszik. Számos rezonanciája lehet melyeken a fellépő amplitúdók nagymértékben különbözhetnek. A kristálygyártás feladata egy meghatározott rezonancia kiemelése és a többi elnyomása a lehető legnagyobb mértékben.

Egy kondenzátor két fegyverzete közé helyezett kristálmetszet aszerint végez vastagsági, vagy a felületeivel párhuzamos nyíró irányú rezgést, hogy milyen szögben történt a lapka metszése. Ennek megfelelően többféle metszetről beszélhetünk, amelyek egymástól eltérő tulajdonságokat mutatnak. (1.1-2. ábra)



1.1-2. ábra

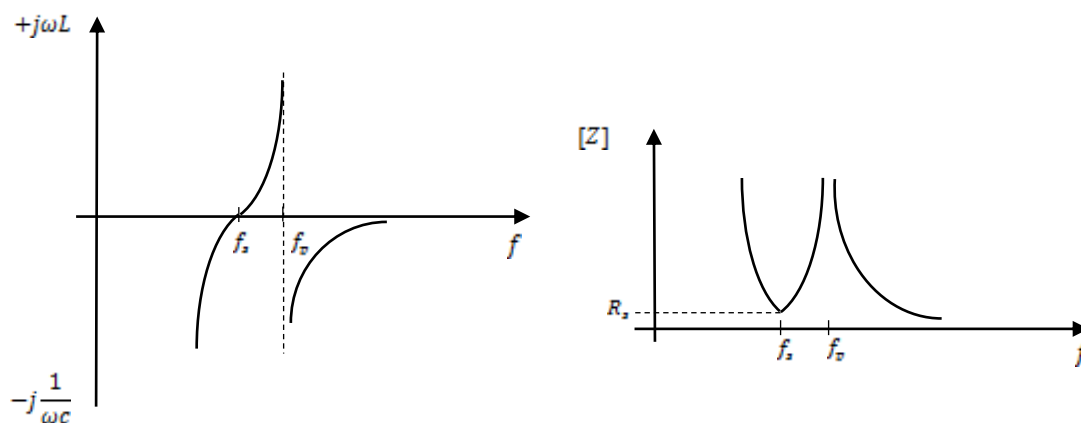
A kételektródás kvarckristály egy, az 1.1-3. ábrán látható elektromos helyettesítő kapcsolással jellemezhető.



1.1-3. ábra

Mint az ábrán is látható, a kvarckristály elsősorban egy soros rezgőkört képez, amely az L_s és C_s reaktív elemekből, valamint az ugyancsak soros R_s veszteségi ellenállásból jön létre. A C_s soros kapacitás nagymértékben független a méretektől és a kristálmetszettől. Nagyságrendileg 10^{-2} pF. Ezáltal az L_s soros induktivitás igen nagy értéket ér el, különösen alacsonyabb frekvenciákon. Ezen soros rezgőkörrel kapcsolódik párhuzamosan a C_p kapacitás ami a foglalat és a fegyverzetek kapacitása. Nagyságrendileg néhány pF. A soros rezgőkör jósági tényezője igen nagy, 10^4 - 10^6 közötti értékek a szokásosak. Ezen elektromos kapcsolásból adódóan a kvarckristálynak két rezonancia frekvenciája van, egy

soros (f_s) és egy párhuzamos (f_p), a kettő közül mindig a soros az alacsonyabb frekvenciájú.

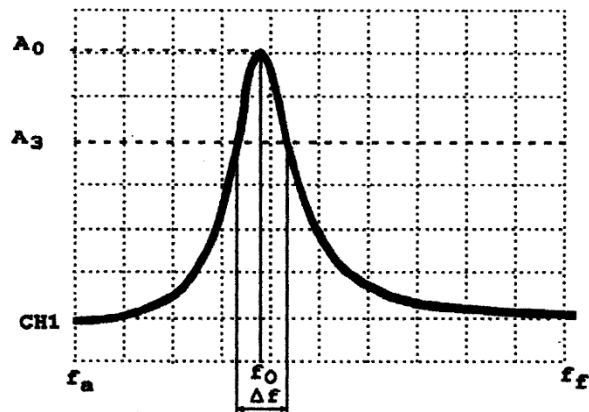


1.1-4. ábra

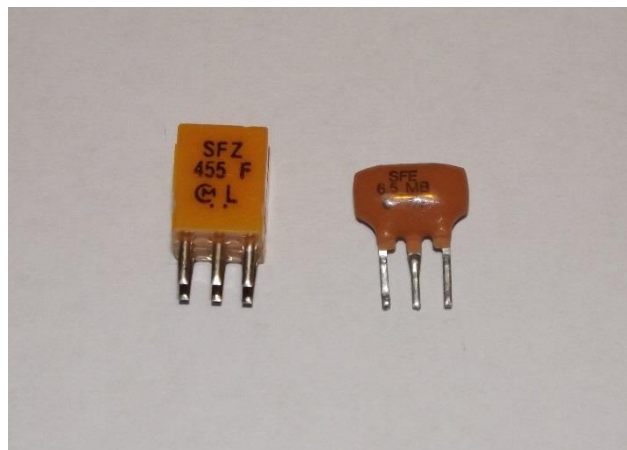
A kristály reaktanciájának és impedanciájának változása látható az 1.1-4. ábrán. Szembetűnő tulajdonsága a kvarcoknak, hogy a párhuzamos rezonanciafrekvenciák igen közel esnek egymáshoz. A legtöbb esetben csak néhány ezrelék, pár száz Hz az eltérés. E tény és az igen nagy jósági tényező azt eredményezi, hogy a tényleges impedancia rezonanciagörbéje igen meredek a rezonanciafrekvencia közelében. A két rezonancia közül mindig a sorost kell elsődlegesnek tekinteni, hiszen azt a lapka geometriai méretei határozzák meg és ennek értéke a stabilabb.

1.2 Kerámia szűrő

Működése szintén a¹ piezoelektromos és a mechanikai rezonancia elvén alapul, mint a rezgőkvarcé. Anyaga valamilyen piezoelektromos hatást mutató kerámia. Egyszerű kis jósági tényezőjű szűrő, fix rezonancia frekvenciával. Átviteli sávját anyaga, geometriai méretei, gyártástechnológiája együttesen határozza meg. Általában az elterjedtebb KF frekvenciákra gyártják. Egy szűrő karakterisztika látható az 1.2-1. ábrán. Az 1.2-2. ábrán egy 455 KHz-es AM rádió KF szűrője és egy TV 6,5 MHz-es hang KF szűrője látható.



1.2-1. ábra



1.2-2. ábra

1.3 Kétpólusok átviteli karakterisztikájának vizsgálata

Az átviteli karakterisztikák jól jellemzik az áramkörök frekvenciatartománybeli viselkedését. A következőkben ezeket tekintjük át.

1.3.1 Vizsgálat SWEEP generátorral

A kétpólusok, kétpóluspárok hagyományos vizsgálati módszere a pontonkénti mérés. Ez lassú és sok mérési pont felvételével jár. E hátrány kiküszöbölésére alkalmas a vobulátoros mérés, melynél közvetlenül megkapjuk az átviteli karakterisztikát.

SWEEP generátornak (vobulátor) nevezzük azokat a generátorokat, amelynek a kimeneti jel frekvenciája egy határon belül automatikusan és periodikusan változtatható. Lényegében a kimeneti jel frekvencia-modulálható. A frekvenciaváltozást létrehozó jel, - sweep jel - általában szinusz, háromszög vagy fűrész jelforma. A modern generátoroknál utóbbi az elterjedt. Ez a jel többnyire ki van vezetve egyéb célokra a generátorból. A legtöbb nagyobb tudású függvénygenerátor rendelkezik sweep funkcióval.

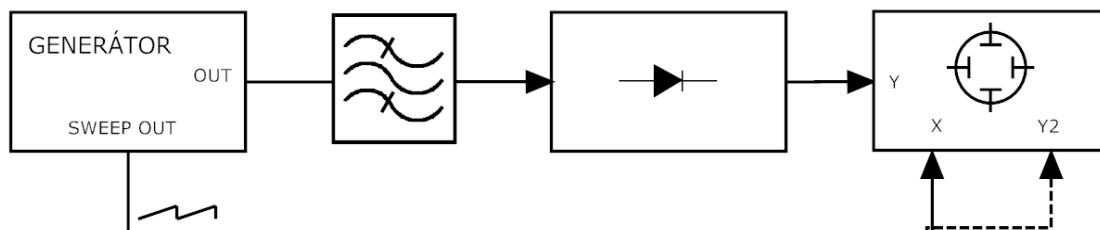
A vizsgálat során a mérendő objektumot a generátor kimenete és egy burkolódetektoron át egy oszcilloszkópra kapcsoljuk. Az áramkör kimenetén a pillanatnyi frekvenciának megfelelő csillapítással arányos kimeneti jel lesz mérhető. Így az oszcilloszkópon kirajzolható az átviteli karakterisztika. A burkolódetektor a mérési összeállításból elhagyható.

A vobulátoros módszernél problémát okoz a keletkező felharmonikus tartalom, mely követő generátoros méréssel mérsékelhető. Ezen kívül a letapogatási (sweep) frekvencia növelésével az energiatároló elemek feltöltése és kisütése miatt, a karakterisztika torzul. Ugyanakkor a sweep frekvencia csökkentését a hagyományos analóg oszcilloszkópos megjelenítés behatárolja (20 ms). Digitális tárolós oszcilloszkóppal és kellően lassú sweep jellel a probléma minimalizálható.

1.3.2 Mérés hagyományos analóg oszcilloszkóppal

A mérési elrendezés az 1.3.2-1. ábrán látható. A generátor kimeneti jelét a mérendő áramkörön és a burkolódetektoron át az oszcilloszkóp Y bemenetére, a sweep jelet pedig az oszcilloszkóp X bemenetére kapcsoljuk. Előbbi a csillapítással, utóbbi a frekvenciaváltozással arányos eltérítő jelünk lesz. A sweep jel periódusidejét legalább 20 ms-ra célszerű beállítani. Ennél nagyobbánál egyre zavaróbb az elektronsugár átvonulása okozta villogás, ami megnehezíti a pontos leolvasást. A vízszintes eltérítés erősítését úgy állítjuk be, hogy a kapott fényvonal végei a raszter háló széleinél legyen. Így a start frekvencia a képernyő egyik szélén, a stop frekvencia a másik szélén lesz, és a raszter háló osztásaiból

arányossággal kiszámolható az adott csillapítási ponthoz tartozó frekvencia. Egy analóg oszcilloszkóppal összeállított mérési elrendezés látható az 1.3.2-2. ábrán, és egy kerámia szűrő átviteli karakterisztikája burkolódetektorral és detektor nélkül az 1.3.2-3. ábrán.



1.3.2-1. ábra



1.3.2-2. ábra

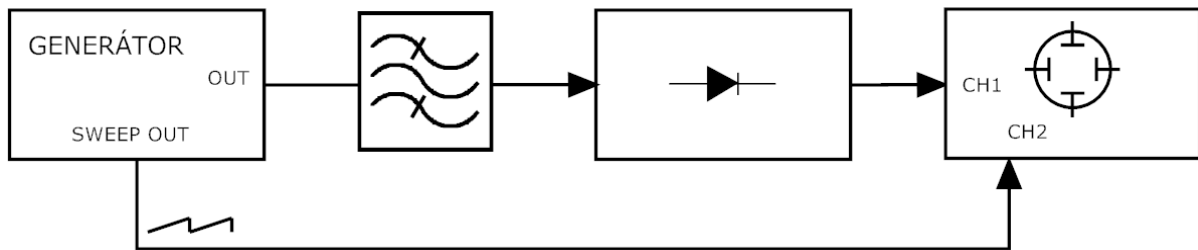


1.3.2-3. ábra

A mérés úgy is elvégezhető, ha az oszcilloszkóp indított üzemmódban van. Ekkor a sweep jelet az oszcilloszkóp másik Y bemenetére kötjük. Az időalapot hiteles állásból kivéve, a kapott ábrát széthúzzuk úgy, hogy a két szélső raszter vonal között a sweep jel egy periódusa legyen látható. (1.3.2-3. ábra)

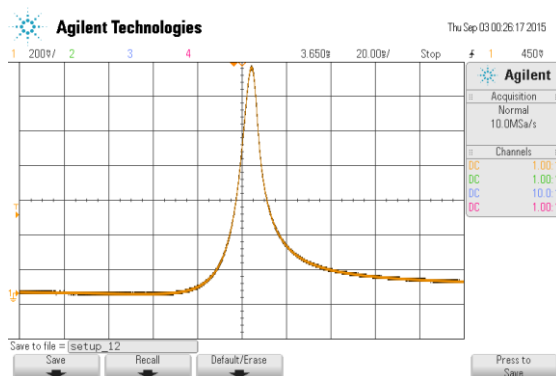
1.3.3 Vizsgálat digitális oszcilloszkóppal

A mérési elrendezés az 1.3.3-1. ábrán látható. Itt van lehetőségünk a sweep jel periódusidejének további lassítására. Ellentétben az analóg oszcilloszkópokkal a legtöbb készüléknél az x és y erősítők érzékenységét csak diszkrét léptékekben állíthatjuk, illetve az időalapot is csak így tudjuk beállítani. Az értékek meghatározásához célszerű a kurzorokat használni. Azonban arra tekintettel kell lenni, hogy az időtengelyhez tartozó értékek csak mint mértékegység nélküli arányszámok használhatóak, hiszen ezek a sweep jellel állnak összefüggésben.

