

## 9. Mérés

### PLL – Fáziszárt Hurok

Összeállította: Mészáros András, Töröcsik Márton

2016.08.27.

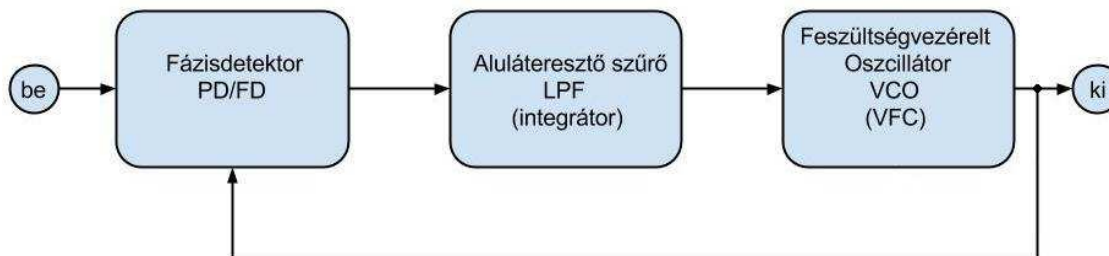
#### 9.1 Elméleti áttekintés:

A mérés során a fáziszárt hurok (**PLL - Phase Locked Loop**), mint áramkör elemzésével fogunk foglalkozni. Ezzel kapcsolatosan megismerkedünk a PLL egyszerűbb, valamint összetettebb variációival, részegységeivel, gyakorlati felhasználhatóságukkal, valamint a mérésben használatos MC14046 (CD4046B) integrált PLL áramkörrel. A mérés a PLL-ek transziens viselkedését, illetve transziensekre válaszul adott jelenségeit nem tárgyalja.

A PLL-re való igény fennállt, mióta a rádiózás létezett, végül 1932-ben szabadalmaztatták. Később integrált formában is megjelent NE565 néven, pár évvel utána pedig CD4046-néven az RCA cégnek köszönhetően.

Az egyszerű (alap) PLL olyan áramkör (vagy virtuális áramkör), amely a bemenetére kapcsolt frekvenciát képes szolgáltatni a kimenetén. Elsőre ez egyenértékűnek tűnik egy darab dróttal, de ennél sokkal nagyobb potenciál lakozik benne (bővebben a 9.2 fejezetben).

#### 9.1.1 Egyszerű PLL felépítése:



1. ábra: Az egyszerű PLL felépítése

A csupán alapegységeket tartalmazó PLL 3 fő funkcionális blokkból áll:

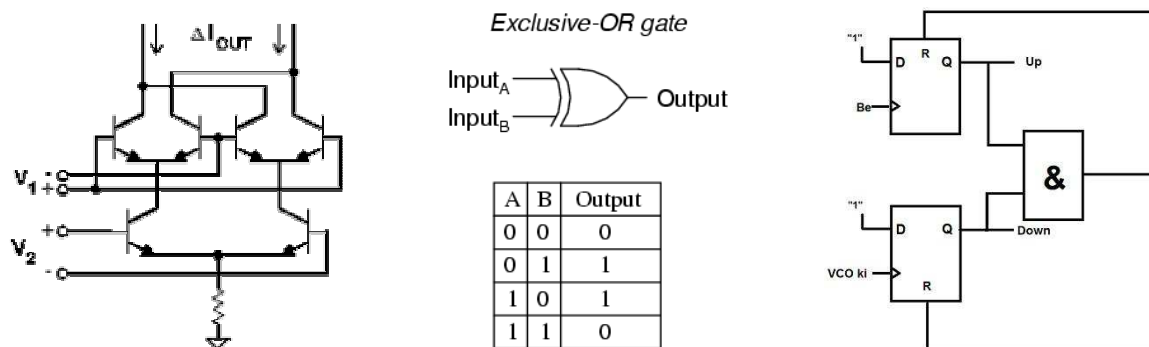
- **Fázisdetektor,**
- **Aluláteresztő szűrő,**
- **Feszültségvezérelt oszcillátor.**

A PLL-eket több fajtára oszthatjuk, felépítésüktől függően:

- **APLL:** analóg vagy lineáris PLL, melynél a fázisdetektor analóg szorzó, az aluláteresztő szűrő aktív vagy passzív RC hálózat, VCO-t használ;
- **DPLL:** digitális, analóg PLL digitális fázisdetektorral (2., 3. vagy 4. generációs), digitális meghajtó fokozatokat tartalmazhat.
- **ADPLL:** All Digital PLL, csak digitális eszközöket tartalmaz, a VCO itt numerikusan vezérelt oszcillátor (NCO);
- **SPLL:** szoftveres PLL: a funkcionális blokkok szoftveresen vannak implementálva;
- **NPLL:** neurális PLL, neurális hálózatok valósítják meg.

A fázisdetektor (PD/FD - Phase Detector / Frequency Detector), két bemeneti jel fázisviszonyait hasonlítja össze, és az eltérés függvényében egy válaszjel (hibajel) jelenik meg a kimenetén. Az elektronika és digitális technika fejlődésével a fázisdetektor több generációnyi változáson (2. ábra) ment át:

- 1. generációs: analóg négynegyedes szorzó, melynek be- és kimenetei egyaránt lehetnek pozitív és negatív előjelűek;
- 2. generációs: XOR (kizáró-vagy) logikai kapu, mely a két bemeneti jel fáziskülönbségével arányos kitöltési tényezőjű négyszögjelet (PWM) szolgáltat a kimenetén /igazságtábla: „1” a kimenete, amennyiben a bemenetei nem egyeznek meg/;
- 3. és 4. generációs: komplex digitális áramkörök; fázis-frekvencia (Phase Detector/Frequency Detector) detektornak is szokás nevezni, mivel szinte fázishiba nélkül képesek követni a jelet.

