

Fázis Zárt Hurok- hallgatói mérés

Phase Locked Loop – student measurement

Tartalomjegyzék

<u>BEVEZETÉS</u>	3
<u>1. PLL ELMÉLETI ALAPJA</u>	4
<u>FÁZISDETEKTOROK:</u>	6
<u>1. TÍPUS ANALÓG SZORZÓ</u>	6
<u>2. TÍPUS: XOR KAPU</u>	8
<u>3. ÉS 4. TÍPUS:</u>	9
<u>MODULÁCIÓK</u>	11
<u>MODULÁCIÓK FAJTÁI</u>	11
<i>Amplitúdó moduláció</i>	11
<i>Ring modulátor</i>	12
<i>Szorzó modulátor</i>	12
<i>AM moduláció típusok:</i>	13
<i>AM demoduláció</i>	15
<i>Szorzó demodulátor</i>	15
<u>FREKVENCIA MODULÁCIÓ</u>	16
<i>FM modulálás:</i>	16
<i>FM demodulálás:</i>	16
<i>VCO - Voltage Controlled Oscillator</i>	16
<i>Műveleti erősítő VCO amplitúdó szabályzással (AGC):</i>	17
<i>Schmitt triggeres VCO</i>	18
<u>FREKVENCIA OSZTÓK</u>	19
<i>Bináris osztó</i>	19
<u>PLL TOVÁBBI ALKALMAZÁSAI</u>	20
<i>Wobbler:</i>	20
<i>PLL: Motor fordulatszabályozás</i>	20
<u>MEGVALÓSÍTÁS</u>	22
<u>A CSATLAKOZÁSI LEHETŐSÉGEK</u>	23
<u>A KAPCSOLÁS</u>	26
<u>OSZTÓK</u>	28
<u>MÉRÉS MENETE</u>	31
<u>MÉRÉSI ÚTMUTATÓ</u>	34
<u>ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS</u>	34
<u>MÉRÉSHEZ SZÜKSÉGES MŰSZEREK:</u>	36
<u>MÉRŐPANEL LEÍRÁSA:</u>	37
<u>MÉRÉSI FELADATOK:</u>	38
1. <i>feladat</i>	38
2. <i>feladat</i>	38
3. <i>feladat</i>	39
4. <i>feladat</i>	39
5. <i>feladat</i>	39
<u>MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYVEK KIÉRTÉKELÉSE, TAPASZTALATOK</u>	41
<u>ÖSSZEFOGLALÓ</u>	41
<u>SUMMARY</u>	41
<u>ÁBRAJEGYZÉK</u>	42
<u>FELHASZNÁLT IRODALOM</u>	44

Bevezetés

PLL hallgatói mérés készítése Analóg és Hírközlési áramkörök című tárgy keretén belül

Egy olyan összetett áramkör megvalósítása, mellyel a hallgatókat meg lehet ismertetni a Fázis-zárt hurok alkalmazásával, híradástechnikában betöltött szerepével, különböző fázisdetektorok típusaival, frekvenciaszintézis fogalmával, AM-FM-FSK demoduláció lehetőségével.

Manapság minden készülékben, legyen szó analóg, vagy digitális, híradástechnikai, számítástechnikai áramkörökről, alkalmaznak bennük fázis-zárt hurkot. Már a '30-as években felfedezték, ám ekkor még a bonyolult áramköri igények miatt nem alkalmazták, csak a '60-as években került újra elő. Jelhelyreállító képessége miatt főleg TV-vételtechnikában volt nagy szerepe.

Számítástechnikában az órajel előállítására nélkülözhetetlen.

1. PLL elméleti alapja

Felépítése:

3 alapvető részből áll:

- fázisdetektor,
- Aluláteresztő szűrő
- VCO

A hurokban még osztók is elhelyezhetők.

A PLL lényegében egy szabályozási hurok, mely visszacsatolást tartalmaz. Frekvenciát csatolunk vissza, melyet a fázisdetektor hasonlít össze a referencia frekvenciával. Ennek eredménye egy U_{PD} feszültség. Ezt a feszültséget egy aluláteresztő szűrőre vezetjük, mely integrálva a jelet egyenfeszültséget képez. Ez lesz a VCO vezérlőfeszültsége.

Analóg PLL:

A bejövő jel szinuszos, melynek adott frekvenciája, és fázisszöge van: $U_{be}(t) = W_{be} \cdot \Phi_{be}$

A kimenő jel, azaz a VCO jele: $U_{ki}(t) = U_{ki} \cdot \cos(W_t + 2\pi \cdot K_v \cdot U_{asz} + \Phi_{ki})$

A fázisdetektor referencia jele: $U_{be} \cdot \cos(W_{be}(t) + \Phi_{be})$.

A VCO kimenő jeléből, illetve a referencia jelből szorzással állítja elő a hibajelet.

A két felhasznált trigonometrikus azonosság:

$$\cos(x+y) = \cos x \cdot \cos y - \sin x \cdot \sin y$$

$$\cos x \cdot \cos y = 0,5(\cos(x-y) + \cos(x+y))$$

Ezen addíciós tételek alapján meghatározhatjuk a szorzáskor keletkező feszültségeket, frekvenciákat.

$$U_{pd}(t) = U \cdot U_{be} \cdot K_p \cdot K_n \cdot \cos(W_{be}(t) + \Phi_{be}) \cdot \cos(W_0(t) + 2\pi K_v U_{asz}(t) + \Phi_{ki})$$

=

$$U_{pd}(t) = 0,5 \cdot U \cdot U_{be} \cdot K_p \cdot K_n \{ \cos[(W_{be} + W_0 + 2\pi K_v U_{asz})t + \Phi_{be} + \Phi_{ki}] + \cos[(W_{be} - W_0 - 2\pi K_v U_{asz})t + \Phi_{be} - \Phi_{ki}] \}$$

Megjelenik a két jel összeg, és különbségi frekvenciája, és DC komponens is, mely a fáziskülönbségtől függ. Ez a komponens adja a VCO vezérlőfeszültségét, kellő szűrés után.

Analóg PLL sajátossága, hogy behúzási tartománya 180°-ra korlátozódik. A középfrekvencia 90°-nál van, innen 0° és 360° között képes változtatni.

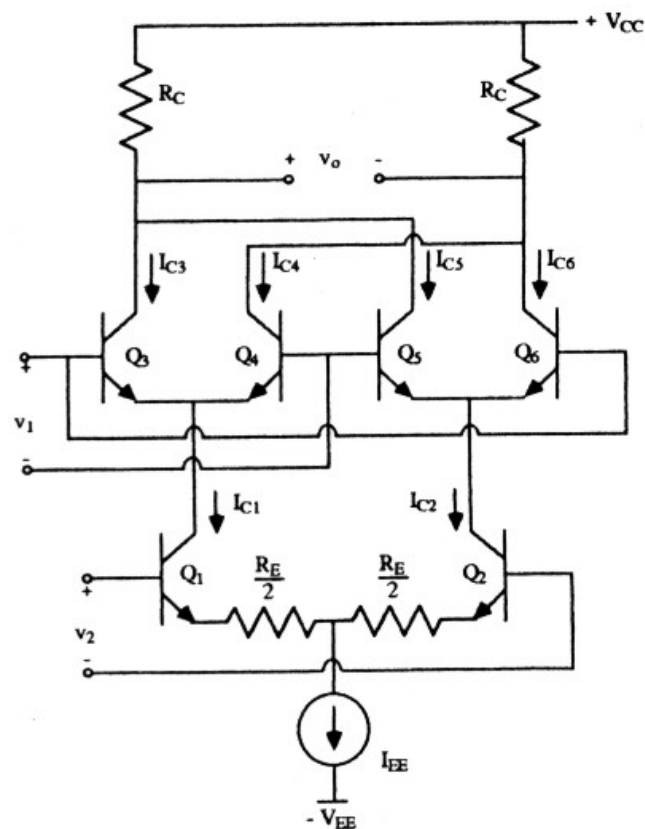
Fázisdetektorok:

Alapvetően 4 típust különböztetünk meg:

1. Analóg (szorzó)
2. Digitális (XOR kapu)
3. Digitális (fázis-frekvencia detektor)
4. Digitális (hasonló, mint az előző, viszont további kapukat tartalmaz)

1. Típus Analóg szorzó

Ez egy négynedes szorzó kapcsolás, mely azt jelenti, hogy értelmezni tudja a pozitív, és negatív feszültségek szorzatát is. Egyik formája a Gilbert-cella.



1. ábra: Gilbert cella

$$V_0 = V_1 \cdot V_2$$

Két bemenő feszültséggel arányos kimenő jelet szolgáltat.

$$\cos x \cdot \cos y = 0,5 \cdot \cos(x+y) + 0,5 \cos(x-y)$$

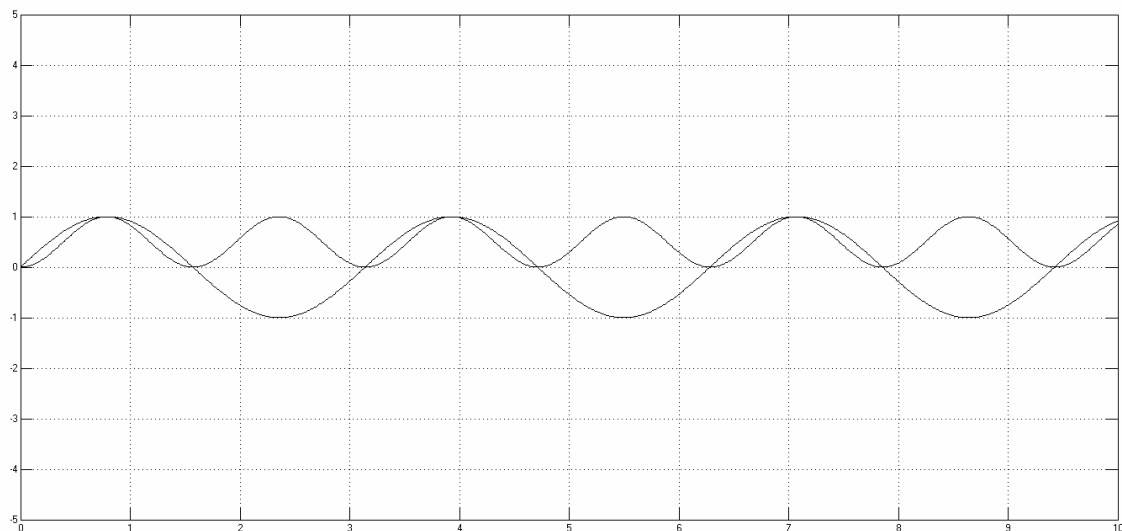
Ebből az azonosságból adódik, hogy a két bemenő jelnek előáll az összeg és különbségi frekvenciája.

