

# 20 MHz-es sweep- és függvénygenerátor

Nagymáté Csaba villamosmérnök

*Bizonyára minden elektronikát művelő vagy kedvelő szakember és amatőr egyetért abban, hogy a professzionális vagy otthoni laboratórium egyik legfontosabb műszere a hanggenerátor, illetőleg ma már a függvénygenerátor. Többnyire egyszerű áramköri megoldásainak köszönhetően házilagos kivitelezhetősége sem okoz különösebb problémát. Az igényesebb típusok sweep (magyarul talán pásztázónak lehetne mondani) üzemmóddal is rendelkeznek, melynek használata révén igen gyorsan képet kaphatunk, pl. egy erősítő négyfókus viselkedéséről. Nem véletlen tehát, hogy a téma külön-külön (függvény-, ill. sweepgenerátor) vagy együttesen időről-időre feltűnik évkönyvünk hasábjain.*

Mi az, ami a mostani készülékünk bemutatását indokolja? Nos az az általános – főleg távközlési – tendencia, amely az egyre magasabb frekvenciák használata felé tolja el elektronikus világunkat. Évkönyvünk megjelenésekor már a 2 GHz-es sávot ostromolja a hazai távközlési piac. Lépést tartva ezen irányzattal, olyan függvénygenerátort készítettünk, amely messze túlszárnyalja az ilyen típusoknál megszokott 100 kHz-es (ritkán 1 MHz-es) felső határfrekvenciát. Tesszük ezt úgy, hogy

az előbb említett egyszerű felépítésből, mint követelményből nem engedünk. Bár mint tudjuk, minden relatív... Szerencsére elmondhatjuk, hogy a segítségünkre levő internetböngésző is egyre inkább természetes „munkaeszköz” az elektronikával foglalkozók körében. Így akadtunk a MAXIM félvezetőgyártó speciális függvénygenerátor-csipjére, amely nálunk is kapható.

Alapos környezeti kiépítésével sikerült a lehető legjobb kihasználni a tok témánkba vágó adottságait (lásd később). Szükség is volt rá, mert szinte minden internetforrás „olcsó 20 MHz-es függvénygenerátor” címmel mutatja be a MAX038-as IC-t alapkapcsolásban. S talán mi tudjuk a legjobban, hogy az „alacsony költségű berendezés” mást jelent az óceán túlsó partján és mást nálunk...

Ha már a birtokába jutottunk az előbbi jelzővel nem egészen illelhető IC-nek, akkor elvárható egy olyan áramköri alkalmazás, amelynek kapcsán elmondhatjuk: megérte a befektetés! Egy ilyen bevált kapcsolásra teszünk az alábbiakban javaslatot, remélhetőleg az utánépítők meglegedésére.

Előzetesen beavatjuk az olvasót az alkotási folyamat filozófiájába, amely majd – ha nem is szó szerint – „végig

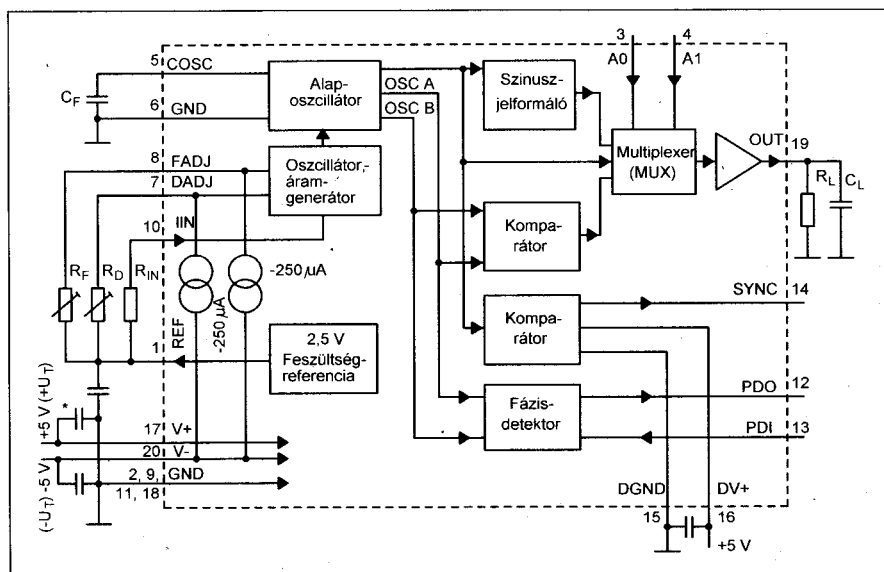
kíséri” mostani írásunkat, megerősítve illetve cáfolva „tétéleit”. Az oszcilloszkópokkal foglalkozó írásomban (*Rádiótechnika Évkönyve 1996*) megállapítást nyert, hogy mire is van szüksége egy elektronikai szakembernek munkássága során. Hasonló komolysággal átgondoljuk az alkotás 5 fázisát, melyeket a fejlett ipari társadalmak marketingszakemberei (néhány pohár kiürítése után) vallanak.

Az első a *lelkesedés*, amikor is minden új dologhoz nagy buzgósággal fogunk hozzá. Ezt követi a *zűrzavar*, mivel az óriási információáradatban képtelenek vagyunk eligazodni. Harmadik elem a *kiábrándulás*, mert rájövünk, hogy nem is tudunk olyan jót és szépet alkotni, mint azt a lelkesedés fázisában elképzeltük. Az emberi természet ismeretében nem jelent meglepetést a negyedik fázis: a *bűnbak(ok) keresése*. S ha már végleg nem sikerült elképzeléseinket megvalósítani, akkor nincs más hátra, mint a *kívülállók, a vétkesek megbüntetése*.

Hozzájutván az említett IC-hez, természetesen nagy lelkesedéssel kezdődött a tervezőmunka, s mindjárt az elején jött a zűrzavar, a változatok sokasága. Szándékunk szerint ebben a kérdésben próbálunk a legszigorúbban rendet teremteni, felkínálva az olvasónak a választás lehetőségeit is. A többi tétel pedig – úgy gondoljuk – kétszereplős: másként éli meg a szerző és másként a leendő felhasználó. Az alábbi írás erre szolgál bizonyoságul vagy cáfolatul.

## 1. A csip

A konkrét kapcsolás ismertetése előtt a teljesség igénye nélkül bemutatjuk a MAXIM MAX038-as függvénygenerátor IC-jét. A MAX038 egy olyan nagyfrekvenciás precíziós függvénygenerátor, amely a lehető legkevesebb külső alkatrész segítségével nagy határfrekvenciájú háromszög-, (fűrész-) szinus- és négyzög- (impulzus-) jeleket állít elő, a szokásosnál pontosabb jelalakokkal. A kimeneti frekvencia 0,1 Hz és 20 MHz közötti tartományban állítható. Egy  $\pm 2,3$  V-os vezérlőjel alkalmazásával a kiegészítő tényező szé-



1. ábra

les tartományban változtatható, ami biztosítja az impulzusszélesség-modulációt és a fűrészel-hullámformák létrehozását. Hasonló módon érhető el a sweep-üzemmód is (ld. később).

A kitöltési tényező- és a frekvenciaszabályozó kezelőszervek egymástól függetlenek. A kimeneti hullámformák kiválasztása (szinusz, négyyszög, háromszög) kódolt formában lehetséges, amihez TTL-kompatibilis jelre van szükség. Ez a megoldás lehetővé teszi a kézi és a dinamikus (vezérelt) jelkiválasztást.

A kimeneti jel  $2 V_{cs-cs}$  értékű bármely jelalakra nézve, amely természetesen földszimmetrikus. Az alacsony impedanciás kimenet 20 mA-es áramot képes biztosítani. A belső oszcillátor TTL-kompatibilis kimenete 50%-os kitöltési tényezőjű négyyszögjelet szolgáltat, függetlenül a többi hullámforma kitöltési tényezőjétől. Így lehetőség van egy mérési rendszerben működő többi berendezés szinkronozására is. A belső oszcillátort is lehet szinkronizálni egy külső TTL-jellel.