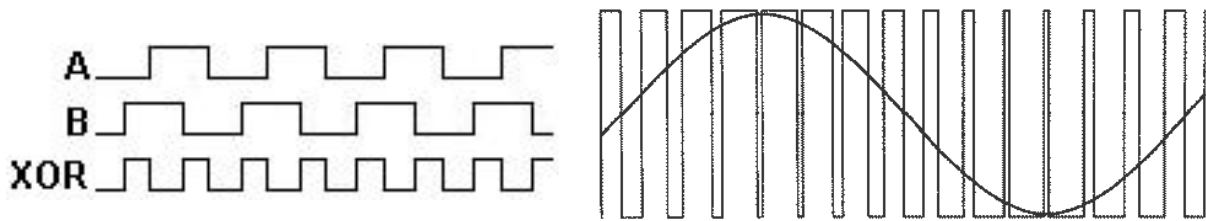


2. ábra: Fázisdetektor generációk (első, második és harmadik)

Az **aluláteresztő szűrő (Low-pass filter - LPF)**, vagy **integrátor** áramköri megvalósítása tipikusan RC tagot (lehet aktív vagy passzív egyaránt), vagy szimplán egy kondenzátort jelent. Feladata, hogy a fázisdetektor által szolgáltatott jellel arányos egyenfeszültséget állítson elő a VCO számára. Hurokszűrőként (**Loop Filter**) is hivatkoznak rá.

Ez legegyszerűbben a 2. generációs XOR kapuval és a vele sorba kapcsolt RC-tagból álló integrátorral reprezentálható. Amennyiben digitális PLL-ről beszélünk, úgy a be- és kimeneti jelek egyaránt négyszögjelek. Az XOR kapu kimenete logikai „1”, amennyiben a bemenetei között eltérés van (3. ábra); minél nagyobb az eltérés, a válaszul adott impulzussorozat kitöltési tényezője is annál nagyobb (PWM). Az aluláteresztő szűrő az impulzussorozatot átlagértékre hozza, azaz integrálja, így az impulzusszélességnek megfelelő értékű feszültség jelenik meg az integrátor kimenetén (3. ábra); természetesen állandó kitöltési tényező esetén a kimeneti jel egyenfeszültség lesz. Az integrátor helyes megválasztása kimagaslóan fontos a gyakorlatban, ezért az integrált áramkörben megvalósított PLL-ek esetén is külsőleg kell csatlakoztatni, az eltérő felhasználási módokból adódó méretezéstől függően.

Másik lehetséges megoldás, mely esetén a 3. vagy 4. generációs fázisdetektort, és integrátorként csupán egy kondenzátort alkalmazunk. A 3. vagy 4. generációs PD/FD úgy működik, hogy amennyiben a két összehasonlított jel frekvenciája (fázisa) úgy tér el, hogy a PLL frekvenciáját növelni kell, úgy egy pozitív tüskével töltéscsomagot juttat a kondenzátorra (*up*), ezzel megemelve a kondenzátor feszültségét; ellenkező esetben negatív tüskével csökkenti a kondenzátor feszültségét (*down*). Ezt az eljárást töltéspumpának (**Charge-pump**) nevezzük; megjegyzendő, hogy ilyen alkalmazásnál feltételezni/biztosítani kell, hogy a kondenzátort követő fokozat (PLL esetében a VCO) kellően nagy bemeneti ellenállású legyen.



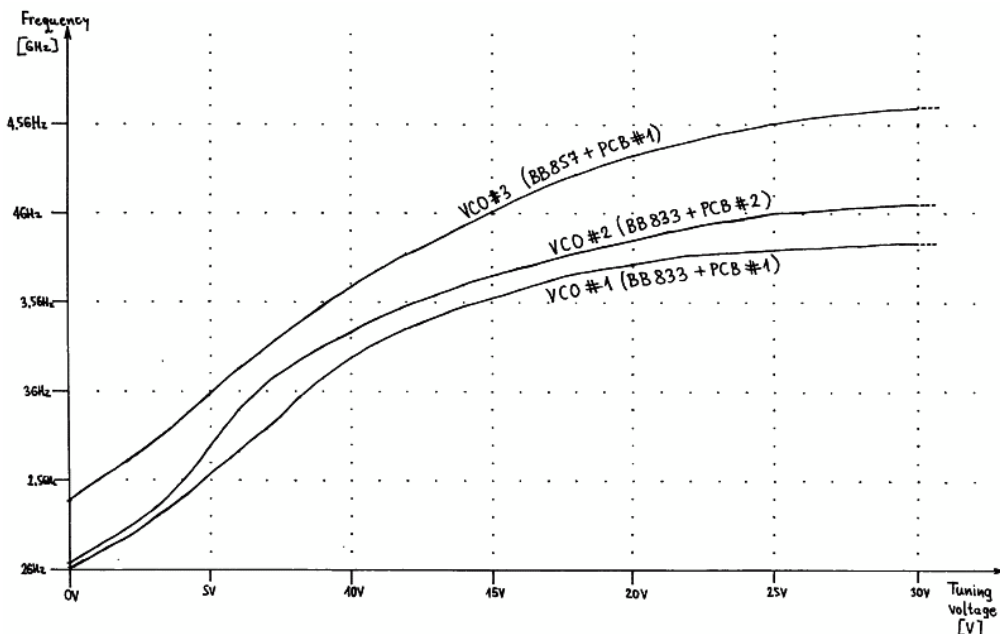
3. ábra: XOR kapu jelalakjai (bal), és a PWM jel integráltja (jobb).