Ha a két bemenő jel azonos, az áramkör frekvenciakétszerezőként működik, ugyanis

$$\cos^2(x) = 0,5 \cdot \cos 2x + 0,5 \cos 0$$

$$X + X = 2X$$

$$X - X = 0$$



2. ábra: frekvenciakétszerezés

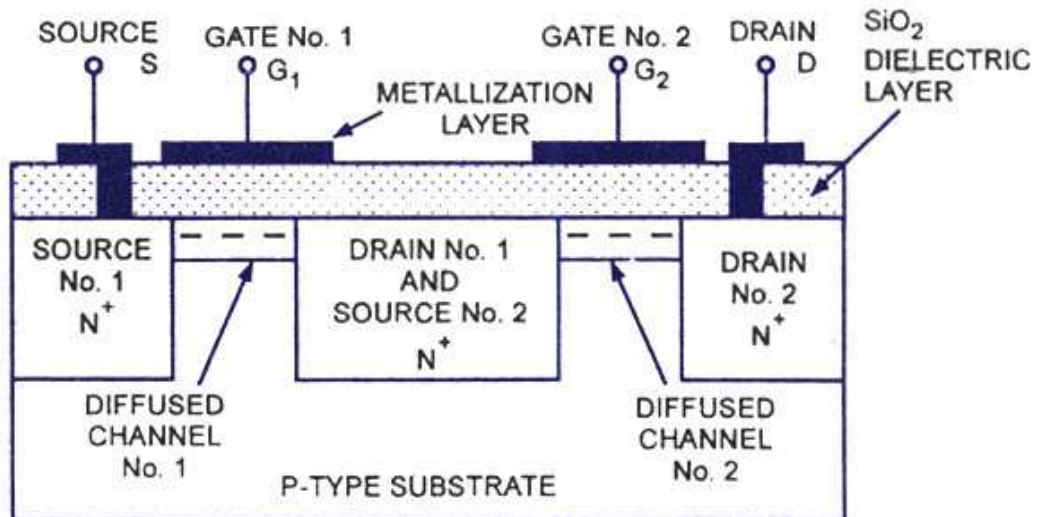
Felhasználható még vezérelhető inverternek, ha ugyanis egyik bemenetére 1-et, vagy -1-et adunk, invertál, vagy nem invertálja a jelet.

Másik felhasználása vezérelhető erősítésű erősítő.

Ennek az áramkörnek a hátránya, hogy csak megfelelő kiegyensúlyozás mellett ad tiszta eredményt, ugyanis ha ez nem teljesül, egyéb frekvenciák is előállnak.

Másik alkalmazás a Dual Gate MOSFET:

Ez egy olyan FET, melynek 2 Gate-je van, így 2 külön jellel vezérelhető.



Dual-Gate N-Channel Depletion Type MOSFET

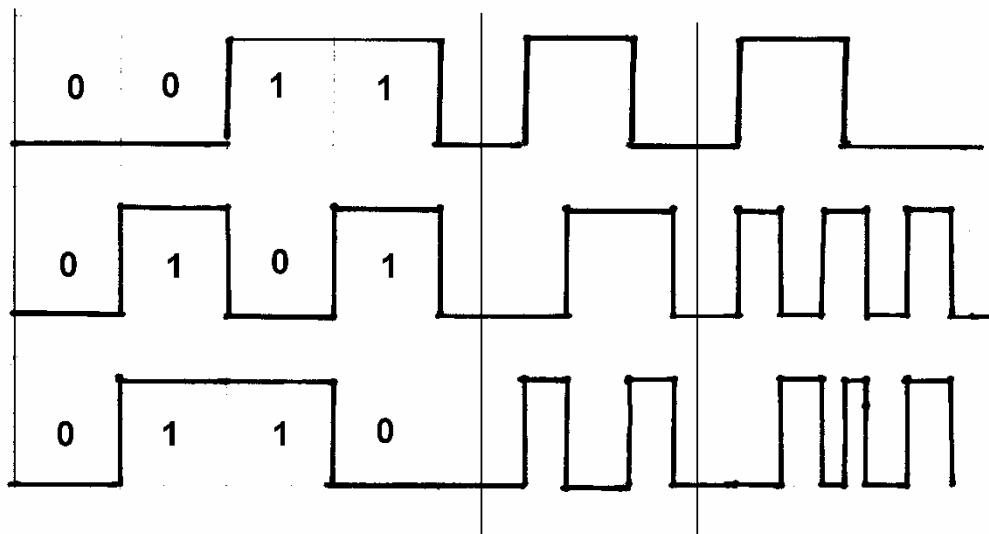
3. ábra: Dual Gate MOSFET

Rendkívül kedvelt az elektronika egyéb területein is, mivel egyik Gate-jét felhasználva, nagyon egyszerűen készíthető vele oszcillátor, így egyből keverésre is felhasználható.

2. típus: XOR kapu

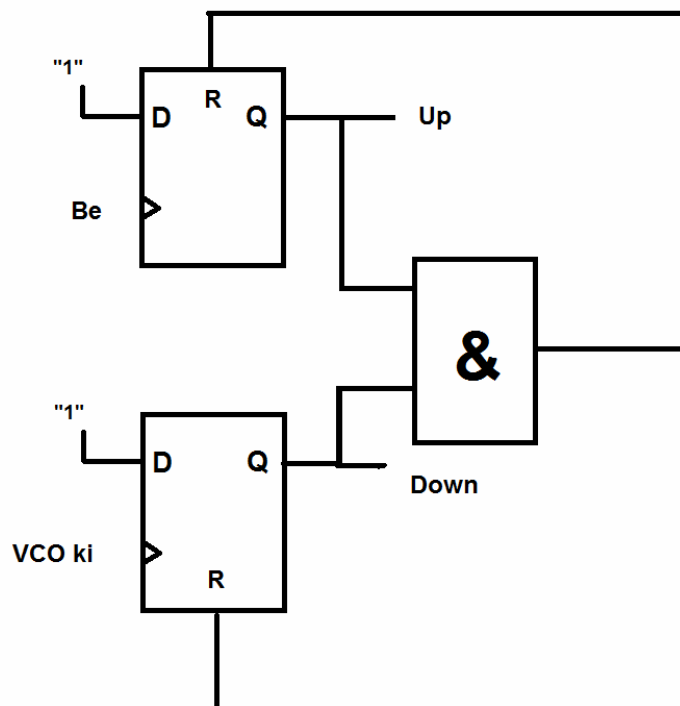
Nagyon egyszerű áramkör. Tulajdonképpen egy túlvezérlet analóg szorzónak tekinthető.

A működésről egy diagram:



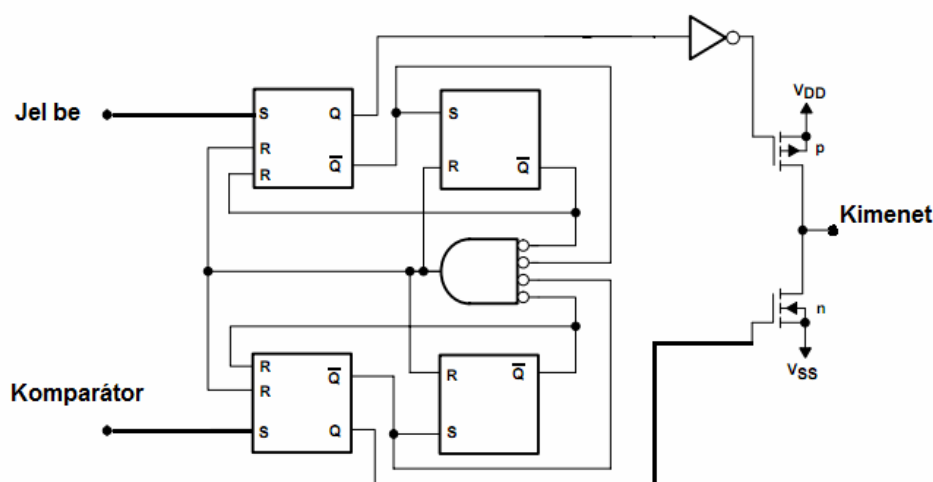
4. ábra: XOR kapu működése

3. és 4. típus:



5. ábra: 3-as típusú fázisdetektor

Ezek a detektorok már tisztán digitálisak, logikai kapukat, tárolókkal valósítják meg. Befogási tartományuk elméletileg végtelen, csak a VCO szab határt. Alapvető különbség a 3-as és 4-es típusú detektor között, hogy a 3-as a lefutó élekre is impulzusokkal reagál, mely ugyan nem számottevő, de zavaró. 4-es típusnál ezt további kapuáramkörökkel kiküszöbölték. Ezeket fázis-frekvencia detektornak is nevezik, mivel képesek frekvenciában és fázisban tökéletesen szinkronban tartani a jelet. Ezek hozzátartozója az úgynevezett Charge Pump, mely tulajdonképpen egy CMOS inverter. 3 állapota van: magas, alacsony, tri-state. Tri-state állapotban lebeg a kimenet, így nem terheli az integráló tagot. Amikor érkezik egy felfutó él, akkor lesz a kimenet aktív.

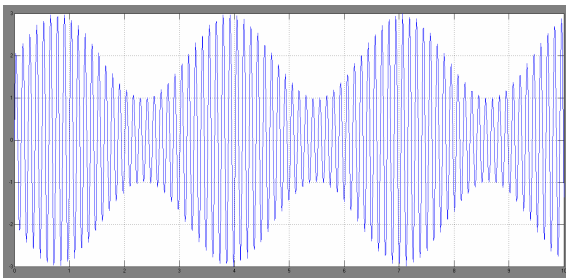


6. ábra: 4. típusú fázisdetektor

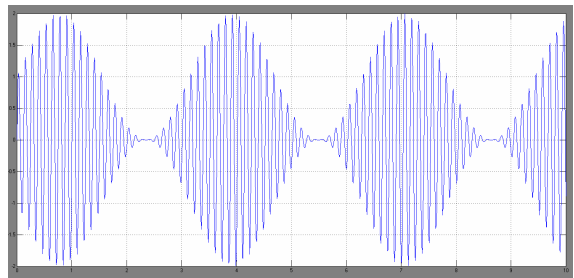
Modulációk

Modulációk fajtái

Amplitúdó moduláció



7. ábra: 50%-os moduláció



8. ábra: 100%-os moduláció

A moduláló jelet egy vivőfrekvenciára ültetjük rá.

Adott egy nagyfrekvenciás vivő, melynek amplitúdóját a moduláló jel függvényében változtatjuk. Ennek 2 alapvető megoldása van:

-additív

-multiplikatív keverés

Additív keverés során egyszerűen összeadjuk a két jelet.

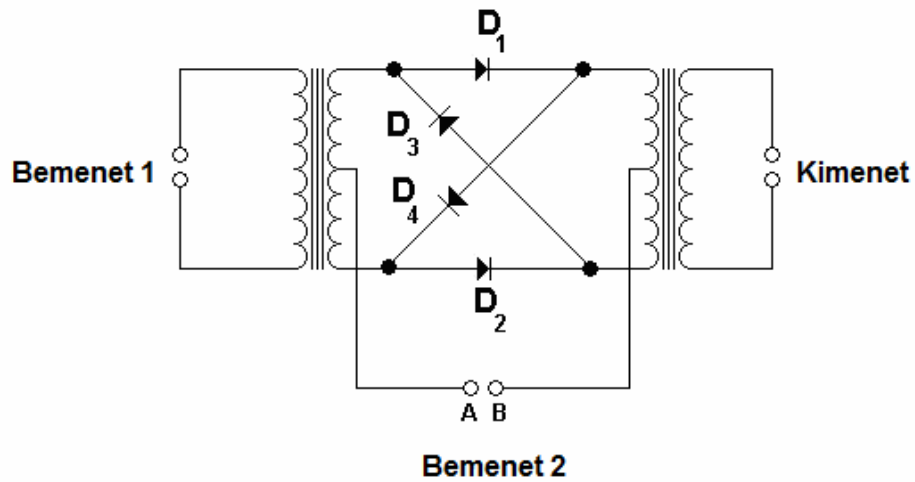
Multiplikatív során összeszorozzuk:

A jól ismert azonosság: $U = \cos x \cdot \cos y$

Modulációs index: a moduláló jel, és a vivő jel aránya.