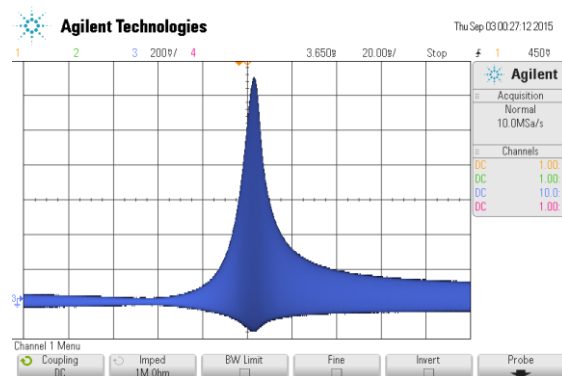


1.3.3-1. ábra

Egy rezgőkvarc átviteli karakterisztikája látható az 1.3.3-2. a. ábrán, és burkolódetektor nélkül az 1.3.3-2. b. ábrán.



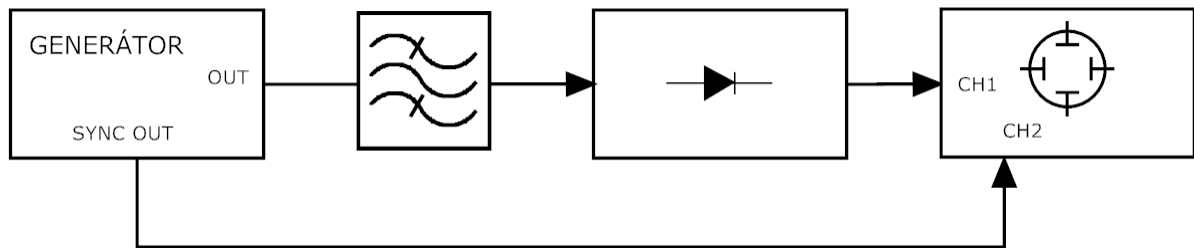
a.



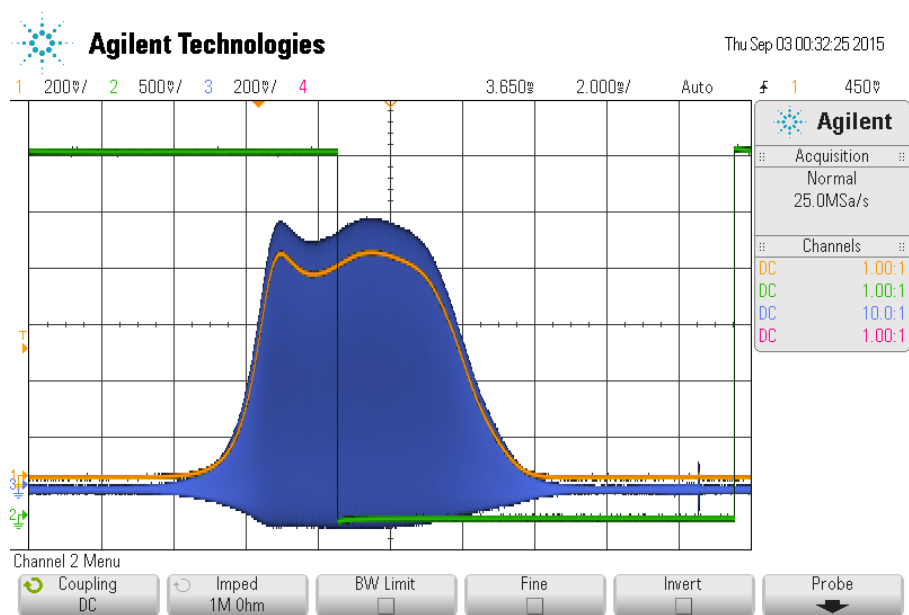
b.

1.3.3-2. ábra

Egyes generátorokon nincs sweep kimenet. Ilyen az ebben a mérésben is használt Agilent 3320 Function / Arbitrary Waveform Generator is. Ugyanakkor ennél a típusnál megtalálható egy marker opció. Ha ezt bekapcsoljuk, akkor a Sync kimeneten megjelenő négyszögjel felfutó élénél lesz a start frekvencia és a kijelzőn megjelenített frekvenciaértéknek megfeleltethető a lefutó él. Célszerűen az oszcilloszkópot úgy kell beállítani, hogy a triggerforrás az a csatorna legyen, amire rákötöttük ezt a jelet, a triggerelés felfutó élre történjen. Így igen kényelmesen leolvasható az oszcilloszkópról az adott amplitúdóhoz tartozó frekvencia. (1.3.3-3. és 1.3.3-4. ábra)



1.3.3-3. ábra



1.3.3-4. ábra

2. Feladatok

2.1 Kerámia szűrő karakterisztikájának felvétele

a, Állítsa össze az 1.3.3-3. ábrán látható mérési elrendezést. A mérőpanelhoz a kerámia rezonátor legyen csatlakoztatva.

b, Állítsa be a generátort az alábbi adatoknak megfelelően:

Kimeneti hullámforma: szinusz

Kimeneti amplitúdó: $2 V_{pp}$

Üzem mód: SWEEP

SWEEP idő: 20 ms

Start és stop frekvencia: 440 kHz és 470 kHz vagy 5 MHz és 6 MHz, vagy 6 és 7 MHz. (A mérőpanelon lévő rezonátortól függően. A rezonátorok típuszáma utal az alkalmazandó értékre.)

c, Állítsa be úgy az oszcilloszkópot, hogy az ábra kiértékelhető legyen.

d, Vegye fel a szűrő karakterisztikáját és határozza meg az alsó és felső határfrekvenciát, a sávközépi frekvenciát, a sávszélességét és a jóságát.

2.2 Rezgőkristály karakterisztikájának felvétele

a, Cserélje ki a mérendő áramkört a rezgőkristály egységére.

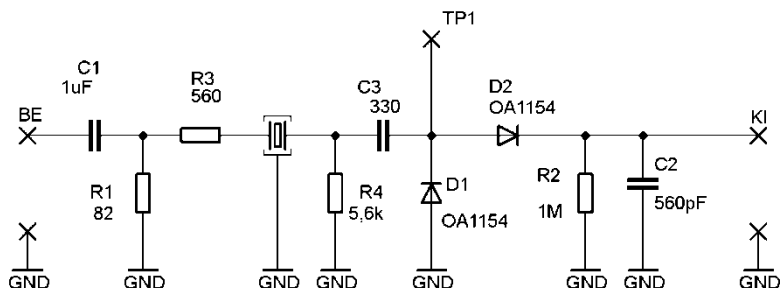
b, A generátort és az oszcilloszkópot állítsa be úgy, hogy látható legyen a kristály frekvencia átvitele. (A méréshez mellékelt kristályok rezonanciafrekvenciái 1 és 10 MHz között vannak.)

- c, Vegye fel a szűrő karakterisztikáját. Határozza meg az f_s és f_p frekvenciákat. (Ha nem látja megfelelően az f_s frekvenciát, akkor használja a TP1 mérőpontot mérőfejjel.)
- d, Növelje a sweep időt öt másodpercre és adjon magyarázatot a két karakterisztika közötti eltérésre.
- e, Vegye fel a szűrő karakterisztikáját és határozza meg az f_s és f_p frekvenciákat, az alsó és felső határfrekvenciát, a sávközépi frekvenciát, a sávszélességét és a jóságát.

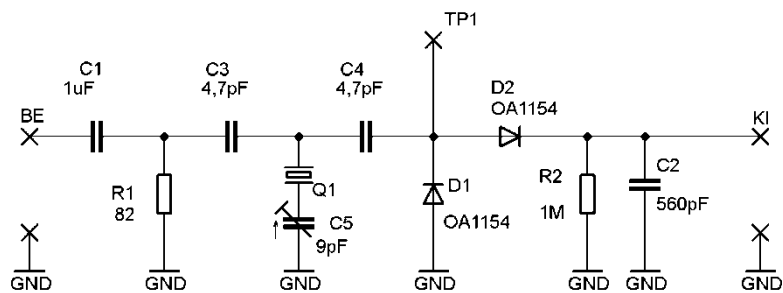
2.3 Kétpólusok vizsgálata

A mérendő áramkörök kapcsolása a 2.3-1. és 2.3-2. ábrán látható. Két fizikailag elkülönülő részegységből épülnek fel melyek között egy DSUB 9-es csatlakozópár teremt kapcsolatot. Az alsó polikarbonáttal fedett alumínium dobozban helyezkedik el a bemeneti impedancia illesztő áramkör (C1, R1) és a burkolódetektor (D1, D2, R2, C2). A burkolódetektor feszültségkészszerző kapcsolásban működik. A D1, D2 diódák germániumtűs diódák, melyek sokkal jobban használhatóak kis szintű jelek detektálására, mint a közönséges szilícium alapú diódák. A TP1 ponton lehet hozzáférni közvetlenül a kétpólusok kimeneti jeléhez.

A mellékelt bedugható modulokon helyezkednek el a mérendő kétpólusok.



2.3-1. ábra



2.3-2. ábra

Készítsen olyan kézzel írott jegyzőkönyvet, ami tartalmazza a mérés menetének leírását, és aminek segítségével a mérési eredmények reprodukálhatóak!

3. Modulációk

Moduláción általánosan egy jel (a vivő) valamely jellemzőjének változtatását értjük egy másik jel (a moduláló jel) függvényében.

A moduláció célja lehet:

- a jel illesztése az átviteli közeg jellemzőihez (alapsávon pl. a hangterjedési jellemzői kedvezőtlenek és a vételi körzetben azok is hallanak, akik nem akarják)
- a spektrum felosztása több átviteli csatornára, több jel egyidejű továbbítására (frekvencianyalábolás)
- kényelmes méretű és hatékony antennák használata (az autóriasztó távkapcsolója vagy a mobiltelefon elképzelhetetlen több méteres antennával)
- az eszközök korlátainak leküzdése (pl. a szűrők bonyolultsága függ a frekvenciasáv felső és alsó határának arányától)
- zaj és interferencia elnyomás (a sáv szélesség növelése árán javítható a jel/zaj viszony)

3.1 Elméleti alapok

Az amplitúdómodulált (AM), a frekvenciamodulált (FM) és a fázismodulált (PM) jelek matematikailag jól leírhatók. A leírást adó függvények az időtartományban és a frekvenciatartományban is egyértelműen jellemzik a modulált jeleket. A leíró függvények segítségével megadhatók időtartományban az összetett rezgések (időfüggvények) és a frekvenciatartományban az egyes, a frekvenciában különböző komponensek is (frekvenciaspektrum).

A modulált jelek időfüggvényének és frekvenciaspektrumának ismerete azért fontos, mert sok esetben az egyikkel, sok esetben a másikkal egyszerűbb a probléma megoldása.

A méréstechnikai eszközök általában vagy az időtartományban, vagy a frekvenciatartományban adnak lehetőséget mérések végzésére.

Az időfüggvények közvetlen megismerésére, és manuális kiértékelésre az oszcilloszkóp ad lehetőséget. Mintavételezéssel és számítástechnikai módszerekkel automatikus analízis is végezhető.

A frekvenciaspektrumok spektrumanalizátorokkal egyrészt láthatóvá tehetők (képernyős ábrázolás), másrészt szintén manuális vagy gépi számítással kiértékelhetők. Ezen utóbbi módszerek legkezdetlegesebb formája a keskenysávú mérőevővel való pontonkénti mérés.

Az AM, az FM és a PM jelek matematikai leírásának ismeretében egy-egy vizsgálandó modulált jelről egyértelműen megállapíthatóak annak műszaki paraméterei.

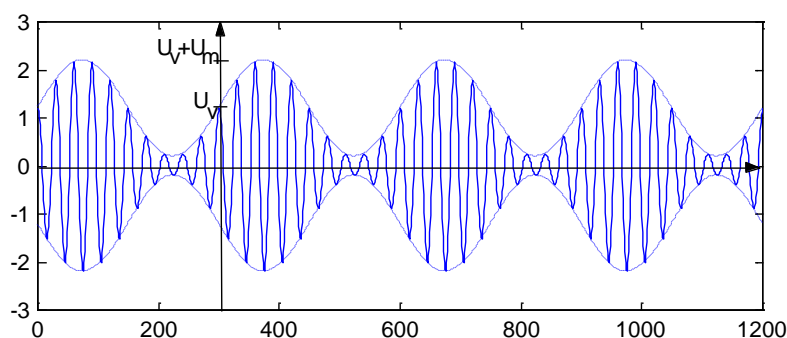
3.1.1 Amplitúdómoduláció

Amint az elnevezés is mutatja, ezeknél az eljárásoknál az amplitúdó hordozza az információt.

Az AM-DSB Matematikai leírása:

$$f_{AM}(t) = U_v \left[\cos \omega_v t + \frac{m_{AM}}{2} \cos (\omega_v + \omega_m) t + \frac{m_{AM}}{2} \cos (\omega_v - \omega_m) t \right],$$

ahol $m_{AM} = \frac{U_m}{U_v}$ a modulációs tényező; U_v a vivő amplitúdó; U_m a moduláló jel amplitúdó; ω_v a vivő körfrekvenciája; ω_m a moduláló jel körfrekvenciája.



3.1.1-1. ábra Amplitúdómodulált jel időfüggvénye (a szaggatott vonal a burkolót jelöli)

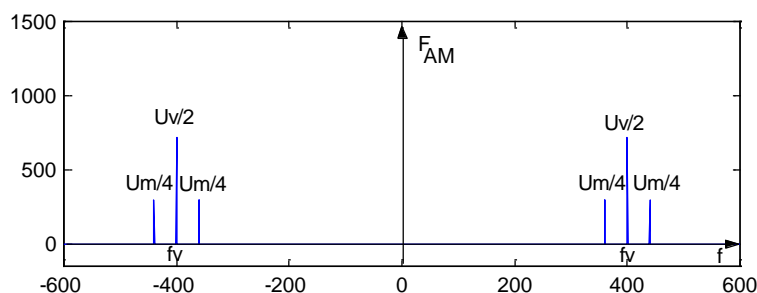
Az AM/DSB jel sávszélessége (B): a moduláló jel maximális frekvenciájának a kétszerese.