A harmadik alapvető részegység a **feszültségvezérelt oszcillátor (Voltage Controlled Oscillator - VCO)**. Feladata a bemeneti vezérlőfeszültség valamilyen, az adott VCO-ra jellemző karakterisztika (arányosság) szerinti frekvencia megjelenítése a kimenetén. VFC, mint Voltage-to-Frequency Converter néven is hivatkoznak rá.

Mivel feszültséget alakít frekvenciává, ezért a karakterisztikájának meredekségét (a leglineárisabb tartományban értelmezve) Hz/V-ban adják meg, vagyis 1V vezérlőfeszültség változására mekkora kimeneti frekvenciaváltozás érhető el ( $df_{ki}/dU_{vez}$ ).

A VCO-k általában 0V vezérlőfeszültségen 0Hz kimeneti frekvenciát szolgáltatnak, továbbá rezegni csupán a minimális vezérlőfeszültség (**Input- vagy Control Voltage**) elérése után fognak. Attól függően, hogy a minimális rezgési frekvencia ( $f_{min}$ ) értéke 0Hz vagy annál nagyobb, beszélünk offset nélküli és offsetelt VCO-ról. Integrált áramkörös PLL-ek esetén a VCO-k frekvenciatartományának beállítása külső kondenzátor (és ellenállás) beiktatásával történik. PLL-ben történő alkalmazása esetén a szabályozókörnek köszönhetően van egy úgynevezett önfrekvenciája ( $f_0$ ), vagy szabadon futási frekvenciája. Ez a frekvencia a VCO maximális vezérlőfeszültség feléhez tartozó frekvenciaérték. A VCO a maximális frekvenciáját ( $f_{max}$ ) az  $U_{vez}=U_{táp}$  feltétel teljesülése esetén éri el.

A VCO-t tévesen VFO-nak – Variable Frequency Oscillator – is szokás nevezni, azonban ez a kifejezés nem fedi le a feszültséggel történő vezérlést.

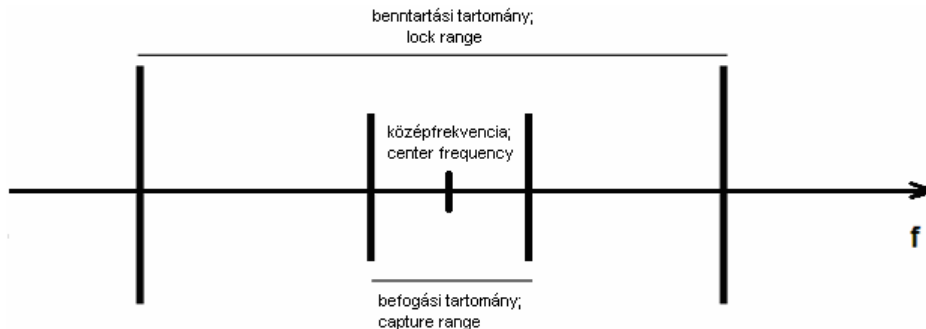


4. ábra: Példa VCO karakterisztikákra

## 9.1.2 PLL-el kapcsolatos alapfogalmak:

Az egyszerű PLL tehát igyekszik követni a bemenetére kapcsolt jel frekvenciáját (fázisát), melyet úgy valósít meg, hogy a fázisdetektor összehasonlítja a bemeneti és a VCO kimenetéről visszacsatolt jelet, melyek különbségének függvényében valamilyen válaszjelet állít elő. Amennyiben a VCO frekvenciáját növelni kell (mert  $f_{VCO} < f_{be}$ ), úgy ezen válaszjelet integráltja növekvő egyenfeszültség lesz, ellenkező esetben csökkenő. A gyakorlatban természetesen a PLL-nek megvannak a maga korlátai, különben nem létezne annyi féle.

PLL vizsgálatoknál a legfontosabb a **befogási** (behúzási) és a **benntartási tartomány** definiálása:



5. ábra: Befogási és benntartási tartomány

Sejthetjük, hogy egy adott PLL nem képes bármilyen nagyságrendű frekvenciával dolgozni. Amennyiben a PLL bemenetét üresen hagyjuk, úgy a VCO a saját frekvenciáján rezeg (**center frequency** –  $f_0$ ; 5. ábra szerinti középfrekvencia). A PLL csak a befogási tartományba eső frekvenciákra képes rászinkronizálni, tehát a tartományon kívül eső frekvenciák esetén nem fog a PLL befogott (szinkron) állapotba kerülni. Ennek értelmében definiálunk egy **befogási tartományt** (**capture range** –  $2f_c$ ). Megjegyzendő, hogy a 2. generációs PD/FD hajlamos a középfrekvencia felharmonikusain (és azok környezetében) is üzemelni. Mivel a PLL ilyen módon történő vizsgálatoknál a frekvenciaviszonyok fázisviszonyként is felfoghatók (tekintettel a fázisdetektorra), így a tartomány fázisszögben is megadható. 1. és 2. generációs fázisdetektorok esetén a behúzási tartomány  $\pm 90^\circ$ , 3. és 4. generációsok esetén  $\pm 180^\circ$ ; ez utóbbi elméletben végtelen befogási tartományt jelent, a gyakorlatban a VCO sávszélessége korlátozza.