Az előbbi főbb jellemzők tömondatos felsorolása az érdeklődés felkeltését célozta, s hogy a már-már jelentkező zűrzavart eloszlassuk, nézzük a tok működését kicsit részletesebben! Az IC vázlatos belső felépítését az **1. ábra**, a DIL-20 tok lábkiosztását a **2. ábra** mutatja. A belső áramköri tömbökről kevés információt ad a gyártó, azok használatáról, tervezési megfontolásairól már szerencsére bővebb a tájékoztatás. Az egyes csatlakozási pontok két-hárombetűs rövidítéseit az eredeti alakban hagytuk meg a szakirodalom utalásaival összecsengően, de igyekeztünk mindent körülírni, vagy megmagyarázni.

A MAX038  $\pm 5 V/5\%$ -os tápellátással működik. Az Alaposzillátor relaxációs típusú, amely működése közben állandó áramerősséggel tölti ill. kisüti  $C_F$  kondenzátort, ezzel egyidejűleg há-

romszög- és négyyszögjelet szolgáltat. A működését az Oszcillátor-áramgenerátor blokk befolyásolja. A feltöltő és kisütő áramot az *IIN* árambemeneten befolyó áram szabályozza, és annak bizonyos mértékű módosítását az *FADJ* (frekvenciaszabályozás) és a *DADJ* (kitöltésitényező-szabályozás) bemeneten alkalmazott feszültség biztosítja. Az *IIN*-be befolyó áram 2  $\mu A$  és 750  $\mu A$  között változhat, amely így  $C_F$  bármely értékére több mint kétdekádos frekvenciaátfogást eredményez.

Visszatérve az előbbi járulékos módosításokra: ha az *FADJ* (Frequency Adjust) bemenetre  $\pm 2,4 V$ -os feszültséget adunk, akkor a névleges frekvencia ( $U_{FADJ} = 0$ )  $\pm 70\%$ -kal változik, így ez a lehetőség frekvencia finombeállításához használható. Ugyanígy a kitöltési tényező (az idő azon százaléka, amelyben a kimeneti hullámforma pozitív) 10% és 90% között változhat, ha a *DADJ*-ra  $\pm 2,3 V$ -os feszültséget adunk. Ez a feszültség a  $C_F$  töltésére és kisütésére használt áramerősséget változtatja meg úgy, hogy közben közel állandó frekvencia fenntartását teszi lehetővé.

Az eddigiekben a jelalak előállításához három fontos bemenetet ismertünk meg (*IIN*, *FADJ*, *DADJ*) és ezek szerepe a későbbiekben is igen fontos lesz. Egy állandó +2,5V-os referenciafeszültség (*REF*) segítségével, rögzített ellenállásokkal könnyen beállítható *IIN*, *FADJ* vagy *DADJ* értéke, és lehetőség van azok működés közbeni módosításukra is, ha az összes ilyen bemenetnél potenciométereket alkalmazunk. Ha a *FADJ* bemenetet földre kötjük (természetesen ellenálláson keresztül), akkor a névleges frekvenciát kapjuk, míg ha a *DADJ* bemenetet földeljük, akkor kapjuk az 50%-os kitöltési tényezőjű jelet.

A kimeneti frekvencia fordítottan arányos  $C_F$  kondenzátorral. Értékét ki lehet választani úgy is, hogy 20 MHz feletti frekvenciát eredményezzünk. (Ennek korlátairól később.) A tömbvázlaton látható szinuszejformáló-áramkör az oszcillátor háromszögjelét kis torzítású, állandó amplitúdójú szinuszzellé alakítja át. A most már rendelkezésre álló három jel képezi a multiplexer bemenőjeleit. Az *A0* és az *A1* címzővonal állapotkombinációja szabja meg, hogy a három hullámforma közül a melyik jelenik meg a kimeneten.

A kimeneti erősítő állandó  $2 V_{cs-cs}$  ( $\pm 1 V$ ) amplitúdót hoz létre, függetle-

nül a frekvenciától vagy a hullámformától. A háromszögjel egy komparátorhoz is továbbítódik, amely ebből nagymeredekségű négyyszögjelet hoz létre, a *SYNC* (szinkron) kimenet számára. A szinkronáramkör tápellátása független, így annak működése leállítható energiaellátásának megszüntetésével. Az alaposzcillátor két, egymáshoz képest  $90^\circ$ -os fázistolású négyyszögjelet állít elő, amelyek egy *KIZARÓ VAGY* típusú fázisdetektor egyik oldali bemenőjelei. A fázisdetektor másik oldali bemenetét (*PDI*) egy külső oszcillátorhoz csatlakoztathatjuk. Az egész eljárás lehetővé teszi a MAX038-as IC szinkronozását egy külső oszcillátorral (lásd később) A vázlatos ismertetés után az egyes beállítási, méretezési kérdéseket nézzük meg részletesen.

### 1.1. A hullámformák kiválasztása

A három szokásos hullámformát (szinusz, háromszög, négyyszög) az *A0* és az *A1* bemenetre adott TTL/CMOS logikai szintekkel lehet kiválasztani a **táblázat** értékeinek megfelelően.

A0	A1	Hullámforma
x	1	Színusz
0	0	Négyyszög
1	0	Háromszög

x = közömbös

A hullámformák között a kimenet fázisától függetlenül bármikor lehet váltani. Az átváltás 0,3  $\mu s$  alatt megtörténik. A kimeneti jelalakban egy kis tranzienst megjelenhet, ami 0,5  $\mu s$ -ig tart.

### 1.2. A kimeneti frekvencia beállítása

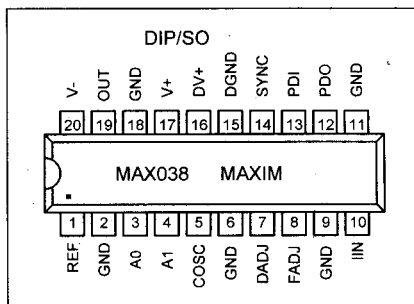
Mint azt az előzőekben láttuk, a kimeneti frekvenciát az *IIN* bemenetre jutó áram, a  $C_{OSC}$  kapacitása ( $C_F$ ) és a *FADJ* bemenet feszültsége határozza meg. Ha  $U_{FADJ} = 0$ , akkor a névleges kimeneti frekvencia a következő összefüggéssel számolható:

$$f_0 = \frac{I_{IN}}{C_F}$$

ahol  $f_0$  MHz,  $I_{IN}$   $\mu A$ ,  $C_F$  pF;

értelmezés:  $I_{IN}$  = az *IIN*-be befolyó áram (2...750  $\mu A$ ),

$C_F$  = a  $C_{OSC}$  és a *GND* közé kötött kondenzátor kapacitása (20 pF...100  $\mu F$ ).



2. ábra

A periódusidő értelemszerűen az előző kifejezés reciproka. Optimális teljesítmény akkor érhető el, ha az  $I_{IN}$  10 és 400  $\mu A$  között van, de a linearitás 2 és 750  $\mu A$  között is jó. Az ezen tartományon kívül eső áramerősség nem ajánlott. A méretezést 3. ábra is segítheti. A kapacitás 20 pF-tól kb. 100  $\mu F$ -ig terjedhet, de a szórt áramköri kapacitásokat minimalizálni kell az ésszerű nyákterv kialakításával. A COSC lábát és a hozzávezető vezetősávot földfóliával kell körülvenni, hogy csökkenjen a nemkívánatos jelek jelenléte ezen a csomóponton.