A moduláló jel változtatja a vivő amplitúdóját. A modulációs tényező, vagy modulációs mélység határozza meg, hogy a moduláló jel adott amplitúdójához a vivő pillanatnyi amplitúdójának mekkora változása tartozik.

A modulációs mélység:

$m_{AM} = \frac{U_m}{U_v}$. Ha a modulációs mélység 100%, a vivőjel amplitúdója szélső esetben

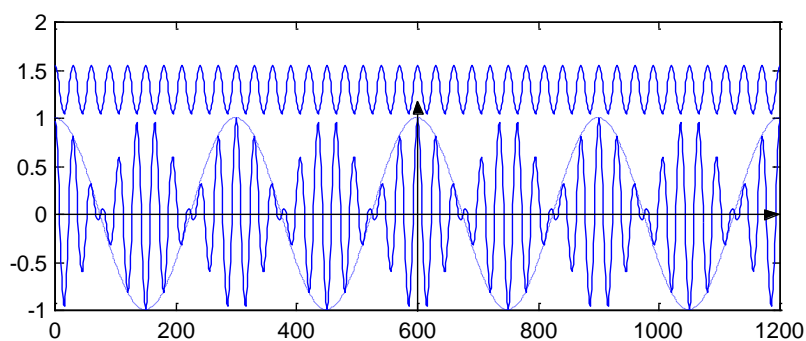
nullára csökken. Ha a modulációs mélység ennél kisebb, a modulált jel burkoló görbéje a moduláló jellel egyezik meg, burkoló demodulátorral visszanyerhető.



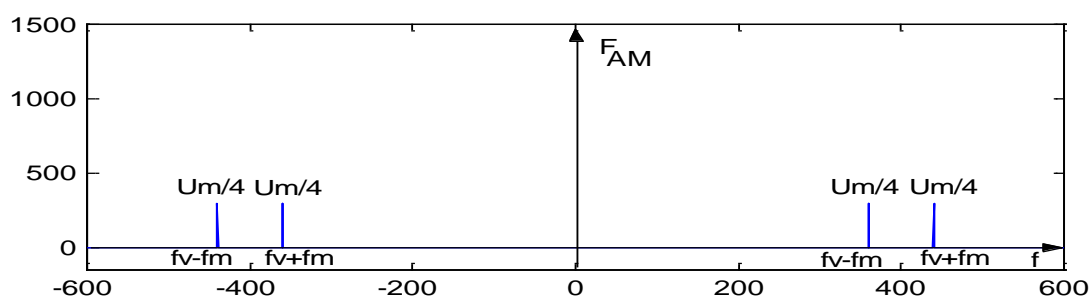
3.1.1-2. ábra AM-DSB jel spektruma szinuszos moduláló jel esetén

Ha $U_m > U_v$, a vivő pillanatnyi amplitúdóját meghatározó szorzótényező negatív, a vivő ilyenkor 180°-os fázisváltást végez. Ekkor a burkoló görbe nem egyezik meg a moduláló jellel.

Az elnyomott vivőjű amplitúdómoduláció (AM-DSB/SC) időfüggvényét mutatja szinuszos moduláló jel esetén a 3.1.1-3. ábra. Az ábra felső részén a vivőjel fázisa látható. A szaggatott vonal a moduláló jelet mutatja, amely nem egyezik meg a burkolóval.

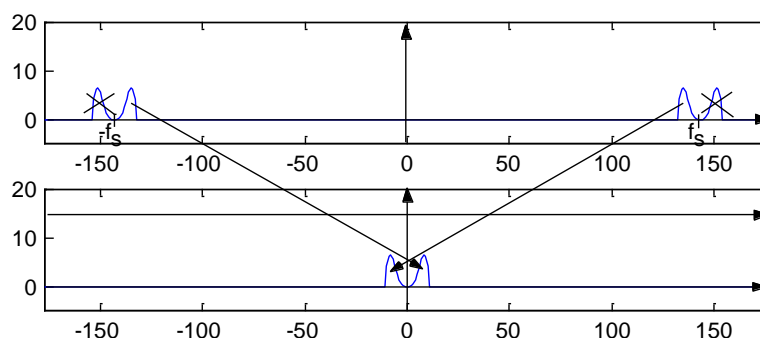


3.1.1-3. ábra AM-DSB/SC jel időfüggvénye



3.1.1-4. ábra AM-DSB/SC jel spektruma szinuszos moduláló jel esetén

A modulált jel két oldalsávja redundáns, az egyik oldalsáv a másik komplex konjugáltja. Ha szűrővel eltávolítjuk az egyik (alsó vagy felső) oldalsávot, csökken a modulált jel sáv szélessége (AM-SSB).

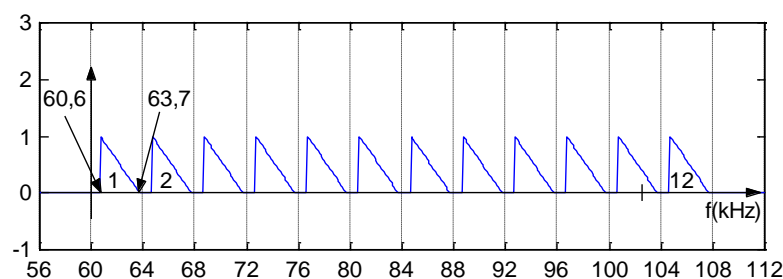


3.1.1-5. ábra AM-SSB jel spektruma és az oldalsávok kialakulása demoduláláskor

További amplitúdómodulációs eljárások:

- a redundáns oldalsáv helyén másik jelet is továbbíthatunk, így független oldalsávok alakulnak ki.
- Az AM-SSB jel előállításakor az egyik oldalsáv kiszűrésével megszűnik az egyenkomponens átvitele. A televízió világosságjele egyenkomponenst is tartalmaz. Ha nem teljesen szűrjük ki a másik oldalsávot, hanem csak a nagy részét, a rendszer alkalmas lesz DC átvitelre is. Ez a csonka oldalsávos amplitúdómoduláció. (A TV világosság- és színjele elviseli az ebből eredő esetleges torzítást.)
- ha egy jelet egy vivővel modulálunk, egy másik jelet pedig az előbbi vivő 90° -os fáziseltolásával nyert vivővel, akkor az ugyanabban a frekvenciatartományban továbbított két jel egymástól függetlenül demodulálható. A vevőoldalon természetesen mindkét vivővel azonos fázisban lévő helyreállított vivőre szükség van. Ez a kvadratúra amplitúdómoduláció (QAM).

Az amplitúdómoduláció alkalmas vezetékes vagy vezeték nélküli csatornán több jel egyidejű továbbítására különböző frekvenciatartományokba transzponálva a jeleket. A csatorna ilyen megosztását frekvenciaosztásnak, frekvencianyalábolásnak nevezzük.



3.1.1-6. ábra Frekvencianyalábolás alapcsoportja

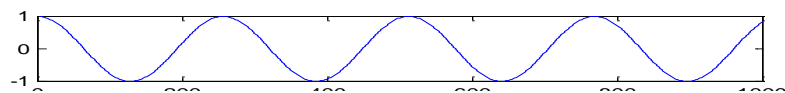
3.1.2 Szögmodulációk

Szögmoduláción olyan modulációs eljárást értünk, amelynél a szinuszos vivő fázisa hordozza az információt, az amplitúdója pedig konstans. Amikor a modulált jel fázisa arányos a moduláló jellel, fázismodulációról (PM) beszélünk. Ha a modulált jel (kör)frekvenciája - a fázis idő szerinti deriváltja - arányos a moduláló jellel, frekvenciamodulációval (FM) van dolgunk.

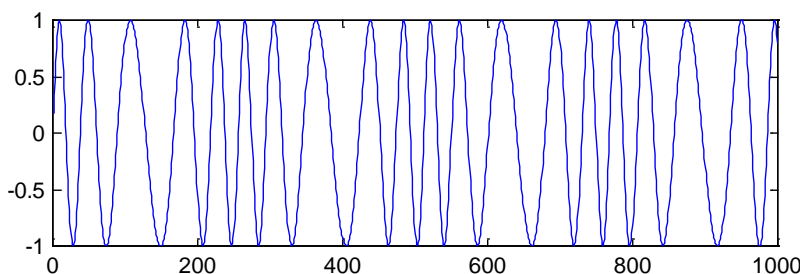
$$f_{PM} = U_v \cos(\omega_v t + k_{PM} f_m(t))$$

$$f_{FM} = U_v \cos(\omega_v t + 2\pi k_{FM} \int_0^t f_m(t) dt)$$

A k_{PM} és k_{FM} modulációs konstansok határozzák meg, hogy a moduláló jel milyen mértékben változtatja meg a vivő fázisát illetve frekvenciáját. A szögmodulációk modulált jelét együtt vizsgálhatjuk.



a.



b.

3.1.2-1. ábra Frekvenciamoduláció moduláló (a.) és modulált jele (b.)

A 3.1.2-1. ábrán szinuszos moduláló jel frekvenciamodulációját látjuk. A modulált jel:

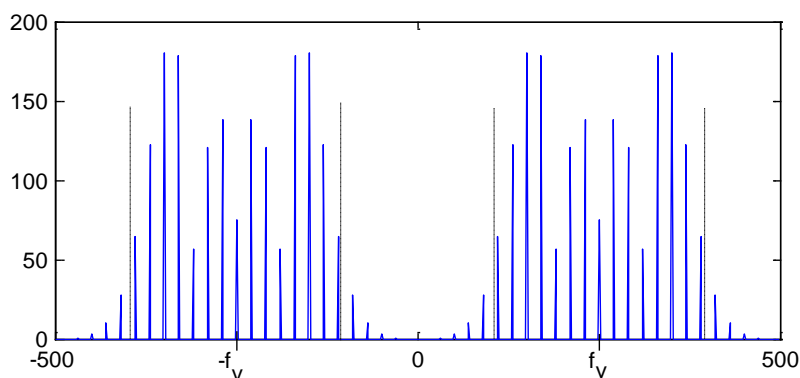
$$f_{FM}(t) = U_v \cos(\omega_v t + 2\pi k_{FM} \int_0^t U_m \cos(\omega_m t) dt) = U_v \cos(\omega_v t + \frac{k_{FM} 2\pi U_m}{\omega_m} \sin(\omega_m t)) =$$

$$U_v \cos(2\pi f_v t + \frac{k_{FM} U_m}{f_m} \sin(\omega_m t))$$

Az $m_{FM} = \frac{k_{FM} U_m}{f_m}$ kifejezés a frekvenciamodulációs tényezőt adja.

Az $f_{FM}(t) = U_v \cos(\omega_v t + 2\pi k_{FM} \int_0^t U_m \cos(\omega_m t) dt)$ kifejezésben a modulált jel frekvenciája $f_v + k_{FM} U_m \cos(\omega_m t)$. Mivel, $\cos(\omega_m t)$ értéke -1 és 1 között változhat, a pillanatnyi frekvencia maximális eltérése a vivő frekvenciájától $k_{FM} U_m$ lehet. Ez a maximális frekvencialöket, és f_D -vel jelöljük.

A szögmodulált jel sávszélessége általában végtelen. Szinuszos moduláló jel frekvencia-modulált jelének spektrumát mutatja a 3.1.2-2. ábra. Végtelen sávszélesség mellett a rádiócsatornák egymás zavarása nélkül nem működhetnének. A modulált jel teljesítményének kb. 98%-a azonban a Carson szabály szerint a vivőfrekvencia $B_{FM} = 2(f_M + f_D)$ környezetébe esik. (Ahol f_M a moduláló jel maximális frekvenciája, f_D a frekvencialöket.) Az adószűrő a modulált jel sávszélességét erre a tartományra korlátozza.



3.1.2-2. ábra Frekvenciamodulált jel spektruma szinuszos moduláló jel esetén

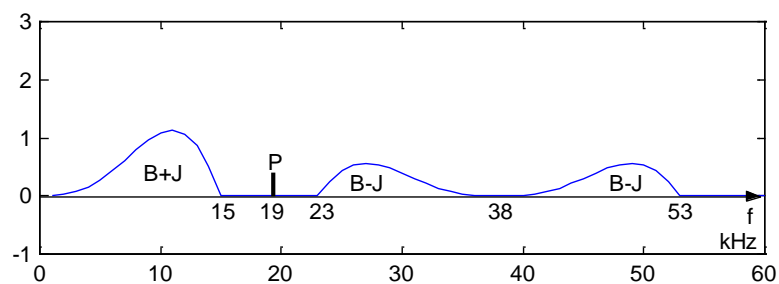
A szaggatott vonalak a Carson szabály szerinti sávszélességet jelölik.

Példa:

A CCIR sávban az FM műsorszórás alapsávi jelét $f_M=15$ kHz-ig viszik át. A frekvencialöket: $f_D=75$ kHz. A modulált jel energiájának túlnyomó többsége a vivőfrekvencia $B_{FM} = 2(f_M + f_D) = 2(15 + 75) = 180$ kHz-es környezetébe esik.

Sztereó átvitel

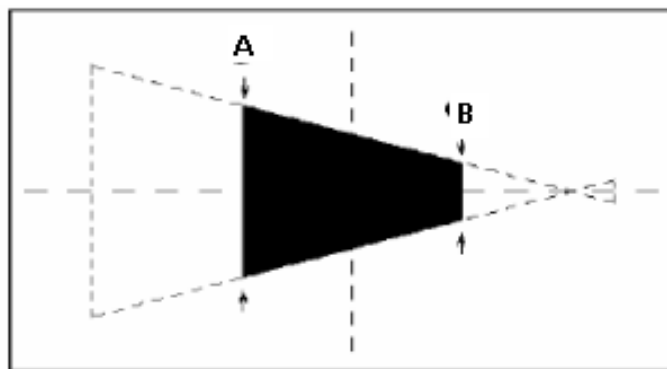
FM modulációval sztereó műsorokat is sugároznak. A sztereó adás alapsávi jelét úgy határozták meg, hogy az egycsatornás (mono) vevők is mindkét csatornát hallják. Az 50 Hz-15 kHz tartományban a bal és a jobb csatorna összege (B+J) helyezkedik el. A két csatorna különbségi jelét (B-J) AM-DSB/SC modulációval a 38 kHz-es vivőfrekvencia környezetébe helyezik át. A sztereó vevőben a két jelből a bal és a jobb csatorna jele egyszerű művelettel előállítható. Az amplitúdómodulált jel demodulálását a 19 kHz-en elhelyezett *pilot* jel teszi lehetővé, amelyből a 38 kHz-es vivő frekvenciakétszerezéssel állítható elő. A *pilotvivő* jelenléte egyben az adás sztereó voltát is jelzi.