A befogást, azaz a szinkron állapot ( $f_{ki}=f_{be}$  /  $f_{ki}=f_{VCO}$ ) elérését követően szükséges értelmezni azt, hogy a PLL maximálisan mekkora frekvenciaváltozásig képes követni, azaz szinkronban maradni a bemeneti jellel. A **benntartási tartomány** (**lock-range** –  $2f_L$ ) ennek értelmében azt mondja ki, hogy mekkora az a tartomány, ameddig elmozdulhat a bemeneti jel frekvenciája, de még a PLL tudja követni. A gyakorlatban a benntartási tartomány mindig számottevően nagyobb a befogásinál.

A VCO-ról alkotott definíciókról már szó esett, összegezve ezeket:

- VCO érzékenység: a karakterisztika meredeksége [Hz/V];
- VCO frekvencia tartomány ( $f_{max}-f_{min}$ ): a maximális és minimális működési frekvencia közötti tartomány, egyúttal a PLL **sávszélessége**;
- VCO vezérlőfeszültség tartomány: a maximális és minimális bemeneti feszültség, melyre a VCO reagálni képes;
- VCO középfrekvencia ( $f_0$ ): önrezgési/szabandonfutási frekvencia, általában a maximális vezérlőfeszültség feléhez tartozó frekvenciaérték.

## **9.2 PLL legtipikusabb alkalmazási területei:**

### **9.2.1 Frekvenciakövetés:**

A 3 alapegységből felépített PLL-t jelkövetésre alkalmazzák. Gyakorlatban kimagasló szerepe az analóg televízió és rádió vételtechnikában mutatkozik meg, ahol is az adófrekvencia esetleges megváltozását (elhangolódását) képes követni a vevőegység, tehát nem igényel utánállítást; ez a benntartási tartománynak köszönhető.

Analóg TV átvitel esetén megfelelő képalkotásról csak akkor beszélhetünk a vevőoldalon, ha a sorok és oszlopok megjelenítéséhez használatos szinkronjelek nagy pontossággal rendelkezésre állnak a vevőoldalon. Előfordulhat az is (főleg hegyvidékek esetén), hogy a szinkronjelek a vevőkészülékben egyáltalán nem, vagy többször is megjelennek (egymástól időben elcsúszva megérkeznek). Ez a képernyőn zavaros, széteső, futó képként látható (szellemkép). A PLL ezen hatást képes csökkenteni, bizonyos határok között akár megszüntetni is. A szinkronjel rövid idejű kimaradása (pl.: egykét periódus) esetén a vevőkészülék PLL-ében található kondenzátor (integrátor) tehetetlensége miatt még a PLL egy rövid ideig szinkronban futhat az elvesztett jellel, ezáltal ha véges időn belül visszaáll a szinkronjel vétele, úgy a néző észre sem veszi, hogy vételi hiba történt.

### **9.2.2 Motor fordulatszám szabályozás:**

A PLL kiválóan alkalmas forgóberendezések fordulatszámának szabályozására. Ebben az esetben a VCO-t maga a villamos forgógép jelenti. Mivel a visszacsatolt jel frekvencia kell, hogy legyen, ezért a forgórészre tachogenerátort tesznek. Ez többségében egy enkóder tárcsát tartalmaz, mely egy optokapu fényét szaggatja, így szolgáltatván a fordulatszámmal egyenesen arányos frekvenciájú jelsorozatot. Fordulatszám visszajelző (távadó) természetesen más is lehet, például Hall-szenzor, induktív érzékelő stb.

### **9.2.3 Jelregenerálás:**

A PLL jól alkalmazható a különböző átvitelek során zajossá vált jelek helyreállítására.

### **9.2.4 FM demoduátor:**

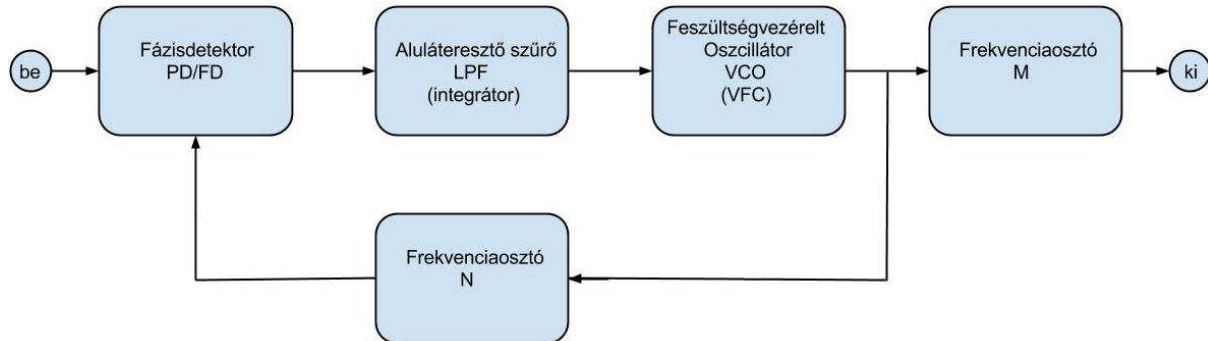
Amennyiben az áramkör kimeneti jelét nem a VCO-ról vesszük le, hanem az aluláteresztő szűrőről, úgy FM vétel esetén megjelenik a moduláló jel a kimeneten. Ennek oka az, hogy FM átvitelkor a vivőjelet folyamatosan elhangoljuk a moduláló jel pillanatértékével, melyet a PLL követni igyekszik. Ennek eredményeképpen az integrátor által a VCO számára szolgáltatott vezérlőfeszültség a moduláló jellel megegyező lesz.