Erre a célra használhatók szorzó áramkörök: Gilbert cella, Dual Gate MOSFET.

Ring modulátor

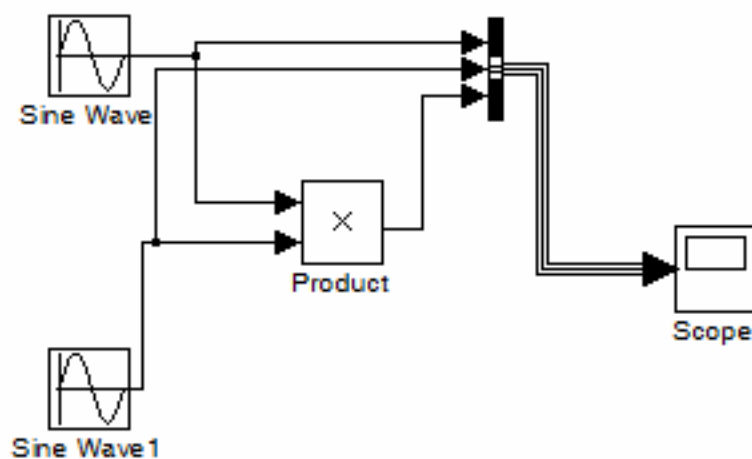


9. ábra: Ring modulátor

Ennek lényege, hogy a vivő jel először a D_1 , D_2 diódákat nyitja ki, így a moduláló jel ezeken folyik. A vivő negatív periódusában a D_3 , D_4 dióda vezet, így ilyenkor ezeken folyik áram.

Ez a kapcsolás AM-DSB/SC modulációra alkalmas.

Szorzó modulátor

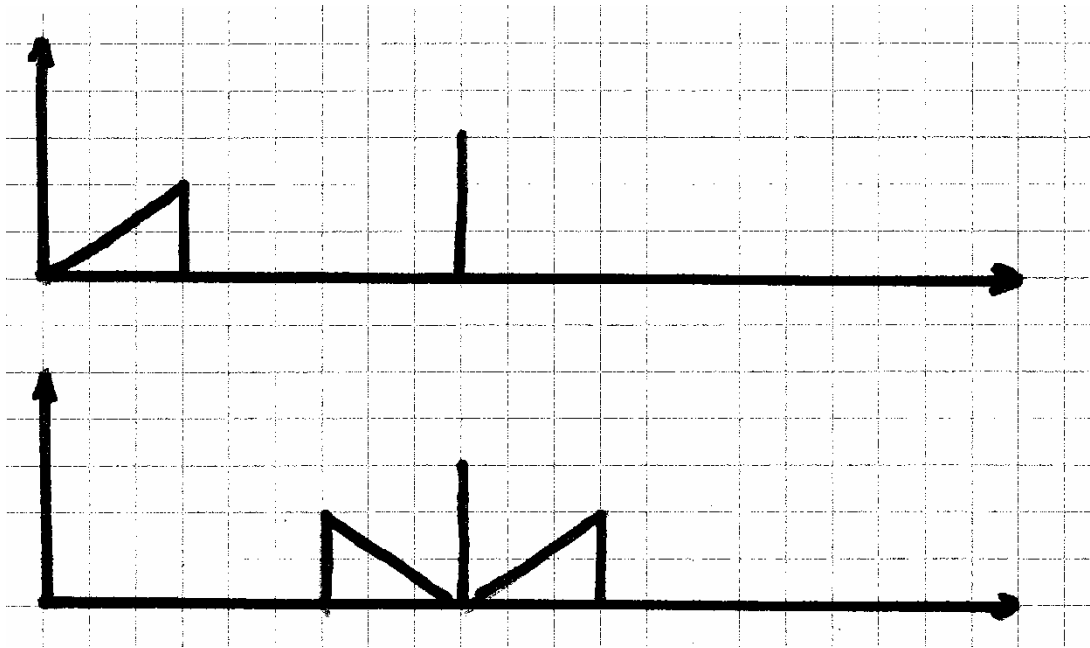


10. ábra: Szorzó modulátor

AM moduláció típusok:

AM-DSB : Double Side Band (kétoldalsávós moduláció)

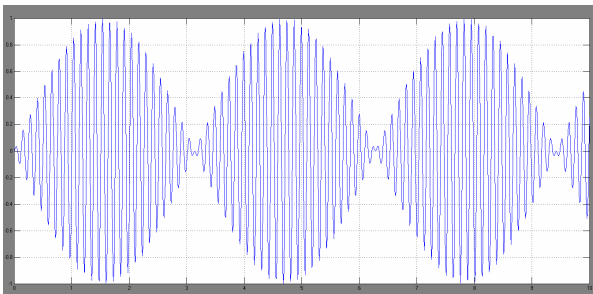
A jel tartalmazza vivőt, és a szorzásnál keletkező 2 oldalsávot is.



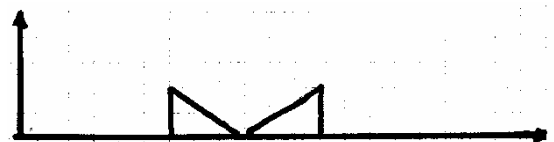
11. ábra: AM-DSB

AM-DSB/SC (Supressed Carrier)

A vivőt elnyomják, így jóval kisebb teljesítmény elég az adáshoz.



12. ábra: AM-DSB/SC jelalak

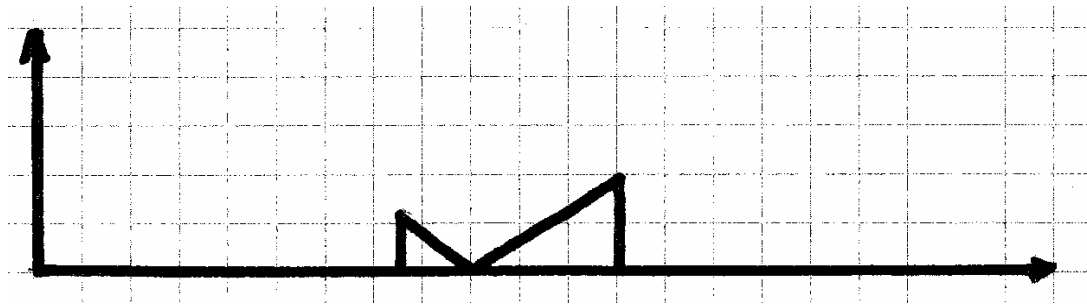


13. ábra

AM-VSB (Vestigial Side Band)

Csonkaoldalsávós moduláció

TV vételtechnikában alkalmazták, előnye, hogy csúcsdetektorral demodulálható.



14. ábra

AM-SSB (Single Side Band)

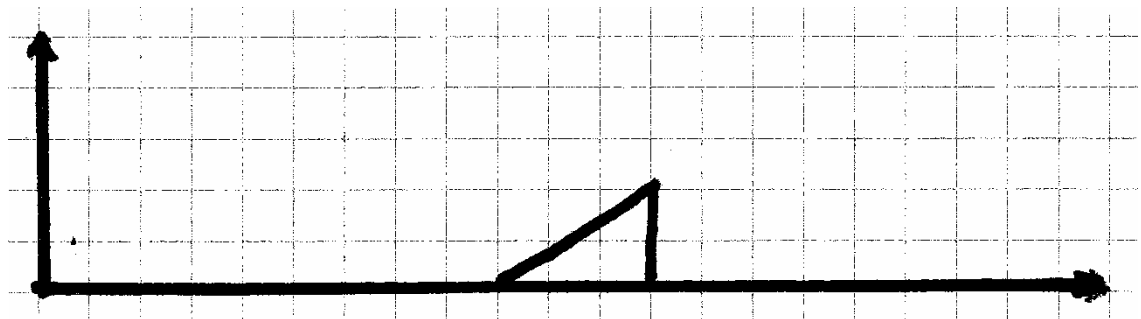
Egyoldalsávós moduláció

Fele akkora sáv szélességet igényel, mint a DSB moduláció.

Tartalmazhatja az alsó, illetve a felső oldalsávot, ennek függvényében lehet:

Upper-side

Band Lower-side Band



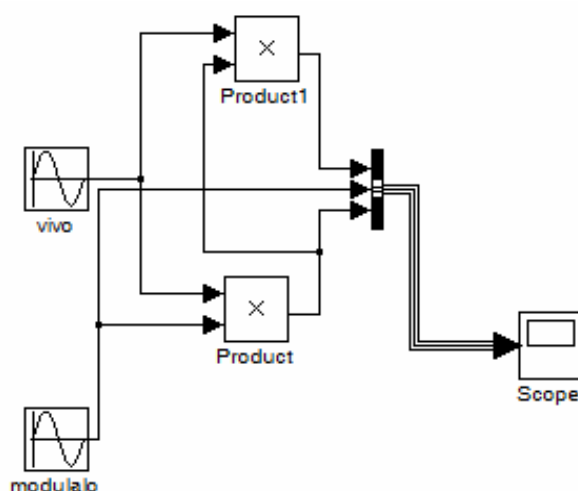
15. ábra: AM-SSB/USB

AM demoduláció

Legegyszerűbb áramkör erre a célra a diódás csúcsdetektor. Ez az áramkör azonban nem mindig megfelelő.

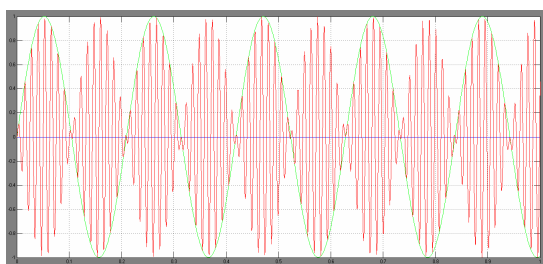
Szorzó demodulátor

Tulajdonképpen egyenirányítja a jelet, váltakozó polaritással. Mivel demodulálás után a vivő kétszeresét tartalmazza, ezért szűrni kell.

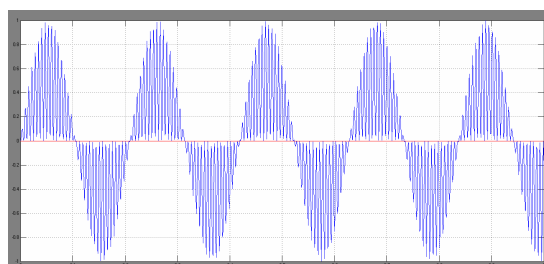


16. ábra: szorzó demodulátor

Demoduláláshoz elő kell állítani az eredeti vivőt. Ezt korábban egyszerű diódás határolóáramkörrel oldották meg. PLL-lel visszaállítható a vivő, bár adott esetben gondoskodni kell a fázishelyes visszaállításról.