A 20 MHz feletti oszcilláció is lehetséges, de ilyen körülmények között nő a hullámformák torzítása. A frekvencia alsó határát döntően a  $C_F$  kondenzátor vesztesége határozza meg. A legalacsonyabb frekvenciára a legnagyobb pontosságot 10  $\mu F$ -os vagy annál nagyobb, nem polarizált kondenzátorok segítségével lehet elérni. Az  $I_{IN}$  bemenetet vagy valódi áramgenerátorral, vagy egy feszültségforrással sorba kötött ellenállással táplálhatjuk. A REF és az  $I_{IN}$  közötti ellenállás kényelmes megoldást kínál az  $I_{IN}$  generálására:

$$I_{IN} = U_{REF}/R_{IN};$$

(lásd: 1. ábra). Amennyiben ez utóbbi megoldást választjuk, úgy az oszcillátorfrekvencia képlete:

$$f_0 = \frac{U_{IN}}{R_{IN} \cdot C_F},$$

ahol  $f_0$  MHz,  $R_{IN}$  k $\Omega$ ,  $C_F$  pF.

A periódusidő:

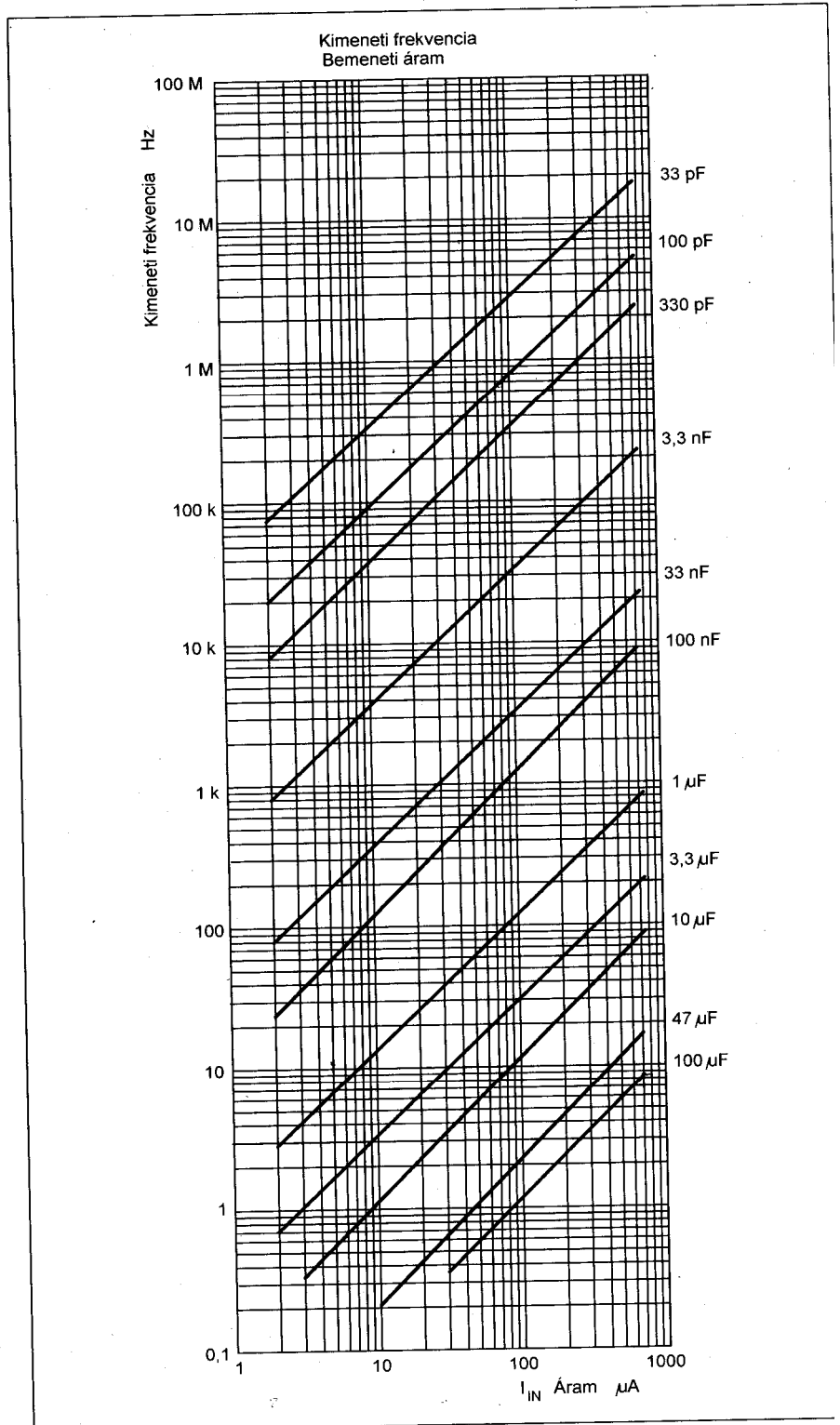
$$t_0 = \frac{C_F \cdot R_{IN}}{U_{IN}}, \mu s.$$

Amint az előző kifejezésből látszik, a kimeneti frekvencia  $U_{IN}$  közvetlen függvénye. Ha például egy 10 k $\Omega$ -os ellenállást használunk  $R_{IN}$ -nek és  $U_{IN}$  20 mV és 7,5 V között változik, akkor jelentős, akár 375 : 1 arányú frekvenciaváltozást is előidézhetünk! Ezen alapszik a tok *sweepgenerátoros* üzemmódja. (Megjegyezzük, hogy a vobuláló jel legnagyobb frekvenciáját az  $I_{IN}$  szabályozó erősítőjének sávszélessége határozza meg, ami jellemzően 2 MHz.) Sajnálatos, hogy az  $I_{IN}$  bemenet összegzési pontként szolgálhat a különböző (zavar)forrásokból származó áramok összeadódásához vagy kivonásához. Ilyen módon a kimeneti

frekvencia számos változó összegének a függvénye lehet. Ahogy  $U_{IN}$  értéke közeledik a 0-hoz, az  $I_{IN}$  ofsztetfeszültsége (tipikusan  $\pm 2$  mV) miatt az  $I_{IN}$  hibaértéke nő. Bekapcsolás után 10 s-mal a kimeneti frekvencia változása kb. 1% a végső értékhez képest.

### 1.3. Az FADJ hatása

Paradox módon, a nevével ellentétben az FADJ „frekvenciabeállító” kivezetés nem a legjobb módja a frekvenciaváltoztatásnak. Az FADJ bemenet csupán a frekvencia finomhangolására



3. ábra

szolgál a bemenetére adott feszültséggel. (Megjegyezzük, hogy itt lehet frekvenciamodulációt is megvalósítani.) Ez a feszültség  $-2,4$  V-től  $+2,4$  V-ig terjedhet, ami a frekvenciaváltozást 1,7 és 0,3 szorosára teszi lehetővé a névleges (ekkor  $FADJ = 0$ ) állapothoz képest. ( $f_0 \pm 70\%$ ) A  $\pm 2,4$  V feletti érték instabilitást okoz, vagy a frekvenciaváltozás ellenkező irányú lesz. Fontos felismerés lehet még, hogy míg az  $IIN$  közvetlenül arányos a centerfrekvenciával ( $f_0$ ), addig  $U_{FADJ}$  az  $f_0$  százalékos eltéréssel van lineáris összefüggésben. Bármely frekvenciához tartozó vezérlő feszültség a következő összefüggéssel számolható:

$$U_{FADJ} = \frac{f_0 - f_X}{0,2915 \cdot f_0},$$

ahol  $f_X$  = a kimeneti frekvencia,  
 $f_0$  = az  $U_{FADJ} = 0$  értékhez tartozó frekvencia.