### **9.2.5 DC jelátvitel galvanikus függetlenítéssel:**

Előfordulhat, hogy nagyon lassan változó (egyenszintű) jelek, pl. termisztor feszültségének galvanikusan független átvitelére van szükség. Két PLL egyidejű használata esetén az egyik PLL IC-ből csupán a VCO-t használjuk, melyet az átvinni kívánt DC jellel vezérlünk. A VCO kimenetét pl. optokapu fotodiódájára kötjük, melynek kimeneti tranzisztora által szolgáltatott frekvenciáját már egy zárt PLL-el befogunk. A vevőoldali PLL VCO-ját vezérlő feszültség szinkron állapot esetén megegyezik az adóoldali VCO vezérlőfeszültségével. A vevőoldal elve nagyban hasonlít az FM demodulátoréhoz. Fontos, hogy a két VCO karakterisztikája a lehető legnagyobb mértékben egyezzen, hiszen ez határozza meg az átvitel hibáját.

## 9.2.6 Frekvencia szintézis:

Manapság a legelterjedtebb és talán legfontosabb felhasználási terület. A PLL esetén lehetőség van arra, hogy a bemeneti és a kimeneti frekvencia ne egyezzen meg, mégis szinkron állapot uralkodjon, azaz stabil működés legyen fenntartható.



6. ábra: Frekvencia szintézer

Mivel a fázisdetektor nem a VCO kimeneti, hanem visszacsatoló ág frekvenciáját figyeli a bemeneti jeléhez képest, így lehetőség nyílik arra, hogy a visszacsatolásba frekvenciaosztót tegyünk be.

Vegyünk például, hogy a visszacsatolásban lévő osztó  $n=5$ . Ebben az esetben az N-es osztó kimeneti frekvenciája  $f_{osztó}=f_{VCO}/5$  lesz. A fázisdetektor érzékeli, hogy a visszacsatolt frekvenciaérték jóval kisebb, mint a bemeneti jelé, így a VCO vezérlőfeszültségét a kívánt mértékben növeli, míg végül a VCO frekvenciája  $f_{VCO}=f_{be} \cdot 5$  lesz.

A példából jól látszik, hogy amennyiben a PLL visszacsatolásába frekvenciaosztót teszünk, úgy a VCO kimeneti frekvenciája a bemeneti frekvencia tetszőleges egész számú többszöröse lehet, vagyis a frekvenciaosztó itt ellentétesen hat.

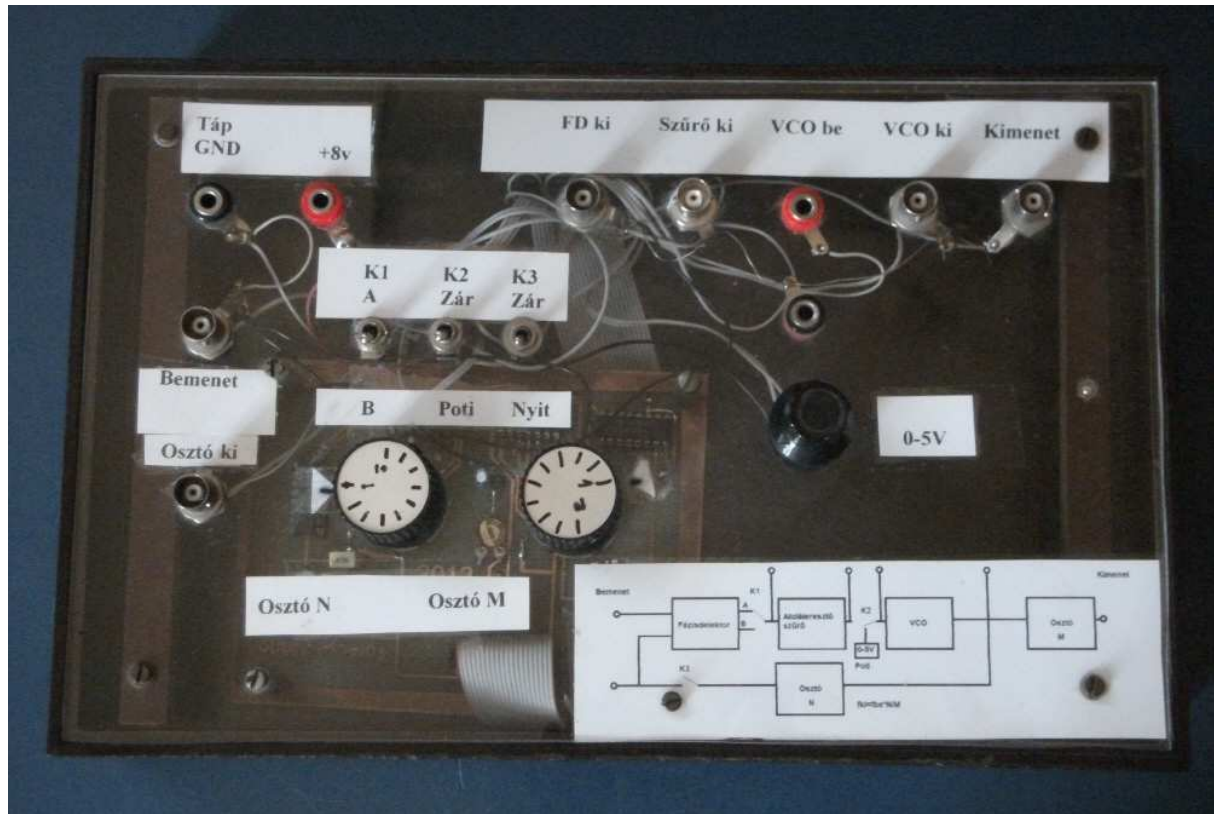
A továbbiakban egészítsük ki a PLL-t egy további, ezúttal a jellel sorba kapcsolt M-es osztóval. Ez már a jól megszokott feladatát látja el; a VCO kimeneti frekvenciáját egész számmal osztja ( $f_{ki}=f_{VCO}/m$ ).