3.1.2-3. ábra Sztereó műsorszórás alapsávi jele

3.2 Modulációs mélység mérés XY üzemmódban

A előzőleg említett módszer csak abban az esetben alkalmazható a modulációs mélység megállapítására, amennyiben egyetlen szinusz jellel modulált vivőről beszélünk. Például beszéddel modulált AM jel vizsgálatára nem alkalmas. Az XY-módszerrel bármilyen moduláló jel esetén meghatározhatjuk a modulációs mélységet kétcsatornás oszcilloszkóp segítségével. Ehhez csatlakoztassuk a moduláló jelet a műszer X, a modulált jelet az Y csatornájára, és X-Y módban vizsgáljuk modulációs mélységet. A 3.2-1. ábrán látható A és B értékekből a korábban látott összefüggés alapján a modulációs mélység egyszerűen meghatározható.



3.2-1. ábra AM jel vizsgálata

3.3 Modulációs meredekség

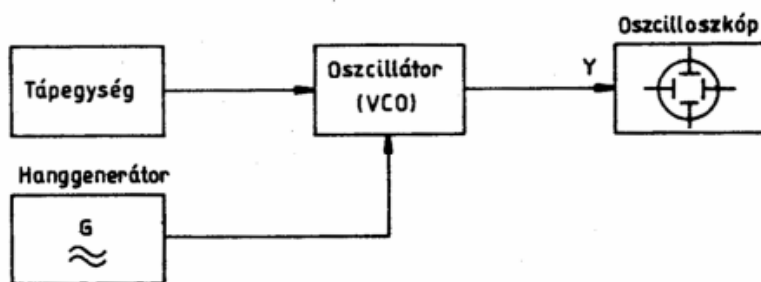
A modulációs meredekség megmutatja, hogy a moduláló jel amplitúdó változásának mértéke mekkora változást fog okozni a vivőjelben, vagyis hogy mennyit változik a modulációs mélység. A következőkben feltételezzük, hogy a modulátor karakterisztikája lineáris.

A mérés során először egy 50% modulációs mélységű kimenőjelet célszerű beállítani. Ha ez megtörtént és leellenőriztük, akkor a funkciógenerátor kimenetén (moduláló jel) lévő jel amplitúdóját növeljük egy V -tal. Ezután ismételjük meg a modulációs mélység mérést. Az így kapott eredményből, ha kivonjuk az emelés előtti értéket, akkor megkapjuk a modulátor meredekségét $\%/V$ dimenzióba. Abban az esetben, ha egy V változtatására a modulációs mélység változás

túlságosan nagy (90% felé megy vagy 10% alá), akkor célszerű kisebb amplitúdó változtatással mérni, és átszámolni.

3.4 FM jel vizsgálata

Az FM jel vizsgálatához a 3.4-1. ábrán látható összeállítást használhatjuk.



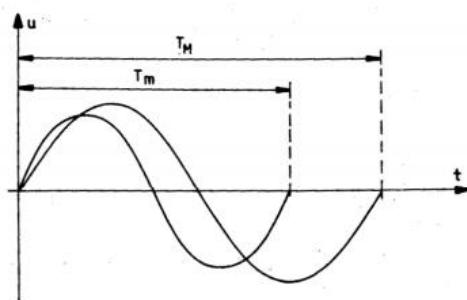
3.4-1. ábra FM jel vizsgálata

A frekvenciamodulált jel pillanatnyi frekvenciája a moduláló jel függvényében változik, ezzel változik a jel pillanatnyi periódusideje is. Az oszcilloszkóppal a periódusidőt mérhetjük, egyrészt a legrövidebbet, másrészt a leghosszabbat; azaz meghatározhatjuk a pillanatnyi frekvencia szélsőértékeit.

Az oszcilloszkópon a vizsgált jelet jelenítjük meg, annak néhány periódusát. Ha a vízszintes eltérítés szinkronozása a vizsgált jelre történik, úgy a felrajzolt periódusok közül az első kezdete mindig azonos helyre esik.

A további néhány periódus azonban a pillanatnyi frekvenciának megfelelően a képernyőn előre, vagy hátrább tolódik. A szélsőértékű periódus idővel rendelkező pillanatnyi periódusok azonban az ernyő ábrán megkülönböztethetők. Az ernyő baloldalára rajzolt "első" periódus a 3.2-1. ábrán T_m minimális és T_m maximális periódusidővel rendelkezik.

Ezekkel a frekvencialöket:



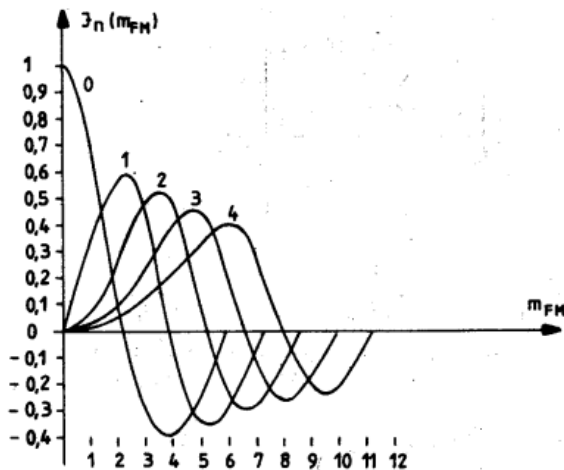
$$f = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} \right) = \frac{1}{2} \frac{T_M - T_m}{T_M T_m}.$$

3.4-2. ábra

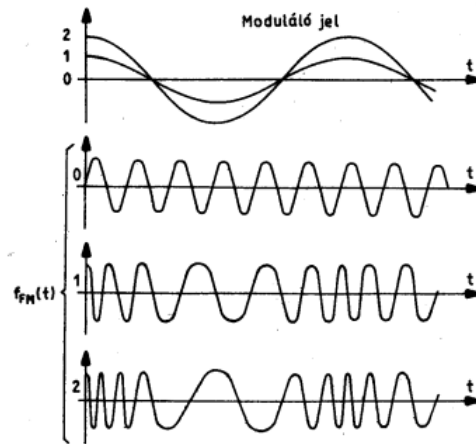
$$\begin{aligned} f_{FM}(t) = & U_v J_0(m_{FM}) \cos \omega_v t + \\ & + U_v \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m_{FM}) \cdot \left\{ \cos \left[\omega_v + 2n \omega_m \right] t + \right. \\ & \left. + \cos \left[\omega_v - 2n \omega_m \right] t \right\} + \\ & + U_v \sum_{n=1}^{\infty} J_{(2n-1)}(m_{FM}) \left\{ \cos \left[\omega_v + (2n-1) \omega_m \right] t - \right. \\ & \left. - \cos \left[\omega_v - (2n-1) \omega_m \right] t \right\}, \end{aligned}$$

ahol $m_{FM} = U_m/f_m$ a modulációs tényező; Δf a frekvencialöket; f_m a moduláló jel frekvenciája; ω_v a vivő körfrekvencia; ω_m a moduláló jel körfrekvencia; U_v a vivőamplitúdó; J_0 ; J_1 ; J_2 ; az úgynevezett elsőfajú, nullad-, első-, másodrendű Bessel-függvényeket jelöli m_{FM} függvényében. A függvényeket a 3.4-3. ábrán láthatjuk. Az $f_{FM}(t)$ kifejezését az idő függvényében a 3.4-4. ábra mutatja. A kifejezés a vivőmellett elvileg végtelen sok frekvenciát tartalmaz, azonban a vivőtől távolabb fekvők egyre kisebb amplitúdójúak.

Amint a 3.4-3. ábrán látható, a frekvenciamodulált jel spektrumában az egyes komponensek amplitúdói a modulációs indextől függenek, frekvenciájukat, pedig a moduláló jel frekvenciája szabja meg.



3.4-3. ábra Elsőfajú, n-ed rendű Bessel-függvények



3.4-4. ábra FM jel moduláló és vivő jele az idő függvényében

Elvileg tetszőleges modulációs index a spektrum letapogatásával meghatározható. Ez azonban hosszadalmas eljárás. Bizonyos meghatározott modulációs indexeknél azonban a spektrum egyes komponensei nulla értéket vesznek fel. Ilyenkor ennek az egyetlen komponensnek az indikálása elegendő ahhoz, hogy az ehhez tartozó modulációs index értékében biztosak legyünk. Miután egy-egy komponens több modulációs indexnél is nulla lehet (ld. Bessel-függvényeket), mérés közben kell dönteni, hogy melyik nulla helyről van szó. Ezt egyszerűen úgy tehetjük meg, hogy a modulációs indexet (a moduláló jel amplitúdóját) nullától folyamatosan változtatjuk, s az indikáló műszer segítségével megszámláljuk, hányadik nullahelyig jutottunk el. A Bessel-függvények nulla helyeinek ismeretében a modulációs indexet ezen pontokban ismerjük.

A löketet számítjuk: $\Delta f = m_{FM} \cdot f_m$

Ezzel a módszerrel elsősorban diszkrét löket értékek határozhatók meg nagy pontossággal. Ezért ez az eljárás elsősorban hitelesítésre (pl. löketmérő műszer) használható.

3.5 FM modulátor meredekség vizsgálat

Hasonlóképpen, mint az amplitúdómodulált jel esetén itt is beszélhetünk modulációs meredekségről, azonban itt nem a modulációs mélység fog változni, hanem a frekvencialöket. A mérés alapelve megegyezik az amplitúdómodulált jelével. Beállítunk, egy kis löketű modulációt majd lemérjük ennek löketét a már ismert módszerrel. Emeljük a modulátor bemeneti jelén egy V-ot majd megismételjük a löketmérést. A két mért érték különbsége lesz az frekvencia modulátor modulációs meredekség értéke Hz/V dimenzióban.

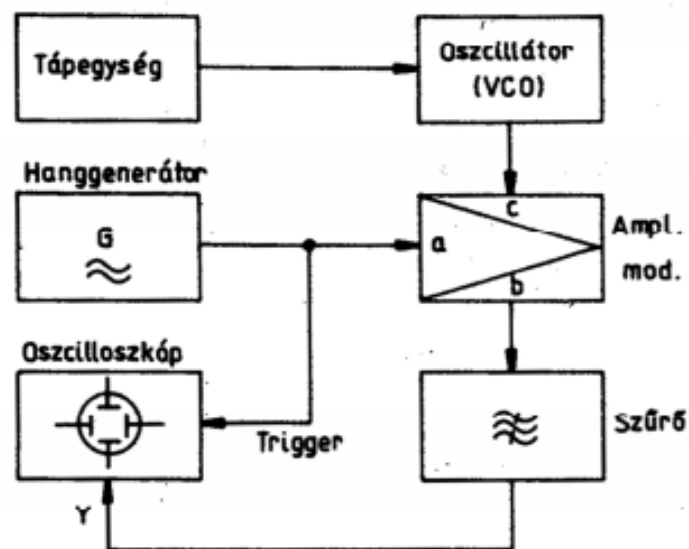
4. Feladatok

A feladatok elvégzése során az AM és az FM jel fontosabb jellemzőit vizsgáljuk oszcilloszkóppal.

Alkalmazott műszerek:

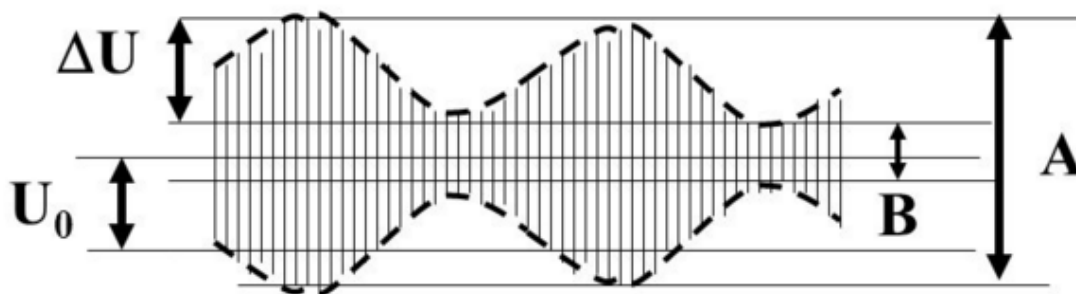
- Tápegység (12 VDC; 100 mA);
- Hanggenerátor vagy funkciógenerátor ($U_{ki} > 10 \text{ V}$);
- Oszcilloszkóp ($f_{max} > 1 \text{ MHz}$);

Az AM jel vizsgálatának összeállítása a 4-1. ábrán látható.



4-1. ábra AM jel vizsgálata

Oszilloszkópos mérésnél a modulációs tényező meghatározásánál, mivel U_v leolvasása nehézkes (lásd a 4-2. ábrát) célszerű A és B leolvasása.