Megfordítva: ha  $U_{FADJ}$  ismert, akkor a kimeneti frekvencia értéke:

$$f_X = f_0 [1 - (0,2915 \cdot U_{FADJ})].$$

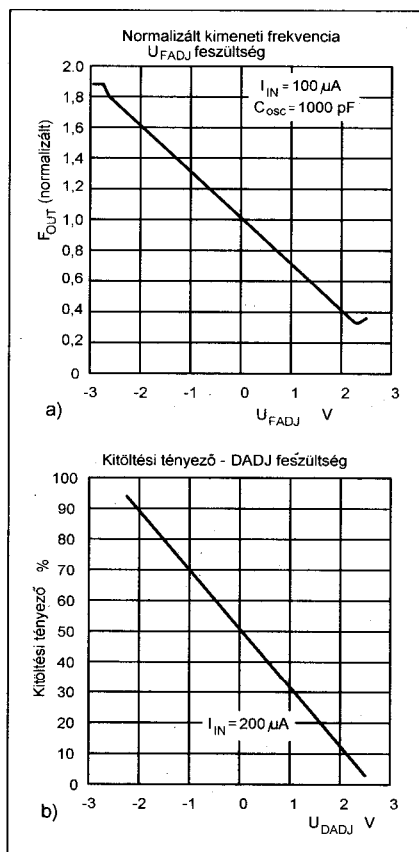
Aki nem szeret a képletekkel számolni, annak segítségére lehet a **4.a ábra** nomogramja.

#### 1.4. Az FADJ bemenet vezérlése

Az  $FADJ$  bemenet a negatív táp felé egy állandó áramú,  $250 \mu\text{A}$ -es áramnyelővel rendelkezik, amit egy feszültségforrással kell táplálni. Ez rendszerint egy műveleti erősítő kimenete. Ilyenkor az áramgenerátor hőfok-egyenlítője közböns. Változtatható ellenállást kötni (1. ábra  $R_F$ ) a  $REF$  és az  $FADJ$  közé megfelelő módja lehet a frekvencia kézi változtatásának. Mivel a külső ellenállások (potenciométerek) hőfoktényezője nem összemérhető a tok belső hőmérsékletiegyüttható-görbéjével, az áramgenerátor  $T_K$  értéke összességében már jelentőssé válik. Ezt a megszorítást kiküszöbölendő, a konkrét kapcsolásunknál az elsőnek említett megoldást alkalmazzuk. A potenciométeres megoldáshoz visszatérve az ellenállás értéke:

$$R_F = \frac{U_{REF} - U_{FADJ}}{250 \mu\text{A}}$$

Jegyezzük meg, hogy  $U_{REF}$  és  $U_{FADJ}$  előjeles számok, így a megfelelő matematikai szabályokat alkalmazzuk!



4. ábra

Például, ha  $U_{FADJ} = -2$  V (58,3%-os eltérés), akkor a számítás:

$$R_F = [2,5 - (-2 \text{ V})] / 250 \mu\text{A} = 4,5 \text{ V} / 250 \mu\text{A} = 18 \text{ k}\Omega.$$

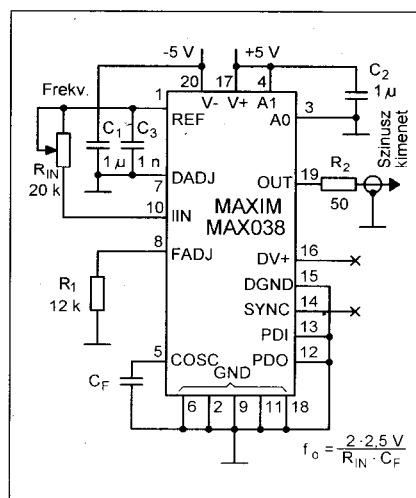
Sok esetben nem szükséges a frekvencia finomszabályozását kihasználni. Ekkor ez a „szolgáltatás” kikapcsolható a bemenet földre kapcsolásával, amit egy  $12 \text{ k}\Omega$ -os ellenálláson keresztül tehetünk meg. Ez az állapot látható az **5. ábrán**. A  $-250 \mu\text{A}$ -es áramgenerátor ezen az ellenálláson  $-3$  V feszültséget hoz létre, amelynek két jelentős hatása lesz. Először is az  $FADJ$  áramkör a lineáris tartományban marad, s ami sokkal fontosabb: az *oscillátor frekvenciája megkétszereződik*. Ha az  $FADJ$ -t ilyen módon letiltjuk, akkor az eddigi frekvenciameghatározó összefüggésekben az  $f_0$  megkétszereződik. Természetesen ez csak a felső határfrekvencia eléréséig igaz, azt nem duplázza meg az áramkör! Általánosságban azt kell még megjegyezzük, hogy az  $FADJ$  bemenetet ne hagyjuk szabadon, vagy ne tartsuk nagyobb negatív feszültségen, mint  $-3,5$  V! Ez utóbbi eset hatása – a belső tranzisztorok saturációja miatt – nem kívánatos frek-

vencia- és kitöltéstényező-változást tapasztalhatunk.

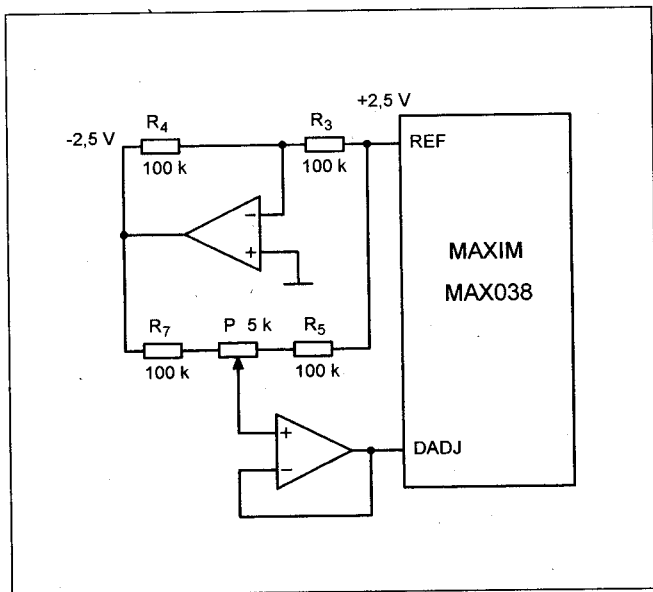
Az eddigiekben a kimeneti frekvencia manuális szabályozásával foglalkoztunk. A kimeneti frekvencia sweepelhető, ha az  $IIN$  vagy az  $FADJ$  bemenetre fokozatosan változó feszültséget adunk. Az  $IIN$  bemenet szélesebb tartományú, kissé lassú válaszü, alacsonyabb hőmérsékleti együtthatójú és – ami igen kedvező – egytelepes áramforrást igényel. Az  $FADJ$  bemenet akkor használható, ha a sóprési tartomány kisebb mint a centerfrekvencia 70%-a. Különösen alkalmas PLL áramkörök-höz, nagy pontosságú zárthurkú szabályozókban, de sajnos, földszimmetrikus sweep-feszültséget igényel. Egy ellenálláshálózatot kötve a  $REF$  kimenet és az  $FADJ$  vagy az  $IIN$  bemenet közé, az alkalmas lesz a sweepfeszültség ofszetjének a beállítására.