A két osztó együttes használatával tehát a bemeneti frekvenciát tetszőleges egész, vagy akár törtszámmal is szorozhatjuk, hiszen az előbb ismertetett hatások alapján felírható:

$$f_{ki} = f_{be} \cdot \frac{n}{m}$$

A frekvenciaszintézist az informatika és a nagyfrekvenciás híradástechnika egyaránt nélkülözhetetlenné tette. Legjobb példa erre, ha megnézünk egy számítógép alaplapot, amelyen egy nagy pontosságú kvarc található; azonban ennek értéke csupán néhány MHz-től néhány 10 MHz-ig terjed. Oszillátorok nagy frekvencián nagy pontossággal nem (vagy körülményesen, költségesen) állíthatók elő. A megoldást egy, az alaplapra integrált programozható PLL jelenti, mely az ismertetett módon felszorozza a kvarc frekvenciáját a kívánt, akár több GHz-es tartományokra is; természetesen a VCO-nak tudnia kell ilyen frekvencián üzemelni. Mikrokontrollerek programozáskor is szembetaláljuk magunkat a PLL beállításának lehetőségével.

### 9.3 Mérőpanel leírása:



7. ábra: PLL mérőpanel

A mérőpanel +8V-os tápfeszültséget igényel a mérés során; valójában belül egy 7805 típusú stabilizátor található biztonsági okokból (ez magyarázza, hogy a VCO maximális vezérlőfeszültsége miért +5V).

A mérődobozon feltüntetésre került a benne található PLL és kiegészítő áramköreinek blokkvázlata, ahonnan leolvasható, hogy az egyes kapcsolók milyen feladatot látnak el a mérőkörben. Ennek megfelelően K1 fázisdetektor („A” és „B” az adatlap szerinti Phase Comparator I. és II.) kiválasztásra, K2 a VCO bemenetének kiválasztására (hurokba kapcsolt, vagy potenciométer), K3 pedig a visszacsatolás, azaz a visszacsatolási hurok zárására alkalmas.

**A „VCO be” nevű banándugós bemenetek nem a mérőpanel bemeneteként szolgálnak, azon van lehetőség multiméterrel mérni a VCO bemeneti feszültségét!**