17. ábra: AM jel



18. ábra: Demodulált AM jel

Frekvenciamoduláció

A vivő frekvenciáját változtatjuk a moduláló jel függvényében.. Előnye az AM modulációval szemben, hogy nem érzékeny a zajokra, ellenben jóval nagyobb sávszélességet igényel.

A moduláló jel amplitúdója a középfrekvenciától való eltérést határozza meg, ezt löketnek hívják.

Frequency Shift Keying (FSK)

A moduláló jel négyszögjel, így digitális jelek átvitelére alkalmas.

FM modulálás:

Alapja a feszültségvezérelt oszcillátor, azaz VCO.

FM demodulálás:

Erre alkalmas kapcsolás a PLL. Mivel követi a vivőfrekvenciát, az előálló hibajel maga a moduláló jel.

VCO - Voltage Controlled Oscillator

Olyan oszcillátor, melynek rezonancia-frekvenciáját feszültséggel hangolni lehet.

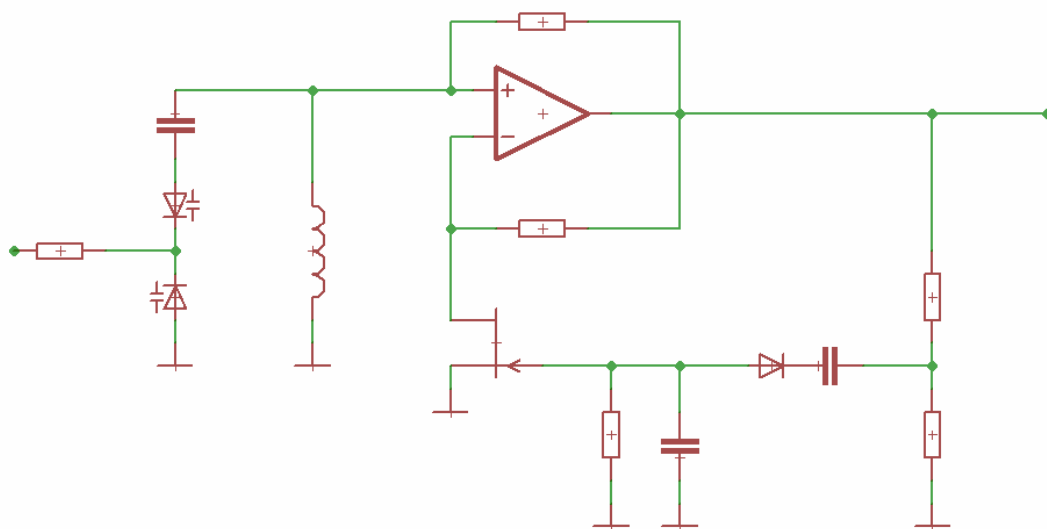
Ehhez egy hangolható elemre van szükség. Ilyen eszköz például a varicap. Olyan dióda, melynek a záróirányú kapacitása változtatható.

Oszcillátor típusok:

1. Meißner
2. Hartley
3. Colpitts
4. Clapp

Műveleti erősítő VCO amplitúdó szabályzással (AGC):

AGC – Automatic Gain Control



19. ábra

A kapcsolás egy Clapp oszcillátor, műveleti erősítővel megvalósítva. Az amplitúdó szabályozás a visszacsatoló ágban elhelyezett J-Fet-tel történik, változtatható ellenállásként működik, így szabályozva az erősítést.

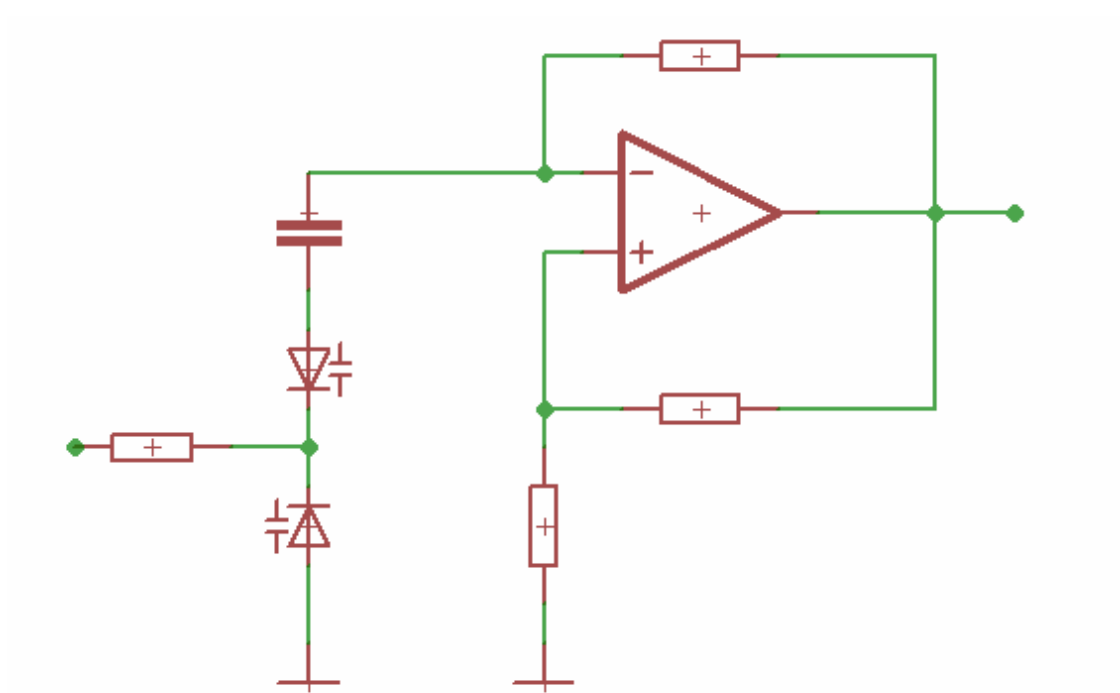
Működés:

A kimenő jelet arányosan leosztva, egy csúcsdetektáló kapcsolás állít elő negatív feszültséget a J-Fet gate-je számára. Minél nagyobb a kimeneti amplitúdó, a J-Fet annál jobban lezár.

Az $A=R_2/R_1$ képlet alapján R_1 nagy lesz, így csökken az erősítés.

Schmitt triggeres VCO

Alapja egy egyszerű Schmitt triggeres oszcillátor, viszont a kapacitást egy hangolható elemre cseréltük. Kimeneti jele négyyszögjel. Nagyon széles hangolható tartománnyal rendelkezik.



20. ábra

Frekvencia Osztók

Frekvencia osztásra különféle számlálók alkalmazhatóak. Egyszerű bináris osztóktól kezdve, programozható BCD N modulusún keresztül a Johnson számlálóig.

Bináris osztó

Bináris számlálók alapja egy flip-flopos hálózat, melyek megfelelő vezérlésével érhetjük el a megfelelő számlálási szekvenciát.

Minden flip-flop alapja egy SR flip-flop, mely két kapuból áll, amelyek lehetnek NAND vagy NOR kapuk. NAND kapus realizáció az úgynevezett inverz SR flip-flop.

SR flip-flop kiegészített változata a JK flip-flop, mely az 11 bemeneti kombinációra is értelmes kimenetet szolgáltat.

Ebből képezhető T flip-flop, egyszerűen a JK bemenetek összekötéséből adódik. Így a JK flip-flop csak 00 és 11 vezérlést lát. 00-ra megtartja eredeti állapotát, 11-re ellenkező állapotot vesz fel. Ilyen T flip-flopokból kaszkádolható tetszőleges bitszámú aszinkron számláló.

Szinkron esetben 2 bit felett komplementer hálózatra van szükség.

PLL további alkalmazásai

Wobbler:

Négypólusok vizsgálatához felhasználható mint frekvencia- feszültség konverter. A vizsgálójel végigsweepel az adott tartományon, ez a jel kerül a négypólus bemenetére. Majd a kimenő jel amplitúdójának effektív értékét kell ábrázolni az Y tengelyen. Ezt megvalósíthatjuk csúcsdetektor alkalmazásával.

X irányú eltolásról a PLL U_{asz} feszültség értéke gondoskodik. Ily módon egy hagyományos oszcilloszkóp, vagy mikroprocesszoros rendszert kétpóluspárok vizsgálatára lehet használni, Bode diagrammok amplitúdómenetének megjelenítésére.

PLL: Motor fordulatszabályozás

Bizonyos területeken szükség van precíz fordulatszámszabályozásra, például háttértárak, lemezmeghajtók esetében. Alapelgondolás, hogy a VCO maga a motor, frekvenciáját vagy optikai enkóder, vagy magnetoszenzor adja.

Motor meghajtása – egyenáramú motor esetén- PWM (Impulzus Szélesség Moduláció) jellel történik, ennek a meghajtásához szükséges vezérlőjelet a PLL szűrője adja.

Az enkóderből érkező jelet programozható osztóval kell a megfelelő frekvenciára osztani, melyet a fázisdetektor hasonlít össze egy referencia frekvenciával.

Alkalmazásra egy példa:

Adott egy motor, melynek maximális fordulatszáma 4000 rpm. Szeretnénk fordulatszámát 100 rpm-es lépésekben változtatni.

Az enkóder tárcsája fordulatonként 100 impulzust ad. Ebből adódóan 4000 rpm fordulat mellett a frekvencia:

$$4000\text{rpm} / 60 = 66,6 \text{ rps}$$

$$66,6 \text{ rps} \cdot 100 = 6666,6 \text{ Hz}$$

100 rpm :

$$100/60 \cdot 100 = 166,6 \text{ Hz}$$

Tehát a referencia frekvenciát 166,6Hz-es lépésekben szeretnénk változtatni.

A szükséges osztási arány : $6666,6 \text{ Hz} / 166,6 \text{ Hz} = 40$

Tehát egy Mod 40 osztóra van szükségünk. Ehhez egy Mod100 osztót kell dekrementálni, mely 2 dekadikus osztóból áll. Ezek kimenete van kikódolva decimális értékre, és a megfelelő resetfeltétel teljesülése esetén egy impulzust ad. Használható 10 állású fokozatkapcsoló, BCD peremkerék, vagy egyéb digitális áramkör.

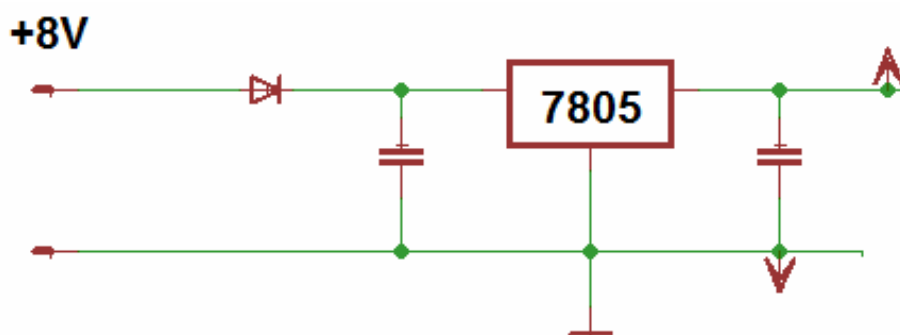
Megvalósítás

Mérőpanel elvárások

Táp ellátás: a logikai áramkörök CMOS technológiájúak, így széles feszültségtartományban működnek. Mégis 5V-ot választottam, mivel így kompatibilis a függvénygenerátor TTL szintjeivel.

