

# Frekvenciaszintézer

Diószegi Gyula villamosmérnök, divelex@gmail.com

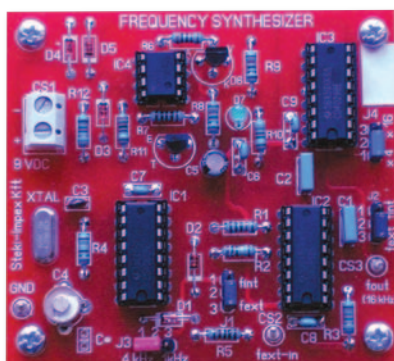
A 2017-ben, az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karán, a Divelex Bt. által megrendezett XX. Országos Elektronikai Konstruktív Verseny egységes építési- és mérési feladatául szolgált az ismeretetésre kerülő, PLL-lel felépített áramkör. Az áramkör fő célja, hogy bemutassa a PLL működését, ill. annak gyakorlati alkalmazásaira rávilágítson. Mivel egyes funkcionális áramkörök nem képezik a középfokú szakképzés részét, így célunk, hogy ezeket részletesebben mutassuk be.

## Működés ismertetése a tömbvázlat (1. ábra) alapján

A kvarcoszcillátor kimenetén megjelenő 4,096 MHz-es négyzögjel egy frekvenciaosztóra kerül. Ennek kimeneteiről a J3 jumperrel kiválasztott 4 kHz-es vagy 1 kHz-es jel a J1 jumperen keresztül (1-2) a PLL (ld. később) egyik (SIGN IN) bemenetére kerül. Ugyanerre a bemenetre a J1-gyel kiválaszthatóan, az amplitúdóhatároló áramkörön keresztül, külső forrásból is tudunk jelet juttatni (fext. input). A PLL másik bemenetére (COMP IN) a kimenetéről (VCO OUT) közvetlenül visszacsatolhatjuk a jelet a J2 segítségével (2-3), vagy visszacsatolhatjuk frekvenciaosztón keresztül is. A kívánt osztásarányt (1:4, ill. 1:16) a J4 segítségével választhatjuk ki.

Az első esetben (amikor a kimeneti jelet közvetlenül csatoljuk vissza a COMP IN bemenetre) az VCO OUT kimeneten megjelenő jel frekvenciája azonos lesz a SIGN IN bemenet jelével, csupán fázisbeli eltérés lesz. A kimeneten azonban zajmentes jel fog megjelenni (ld. később a PLL működésénél), így ez az alapkapcsolás alkalmas a jelekre rakódó nagyfrekvenciás zajok kiszűrésére.

A második esetben (ekkor a kimeneti jelet frekvenciaosztón keresztül csatoljuk vissza) a kimeneti jel frekvenciája az osztásarányának megfelelően, a bemeneti jel egész számú többszöröse lesz, azaz  $f_{out} = f_{input} \cdot N$ , ahol  $N$  a frekvenciaosztó osztásaránya. Így pl. ha a J3 4 kHz-es állásban (1-



2), a J4 1:4-es állásban (1-2) van, akkor a kimeneti jel frekvenciája ( $f_{output}$ )  $4 \text{ kHz} \cdot 4 = 16 \text{ kHz}$  lesz. Ugyancsak 16 kHz frekvenciájú jelet kapunk a kimeneten a J3 1 kHz-es ill. a J4 1:16 állása esetén. Ennek a kapcsolási elrendezésnek a gyakorlati haszna abban rejlik, hogy elegendő egyetlen etalonnak tekinthető, kristálypontosságú és stabilitású jelet előállítanunk, ennek egész számú többszörösét – amely pontossága és stabilitása azonos az etalonéval – szintetizálással tudjuk biztosítani.