## 9.4 Mérési feladatok:

- 1. feladat:** VCO karakterisztika felvétele. Erre a célra manuálisan adunk a VCO bemenetére egyenfeszültséget a beépített potenciométer segítségével 0-5V tartományban. (A VCO csak a minimális vezérlőfeszültség elérése után szolgáltat frekvenciát.) A VCO kimenetét kössük a Hameg frekvenciamérő fiók megfelelő bemenetére, ezzel gyorsítva a mérést (a frekvenciamérő normálalakban írja ki a mért értéket). A mérést kb. 0,3V léptékekben célszerű végezni (illetve 2,5V-on is  $f_0$  meghatározásához), és mindkét frekvenciaosztó (M és N) egyaránt 1-es állásban legyenek! *Megjegyzés: a Hameg frekvenciamérő fiók amennyiben nem kap a bemenetén értékelhető jelet, úgy a legutolsó mért értéket mutatja.*
- 2. feladat:** Befogási ( $2f_C$ ) és benntartási ( $2f_L$ ) tartományok mérése. Ezen jellemzők mérését végezzük el az „A”, valamint „B” detektorokkal egyaránt. A méréshez adjunk a bemenetre TTL szintű jelet a Hameg függvénygenerátorból. Zárjuk a hurkot, majd a bemeneti frekvenciát 2kHz-től fokozatosan növeljük mindaddig, amíg a PLL rá nem szinkronizál, vagyis a kimeneti frekvencia meg nem egyezik vele. Befogott állapotban (~3kHz) rögzítsük a be- és kimeneti jelalakokat fázishelyesen. Jegyezzük a befogási tartomány alsó határához tartozó integrátor feszültséget. Növeljük tovább a frekvenciát addig, amíg szinkronból ki nem esik a PLL; ez a benntartási tartomány felső határa. Jegyezzük itt is az integrátor feszültségét. Most fentről lefelé 4kHz-től haladva keressük meg a befogási tartomány tetejét és a benntartási alját, a lényeges információkat hasonlóképpen rögzítsük! *Fontos: a mérés során a 2 és 4kHz beállításakor először állítsuk be a frekvenciát, majd csak ezt követően csatlakozzunk a függvénygenerátorral a PLL bemenetére (mivel némelyik PD/FD felharmonikusok esetén is képes a „szinkron állapotra”)!*
- 3. feladat:** Fázisdetektorok vizsgálata. Kapcsoljuk a detektor kiválasztót „A” állásba! Válasszunk ki egy frekvenciát, ahol a PLL zárt és a fázistolás  $90^\circ$ . Jegyezzük le a frekvenciát (jk: vessük össze az adatlap által megadottal!). Oszilloszkópon vizsgáljuk meg a fázisdetektor kimenetét, rögzítsük, és magyarázzuk a látottakat! Változtassuk el a frekvenciát mindkét irányba és jegyezzük a változásokat. Ismételjük meg a mérést a „B” detektorral!
- 4. feladat:** FM demoduláció: FM modulált jelet a Rigol műszeren állítunk elő. FM jel vivője legyen négyszögjel, amplitúdó 5Vpp, offset +2,5V, frekvenciája 3kHz. MOD gombbal kapcsoljuk be a modulációt, melynek típusa szinusz legyen, frekvenciája (FMFreq) 70 Hz, löket (Deviation) pedig 50Hz! Output gombbal lehet bekapcsolni a kimenetet. Oszilloszkópra vezessük ki a jelet, illetve az integráló tag kimenetét is, ahol a demodulált jelet kapjuk. Vizsgáljuk meg a jelet mindkét fázisdetektorral! *(Lehetőség van EMG TR-4657 kétsugaras oszcilloszkóp használatára a be- és kimeneti jelek egyidejű ábrázolására.)*
- 5. feladat:** Frekvencia szintézis: adjunk a bemenetre 500Hz-es TTL jelet (Hameg függvénygenerátorral egyszerűbb), majd válasszuk ki a „B” detektort! Kössük a frekvenciamérőre a kimenetet (M-osztó utánit)! Állítsunk be 3/2-es frekvenciát a kimeneten. A kivezetett mérőpontokon fázishelyesen rögzítsük a jelalakokat! Több összeállításban is igazoljuk frekvenciamérési eredményekkel az n/m-es osztó, azaz a frekvencia szintézis működését!



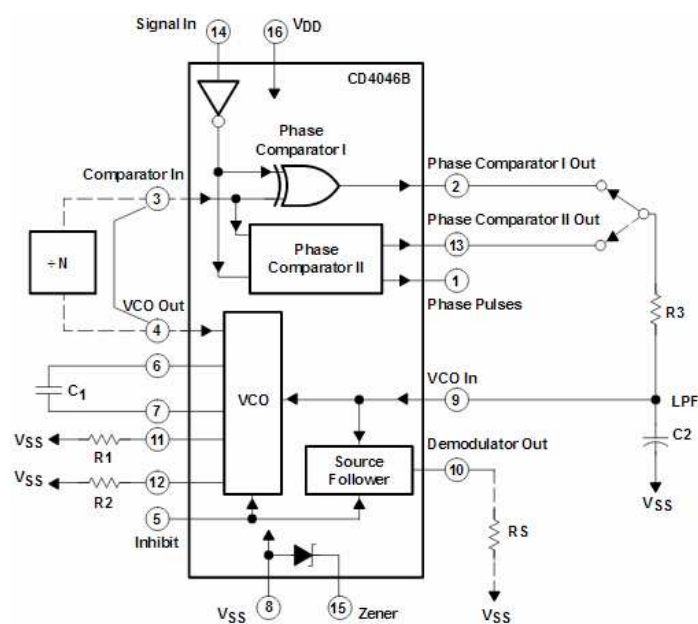
## 9.5 Ellenőrző kérdések:

1. Rajzolja fel az egyszerű PLL blokkvázlatát, nevezze meg részegységeit!
2. Ismertesse röviden a PLL fő részegységeinek feladatait!
3. Sorolja fel és ismertesse a PLL-ek fajtáit!
4. Sorolja fel és ismertesse a fázisdetektorok generációit!
5. Definiálja a befogási és benntartási tartományokat (+ábra)!
6. Mekkora a befogási és benntartási tartományok a különböző generációs fázisdetektorok esetén?
7. Milyen jellemzői vannak egy VCO-nak?
8. Hogyan csoportosítjuk a VCO-kat a minimális működési frekvenciájuk alapján? Rajzoljon hozzájuk tetszőleges karakterisztikákat szemléltetőképpen!
9. Ismertesse az aluláteresztő szűrőt (működését Charge-pump esetén is)!
10. Hogyan működik a PLL FM demodulátorként (blokkvázlattal)?
11. Hogyan használható a PLL fordulatszám szabályozásra (blokkvázlattal)?
12. Ismertesse a PLL DC-jelátvitelre használhatóságának elvét (blokkvázlattal)!
13. Mi a frekvenciaszintézis és hogyan történik?
14. Rajzolja fel a PLL-el megvalósítható frekvencia szintézert, képlettel adja meg a kimeneti frekvencia értékét!
15. Mi történik, ha a PLL bemenetén rövid, illetve hosszú időre kimarad a jel?

## 9.6 Előkészítendő feladatok:

Számítással határozzuk meg a PLL minimális és maximális működési frekvenciáját, a befogási tartományokat mindkét PD/FD esetén (valamint a mérési alkalmával majd a szabadonfutási frekvencia értékét a VCO karakterisztika felvétele során)!