Hogy mindez hallgatóbiztos legyen, szükséges a bemenő feszültséget védődiódával és 7805 feszültség-stabilizátor IC-vel szabályozni. Így akár fordított polaritásnál sincs gond, és nem okoz gondot a tápfeszültség pontatlan beállítása sem, így nem befolyásolja a mérési eredményeket.

A bemenő minimum feszültség így 7,5V-ra jön ki, de a biztos működés feltételeként 8V az előírt. Az áramkör 7805 stabilizátor IC-t alkalmaz.



21. ábra

A tápot a hallgató banándugókkal vezeti a panelra. Tápfeszültség meglétének ellenőrzési lehetőségéről LED gondoskodik.



22. ábra: Mérőpanel

A mérőpanel egy bakelit dobozban kapott helyet, melyet plexilap fed, így látható a belső kapcsolás. Ebbe a plexi lapba lettek a csatlakozók, kapcsolók beszerelve.

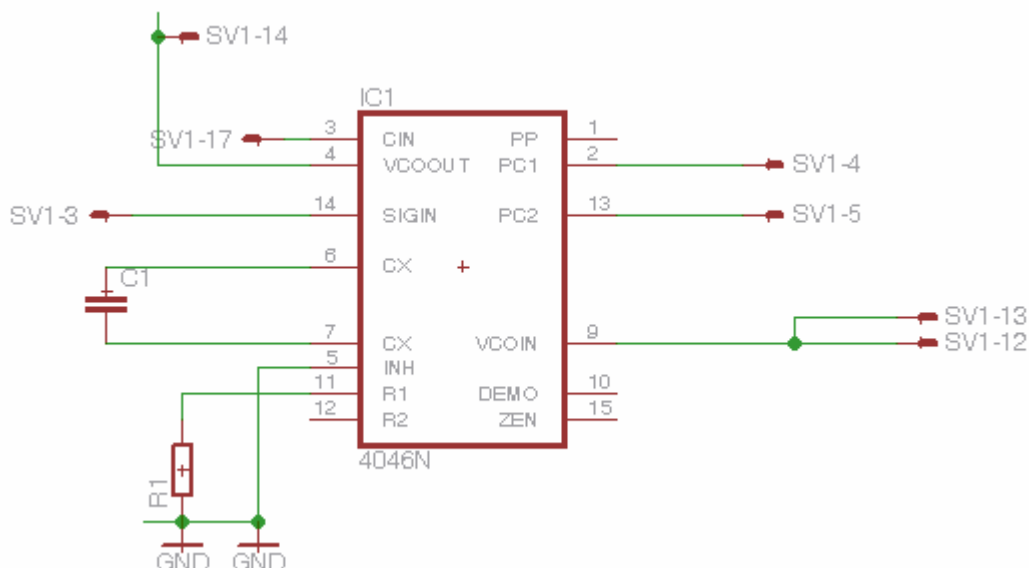
A panelhez a hozzávezetések szalagkábelrel vannak megoldva. A plexilap megmunkálása egyetemes marógép segítségével került megmunkálásra. A csatlakozásokhoz felirat tartozik, megkönnyítve a beazonosításukat. A belső felépítés megértéséről szemléletes ábra gondoskodik.

A csatlakozási lehetőségek

A panelhez hozzávezető kábelek koax kábelek, BNC végződésel ellátottak, így a műszerekkel kompatibilisek.

Tápfeszültség és multiméter csatlakoztatásához banánvezeték szükséges.

A kapcsolás lelke



23. ábra

A PLL alapját a CD4046 jelzésű IC adja, mely egy komplett PLL áramkört foglal magában. Tartalmaz 2, esetleg 3 fázisdetektortól függően, és beépített VCO-t.

A fázisdetektorok második és negyedik típusúak. A negyedik típusú felfutó élre érzékeny, így nem okoz gondot az esetlegesen osztóból jövő asszimmetrikus jelalak.

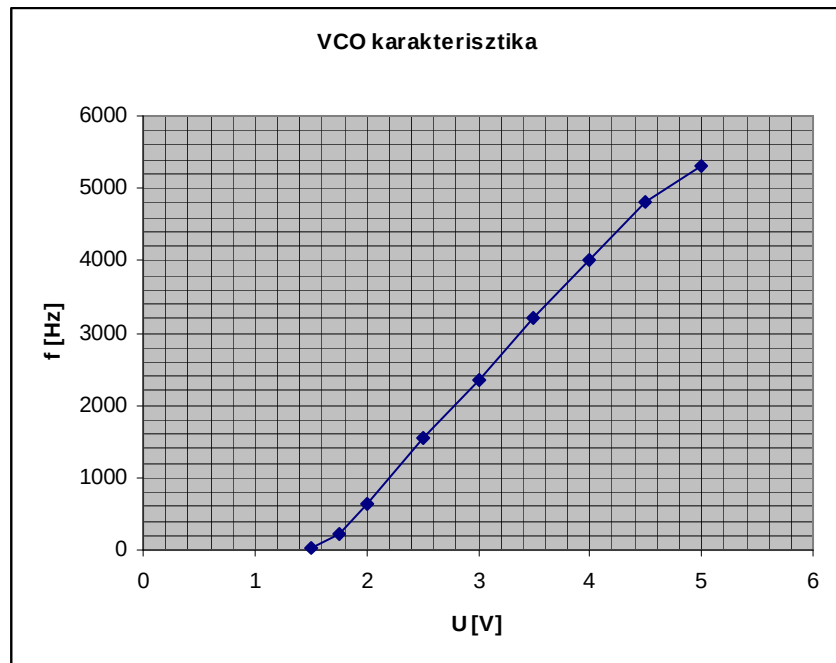
A VCO

Működéséhez külső RC tag szükséges, melyekkel a működési tartományt lehet megszabni.

Van tiltó bemenete, mellyel a VCO-t lehet ki-, illetve bekapcsolni. Ez a funkció On-Off Keying moduláció megvalósítására alkalmas. Hasznos még akkor, ha nem használjuk a VCO-t, és így energiát szeretnénk spórolni.

U [V]	F [Hz]
1,5	18
1,75	225
2	627
2,5	1550
3	2360
3,5	3200
4	4000
4,5	4800
5	5300

Mért értékek



24.ábra: VCO karakterisztika

$$K = df/dU = 1,7 \text{ kHz/V}$$

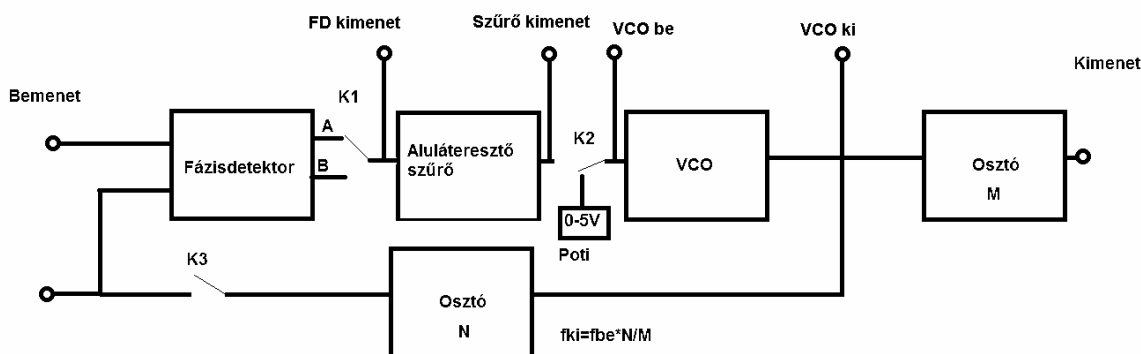
A k mutató a feszültséggel arányosan történt frekvenciaváltozás mértékét adja meg.

Linearitása nagyon jó, azaz a frekvencia egyenes arányban van a bemeneti feszültséggel.

Van minimum bemeneti feszültség, mely alatt már nem működik, ez kb. 1,5V körül van.

A kapcsolás

Egy komplett PLL kapcsolást valósítottam meg, osztókkal, így jól szemléltethető a PLL működése, gyakorlati haszna.



25. ábra

Fázisdetektorok bemenete közös, belsőleg bufferolva vannak, így nem terheli az előző fokozat kimenetét. Ez a pont ki van vezetve a panelra, bemenet néven van megjelölve. A két detektor között kapcsolóval lehet váltani. Ezt követi az aluláteresztő szűrő, melynek be-, és kimenete is ki van vezetve a panelra, így vizsgálni lehet a fázisdetektorok kimenetét, és a szűrő kimenetét is.

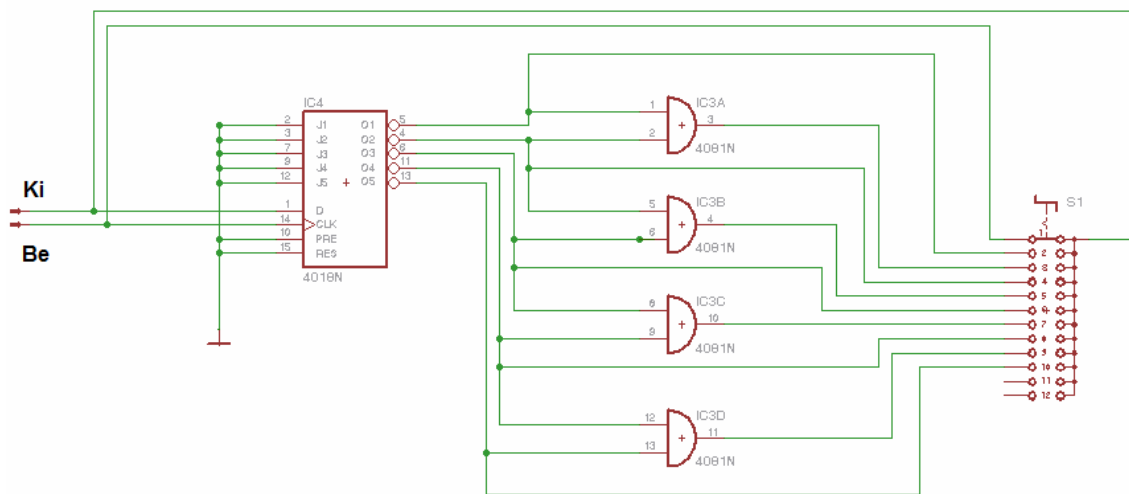
VCO karakterisztikájának felvételéhez egy kapcsolóval választható helipot tartozik, mely az 5V-ot osztja le, igen jó felbontással.

A VCO kimenete kivezetésre került, mely, abban az esetben, ha az M osztó nem használt, akkor akár a PLL kimenete is.