#### 1.5. A kitöltési tényező

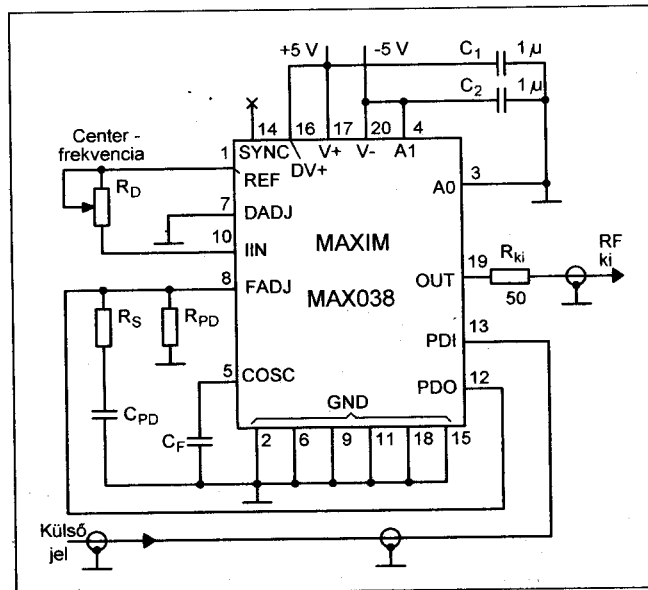
Ezen jellemző változtatásával további jelalakok származtathatók az alapjelalokból (pl. fűrés, impulzus). A csip  $DADJ$  (Duty Cycle ADJust) bemenetére (7. láb) adott feszültséggel tudjuk ezt megtenni. Alapesetben ez 0, amihez 50% kitöltési tényező tartozik (**4.b ábra**). Ezt a feszültséget  $\pm 2,3$  V között változtatva a kitöltési tényező 15...85% között változik. (Kb.  $-15\%/V$ ) Ezen feszültség feletti érték kimeneti frekvenciaeltolódást és/vagy instabilitást okoz. Sajátos módon a kitöltési tényező változtatása – a szinuszel esetében – a torzítási tényező csökkentésére is felhasználható. Mint láttuk, alapesetben a kitöltési tényező 50% ( $U_{DADJ} = 0$ )



5. ábra



6. ábra



7. ábra

$\pm 2\%$ . Ettől bármely értékű eltérés a szinuszjelnél harmonikusok előállítását is okozza. Kis értékű kiigazító feszültséget alkalmazva (tipikusan kisebbet, mint  $\pm 100$  mV) *DADJ*-nál, az igen pontos szimmetria beállítható, ezáltal a torzítás minimalizálható. Erre mutat megoldást a **6. ábra**.

A teljesség kedvéért nézzük meg e jellemző számítási eljárásait is! Az adott kitöltési tényező eléréséhez szükséges feszültség:

$$U_{DADJ} = (50\% - dc) \cdot 0,0575,$$

ahol  $U_{DADJ}$  = a *DADJ* feszültsége,  
dc = kitöltési tényező.

Ha a vezérlőfeszültség az ismert, akkor a kitöltési tényező:

$$dc = 50\% - (U_{DADJ} \cdot 17,4).$$

### 1.6. A *DADJ* bemenet vezérlése

A módszer hasonló az *FADJ* vezérléséhez, ugyanazon indokok alapján, hiszen ez az áramkör is egy  $-250 \mu\text{A}$ -es áramgenerátorral rendelkezik. Potenciometert kötve a *REF* (+2,5V) és *DADJ* közé, lehetőségessé válik a kitöltési tényező változtatása. Az ellenállás értéke:

$$R_D = \frac{U_{REF} - U_{ADJ}}{250 \mu\text{A}}$$

Miként az *FADJ* esetében, az ebben a képletben szereplő értéket is előjeles számok s így is kell velük számolnunk.

Végezetül álljon itt még egy nomogram a képleteket mellőzni akarók számára (4.b ábra)! Amennyiben a kitöltési tényezőt 15% és 85% között változtatjuk, annak hatása a kimeneti frekvenciára minimális lesz (jellemzően kevesebb, mint 2%, ha az *IIN* árama 25...250  $\mu\text{A}$  között van). A *DADJ* áramkör szélessávú és 2 MHz-ig modulálható.

### 1.6. A kimenet

A kimeneti amplitúdó rögzített: földszimmetrikusan  $2V_{CS-CS}$ , valamennyi hullámformánál. Az IC kimeneti ellenállása  $0,1 \Omega$  alatti és  $\pm 20$  mA meghajtásra képes 50 pF kapacitív terhelésnél. Az ennél nagyobb kapacitív terhelést válasszuk el egy ellenállással (többnyire 50  $\Omega$ -ossal) vagy megfelelő buffererősítővel!

### 1.7. A referencia

A *REF* egy stabil, névlegesen +2,5V-os feszültségreferencia, amely 4 mA leadására vagy 100  $\mu\text{A}$  elnyelésére képes. Elsősorban az *IIN* stabil áramát, illetve a *DADJ* és az *FADJ* előfeszítését biztosítja. A *REF* kivezetést 100 nF-os kondenzátorral hidegítve, a referencia-áramkör saját zaját minimalizálhatjuk.

### 1.8. A SYNC kimenet

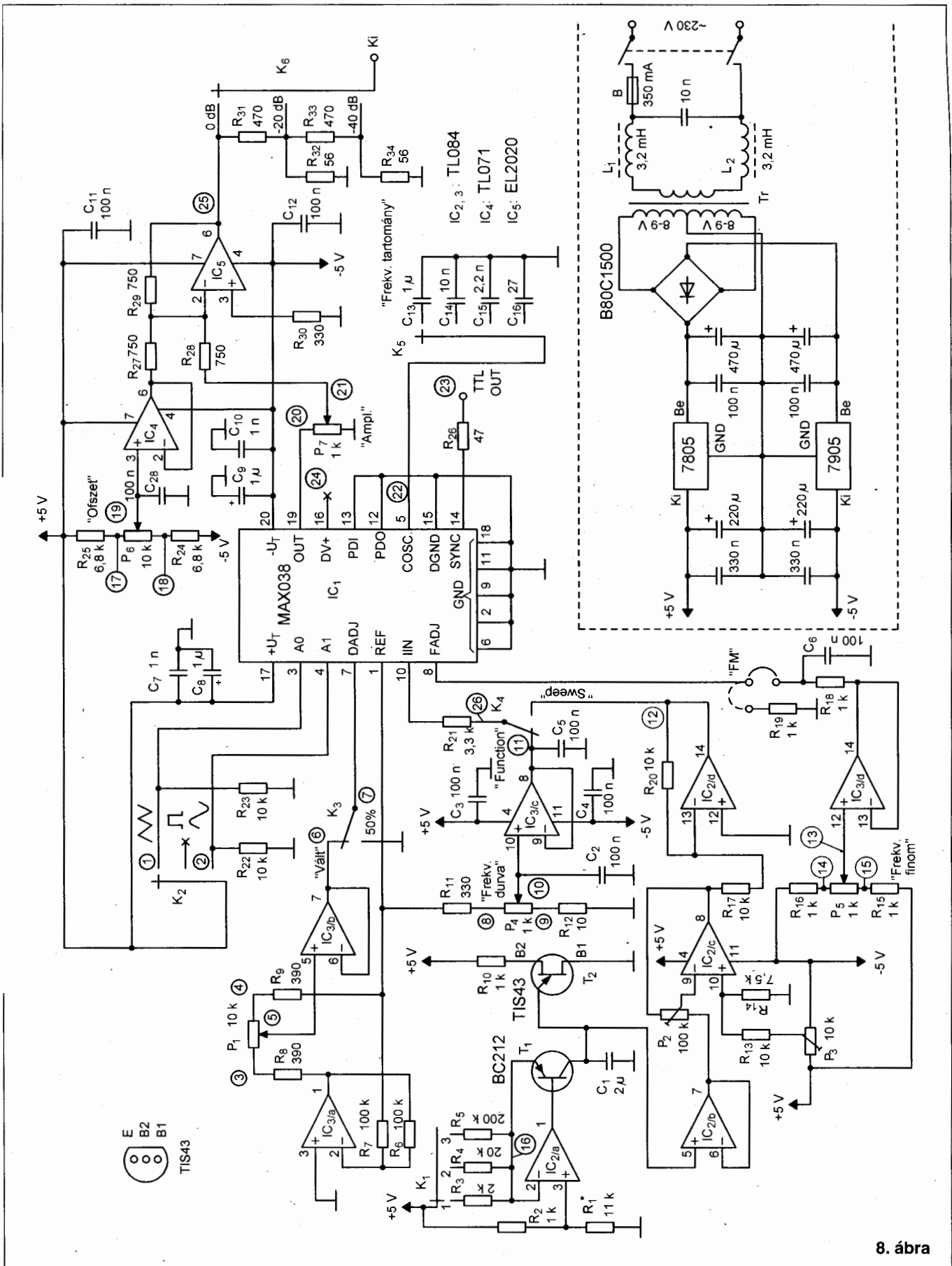
Egy TTL/CMOS kompatibilis hozzáférés, amely külső áramkörök szinkronizálására alkalmas. A *SYNC* kimenet

