

OTA-val felépített feszültségvezérelt oszcillátor

Díószegi Gyula villamosmérnök, divelex@gmail.com

Az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karán 2020-ban, a Divelex Bt. által megrendezett XXIII. Országos Elektronikai Konstrukciós Verseny egységes építési- és mérési feladatául szolgált az alább ismertetendő, OTA-val felépített feszültségvezérelt oszcillátor (*Voltage Controlled Oscillator*, a továbbiakban VCO). Célunk, hogy bemutassuk ennek a kevésbé ismert eszköznek a működését, ill. megmutassuk annak egy látványos gyakorlati alkalmazását, megelőzve ezzel a középfokú szakképzésben résztvevőket.

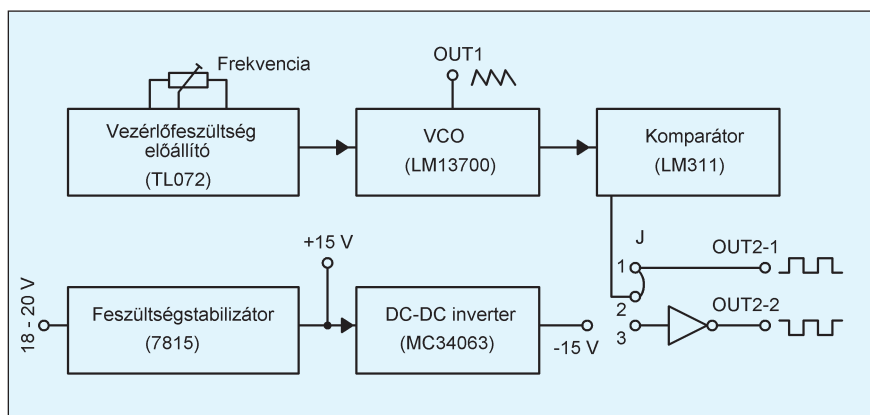
Az áramkör a National Semiconductor által kifejlesztett LM13700 típusú műveleti mereedség-erősítő (*Operational Transconductance Amplifier*, a továbbiakban OTA) köré épül. A történelmi hűség kedvéért megjegyezzük, hogy az első OTA-t CA3080 típusjelzéssel az RCA mutatta be 1969-ben. A későbbi típusok ennek a továbbfejlesztett változatai.

Az áramkör működése tömbvázlat-szinten

A már említett tok két OTA-t tartalmaz (1. ábra). Külső, frekvenciameghatározó R-C elemekkel kiegészítve VCO-t állíthatunk össze. A kimeneti háromszög- ill. négyszögjel frekvenciája a trimmerpotenciométerrel folyamatosan állítható vezérlőfeszültséggel egyenesen arányos. Az LM311 típusú differenciálkomparátor kimenetén a J 1-2 állása esetén négyszögjel jelenik meg az OUT2-1 kimeneten. A jumper 2-3 állásában ennek az inverzét kapjuk az OUT2-2 kimeneten. A tápfeszültség-bemenetre adott 18...20 V egyenfeszültségből történik a szimmetrikus ± 15 V-os tápfeszültség előállítása egy +15 V-os fix feszültségstabilizátorral, valamint egy kapcsolóüzemű DC-DC inverterrel – más szóval konverterrel –, amely a bemeneti feszültség inverzét, azaz a -15 V-ot állítja elő.

Az OTA felépítése

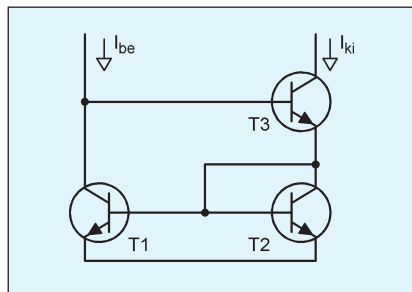
Az OTA működésének ismertetése előtt egyik legfontosabb áramköri építőelemét, az áramtükör működését mutatjuk be



1. ábra

röviden. A 2. ábrán 3 db npn tranzisztorral felépített áramtükör látható, amelyet egyes szakirodalmak Wilson féle áramtükörnek neveznek.