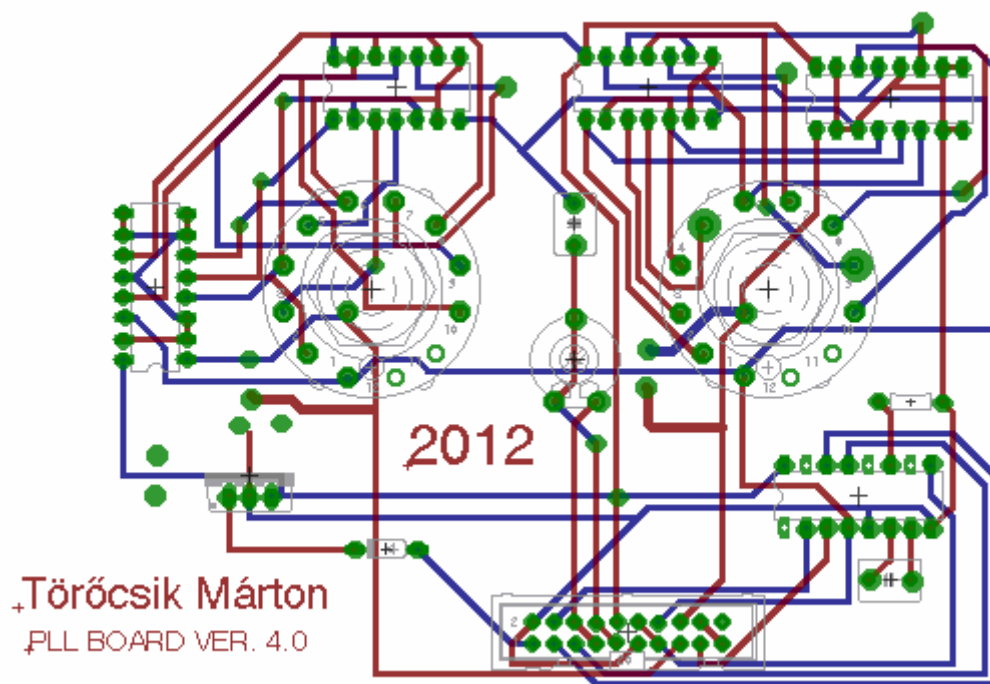
Innen a két osztó következik. M osztóval frekvenciát lehet „osztani”, N osztóval sokszorozni.

Így akár tört frekvenciák is előállíthatók.

A K3 kapcsolóval bontani lehet a kört, így egyedi fázisú jelekkel lehet vizsgálni a fázisdetektorok működését. Zárt állapotban az osztó kimenete látható a csatlakozási ponton.



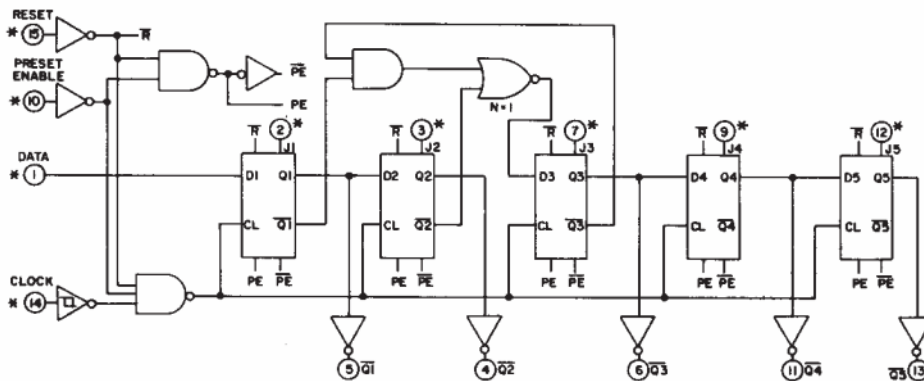
26. ábra: Mod10 osztó



27. ábra: a kapcsolás nyákterve

Osztók

Frekvenciaosztásra a CD4018-as áramkör lett kiválasztva, mivel ez egy programozható osztó, és legfőképp mivel ez Johnson számláló, így páratlan számmal való osztásnál is közel szimmetrikus kimeneti jelet szolgáltat. Számlálási modulusa 10, azaz 10-zel való osztást lehet vele megvalósítani.



28.ábra: CD4018 belső kapcsolása

Számlálási ciklus:

Q _n	A	B	C	D	E
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1
4	0	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	0
8	1	1	0	0	0
9	1	0	0	0	0

Számlálási modulust a megfelelő kimenetek visszacsatolásával lehet beállítani.

Erre a célra több lehetőség adódik. Legegyszerűbb, egy fokozatkapcsolóval kiválasztani a kívánt variációt. Használhatunk multiplexert is, ekkor gondoskodnunk kell az osztási aránynak megfelelő BCD kód előállításáról. Ezt megvalósíthatjuk BCD peremkerékkel, vagy digitális úton, fel-le számlálóval, vagy mikrokontrollerrel.

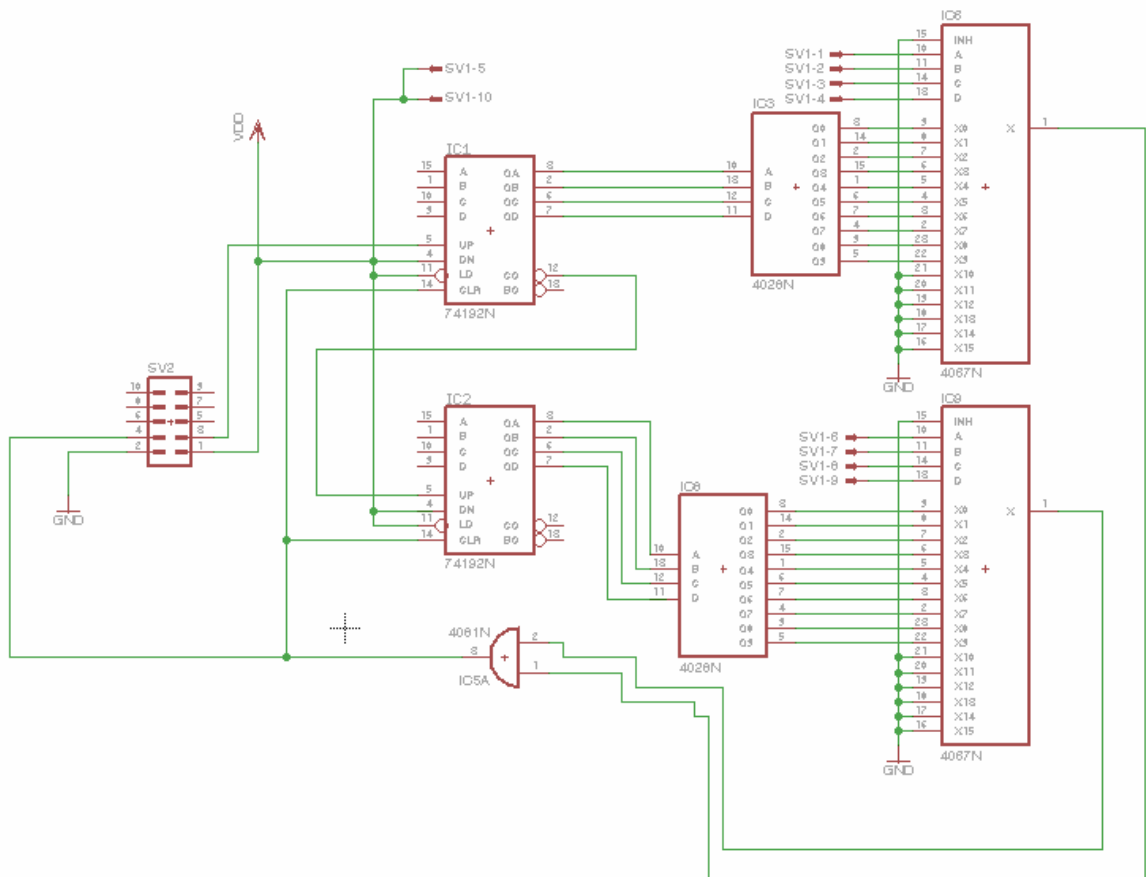
Ha nagyobb osztási arányra van szükség, akkor a számlálókat kaszkádolni kell. Ennek módja számláló típustól függ. Most egy BCD dekád számlálóra mutatom be ennek módját.

Ez a módszer kiterjeszthető tetszőleges dekádra, most 2 dekáddal foglalkozunk.

Számláló alapját a CD4017 áramkör adja. Nagy előnye, hogy a kimente már decimális kódban jelenik meg, így nincs szükség bináris-decimális konverterre. Az IC-n belül ez egy Johnson számláló.

Az osztóhoz 2db 4017-esre van szükségünk, illetve 2 fokozatkapcsolóra, vagy multiplexerre. Most multiplexert alkalmazunk. Mivel 10db kimenet van számlálónként, így legalább 4 bites multiplexer kell, vagy legalábbis 10 bemenetű. Ilyen 4 bites MUX a CD4067, amely megtalálható a CD40xx sorozatban.

A számlálókat kaszkádoljuk, így Mod 100 osztót kapunk. A modulus csökkentését úgy érjük el, hogy a kívánt osztási arány helyiértékeit kiválasztjuk az adott multiplexeren, majd ha annál az értéknél tart a számláló, akkor a kimenete 1 lesz. Ha ez az állapot mindkét multiplexeren fenáll, egy ÉS kapu küld RESET jelet a számlálóknak, és kezdi előlről a számlálási ciklust.

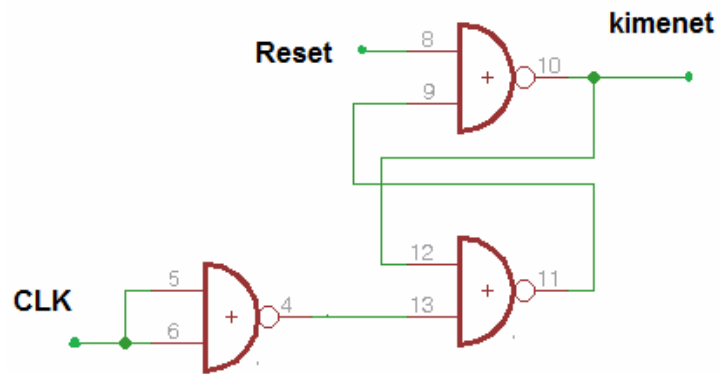


29. ábra: Mod100 osztó

Amire figyelni kell, hogy a RESET impulzus csak addig tart, amíg az egyik számláló nem resetelődik. Ezért az impulzust meg kell szélesíteni. Erre egy egyszerű áramkör használható, Nem-És kapuból megszerkeszthető.

Az áramkör fél órajel ideig biztosítja a reset impulzust, ezt egy SR flip-floppal valósítja meg.

Az És kapu kimenete a Set lábra csatlakozik, ezzel állítja 1-be a tárolót, és az órajel felfutó éle pedig vissza 0-ba.