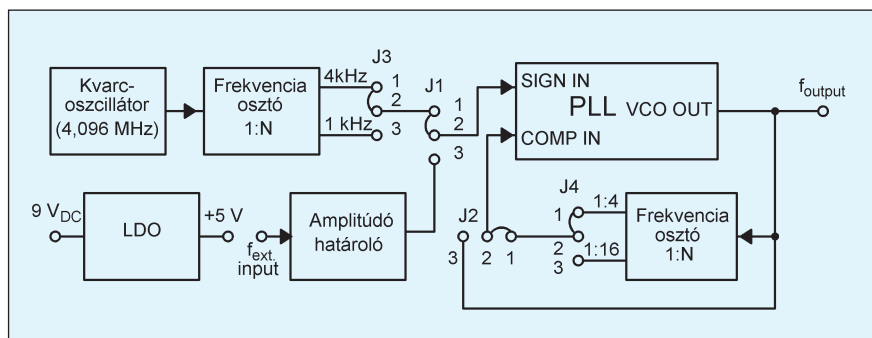
A kis áramfelvétel miatt (CMOS integrált áramkörök al-

kalmazása) a külső tápellátás 9 V-os telepről is történhet. Az áramkör számára az 5 V-os tápfeszültséget egy diszkrét elemekből felépített LDO szolgáltatja, amely biztosítja a telep kapacitásának maximális kihasználását, valamint tekintettel arra, hogy oktatási célra készült az áramkör, nem utolsósorban kiváló egyenáramú mérések elvégzését teszi lehetővé.

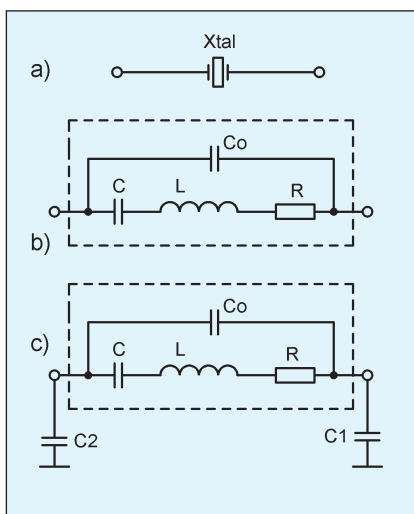
## A kvarcoszcillátor működése

Számos esetben találkozunk kvarcoszcillátorral, így pl. a processzorok órajelének előállításához is szükség van a tokon kívül elhelyezett külső diszkrét elemekre. Ilyenkor az eszköz leírásában megtaláljuk a szükséges külső alkatrészek, így a kvarc és a kondenzátorok értékét, valamint az áramköri elrendezést. Esetünkben (ld. később a kapcsolási rajzot) is egy integrált áramköri tokot egészítünk ki a fenti külső elemekkel.

A következőkben tárgyaljuk a sok esetben – az angol nyelvű szakirodalmak szerint is – rejté-



1. ábra



2. ábra

lyesnek tűnő kvarcoszcillátor működését.

A kvarc rajzjelét a **2.a ábra** mutatja, a helyettesítő képét a **2.b ábrán** láthatjuk. A soros L-C tag a kvarc kapacitását, ill. induktivitását, míg az ezzel sorosan kapcsolt R a veszteségi ellenállását reprezentálja. Ezeket az értékeket a kristály piezoelektromos tulajdonságai határozzák meg. Mindezekkel párhuzamosan kapcsolódik a C0 kapacitás, amely a kvarc lapkára csatlakozó, a kivezetést biztosító fegyverzetek kapacitása. (Azaz zömmel a lapka, mint dielektrikum és az arra felvitt két fémréteg alkotta síkkondenzátor kapacitása.)

A C értéke legcélszerűbben femtofarádban ( $1 \text{ fF} = 10^{-15} \text{ F}$ ) adható meg. Az L néhányszor 10 mH, a veszteségi ellenállás értéke néhányszor 10 ohm, míg a párhuzamos kapacitás (C0) jellemző értéke néhány pikofarád. (Jellemző értékek egy 10 MHz-es kristályra:  $C = 18 \text{ fF} = 0,018 \text{ pF}$ ,  $L = 22 \text{ mH}$ ,  $R = 30 \text{ ohm}$ ,  $C0 = 5 \text{ pF}$ .) A Thomson-képlet alapján a soros rezonanciafrekvenciát az alábbi képlet írja le:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Mivel, a C sorosan kapcsolódik a C0-val az eredő kapacitás replusz művelettel számítható ki. Az *an-*