4-2. ábra Modulációs tényező meghatározása

Belátható, hogy ekkor a modulációs mélység: $m_{AM} = \frac{A - B}{A + B}$

4.1 AM

1. Határozza meg az AM vivő jel időtartománybeli jellemzőit! (frekvencia, amplitúdó)
2. Határozza meg egy tetszőlegesen beállított AM jel modulációs tényezőjét oszcilloszkóppal! Mentse le az oszcilloszkóp kijelzőjét, és rögzítse a képet a jegyzőkönyvben!
3. Vizsgálja meg a modulációs mélységet trapéz módszerrel is. Ehhez kapcsolja az oszcilloszkópot XY módba! Mentse le az oszcilloszkóp kijelzőjét, és rögzítse a képet a jegyzőkönyvben!
4. Állítson be egy 100% modulációs mélységű jelet, majd ismételje meg az eddigi feladatokat!
5. A "szűrő" előtt, az AM modulátor kimenetén oszcilloszkóp ábra segítségével számadatok nélkül adja meg a jel spektrumát!
6. Mérje meg az AM modulátor modulációs meredekségét, a modulációs tényezőre vonatkoztatva (%/V dimenzióban)!
7. Állítson be egy tetszőleges modulációs mélységű jelet! FFT segítségével jelenítse meg a jel spektrumképét! Mentse le az oszcilloszkóp kijelzőjét, és rögzítse a képet a jegyzőkönyvben!
8. Változtassa a moduláló jel amplitúdóját és frekvenciáját! Írja le, hogy mit tapasztal!

4.2 FM

1. Határozza meg egy tetszőlegesen beállított FM jel löketét!
2. Határozza meg az FM modulátor meredekségét Hz/V dimenzióban! Ehhez az f_0 vivő első nulla helyét keresse meg, s a löket értékét úgy határozza meg! (Moduláló jel frekvencia kicsi legyen!)
3. Kapcsolja át az oszcilloszkópot FFT üzemmódba!
4. Határozza meg oszcilloszkóp segítségével a modulált sáv szélességét!

4.3 Ellenőrző kérdések

1. Mi a moduláció? Mért van rá szükség?
2. Mi a modulációs mélység?
3. Milyen módszereket ismer modulációs mélység mérésére?
4. Hogyan néz ki egy AM-DSB jel idő és frekvenciatartománybeli képe?
5. Hasonlítsa össze az FM és AM modulációt!
6. Mi a löket?
7. Milyen az FM jel spektruma?
8. Mi a modulátor meredekség fogalma?

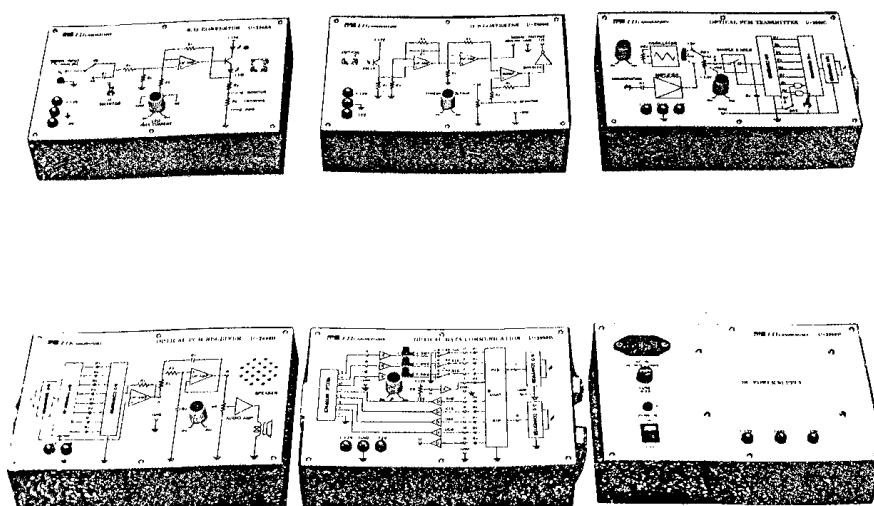
5. Optikai kommunikáció

Az optikai kommunikációnál az adatok továbbítása fény segítségével történik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az optikai kommunikációs rendszer teljes egészében optikai. Erre példa, amikor az emberi hangot egy mikrofon analóg elektromos jellé alakítja, majd az A/D konverter digitalizálja, és az elektromos jelet fényjellé változtatja.

Az optikai kommunikációnak számos előnye van a rádiófrekvenciás kommunikációval szemben:

- Az optikai kommunikáció nagy sávszélességének köszönhetően magasabb adatátviteli sebesség érhető el.
- Érzéketlen az elektromágneses interferenciákra.
- A fényenergia rövid hullámhossza lehetővé teszi a nagyon rövid impulzusok továbbítását.
- A száloptikai kábelben az energia rendkívül koncentrált, ami a rendszert hatékonyá teszi, ezért nagy távolságok áthidalására alkalmas.

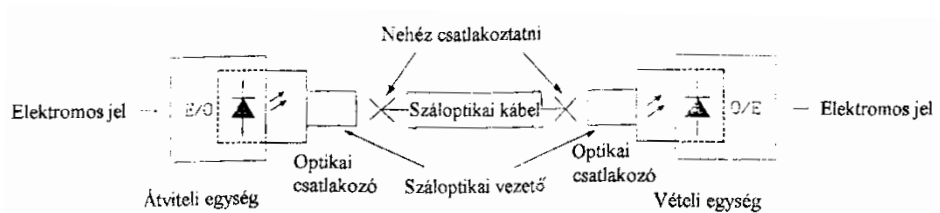
A következő ábra az ED-2980 optikai kommunikációs oktatórendszer moduljait mutatja:



5-1. ábra ED-2981 moduljai

Száloptikai rendszerek

Egy száloptikai rendszer tipikusan egy elektromos-optikai (E/O) átalakítóból, száloptikai kábelből és egy optikai-elektromos (O/E) átalakítóból áll. Egy optikai rendszer felépítését az 5-2. ábra szemlélteti. Az E/O és O/E konvertereket csatolóknak, vagy moduloknak is hívják. Nagyon fontos a száloptikai kábel és az átalakítók jó optikai csatlakoztatása.



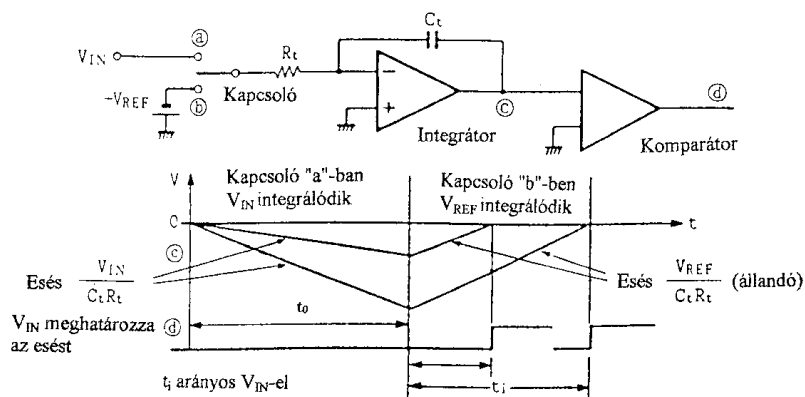
5-2. ábra Száloptikai rendszerek

Az ED-2980 panelcsalád

Az ED-2980 panelcsalád oktatási célra kifejlesztett rendszer, melynek főbb funkcióit az alábbiakban ismertetjük.

5.1 Háromszög hullámforma generátor

A háromszög hullámforma generátor, amely egy kondenzátor töltés-kisütés tulajdonságát használja fel, az 5.1-1. ábrán látható:



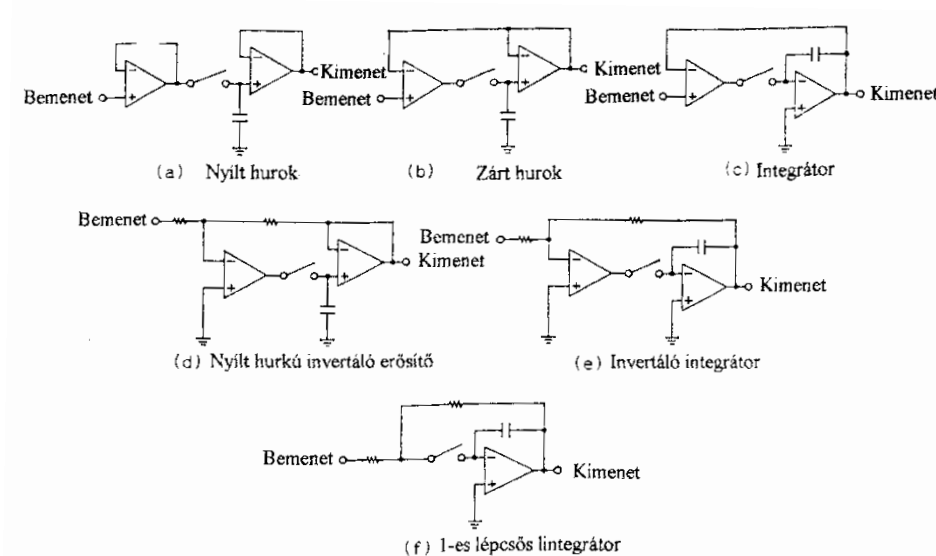
5.1-1 Háromszög hullámforma generátor

Ha a kapcsoló az „a” állásban van, a „C_t” kondenzátor elkezd feltöltődni, a bemeneti jeltől „V_{in}” ez a töltődés „t₀” ideig tart. A töltöttségi szintet a „V_{in}” és az időállandó „C_t·R_t” aránya határozza meg. Amikor a kapcsoló a „b” állásban van a kondenzátor elkezd kisülni a V_{ref}-en keresztül addig, amíg a „C_t” ki nem sül. A kisülési idő „t_i” arányos a „V_{in}”-nel. Ennek a megoldásnak a maximális mintavételi frekvenciája a következő képlettel számítható: $f = \frac{1}{2 \cdot C_t \cdot R_t}$.

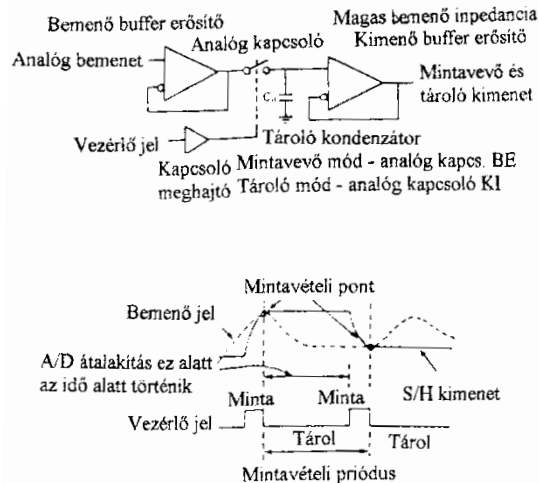
5.2 Mintavevő és tartó (S/H)

Az S/H áramkör célja, hogy a mintavételi időpillanatban összegyűjtött töltést megtartsa a kondenzátorban mindaddig, amíg a minta kvantálása és kódolása megtörténik.

Az 5.2-1. ábrán az S/H áramkör különféle típusai láthatók, az 5.2-2. ábrán pedig egy A/D átalakítóban lévő S/H áramkör részletes funkciói.



5.2-1. ábra Mintavevő és tartó áramkör példák



5.2-2. ábra Mintavevő és tartó erősítő egy A/D átalakítóban

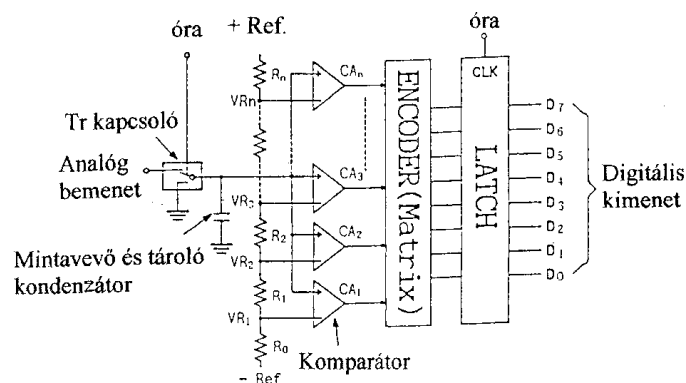
5.3 A/D átalakító

A mintavevő és tartó áramkörben tárolt mintát kvantálni és kódolni kell. Ezt a funkciót a mérőpanelban egy fokozatosan közelítő elvű A/D átalakító végzi.

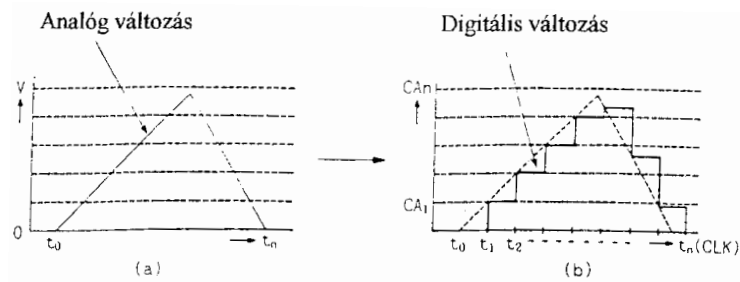
Más működési elvű átalakítók is léteznek, ezek működését az alábbiakban tekintjük át.

5.3.1 Párhuzamos összehasonlító A/D átalakító

Ennek alapelvét az 5.3.1-1. ábra mutatja. Az analóg és digitális jel hullámformái az 5.3.1-2. ábrán láthatók.



5.3.1-1. ábra Párhuzamos típusú A/D átalakító



5.3.1-2. ábra (a) analóg bemenő hullámforma és (b) mintavevő és tartó kondenzátor hullámformája

Az analóg bemenő jelet az órajel nagy sebességgel, úgynevezett mintavételi frekvenciával kapcsolja. Valahányszor a kapcsoló át van kapcsolva, a bemenő jel feltölti a mintavevő-tartó S/H kondenzátort. A mintavételezett feszültséget mindegyik S/H-ból komparátorokba táplálják. Az „n” komparátor párhuzamosan van kapcsolva, amely a kimenő digitális jelet adja.