négyszögjelű, amelynek felfutó éle a kimeneti szinusz- és háromszögjel 0 pillanatnyi értékének a környezeténél jelentkezik. Amikor a négyszögjel van kiválasztva, a *SYNC* felfutó éle a kimeneti négyszögjel pozitív félperiódusának közepén jelenik meg (ténylegesen  $90^\circ$ -ot siet). A *SYNC* kimenet kitöltési tényezője mindig 50%-os, függetlenül *DADJ* szabályozásától. Mivel nagysebességű TTL kimenetről van szó, a tranzienst áramok a *DGND* és *DV+* tápvezetékeknél „rászórnak” a kimeneti jelre, amit keskeny szuperponált tüskék formájában látunk. (A „látáshoz” legalább 100 MHz-es oszcilloszkóp szükséges.)

Az IC-hez használt foglalat ezt a hatást csak erősíti, ezért foglalatot nem ajánlatos betenni, ha ez az áramkör be van kapcsolva. Ugyanis ez az áramkör részlet külön tápellátással rendelkezik (*DGND*; *DV+*), így a tápok elvételével az áramkör kikapcsol. Tehát ha nincs szükség szinkronozási feladatokra, kapcsoljuk ki a *SYNC* áramkört a tüskék eliminálása céljából!

### 1.9. Fázisdetektorok

A MAX038 tartalmaz egy TTL/CMOS fázisdetektort, amelyet a PLL-áramkörök szinkronizálásához használhatunk. Erre mutat példát az **7. ábra**. A külső jelet a fázisdetektor *PDI* bemenetéhez kell csatlakoztatni, a kimenet pedig a *PDO*. Az ábrán azt is megfigyelhetjük, hogy alapesetben *PDO* az *FADJ*-hoz csatlakozik. Az  $R_{PD}$  ellenállás állítja



8. ábra

be a fázisdetektor erősítését, míg  $C_{PD}$  kondenzátor csillapítja a magasfrekvenciás összetevőket, egyben a hurokszűrő egyik pólusát adja. A  $PDO$  egy négyszöghullámú áramkimenet, melynek az árama 0...500  $\mu A$  között változik. Kitöltési tényezője 50%, akkor, amikor a MAX038 kimenete és  $PDI$  egymáshoz viszonyított fázistolása  $90^\circ$ . A kitöltési tényező a 100%-hoz közelít, amikor ez a fáziskülönbség  $180^\circ$ -hoz tart, és 0% lesz, ha a fáziskülönbség  $0^\circ$ -hoz közelít. Amikor a hurok zárt, a fázisdetektor bemenetén levő jelek kb.  $90^\circ$  fázistolásúak, a kitöltési tényező 50% és az átlagáram a  $PDO$ -nál 250  $\mu A$ . Ez az áram az  $FADJ$  és  $R_{PD}$  között oszlik meg. 250  $\mu A$  mindig „bemeleg” az  $FADJ$ -ba és a különbségi áram (ami a 250  $\mu A$  „elnyelése” után maradt) az  $R_{PD}$ -n egy vezérlőfeszültséget hoz létre (mindkét előjellel). Például amikor a fáziskülönbség növekszik, az átlagos áram is növekszik; ettől az  $R_{PD}$ -n levő feszültség is (ez egyben az  $U_{FADJ}$  is) pozitívabbá válik. Ennek hatására csökken az oszcillátorfrekvencia, csökkentve a fáziskülönbséget, így fenntartva a fáziszárt.

Nagyobb  $R_{PD}$ -érték nagyobb  $U_{FADJ}$ -ot eredményez egy adott fáziskülönbséghez. Más szavakkal: nagyobb hurokerősítés, kisebb behúzási tartomány. Vegyük azt is észre, hogy  $PDO$  kimeneti áramának  $C_{PD}$ -t is töltenie kell, így az arány, amivel  $U_{FADJ}$  változik (a hurok sávzélessége) fordítottan arányos  $C_{PD}$ -vel!

Most következnek néhány számítási eljárás ismertetése az oszcillátor keverési erősítésének, a hurokerősítésének, a nyílthurkú átvitelnek meghatározásához, de mivel ez nem tartozik szorosan témánkhoz, ezeket az érdeklődők [1]-ben megtalálhatják. Ugyancsak nem mutatjuk be azt az esetet, mikor a belső fázisdetektor helyett külsőt használunk. Ezt is és még néhány érdekes alkalmazást (pl. frekvenciaszintézer) a már említett honlapon meg lehet tekinteni. Ami a jelen feladatunkat illeti, elmondhatjuk, hogy ha a MAX038 belső fázisdetektorát nem használjuk, akkor a  $PDI$  és  $PDO$  láb  $GND$ -re kötendő!

Úgy gondoljuk, hogy az 1. ábra tömbvázlatának egyes elemeit és azok környezetét, kezelését be kellett mutatni ahhoz, hogy az elkészítendő kapcsolásunk ne szoruljon hosszú magyarázkodásra és a miértekre a válasz már az alapoknál meglegyen. Ezzel csak töre-

kedtünk a zűrzavar eloszlatására és eredménykedünk, hogy az olvasó nem jutott el a „kiábrándulás” szakaszába. Azt is megfigyelhettük, hogy az egyes alfejezetekbe becsempészünk a csip alapvető műszaki paramétereit is csupán a praktikumra szorítkozva, hiszen a gyári adatlap maga 16 oldal terjedelmű.

## 2. Az áramkör

A 8. ábrán a megvalósított készülék elvi kapcsolási rajzát láthatjuk. Mielőtt az egyes áramköri részeket bemutatnánk, közöljük generátorunk főbb sajátosságait, *műszaki paramétereit*.

Műszaki adatok	
Jelalak	szinusz, négyszög, háromszög
Frekvencia-tartomány	6...600 Hz, 600 Hz...60 kHz, 2,7...260 kHz, 220 kHz...21,1 MHz
Frekvenciaszabályozás	durva, finom
Hőmérsékleti drift	220 ppm/°C
Kimeneti amplitúdó	max. 2 $V_{CS-CS}$ , szabályozható
Kimeneti ellenállás	50 $\Omega$
Kimeneti osztó	0 dB, -20 dB, -40 dB
Kimeneti ofszet	$\pm 2$ V (állítható)
Kitöltési tényező	18...85% vagy fix 50% (átkapcsolható)
Sweep-idő	20 ms; 200 ms; 2 s

Az áramkör ismertetését az 1. rész egyes alfejezeteihez igazodva tesszük meg, megkönnyítve annak megértését. A kapcsolat központi eleme természetesen a MAX038 függvénygenerátor IC. Az  $IC_1$  tápfeszültsége  $\pm 5$  V. A tok szinkronáramköri részének külön tápellátást (+5 V) kell vagy lehet biztosítani. A két fő táp szűrése az IC megfelelő lábainál (17., 20.) 1-1 db 1  $\mu F$ -os kerámiakondenzátort vagy 1  $\mu F$ -os tantálcikkondenzátort kell alkalmazni, párhuzamosan 1-1 db 1 nF-os kerámiával. Esetünkben ez utóbbi megoldást választottuk. A hullámforma-kiválasztást a  $K_2$ -vel valósítjuk meg, a már megismert táblázatnak megfelelően. Kicsit összetettnek tűnhet a frekvencia-beállítás megoldása, de igyekeztünk az IC lehetőségeit kihasználni úgy, hogy

az olvasó is dönthessen bizonyos alkalmazások mellett.