Az I_{ki} áram azonos az I_{be} árammal, így felírhatjuk a következő egyenlőséget: $I_{ki} = I_{be}$. A két áram közötti eltérés ennél a kapcsolásnál maximum 1%. Ez a hiba 0,6%-ra csökkenthető 4 db bipoláris tranzisztorral felépített áramtükörrel. Áramtükör felépíthető MOS tranzisztorokból is. Megjegyezzük, hogy megfelelően működő áramtükör csak azonos geometriájú és réteghőmérsékletű tranzisztorokkal épít-



2. ábra

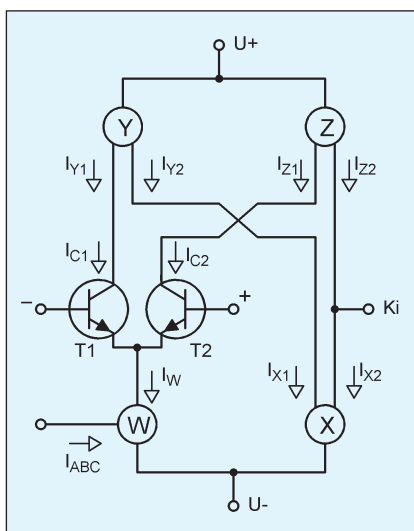
hető fel. Ugyanakkor bizonyítható, hogy a két áram azonosságát a tranzisztorok áramerősítési tényezője kevésbé befolyásolja.

Az OTA vázlatos felépítését a 3. ábrán láthatjuk. Tartalmaz egy bipoláris tranzisztorpárral felépített bemeneti differenciál-erősítőt (T1, T2). Ennek emitterkörében van elhelyezve egy W-vel jelölt áramtükör, amely bemeneti áramát kívülről tudjuk beállítani. Ezt a bemenetet nevezik I_{ABC} (Amplifier Bias Current) árambemenetnek. Így felírhatjuk az alábbi egyenlőséget: $I_W = I_{ABC}$. Tartalmaz továbbá, három olyan áramtükört (X, Y, Z) az ábrán bemutatott kapcsolásban, amelyek bemeneteihez közvetlenül nem férhetünk hozzá. Az elrendezésre felírhatjuk az alábbi egyenlőségeket:

$$\begin{aligned} I_W &= I_{C1} + I_{C2}, \\ I_{C1} &= I_{Y1} = I_{Y2} = I_{X1} = I_{X2}, \\ I_{C2} &= I_{Z1} = I_{Z2}. \end{aligned}$$

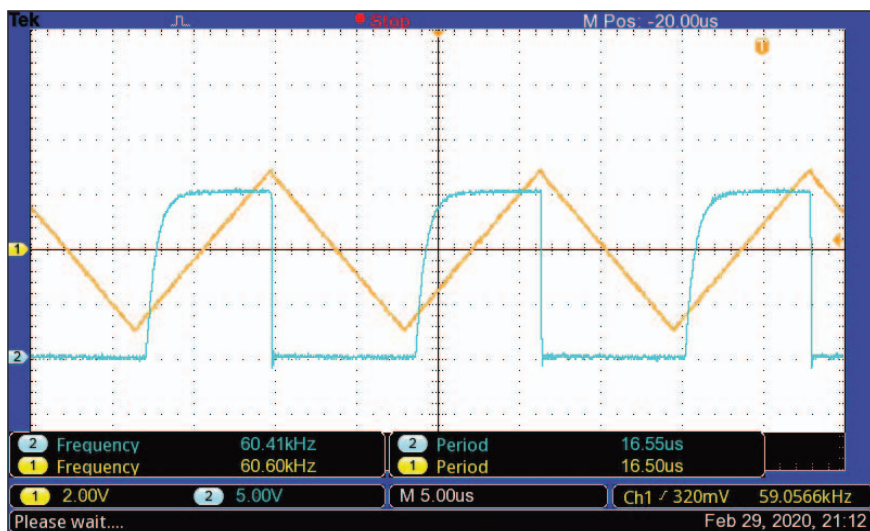
A kimeneti áram:

$$I_{KI} = I_{Z2} - I_{X2}.$$



3. ábra

Láthatjuk, hogy a műveleti erősítőkhöz hasonlóan rendelkezik invertáló (-) valamint neminvertáló (+) feszültségbemenetekkel, továbbá a W áramtűkör I_W áramát meghatározó I_{ABC} árambemenettel. Kimenete, a feszültséggenerátoros kimenetű műveleti erősítőkével szemben áramgenerátoros. A tok tartalmaz még két OTA-n kívül egy-egy integrált Darlingtonpárt, amelyet szükség esetén használhatunk. Megjegyezzük, hogy a gyártók nem egységes rajzjelet használnak az OTA jelölésre.