Az átalakítási folyamat kulcsai az áramkörben lévő komparátorok, ezért érdemes alaposabban szemügyre venni őket. Mindegyik komparátor egyik bemenő oldala egy feszültségosztó hálózathoz kapcsolódik, amely elosztja a referencia feszültséget -Ref-től +Ref-ig. A másik bemenet a komparátorok közösített bemenete. Erre a bemenetre kapcsolódik az S/H-n keresztül az analóg jelminta. Csak azok a komparátorok gerjesztenek kimenő feszültséget, amelyek bemenő szintje azonos a referencia feszültséggel. Ezért a komparátorok párhuzamos kimenete egyenlő az időben változó analóg bemenettel. Az „encoder matrix” a kívánt kódformátumra konvertálja a digitalizált jelmintát. Az analóg bemenet és az S/H hullámformáit az 5.3.1-2. ábra mutatja. Az S/H fokozat mintavevő sebessége nagyon fontos, hogy a mintavétel minél rövidebb idő alatt végbemehessen. Ha a digitális kimenetek számát növeljük, az javíthatja a rendszer felbontóképességét, ami csökkenti a digitalizáláskor előálló kvantálási hibát. Ez a megoldás jól alkalmazható, ha nagy sebességű átalakításra van szükségünk, pl. hang vagy videojel esetén.

5.3.2 Kettős integrálós A/D átalakító

Az ilyen típusú átalakítás alapelvét az 5.3.2-1. ábra mutatja. A fő funkcionális blokkok az 5.3.2.-1. (a) ábrán láthatók. Az időzítési viszonyokat és az integrátor kimenetét az 5.3.2.-1. (b) ábra mutatja.

Ha a „C” kondenzátor teljesen ki van sülve, a „C”-ben gyűjtött töltés T_{in} időn át S_1 kapcsoló bekapcsolásával a következő:

$$Q_1 = \frac{V_{in}}{R} \cdot T_{in} [C]$$

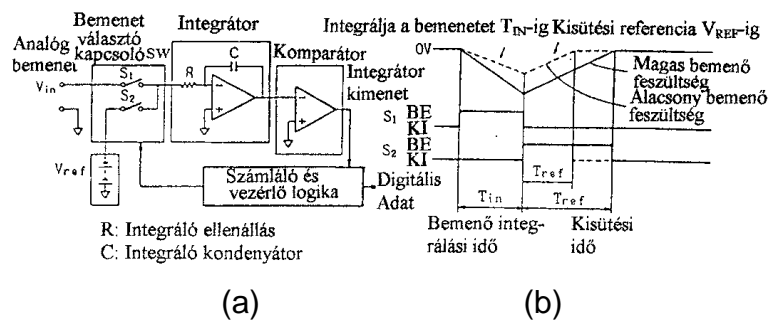
Az egyenletben V_{in} = bemenő feszültség (V), R = az integrátor bemenő ellenállása (Ω), T_{in} = integrálási idő (sec).

Amikor S_1 kapcsoló nyit és az S_2 zár, a „C” kondenzátor elkezd kisülni a negatív referencia feszültségre és T_{ref} idő alatt teljesen ki is sül. Azt, hogy mennyi töltés sül ki, a „C”-ből a következő egyenlet mutatja:

$$Q_2 = \frac{V_{ref}}{R} \cdot T_{ref} [C]$$

Mivel a töltés és kisütés ugyanabban a „C”-ben történt, $Q_1 = Q_2$. A fenti két egyenletből következik:

$$V_{in} = \frac{V_{ref}}{T_{in}} \cdot T_{ref} [V]$$



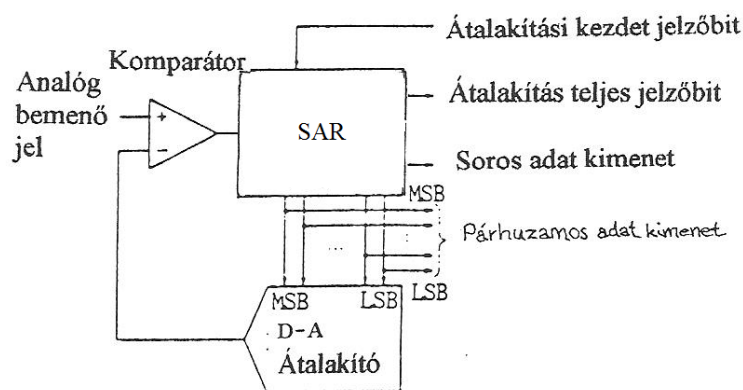
5.3.2-1. ábra Kettős integrálós típusú A/D átalakító

Jellemzők:

- Az ilyen típusú átalakítók egyszerű áramkörökkel viszonylag nagy felbontóképesség alakítható ki.
- Bármely magasabb frekvenciátartalmú zaj, mint az integrációs idő frekvencia megfelelője, kiátlagolódik.

5.3.3 Fokozatosan közelítő elvű (SAR) A/D átalakító

Ez a típus egy komparátorból, fokozatosan közelítő regiszterből (SAR) és egy D/A átalakítóból áll. Ilyen konverter látható a lenti ábrán:



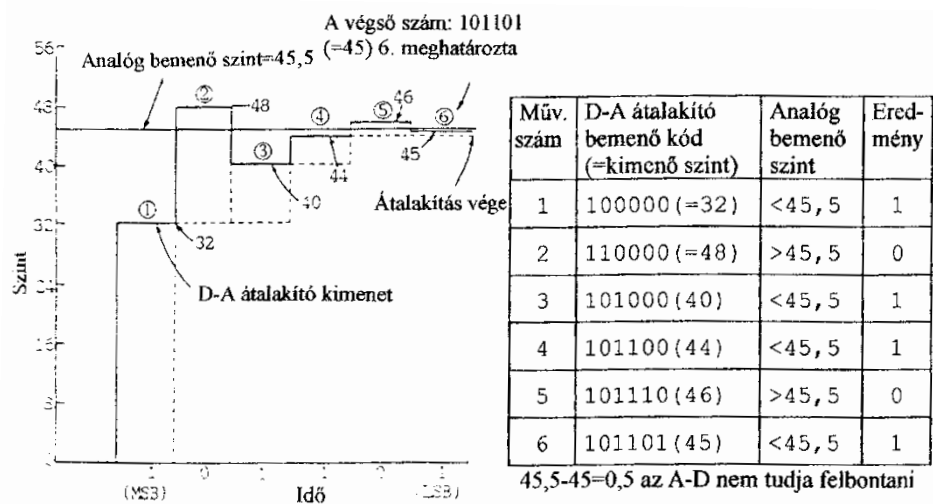
5.3.3-1. ábra Fokozatosan közelítő elvű A/D átalakító

Ennek az áramkörnek a működése a következő:

A SAR az analóg kimeneti tartomány teljes skálája felének megfelelő kódokat bocsát ki. A komparátor összehasonlítja az analóg bemenetet a D/A kimenettel. A komparátor kimenete „1”-be áll, amikor a bemenet túllépi a D/A kimenetet, egyébként a kimenet „0” lesz. A legnagyobb helyértékű bit (MSB) ekkor határozható meg.

A SAR új jelet bocsát ki, hozzáadva az „1”-et az MSB-hez. A D/A átalakító ezt konvertálja analóg jellé. A komparátor összehasonlítja a két jelet. Az MSB-hez legközelebbi értéket ezen a ponton határozza meg.

Az eljárás addig folytatódik, amíg a legkisebb helyértékű bit (LSB) vizsgálata is megtörténik. Egy 6 bites átalakító összehasonlító folyamatát az 5.3.3-2. ábra mutatja.



5.3.3-2. ábra Egy 6 bites összehasonlító A/D átalakító folyamata

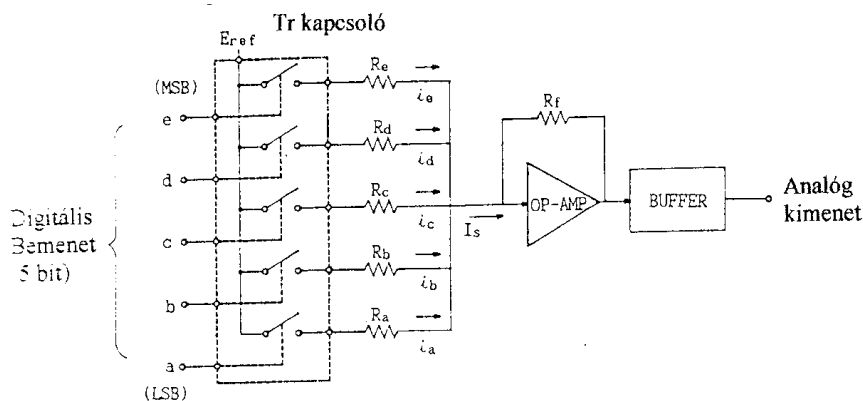
Jellemzők:

- Az ilyen típusú átalakítók nagy felbontóképességgel és konverziós sebességgel rendelkeznek.
- A megoldás egyszerűen integrálható CHIP-ekbe.

5.4 D/A átalakító

A D/A átalakítás általában egyszerűbb, mint az A/D átalakítás. A digitálisból analógba való konverzió akkor válik szükségessé, amikor a digitális áramkörök kimenetét analóg jelként kell megjeleníteni, például oszcilloszkópon.

A D/A átalakítás elve a következő ábrán látható:



5.4-1. ábra D/A átalakító bloksémája

A D/A átalakító főbb részei a bemenő kapcsoló blokk, az áramösszegző, és kimenő puffer áramkör. A digitális bemenetre érkező bináris szám vezérli a kapcsolókat. Így az adott bit logikai szintjének megfelelően az adott ellenálláson folyik, illetve nem folyik áram. Az áramokat a műveleti erősítővel kialakított áramösszegző összegzi, és az így kapott árammal arányos feszültséggé alakítja. Az ellenállások R_a -tól R_e -ig az alábbi viszonyokban vannak meghatározva, ahol i_a az LSB („a” bit) áramát jelenti.

$$i_a = \frac{E_{ref}}{R_a} \text{ „a” bit árama}$$

$$i_b = \frac{E_{ref}}{R_b} = i_a \cdot 2^1 \text{ „b” bit árama}$$

$$i_c = \frac{E_{ref}}{R_c} = i_a \cdot 2^2 \text{ „c” bit árama}$$

$$i_d = \frac{E_{ref}}{R_d} = i_a \cdot 2^3 \text{ „d” bit árama}$$

$$i_e = \frac{E_{ref}}{R_e} = i_a \cdot 2^4 \text{ „e” bit árama}$$

A műveleti erősítő (az 5.4-1. ábrán OP-AMP-nak jelölt), amely egy áram-feszültség átalakítóként működik, előállít egy kimenő feszültséget, amely megfelel az áram összegének. A következő táblázat egy 5 bites kódátalakítást mutat:

BINÁRIS (5 bit)					DEC.	BINÁRIS (5 bit)					DEC.
e	d	c	b	a	(Analóg)	e	d	c	b	a	(Analóg)
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	10
0	0	0	0	1	* 1	0	1	0	1	1	11
0	0	0	1	0	* 2	0	1	1	0	0	12
0	0	0	1	1	3	0	1	1	0	1	13
0	0	1	0	0	* 4	0	1	1	1	0	14
0	0	1	0	1	5	0	1	1	1	1	15
0	0	1	1	0	6	1	0	0	0	0	* 16
0	0	1	1	1	7						:
0	1	0	0	0	* 8	1	1	1	1	0	30
0	1	0	0	1	9	1	1	1	1	1	31

* Az alap bináris bit (a-e) decimális értékeit jelöli.

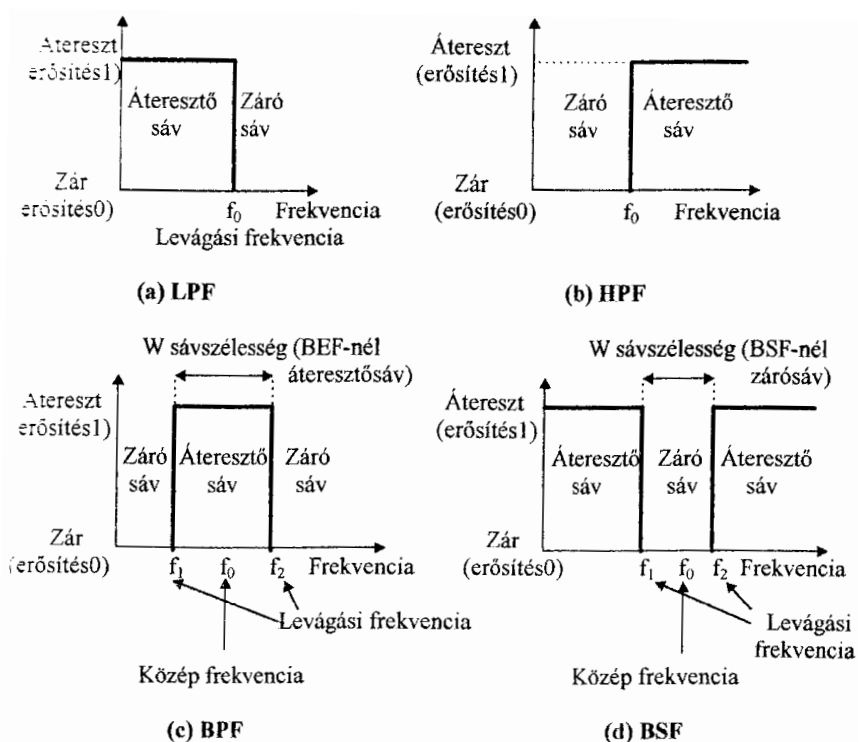
5.4-2. ábra Ötbites digitális-analóg átalakítás

5.5 Szűrő áramkörök

A szűrőáramkörök célja, hogy az áramkörben csak a kívánt harmonikus frekvenciakomponensek jussanak el. A szűrőket az alábbiak szerint osztályozzuk:

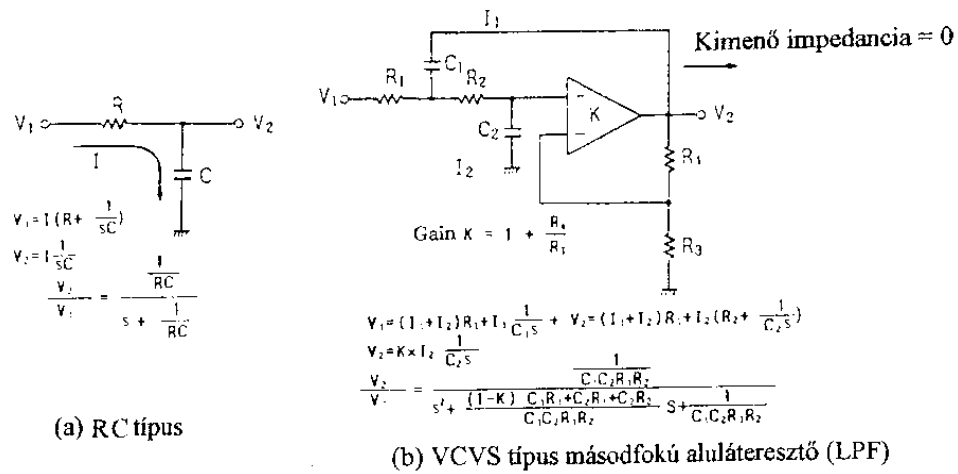
- **Aluláteresztő szűrő (LPF)** csak azokat a frekvenciákat engedi át, amelyek a vágási frekvencia (f_0) alatt vannak.
- **Felüláteresztő szűrő (HPF)** csak azokat a frekvenciákat engedi át, amelyek a vágási frekvencia (f_0) felett vannak.
- **Sáváteresztő szűrő (BPF)** csak azokat a frekvenciákat engedi át, amelyek az f_1 és f_2 frekvenciák között vannak.
- **Sávzáró szűrő (BSF)** csak azokat a frekvenciákat engedi át, amelyek az f_1 és f_2 frekvenciákon kívül esnek.

Az 5.5-1. ábrán a különféle szűrők grafikus ábrázolása látható:



5.5-1. ábra Szűrők grafikus meghatározása

Az ED 2980D-ben használt aluláteresztő szűrők a következő ábrán láthatók:



5.5-2. ábra Aluláteresztő szűrő az ED-2980-ban

6. Feladatok

Az ED-2980 oktatórendszer moduljainak, és az A/D D/A átalakítás megértéséhez az alábbi feladatok nyújtanak segítséget.

6.1 Elektromos-optikai (E/O) átalakító frekvenciajellemzői

Ebben a feladatban az E/O átalakító átviteli sávszélességét vizsgálhatjuk.

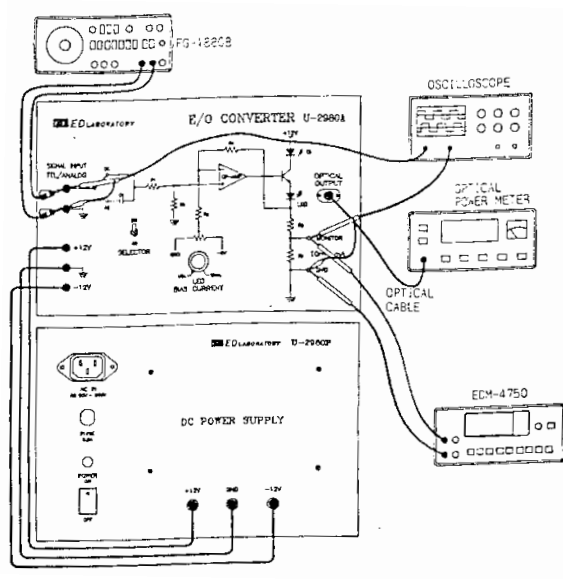
Az E/O átalakító előfeszítő áramát (Bias current) állítsuk 25 mA-re és adjunk 100 Hz-1 MHz 2,5 V_{pp} szinuszjelet a bemenő csatlakozásokra. Figyeljük meg a kimenő hullámformát a monitor csatlakozásokon, és rajzoljuk fel a sávszélesség grafikonját.

Hasonlítsuk össze az AC és a DC különbségét!

Szükséges eszközök:

- E/O átalakító (U-2980A)
- DC tápegység (U-2980P)
- Száloptikai kábel
- Oszilloszkóp
- Függvénygenerátor
- Digitális multiméter

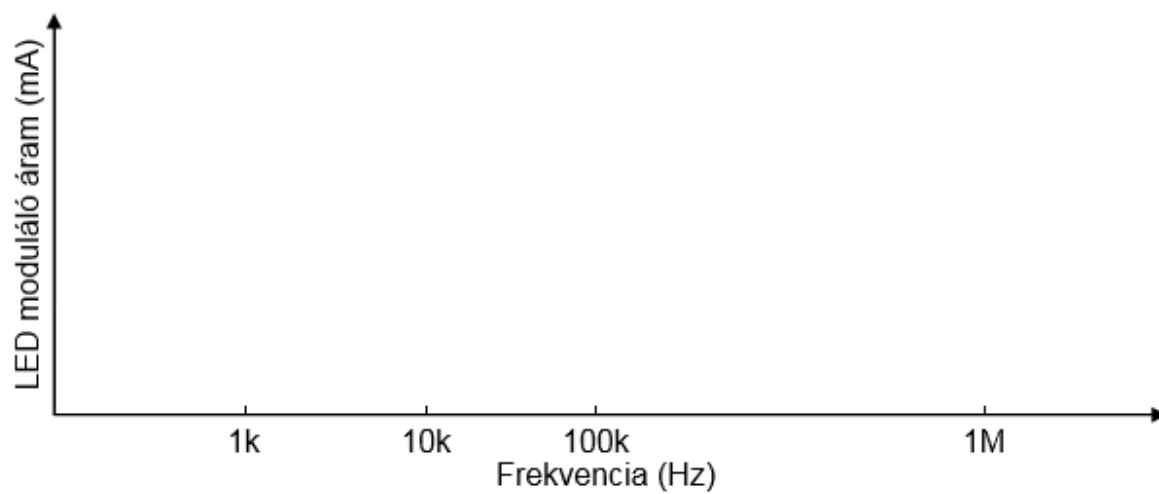
1. Az U-2980P tápegység legyen kikapcsolva, így csatlakoztassuk a berendezést a 6.1-1. ábra szerint:



6.1-1. ábra

2. Az U-2980P-t csatlakoztassuk az U-2980A-hoz.
3. A „Selector” kapcsolót AC-re, a LED „Bias current” szabályozót Min.-re állítsuk.
4. Kapcsoljuk be a tápegységet. Csatlakoztassuk a digitális multimétert a monitor kivezetésekre.
5. Az oszcillátor és az E/O átalakító TTL/Analóg bemeneti pontjait kössük össze.
6. Az oszcilloszkóp CH1 csatornáját kapcsoljuk az U-2980A TTL/Analóg pontjaihoz.
7. Az oszcillátor kimenetét állítsuk 1 kHz 1,8 V_{rms} szinuszhullámra.
8. A LED előfeszítő áram (Bias current) szabályozó segítségével állítsunk be
9. 25 mA-t. Az oszcilloszkóp CH2 csatornáját kössük az U-2980A monitor pontjaira, és ellenőrizzük az 1 kHz-es hullámformán az esetleges torzulást, vágást. Ha az utóbbi előáll, csökkentjük az oszcillátor kimenő feszültségét!
10. Az oszcillátor frekvenciáját állítsuk 100 Hz-től 1 MHz-ig, és minden frekvencián mérjük a moduláló áramot. (Az áram az ellenálláson mért feszültségből következtethető)

Rajzoljuk be az értékeket!



6.2 Komparátor vizsgálata

A feladat során megismerkedhetünk a komparátor funkciójával, amely kompenzálja a száloptikai kábelben az átvitel során keletkezett veszteséget.

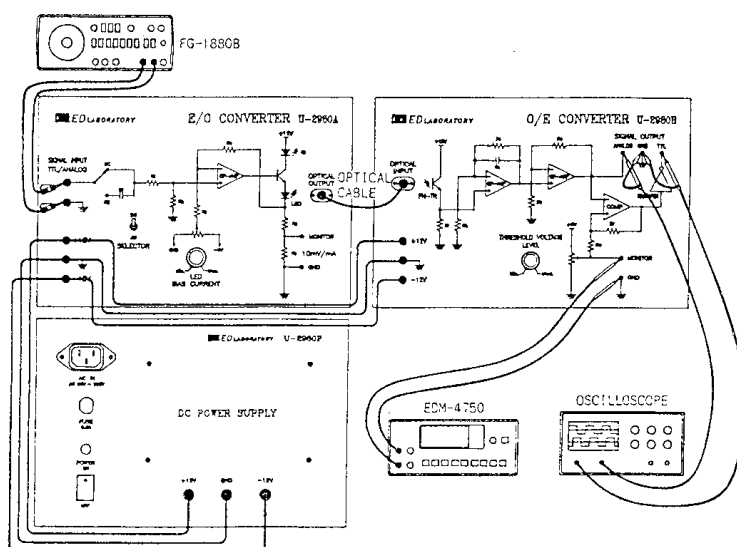
A komparátor célja, hogy javítsa a kábelben adott digitális jel minőségét. Ezt úgy éri el, hogy a feszültségküszöb szintjét a helyes szinthez igazítja.

Az U-2980A és az U-2980B összekapcsolására száloptikai kábelt használunk. 1 kHz-es négyszögjelet vezetünk az U-2980A bemenetéhez, az előfeszítő áramot (Bias current) 0 mA-re állítjuk, így a „monitor” kivezetésen elérjük a 40 mA csúcsáramot. Az U-2980B küszöbértékét 0-5V DC közötti értékekre állítjuk, és közben mérjük az analóg kimenetet. Keressük meg azt a küszöbszintet, amely megfelel a pontos digitális kimenetnek!

Szükséges eszközök:

- E/O átalakító (U-2980A)
- O/E átalakító (U-2980B)
- DC tápegység (U-2980P)
- Száloptikai kábel
- Oszilloszkóp
- Függvénygenerátor
- Digitális multiméter

1. Az U-2980P tápegység legyen kikapcsolva, így csatlakoztassuk a berendezést a 6.2-1. ábra szerint:



6.2-1. ábra

2. Csatlakoztassuk az áramforrást az U-2980B-hez.
3. A „Selector” kapcsolót állítsuk AC csatolásra, és a LED előfeszítő áramát (Bias current) Min.-re.
4. Kapcsoljuk be a tápegységet!
5. Kössük össze az oszcillátor kimenetét az U-2980A „TTL/Analóg” bemenő csatlakozásával.
6. Állítsuk az oszcillátor kimenetét 1 kHz négyszögjelre.
7. Kössük az oszcilloszkóp CH1 csatornáját az U-2980A monitor csatlakozásához!
8. Állítsuk be úgy az oszcillátor kimenetét, hogy az U-2980A monitor kivezetésein 40 mA és 0,4V csúcs kimenő hullámforma legyen mérhető.
9. Az U-2980A-t és az U-2980B-t kössük össze száloptikai kábellel.
10. Az U-2980B monitor pontjait kössük össze digitális multiméterrel.
11. Oszcilloszkóp segítségével figyeljük meg az analóg és a TTL kimenő hullámformákat. Úgy állítsuk be a küszöbszintet, hogy stabil TTL kimenetet kapjunk.

Keressük meg a minimális küszöbértéket, a V_{th} minimumot, és a maximális küszöbértéket, a V_{th} maximumot!

12. Töltsük ki a táblázatot!



U_{EI} (V)	LED áram (mA)	V_{AO} (V)	V_{th} min (V)	V_{th} max (V)	$\frac{1}{2} V_{AO}$ (V)
0,4V	40mA				
0,3V	30mA				
0,2V	20mA				
0,1V	10mA				
0,05V	5mA				

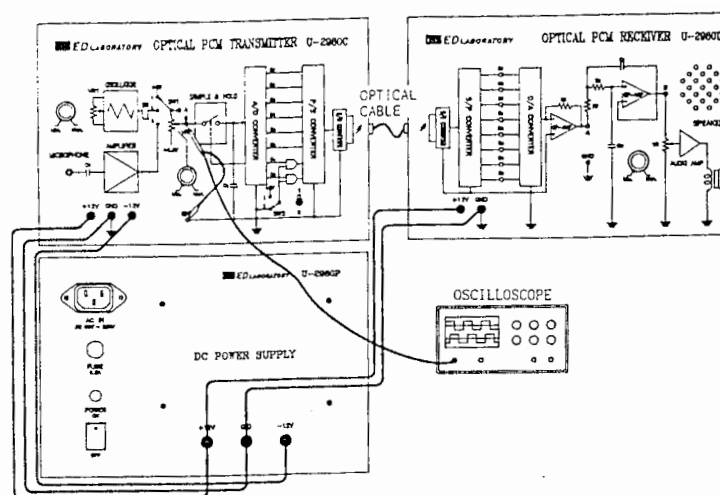
6.3 A/D átalakítás

A feladat során megvizsgáljuk, hogy egy analóg jelet miként lehet mintavevő és tartó (S/H) valamint A/D konverterrel digitális jellé alakítani, majd a digitális jelet optikai jellé konvertálni. Ez a funkció az optikai adó eszközben valósulnak meg. A vevőnél ennek az eljárásnak a fordítottja történik.