A  $K_4$  „Function” állásban az  $IIN$  bemenőáramát az  $IC_3/c$  kimenőfeszültsége szolgáltatja az  $R_{21}$ -en keresztül. A követőerősítő bemenőoldala az  $R_{11}$ ,  $P_4$ ,  $R_{12}$  osztó, amely a tok referenciájából táplálkozik. A leosztott referenciafeszültség +0,02 V-tól +1,88 V-ig szabályozható, ami tekintve az  $IIN$  virtuális földponti helyzetét az  $R_{21}$ -en 6...570  $\mu A$  nagyságú áramot biztosít az  $IIN$ -nél. Mint látjuk, ez az áramtartomány jól megfelel a működési intervallum lineáris szakaszának.

A másik frekvenciameghatározó tényező a  $C_{OSC}$  kapacitása. A műszaki adatoknál már láttuk, hogy négy frekvenciasávot alakítottunk ki. Az ezekhez tartozó kondenzátorokat a  $K_5$ -tel váltjuk ( $C_{13}$ ... $C_{16}$ ). Az értéktartományokból megállapíthatjuk, hogy sávonként a frekvenciátfogás kb. 1 : 100, ezért a  $P_4$  feltétlenül helikális potenciométer legyen! Külön áramköri részlet gondoskodik a harmadik frekvenciameghatározó tényező, az  $FADJ$  szabályozásáról. Ez a bemenet (8. láb) egyrészt az előlapra kivezethető, ezzel korlátozott mérvű frekvenciamoduláció valósítható meg. Másrészt jumper segítségével vagy az  $R_{19}$ -re, vagy az  $IC_3/d$  kimenetre köthető. Az előbbi az az eset, amikor a frekvencia finomszabályozásáról lemondunk, de emlékezzünk arra, hogy ekkor a kimeneti frekvencia megkétszereződik! Természetesen ilyenkor  $C_{13}$ ... $C_{16}$  értékét át kell számolni. Az immáron kétféle frekvenciameghatározó összefüggés:

$$f_0 = 2 \cdot \frac{I_{IN}}{C_F}$$

ahol  $f_0$  MHz,  $I_{IN}$   $\mu A$ ,  $C_F$  pF.

Ha a jumper az  $R_{18}$ -hoz kötjük, akkor a frekvencia finomszabályozásáról az  $IC_3/d$  kimenete gondoskodik úgy, hogy a követőerősítő bemenetét egy olyan osztó táplálja, melynek talppontjai  $\pm 5$  V-ra vannak kötve. A  $P_5$ -tel beállítható feszültségérték:  $\pm 1,6$  V és a 4.b ábrából kiolvasható a finomhangolás mértéke. (A matematikai vénájúak a megadott egyenlettel ki is számolhatják.) Ha módunkban áll, itt is alkalmazhatunk helipotot a  $P_5$  helyén!

Merőben új helyzet áll elő, ha  $K_4$ -et „Sweep” állásba kapcsoljuk. Ekkor a frekvenciahangolás automatikusan és periodikusan ismétlődve megy végbe,

azaz sweep-generátort készítettünk! Az automatikus hangolásról egy nagy leirítási fűrészel-generátor áramköri rész gondoskodik. Az IC<sub>2/a</sub>, T<sub>1</sub> elemen alapuló áramgenerátor a C<sub>1</sub> kondenzátor töltőköre, a gyors kisütést pedig T<sub>2</sub> UJT biztosítja. Az előálló fűrészel IC<sub>2/b</sub> követőerősítő a nagy bemenőimpedanciája következtében „tehermentesíti”. A szükséges szintbeállításokat (erősítés, ofszet) az IC<sub>2/c</sub> valósítja meg, míg végül a helyes fázishelyzetet az egyszeres erősítésű invertáló fokozat (IC<sub>2/d</sub>) állítja be.

A többfokozatú áramköri megoldásnak köszönhetően a fűrészel a manuális frekvenciaállító potenciométer szabályozási tartományát tökéletesen leutánozza, így a számított frekvenciahatárok sweep üzemmódban sem változnak. Az áramgenerátor áramának változtatásával (K<sub>1</sub>) állítható be a háromféle „söpresi” idő.

A bemenőoldali utolsó áramköri részlet a kitöltési tényező szabályozásának megoldása. Itt is választási lehetőség adódik. Amennyiben K<sub>3</sub>-at GND-re kapcsoljuk, akkor fix 50%-os érték állítunk be. Átkapcsolva K<sub>3</sub>-at, a DADJ bemenetet az IC<sub>3/b</sub> kimenete táplálja. Ez a műveleti erősítő is követőerősítő üzemmódu, melynek bemenetén szintén egy feszültségosztó található (R<sub>8</sub>; P<sub>1</sub>; R<sub>9</sub>). A referenciafeszültséget IC<sub>3/a</sub> invertálja, így a feszültségosztó táplálási feszültsége ±2,5 V. A megadott értékekkel a P<sub>1</sub> szabályozási tartománya ±2,3 V, azaz teljesen kihatásználjuk a DADJ bemenet működési tartományát (lásd az 1. fejezetet). Ezen áramköri részekkel már tulajdonképpen egy működőképes berendezésünk van, melynek kimenetéről (19. láb) már le is vehetjük a megfelelő jeleket. De épp a kimenetnél állapítottuk meg bizonyos megköteéseket, így külső buffererősítő alkalmazását javasoltuk.

Tekintettel a viszonylag nagy sáv szélességre, ezt a feladatot is speciális eszközzel tudjuk egyszerűen megoldani. Választásunk az Elantec gyártmányú EL2020 típusú videoerősítőjére (IC<sub>5</sub>) esett, éppen a beszerezhetősége miatt. Típuszám-azonossága miatt véletlenül se tévesszük össze TDA2020-as sorozattal! Amatőrörökben ez az IC nem túlságosan ismert, ezért néhány tulajdonságát megemlítjük, jelen áramköri alkalmazására szűkítve mondandónkat. Alapvetően koaxkábelek meghajtására készült eszközről van szó,

amely egységnyi erősítéssel 50 MHz-es, míg 10-szeres erősítésnél 30 MHz-es sáv szélességgel rendelkezik (SR = 500 V/μs). Mivel belső visszacsatoló hálózata van, az EL2020 sokkal jobb erősítési pontossággal és alacsonyabb torzítással rendelkezik, mint egy nyílt-hurkú buffer. Kimeneti rövidzár védelemmel és bemeneti ofszetállítási lehetőséggel is ellátták. Belső védelme kb. 50 mA-es terhelőáramnál lép működésbe, valamint akkor is, ha a tok hőmérséklete eléri a +175 °C-ot (!). Amennyiben nagyobb kimenőáramra van szükség, az IC visszacsatoló hálózatába egy újabb videobuffer-erősítőt célszerű beiktatni. Erre a célra legjobban az Elantec EL2004 típusú eszköze felel meg. A cég által javasolt áramkört mutatja a 9. ábra. Bővebb információt a cég internetes oldaláról lehet megtudni róla. Visszatérve kapcsolásunkhoz: egy összegző erősítőt készítettünk, amelynek erősítését az R<sub>29</sub>; R<sub>27</sub>, R<sub>29</sub> ellenálláshálózat -1-re állítja be; az így elérhető sáv szélesség 40 MHz!