Adatlapból olvassuk ki a 4046-os alábbi paramétereit: **1.** PD/FD bemeneteinek impedanciája; **2.** VCO bemeneti ellenállása (teljesíti-e az aluláteresztő szűrő terhelhetőségére vonatkozó feltételt); **3.** VCO elméleti maximális üzemi frekvenciája; **4.** mi a „Source Follower” és mi a szerepe; **5.** a munkapontért felelős R és C tagok határadatai 5V tápfeszültség esetén; **6.** Phase Comparator I. és II. milyen típusúak; **7.** a két PD/FD fázisviszonyai  $f_0$ ,  $f_{\min}$  és  $f_{\max}$  esetén! (TI CD4046B adatlapja javasolt)



8. ábra: A 4046-os PLL (együttal a mérőpanel) bekötése

$$f_{\min} = \frac{1}{R_2 \cdot (C_1 + 32 \text{ pF})}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{R_1 \cdot (C_1 + 32 \text{ pF})} + f_{\min}$$

$$2f_c = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}} \Big|_{\text{XOR-esetén}}$$

$$2f_L = f_{\max} - f_{\min}$$

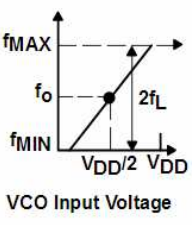
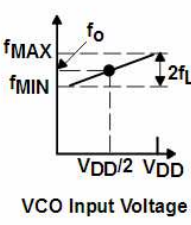
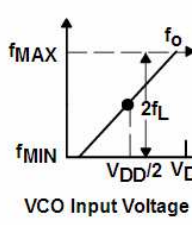
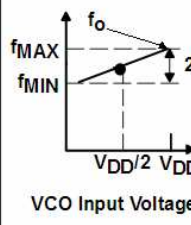
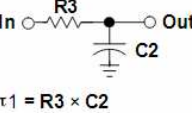
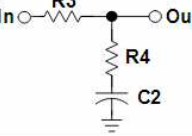
$$\tau_1 = R_3 \cdot C_2$$

$f_0$  a maximális vezérlőfeszültség feléhez tartozó frekvenciaérték, pontos értéke méréssel (vagy grafikusán) határozható meg.

$$R_1=10\text{k}\Omega; R_2=\infty; R_3=40\text{k}\Omega$$

$$C_1=10\text{nF}; C_2=470\text{nF}$$

## 9.7 Melléklet:

CHARACTERISTICS	USING PHASE COMPARATOR I		USING PHASE COMPARATOR II	
	VCO WITHOUT OFFSET R2 = ∞	VCO WITH OFFSET	VCO WITHOUT OFFSET R2 = ∞	VCO WITH OFFSET
VCO frequency				
For no signal input	VCO in PLL system adjusts to center frequency, f <sub>o</sub>		VCO in PLL system adjusts to highest operating frequency, f <sub>max</sub>	
Frequency-lock range, 2f <sub>L</sub>	2f <sub>L</sub> = full VCO frequency range 2f <sub>L</sub> = f <sub>max</sub> - f <sub>min</sub>			
Frequency capture range, 2f <sub>C</sub>	 <p>See Notes 1 and 2</p> $2f_c \approx \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2\pi f_L}{\tau_1}}$ $\tau_1 = R3 \times C2$		f <sub>C</sub> = f <sub>L</sub>	
Loop filter-component selection	 <p>For 2f<sub>C</sub>, see Note 2</p>			
Phase angle between signal and comparator inputs	90 degrees at center frequency (f <sub>o</sub> ), approximating 0 degree and 180 degrees at ends of lock range (2f <sub>L</sub> )		Always 0 degrees in lock	
Locks on harmonics of center frequency	Yes		No	
Signal input noise rejection	High		Low	
VCO component selection	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Given: f<sub>o</sub></li> <li>– Use f<sub>o</sub> with Figure 9a to determine R1 and C1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Given: f<sub>o</sub> and f<sub>L</sub></li> <li>– Calculate f<sub>min</sub> from the equation f<sub>min</sub> = f<sub>o</sub> - f<sub>L</sub></li> <li>– Use f<sub>min</sub> with Figure 9b to determine R2 and C1</li> <li>– Calculate <math>\frac{f_{max}}{f_{min}}</math> from the equation <math>\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{f_o + f_L}{f_o - f_L}</math></li> <li>– Use <math>\frac{f_{max}}{f_{min}}</math> with Figure 9c to determine ratio R2/R1 to obtain R1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Given: f<sub>max</sub></li> <li>– Calculate f<sub>o</sub> from the equation f<sub>o</sub> = f<sub>max</sub></li> <li>– Use f<sub>o</sub> with Figure 9a to determine R1 and C1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Given: f<sub>min</sub> and f<sub>max</sub></li> <li>– Use f<sub>min</sub> with Figure 9b to determine R2 and C1</li> <li>– Calculate <math>\frac{f_{max}}{f_{min}}</math></li> <li>– Use <math>\frac{f_{max}}{f_{min}}</math> with Figure 9c to determine the ratio R2/R1 to obtain R1</li> </ul>

**Megjegyzés:** a Texas Instruments, a Motorola és az NXP adatlapok egyaránt hiányosak/hibásak valamilyen módon, az itt (a mellékeltben, illetve a 9.6 fejezetben) szereplő formulák már javítottak.