30. ábra

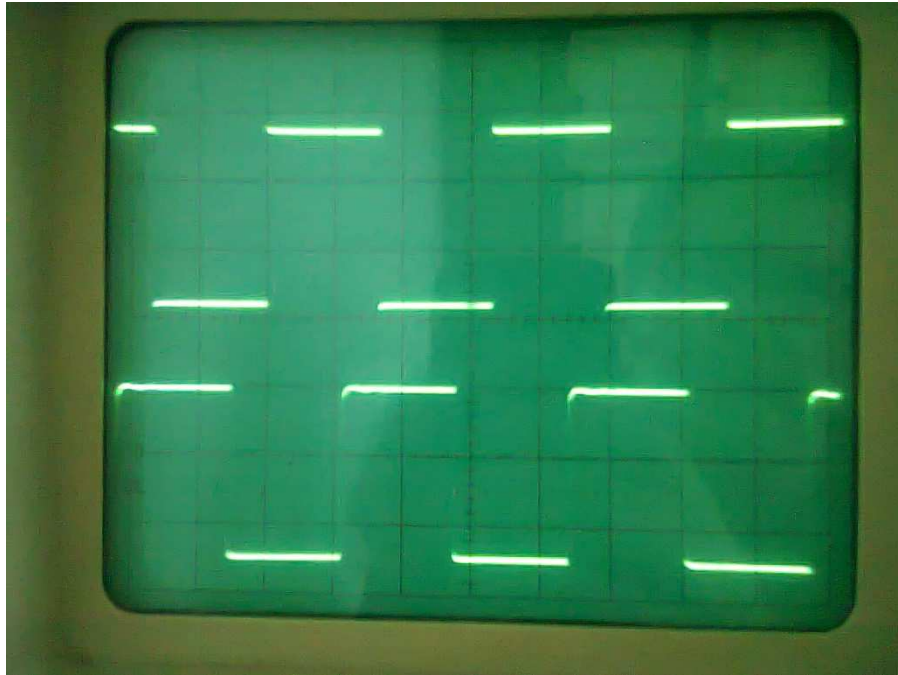
Mérés menete

Az elkészített mérési útmutató alapján röviden végignézzük a feladatokat.

Mérési útmutató tartalmazza a PLL rövid bemutatását, elméleti összefoglalót, szemléltető ábrákat, és a mérési feladatokat.

Első feladat kimérni a VCO feszültség frekvencia karakterisztikáját. Ebből képbe kerülünk, milyen tartományban is működik a VCO, ábrázolva az értékeket pedig látható a linearitás.

Második a befogási, benntartási tartomány kimérése mindkét fázisdetektor esetében. Erre a feladatra legszemléletesebb a kettes típusú, mivel ennek véges a tartománya. Itt láthatja a hallgató azt a jelenséget, amikor a PLL behúz, és követi a jelet.



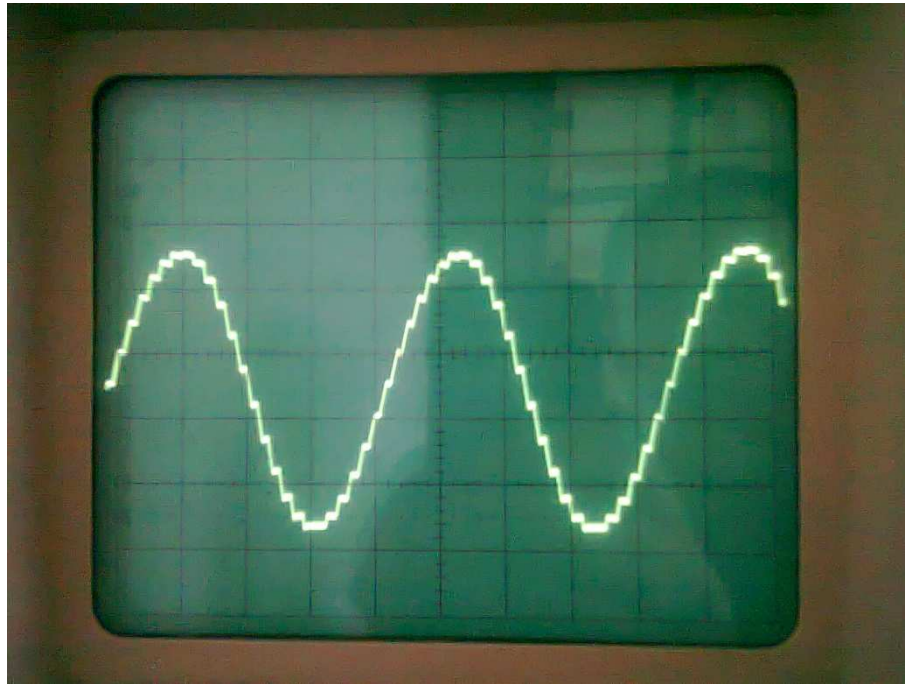
31. ábra: a bemeneti és kimeneti jel

Harmadik feladat a fázisdetektorok kimenetének vizsgálata. Itt alapvetően látszik a különbség a kétféle detektor között. Látható a XOR kapus jelalak, illetve a Charge Pump impulzusai.



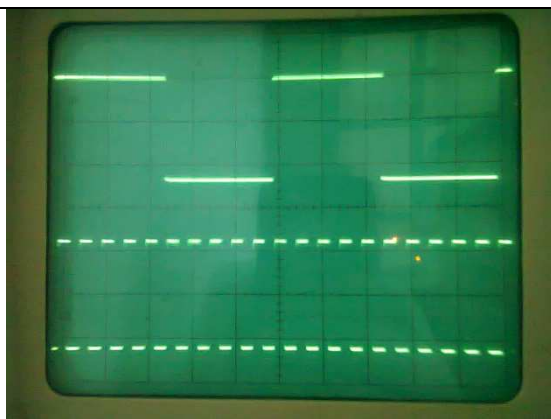
32. ábra

Negyedik feladat: FM demoduláció. Ez már egy igazi PLL alkalmazás, végre látható a PLL gyakorlati alkalmazásának lehetősége. A feladat négyyszögjel modulálása szinuszfüggvénnyel. A demodulálásnál keletkező jelalak az integráló tag kimenetén látható.

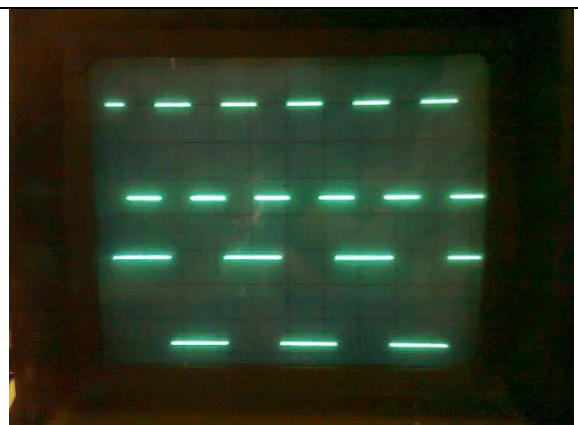


33. ábra: demodulált FM jel

Ötödik feladat frekvenciaszintézis. Itt lehet kipróbálni az osztók hatását. Különféle osztási arányok beállíthatóak, a bemenő jel törtresze, vagy többszöröse is.



34. ábra



35. ábra

Mérési útmutató

PLL – Fázis zárt hurok – Phase Locked Loop

Mérést tervezte, készítette, összeállította: Törőcsik Márton

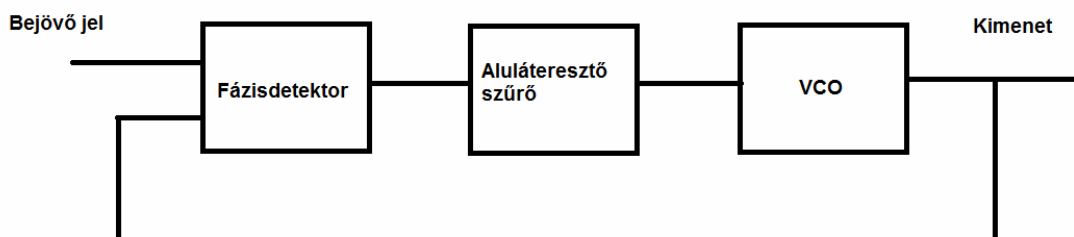
Ajánlott irodalom:

Tietze-Schenk: Analóg és digitális áramkörök

Horst Geschwinde: Bevezetés a PLL technikába

Elméleti áttekintés

A PLL a híradástechnikában széles körben alkalmazott technika, sokrétű felhasználhatósága miatt szinte mindenhol megtalálható. Mint a neve is mutatja, egy zárt hurok, mely visszacsatolást tartalmaz.



36. ábra: PLL

Működése röviden, a bejövő jellel megegyező frekvenciájú jelet állít elő, képes követni azt.

TV vételtechnikában mutatkozott meg elsőként jelentősége, mivel a vivőjel kimaradása esetén, képes továbbra is tartani a jelet, ugyan korlátozott ideig.

Felhasználható zajos jelek regenerálására is. FM demodulátorként alkalmazzák, mivel a bejövő jel követéséből származó vezérlő feszültség, a moduláló jelet eredményezi.

AM átvitelnél a vivő visszaállítására használják.

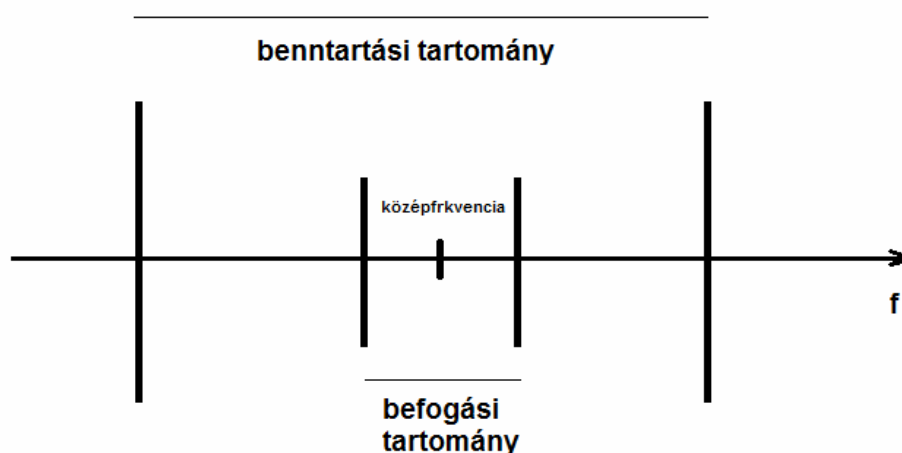
Motorfordulatszabályozás: a VCO maga a motor, melyen egy tachogenerátor van.

Jelentős felhasználása a frekvenciaszintézis, melyet a hurokban elhelyezett osztóval lehet megvalósítani.

Alapvetően 3 részből áll: a fázisdetektor, az aluláteresztő szűrő (integráló tag), és a VCO (Voltage Controlled Oscillator).

Lényeges része a fázisdetektor, mely két jelet hasonlít össze, ezek függvényében egy arányos jelet állít elő. Több fajtája létezik. Típus szerint 4 csoportra oszlik. Az első típus az analóg detektor, mely egy szorzó áramkör. Második típus, már digitális, XOR (kizáró-vagy) kapu, mely a két jellel arányosan különböző kitöltési tényezőjű négyszögjelet állít elő, melynek integráltja adja a VCO vezérlőfeszültséget. A harmas és négyes típus, őket fázis-frekvencia detektornak is nevezik, mivel szinte fázishiba nélkül képesek követni a jelet.