Szükséges eszközök:

- Optikai PCM adó (U-2980C)
- Optikai PCM vevő (U-2980D)
- DC tápegység (U-2980P)
- Száloptikai kábel
- Oszilloszkóp
- Függvénygenerátor
- Digitális multiméter

1. Az U-2980P tápegység legyen kikapcsolva, így csatlakoztassuk a berendezést a 6.3-1. ábra szerint:



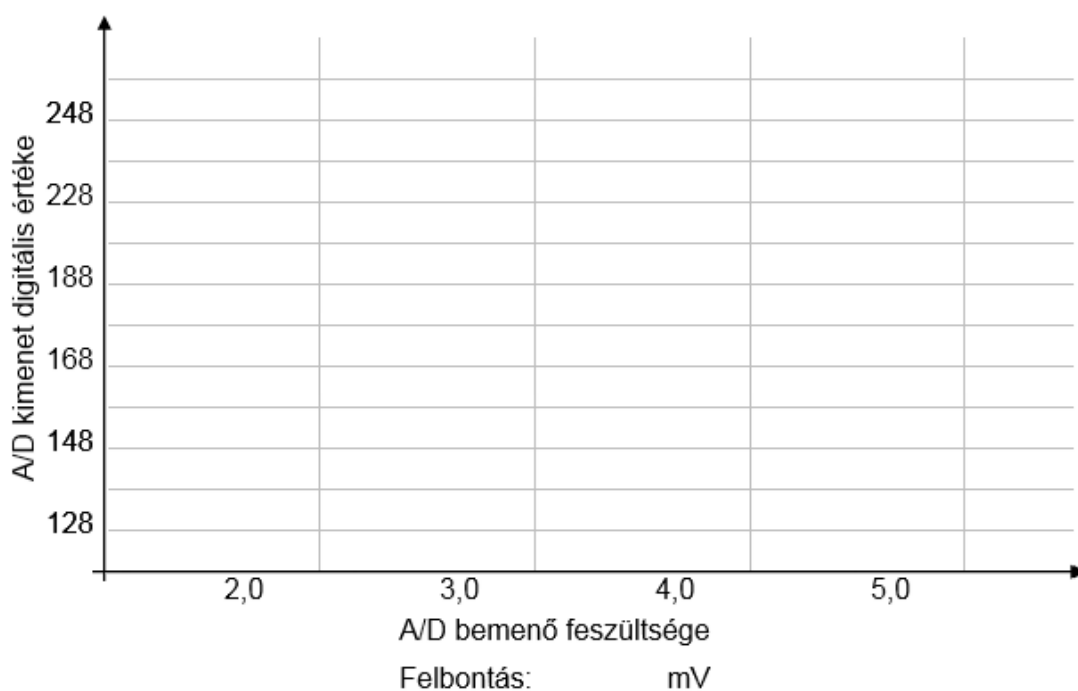
6.3-1. ábra

2. Az U-2980P-t kössük össze az U-2980C és az U-2980D tápcsatlakozásával.
3. A digitális multimétert kössük az U-2980C „B” és „GND” pontjához.
4. Az U-2980C-n az „SW1” és „SW2” kapcsolót állítsuk „1” állásra.

5. Az U-2980C-t és U-2980D-t kössük össze száloptikai kábellel.
6. Kapcsoljuk be az U-2980P tápegységet!
7. A táblázatban leírtak szerint az U-2980C-n változtassuk „VR2”-t és az U-2980D-n figyeljük meg a D0-D7 LED-eket.
8. Rajzoljunk grafikont, amely jellemzi az A/D átalakító bemenetének és kimenetének viszonyát. Figyeljük meg, hogy a görbe lineáris-e. Vizsgáljuk meg a görbét és határozzuk meg az A/D átalakító felbontóképességét!

Figyelem! Abban az esetben, ha a mérés során gerjedést tapasztal (LED-ek fél fényerővel világítanak), úgy állítsa be a kódot, hogy a feszültségmérőt még nem csatlakoztatja az áramkörhöz!

LED (0:ki, 1:be)								Digitális érték LED kijelzéssel D7:MSB D0:LSB	A/D bemenő feszültsége B és GND között
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
1	0	0	0	0	0	0	0	128	2,5 V
1	0	0	0	1	0	1	0	138	2,6 V
1	0	0	1	0	1	0	0	148	2,9 V
1	0	0	1	1	1	1	0	158	3,1 V
1	0	1	1	0	0	1	0	178	3,5 V
1	1	1	0	0	0	0	0	228	4,4 V
1	1	1	1	1	1	1	0	254	5 V



6.4 PCM kommunikáció háromszög hullámforma generátorral

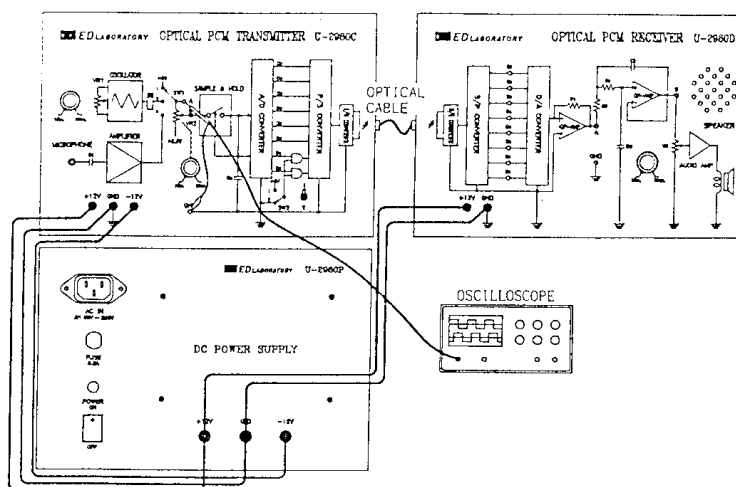
A feladat során az impulzuskód modulációval ismerkedhetünk meg.

Az A/D átalakítás után a digitális jelet száloptikai kábel segítségével továbbítjuk. A vett jelet egy D/A átalakító és egy aluláteresztő szűrővel alakítjuk vissza analóg jellé.

Szükséges eszközök:

- Optikai PCM adó (U-2980C)
- Optikai PCM vevő (U-2980D)
- DC tápegység (U-2980P)
- Száloptikai kábel
- Oszilloszkóp

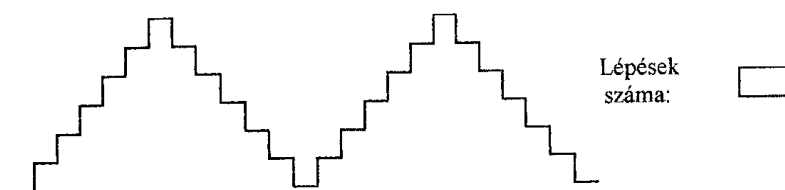
1. Az U-2980P tápegység legyen kikapcsolva, így csatlakoztassuk a berendezést a 6.4-1. ábra szerint:



6.4-1. ábra

2. Az U-2980P-t kössük össze az U-2980C és az U-2980D tápcsatlakozásával.
3. Az U-2980C-n állítsuk az „SW1” kapcsolót „2”, és az „SW2”-t „1” állásra.
4. Az U-2980C-t és U-2980D-t kössük össze száloptikai kábellel.
5. Kapcsoljuk be az U-2980P tápegységet!
6. Az U-2980C-n a „VR2”-t állítsuk „Min.”-re.

7. Az oszcilloszkóp CH1 csatornáját kapcsoljuk U-2980C „A” és „GND” pontja közé.
8. Figyeljük meg a háromszög hullámformát a mintavevő és tartó áramkör bemeneténél. Az U-2980C „VR1”-re állításakor a periódusidő (T) változik, a feszültség hullámformája azonban nem. Mérjük a frekvenciát amikor „VR1” „Min.” és „Max.” állásban van, és jegyezzük fel az értékeket!
9. Az U-2980C-n a „VR2”-t állítsuk teljesen „Max.”-ra. Az U-2980D-n a „VR”-t állítsuk „Min.”-ről „Max.” felé egészen addig, amíg hangot nem hallunk, majd a „VR”-t állítsuk vissza „Min.” állásba.
10. Az oszcilloszkóp CH1 csatornáját kössük az U-2980C „B” és „GND” pontja közé.
11. Az oszcilloszkóp CH2 csatornáját kössük az U-2980D „A” és „GND” pontja közé
12. Az U-2980C-n a „VR1”-et állítsuk teljesen „Min.”-re. A „VR”-t szabályozzuk addig, amíg az U-2980C „B” és „GND” pontja között a feszültség el nem éri a 800 mVpp-t.
Figyeljük meg a hullámformákat az U-2980C „B” pontján és az U-2980D „A” pontján!
13. Állítsuk az U-2980C-n a „VR1”-et teljesen „Min.” állásba. Figyeljük meg az U-2980D-n a hullámformát az „A” és „GND” között, miközben az U-2980C-n az „SW2” „2”-re van állítva. Számoljuk meg a lépéseket! Ellenőrizzük, hogy D0 és D1 LED-ek ki vannak-e kapcsolva!



6.4-2. ábra

14. A fentiek alapján mondjuk meg előre a lépések számát, amikor az U-2980C-n az „SW2” „1”-re van állítva.

(mintavételi frekvencia 8 kHz felbontás 20 mV)

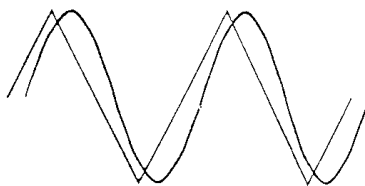
Lépések száma: _____

15. Az U-2980C-n a „VR1”-et állítsuk teljesen „Max”-ra. Szinkronizáljuk a jelet az U-2980D „A” és „GND” pontja között mérve. Mérjük meg a mintavételi időt!



6.4-3. ábra

16. Kapcsoljuk az oszcilloszkóp CH1 csatornáját az U-2980D „A” és „GND” pontja közé, CH2-t pedig az U-2980D „B” és „GND” pontja közé.
17. Az U-2980C-n a „VR1”-et és a „VR2”-t állítsuk teljesen „Max.”-ra. Rajzoljuk le a szűrő bemeneti és kimeneti hullámformáit!
18. Kapcsoljuk az oszcilloszkóp CH1 csatornájára az U-2980C „B” és „GND”, CH2 csatornájára pedig az U-2980D „B” és „GND” pontját.
19. Rajzoljuk le a háromszög hullámformákat az adás előtt (CH1) és a vétel után (CH2), majd határozzuk meg a jel késleltetési idejét!



7.4-4. ábra

Késleltetési idő: _____

6.5 RS-232C jelszintjeinek vizsgálata

A feladat során megismerkedünk az RS232C be-, és kimeneti jelszintjeivel.

Az RS-232C egy interfész szabvány, amelyet az EIA (Elektronikus Ipari Szövetség) határozott meg. Az RS-232C-vel az eredeti szándék az volt, hogy a DCE (Data Communication Equipment) számára interfész szabványt állapítson meg.

Manapság az RS-232C-t széleskörűen használják ipari kommunikációkban, régebben PC-k esetében is közkedvelt interfész volt.

Logikai definíciók

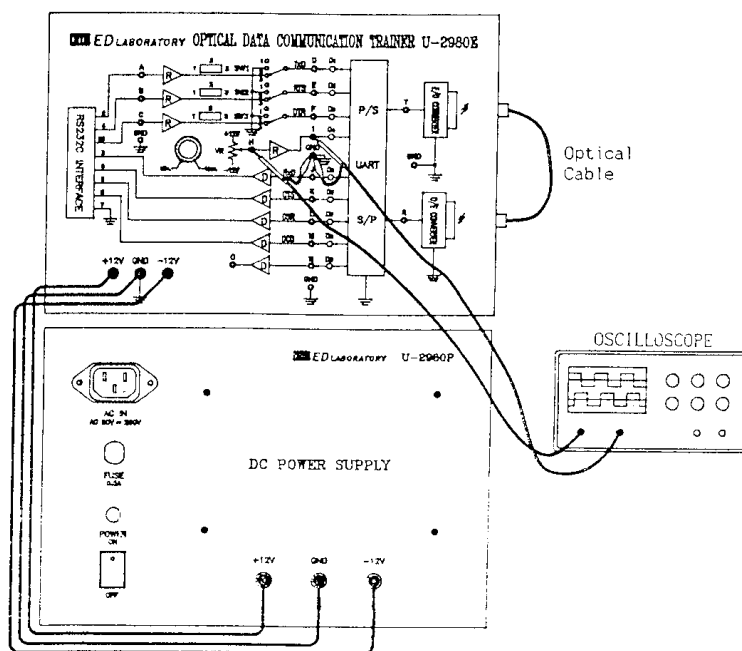
Állapot	"L" (Low:alacsony)	"H" (High:magas)
Feszültség tartomány	-25V ~ -3V	+3V ~ +25V
Logika	"1"	"0"
Név	Mark (jel)	Space (szünet)

7.5-1. ábra

Szükséges eszközök:

- Optikai adatkommunikációs eszköz (U-2980E)
- DC tápegység (U-2980P)
- Száloptikai kábel
- Oszilloszkóp/digitális multiméter

1. Az U-2980P tápegység legyen kikapcsolva, így csatlakoztassuk a berendezést a 6.5-2. ábra szerint:



6.5-2. ábra

2. Az U-2980P-t kössük össze az U-2980E tápcsatlakozásával.

3. Csatlakoztassuk a száloptikai kábelt!
4. A „VR”-t állítsuk „Min.”-re.
5. Kapcsoljuk be a tápegységet!
6. Kössük az oszcilloszkóp CH1 csatornájára az U-2980E „H” és „GND” , CH2 csatornájára pedig az „I” és „GND” pontját!
7. A „VR”-t forgassuk „Max.” felé, közben „H” kivezetésen mérjük a bemenő feszültséget. Töltsük ki a táblázatot!
8. Ismételjük meg a 7. lépést az „N” és „O” kivezetésnél, az értékeket írjuk be a táblázatba!

RS-232C szint	TTL szint	TTL szint	RS-232C szint
H kivezetés	I kivezetés	N kivezetés	O kivezetés
-7V			
-3V			
+3V			
+7V			