5. ábra

Az áramkör részletes működése

A kapcsolás (4. ábra) a két OTA-t és a két Darlingtonpárt tartalmazó LM13700 integrált áramkörrel (IC1) felépített VCO köré épül. Az IC1a kimenetéhez csatlakoztatott tranzisztorpár kimenetén (8) háromszög alakú jel, míg az IC1b kimenetéhez csatlakoztatott tranzisztorpár kimenetén (9) négyszögjel áll elő. Az 5. ábrán látható oszcilloszkóp-felvételeken, az *OUT2-1* és az *OUT-1*

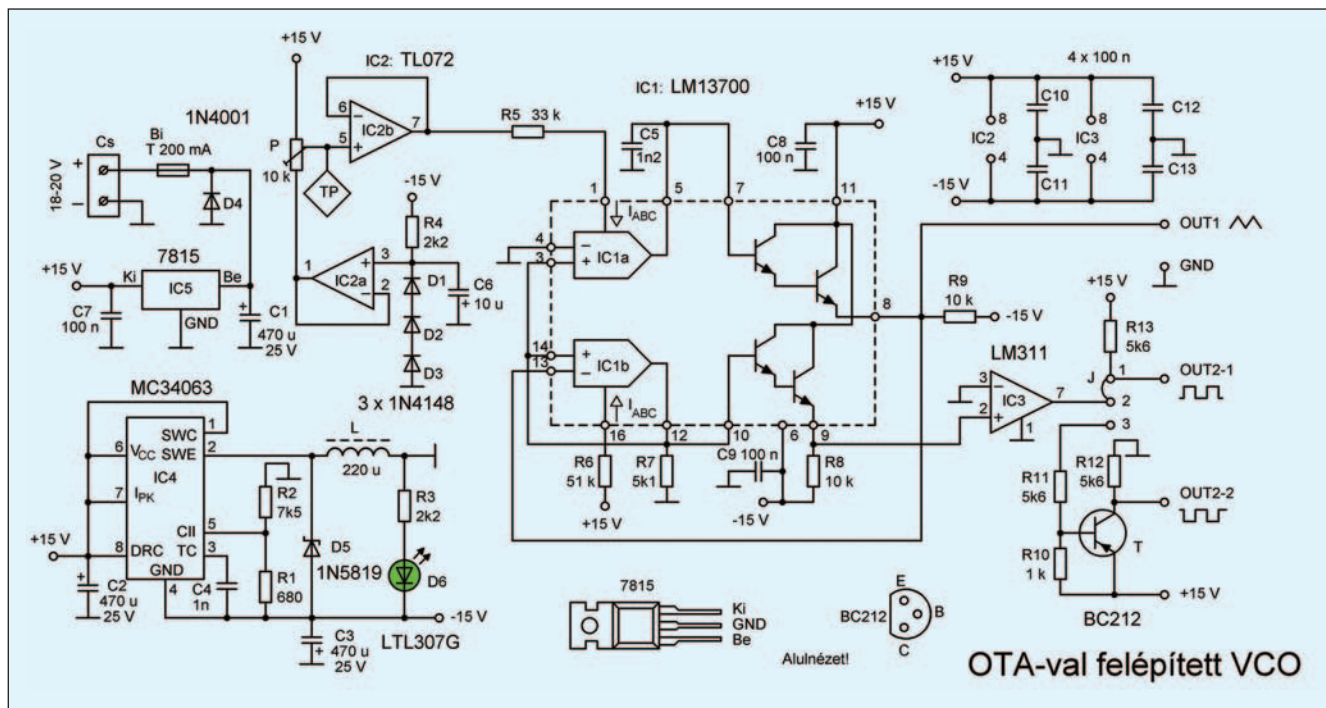
kimenet jelalakját láthatjuk, frekvenciájuk természetesen azonos: 60 kHz. Kiszámítása az eszköz adatlapján található képlettel történik:

$$f_{osc} = I_C / (4C \cdot I_A \cdot R_A).$$

Az általunk pozíciószámított alkatrészekkel behelyettesítve:

$$f_{osc} = I_{ABC/a} / (4C_5 \cdot I_{ABC/b} \cdot R_7).$$

A kapcsolási rajz szerint, a nevezőben található paraméterek értéke



4. ábra