PLL-el kapcsolatos fogalmak



37. ábra

Behúzási tartomány (Lock Range): PLL csak véges frekvenciatartományon működik, behúzási tartomány főleg a fázisdetektortól függ. Az a frekvenciatartomány, melyet a PLL képes befogni. 1-2 típusú fázisdetektornál ez $\pm 90^\circ$, 3-4 típusnál $\pm 180^\circ$, elméletben végtelen, csak a VCO szabja meg.

Benntartási, vagy követési tartomány: behúzott állapotban, melyet a PLL képes követni. A benntartási mindig nagyobb, mint a befogási tartomány.

VCO frekvencia tartománya: az a tartomány, melyet az oszcillátor képes szolgáltatni.

VCO vezérlőfeszültség tartomány: az a feszültségtartomány, melyet a VCO képes fogadni.

VCO középfrekvencia: a VCO önrezgési frekvenciája. Általában a vezérlőfeszültség fele.

Méréshez szükséges műszerek:

Tápegység: a mérőpanel +8V egyenfeszültséget igényel, belül feszültségstabilizátor található.

Digitális multiméter: Hameg 8012: ezzel a VCO vezérlőfeszültséget mérjük.

Analóg oszcilloszkóp (Hameg HM-203)

Függvénygenerátor : TTL jelekre van szükségünk (0- 5V négyszögjel)

Rigol 2041A Arbitrary Waveform Generator: FM modulációhoz

Frekvenciaszámláló

BNC-BNC kábelek, BNC-banán kábel, T-elosztók

Mérőpanel leírása:

A PLL hurok pontjai BNC csatlakozókra vannak kivezetve. Kétféle fázisdetektort alkalmazunk, 2-es és 4-es típust. Ezek egy IC-n belül találhatók, ahogy a VCO is. A két detektor között kapcsolóval válthatunk. A VCO külső vezérlőfeszültséggel is vezérelhetjük, erre egy beépített potméter használható, melynek csúszkája ki van vezetve, multiméterrel mérhető. Két tizes osztó található a panelban, melyekkel frekvencia szorzást, és osztást tudunk megvalósítani. Ezek osztási arányát 1-10-ig fokozatkapcsolóval tudjuk beállítani. „1” a kikapcsolt állapot.

Panelben felhasznált IC-k:

PLL: MC14046BAL

Osztó: 2-10 modulusú Johnson számláló (programozható osztó): MC14018

AND kapuk: 4081

Mérési feladatok:

1. feladat

VCO tartományának kimérése: ehhez manuálisan adunk a VCO bemenetére DC jelet, melyet a beépített potméterrel állítunk be. 0-5V-ig lehetséges a beállítás. A VCO alacsony feszültségeken még nem működik, ez normális állapot. Hogy mindezt megtegyük, a VCO bemenetét kapcsolóval a potméterre kell kötni, ekkor mérhető a kimenten a VCO frekvencia.

Multiméterrel mérhető a vezérlőfeszültség.

Mindkét osztó „1” állásban legyen!

Feladat: vegyük fel a VCO feszültség-frekvencia karakterisztikáját, 0,5V-os lépésekben 0-tól 5V-ig, és ábrázoljuk.

2. feladat

Benntartási-befogási tartomány mérése: Kétféle fázisdetektort mérünk. Ehhez a bemenetre a függvénygenerátorral 0-5 V négyszögjelet adunk, ehhez használjuk a függvénygenerátor TTL kimenetét. Kiválasztjuk az „A” fázisdetektort, VCO bementetét a hurokba kapcsoljuk, és a fázisdetektor bementetét is zárjuk. A be- és kimenetet szkópra kötjük, VCO bemenete továbbra is marad a multiméteren.

Befogási tartomány mérése: alulról közelítünk frekvenciában, lassan, közben figyeljük a szkópot, illetve a multimétert. Amikor beáll a zárt állapot, az a frekvencia a befogási tartomány alsó értéke. Jegyezzük fel a frekvenciát, és az integráló tag feszültségét, illetve a két jel közötti fáziskülönbséget. Haladjunk tovább frekvenciában, ilyenkor a benntartási tartomány felső értékét mérjük, amikor megszűnik a szinkronizált állapot, az a követési tartomány végét jelenti. Itt is jegyezzük fel az értékeket.

Ugyanezeket a lépéseket felülről lefelés is elvégezzük, ezzel megkapjuk a két másik határt is.

Ezek után kiválasztjuk a „B” fázisdetektort, és elvégezzük ugyanezen lépéseket. Azt fogjuk tapasztalni, hogy utóbbi jóval nagyobb tartományokkal rendelkezik, hiszen itt csak a VCO, illetve az integráló tag jelent határt.

3. feladat

Kapcsoljunk „A” állásba.

Válasszunk ki egy frekvenciát, ahol a PLL zárt, és a fázistolás 90° . Jegyezzük le a frekvenciát. Szóköppal nézzük meg a fázisdetektor kimenetét. Rajzoljuk le, amit látunk. Térjünk el a frekvenciától mindkét irányban. Mit tapasztalunk?

Kapcsoljunk „B” állásba!

Válasszunk ki egy tetszőleges frekvenciát ahol a PLL zárt. Mely élekre látunk impulzusokat, illetve milyen irányban?

4. feladat

FM demoduláció

FM modulációt a Rigol műszeren állítunk elő. FM jel vivője legyen négyszögjel, amplitúdó 5Vpp, offset 2,5V, frekvenciája 2kHz. MOD gombbal kapcsoljuk be a modulációt, melynek típusa szinusz legyen, frekvenciája (FMFreq) 70 Hz, löket (Deviation) pedig 50Hz!

Output gombbal lehet bekapcsolni a kimenetet.

Szóköpra vezessük ki a jelet, illetve az integráló tag kimenetét is, ahol a demodulált jelet kapjuk. Próbáljuk ki mindkét fázisdetektorral. Próbáljuk meg lerajzolni.

5. feladat

Frekvencia szintézis

Bemenetre adjunk 400 Hz-es jelet! Használjuk a „B” detektort! N osztóval többszörözni lehet a frekvenciát, M-el osztani.

$$F_{ki} = f_{be} \cdot N/M$$

Kössük frekvenciamérőre a kimenetet! Állítsunk be 3/2-es osztást. A kivezetett pontokon szkóppal nézzük meg a jelalakokat, és rajzoljuk le.

Próbáljuk ki az összes lehetséges N szorzási értéket, jegyezzük le a frekvenciákat.

Mérési jegyzőkönyvek kiértékelése, tapasztalatok

A hallgatók a feladatokat megértették, némi segítséggel el tudták végezni a mérést. Tapasztalat viszont, hogy sajnos nincsenek tisztában alapvető fogalmakkal, mint például fázistolás, és kitöltési tényező. Tervezésnél figyelembe kell venni, hogy ez hallgatói mérés lesz, ugyanis tapasztalat, hogy amit el lehet rontani, az el is romlik. Biztosítani kell a megfelelő védelmeket.

Összefoglaló

A mérést sikeresen elkészítettem, a hozzá való útmutatóval együtt, melynek használatával a hallgatók sikeresen elvégezték a méréseket. Remélem sikerült velük megértetni a PLL működését, felhasználási lehetőségeit.

Az elméleti alapok megszerzése során új ismeretekre tettem szert, melyeket felhasználtam a tervezés során. Lehetőségem volt kipróbálni különféle kapcsolásokat. Magam is elsajátítottam a PLL felhasználhatóságát, működését, így felhasználásának lehetőségeit.

A kapcsolásokat a Cadsoft Eagle programban, szimulációkat a Matlab Simulink programban készítettem.

Summary

I have successfully managed to design a PLL measurement, with appropriate measurement description. Hopefully students could have mastered the functioning, and other benefits of the PLL. I had the chance to learn new applications, discover many interesting methods to create useful circuits.

Ábrajegyzék

1. ábra: Gilbert cella, Forrás: <http://people.chu.edu.tw/~scchang/upload/8501010-1/4q.jpg>
2. ábra: frekvenciakétszerezés, Forrás: Saját.
3. ábra: Dual Gate MOSFET, Forrás: <http://www.circuitstoday.com/wp-content/uploads/2009/09/dual-gate-mosfet.jpg>
4. ábra: XOR kapu működése, Forrás: Saját.
5. ábra: 3-as típusú fázisdetektor, Forrás: Saját.
6. ábra : 4. típusú fázisdetektor, Forrás: <http://www.ti.com/lit/an/scha002a/scha002a.pdf>
7. ábra 50%-os moduláció, Forrás: Saját.
8. ábra: 100%-os moduláció, Forrás: Saját.
9. ábra: Ring modulátor, Forrás:
<http://www.softwareforeducation.com/wikileki/images/1/1d/RingModulator.gif>
10. ábra: Szorzó modulátor, Forrás: Saját.
11. ábra: AM-DSB, Forrás: Saját.
12. ábra AM-DSB/SC jelalak, Forrás: Saját.
13. ábra AM-DSB/SC spektrum, Forrás: Saját.
14. ábra: AM-VSB spektrum, Forrás: Saját.
15. ábra: AM-SSB/USB spektrum, Forrás: Saját.
16. ábra: szorzó demodulátor, Forrás: Saját.
17. ábra: AM jel, Forrás: Saját.
18. ábra: Demodulált AM jel, Forrás: Saját.
19. ábra Műveleti erősítő VCO, Forrás: Saját.
20. ábra: Schmitt triggeres VCO, Forrás: Saját.
21. ábra: Tápfeszültség szűrés, Forrás: Saját.
22. ábra: mérőpanel, Forrás: Saját.
23. ábra: PLL kapcsolás, Forrás: Saját.
24. ábra: VCO karakterisztika, Forrás: Saját.
25. ábra: PLL összeállítás, Forrás: Saját.
26. ábra: Mod10 osztó kapcsolás, Forrás: Saját.
27. ábra: a kapcsolás nyákterve, Forrás: Saját.
28. ábra : CD4018 belső kapcsolása ,Forrás: Texas Instruments CD4018b adatlap

- 29. ábra: Mod100 osztó, Forrás: Saját.
- 30. ábra: RESET képző kapuáramkör, Forrás: Saját.
- 31. ábra: bemeneti és kimeneti jel, Forrás: Saját.
- 32. ábra: a fázisdetektor kimenete, Forrás: Saját.
- 33. ábra: demodulált FM jel, Forrás: Saját.
- 34. ábra: frekvenciatöbbszörözés, Forrás: Saját.
- 35. ábra: frekvenciaszintézis, Forrás: Saját.
- 36. ábra: PLL egyszerűsített vázlat , Forrás: Saját.
- 37. ábra: tartományok, Forrás: Saját.

Felhasznált Irodalom

- Horst Geschwinde: Bevezetés a PLL technikába, Műszaki könyvkiadó 1983
- Christopher Schenk - Ulrich Tietze: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki könyvkiadó 1981
- Arató Péter: Logikai rendszerek tervezése, Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1988
- Klaus Beuth: Elektrotechnikai szakismeretek 2, B + V Lap- és könyvkiadó, 1998
- Texas Instruments CD4046 adatlap
- Texas Instruments CD4018 adatlap
- Texas Instruments CD4067 adatlap
- Molnár Ferenc: Műszeráramkörök előadás
- Turmezei Péter: Analóg és hírközlési áramkörök előadás