*ti-rezonáns frekvencia* a következő képlettel adható meg:

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C \times C0)}}$$

Az egyenletet rendezve az alábbi képlethez jutunk:

$$f_a = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{1 + \frac{C}{C0}} = f_s \cdot \sqrt{1 + \frac{C}{C0}}$$

A **2.c ábrán** láthatjuk, amint a kvarc mindkét kivezetéséhez a gyártó által ajánlott értékű kapacitásokat kapcsolunk. Ekkor a C1, C2 sorosan kapcsolt kondenzátorok eredő kapacitása:

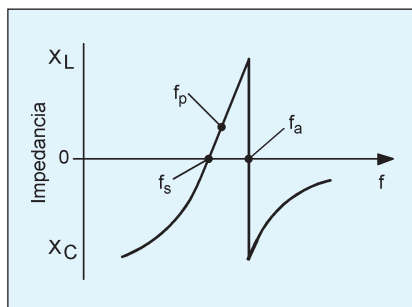
$$C_e = C1 \times C2$$

A  $C_e$  kapacitás párhuzamosan kapcsolódik a kvarc C0 kapacitásával, a párhuzamos rezonanciafrekvenciát az alábbi egyenlet írja le:

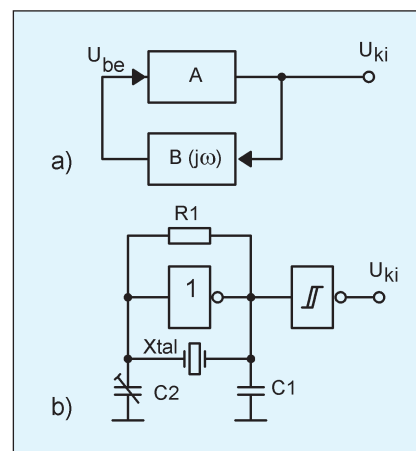
$$f_p = f_s \cdot \sqrt{1 + \frac{C}{C0 + C_e}}$$

Megjegyezzük, hogy egyes szakirodalmak ezt a frekvenciát  $f_L$  azaz, Load frequency-nek nevezik, utalva arra, hogy ekkor külön, terhelő kapacitásokat kapcsolunk a kvarccal párhuzamosan.

A **3. ábra** diagramja a kvarc impedanciáját mutatja a frekvencia függvényében, bejelölve a nevezetes rezonanciafrekvenciá-



3. ábra



4. ábra

kat. A soros rezonanciafrekvencia alatt, ill. az anti-rezonáns frekvencia felett a kvarc kapacitív jelleget mutat, míg az említett két rezonanciafrekvencia között induktív jelleget. Itt helyezkedik el, a soros rezonanciához közelebbi ponton az a „munkapont”, ahol a kvarcoszcillátorunk rezeg.

A **4.a ábrán** egy visszacsatolt erősítő tömbvázlatát láthatjuk. Az A erősítővel rendelkező lineáris erősítő egy B átviteli tényezővel rendelkező, frekvenciafüggő négy-póluson keresztül van visszacsatolva.

A Barkhausen-kritérium szerint az önfenntartó gerjedés (oszilláció) kritériumai:

$$|A \cdot B(j\omega)| > 1$$

$$\varphi_A + \varphi_B = 2\pi n, \text{ ahol } n = 0, 1, 2, \dots$$

Összefoglalva, a feltételek: a hurokerősítés abszolút értéke nagyobb legyen mint 1, valamint az eredő fázistolás 0 vagy  $2\pi$  egész számú többszöröse legyen.

A fenti kritériumoknak kell megfelelni a **4.b ábrán** látható kapcsolásnak, amely egy Pierce típusú kristályoszcillátor. Mivel a visszacsatoló tag fázistolása  $180^\circ$  fok, így a fentiekben leírt kritériumok alapján a lineáris erősítőnek is  $180^\circ$  fokos fázistolással kell rendelkeznie, hiszen pozitív visszacsatolásról van szó.

Mivel erősítőként két kimeneti állapottal (**L; H**) rendelkező, unbufferelt CMOS invertert