Kihasználva azt a lehetőséget, hogy a kimeneti fokozat összegzőerősítő is lehet, egy újabb műveleti erősítő alkalmazásával a kimeneti ofszetállítás is megoldható. Az IC<sub>4</sub> követőerősítő bemenőoldala a P<sub>6</sub>-tal állíthatóan legfeljebb ±2 V-os feszültséget kap. Ez a DC-szint jelenik meg az egyébként a P<sub>7</sub>-tel szabályozható kimeneti amplitúdón. A kimeneti szint egy szokásos megoldású 50 Ω-os létraosztó 0; -20; -40 dB (K<sub>6</sub>) beiktatásával kerül az előlapi BNC csatlakozóra.

A 8. ábrán nem véletlenül elkülönülten szerepel a tápegység egy lehetséges megvalósítása. Kész dokumentációt éppen a kötöttségek elkerülésére nem mellékelünk hozzá, ennek okán nem alkalmaztunk alkatrészpozíciószámozást sem. Alapvető követelmény

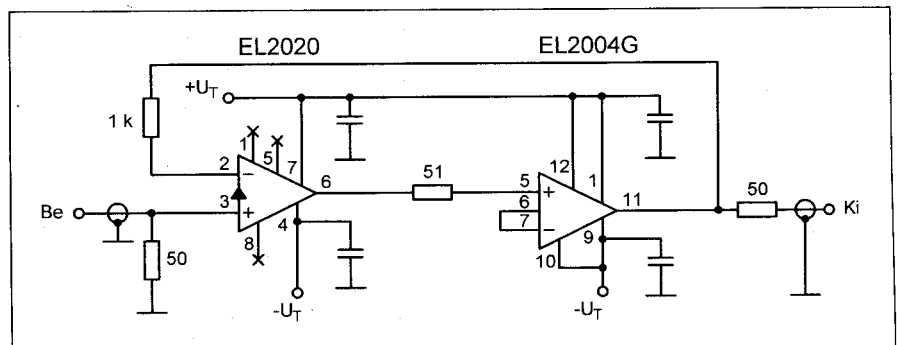
a stabil ±5 V-os feszültség kb. 100 mA-es áramfelvétel mellett, valamint egy elemi hálózati zavar szűrés.

### 3. Megépítés – bemérés

A MAX038 – mint láttuk – időben és hőmérsékletben stabil kimeneti frekvenciájú jeleket ad, de ezt a jó tulajdonságát leronthatja a külső frekvencia-meghatározó alkatrészek helytelen megválasztása. Az ellenállások lehetőleg 1%-os, fémréteg típusúak legyenek, míg a kondenzátorok esetében az alacsony hőfoktényezőjük a jók. A COSC lábán a működésmódnak megfelelően háromszögjel van jelen 0 és -1 V közötti amplitúdóval. Éppen ezért polarizált kondenzátor nem ajánlott! (Ha mégis azt használunk, akkor a negatív pólusát kötjük a COSC lábba, a pozitív pólusát a GND-re.)

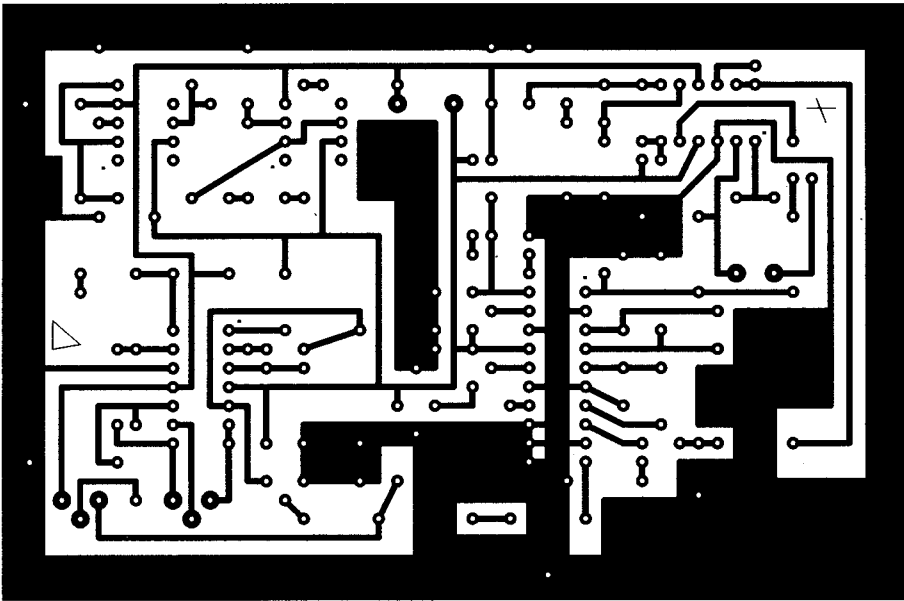
Nagyon alacsony frekvenciához nagy kapacitású kondenzátorra van szükség. Körültekintően kell kiválasztani, mert a legtöbb típusnak gyalázatos a hőfokfüggése és a szivárgóárama! Főleg ez utóbbi „interferálhat” a „rendes” töltő-kisütő árammal. Ha lehetséges, akkor feltétlenül tantálkondenzátort válasszunk!

Az egyoldalas nyák föltervét a 10. ábrán, az alkatrészek beültetését a 11. ábrán láthatjuk. Az áramkör viszonylagos „sűrűsége” ellenére a beültetési rajz csak 3 db átkötést tartalmaz. A szerelt nyáklap a külvilág felé számtalan kezelőszórvvel tart kapcsolatot, így a beültetést és a kábelezést fokozatról-fokozatra haladva végezzük! Az egyes csatlakozási pontokat a 8. ábrán bekarikázott számokkal jelöltük, miként a 11. ábrán is. Amennyiben IC<sub>1</sub>-nek foglalatot teszünk, akkor a legalacsonyabb profilú precíziós típust válasszunk (pl. E-tec). Akár foglalatlan,



9. ábra





10. ábra

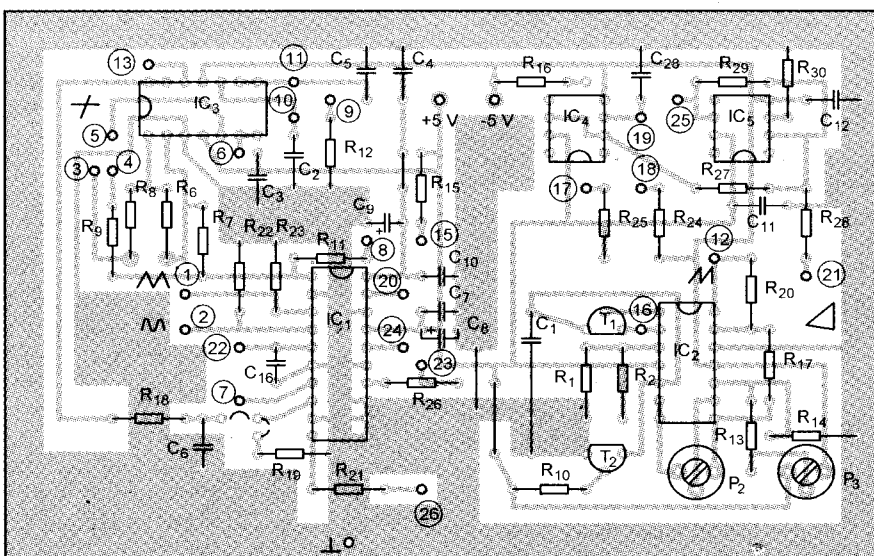
akár anélkül építkezünk, az IC<sub>1</sub>-et a legvégén tegyük a helyére, mert addig minden részáramkör előzetesen működtethető, beállítható!

Az előzetes működtetéshez használjunk áramkorlátozott kettős tápegységet, vagy a generátor tápellátására készült (pl. a rajz szerinti) tápáramkört! A következőkben az egyes fokozatokhoz adunk kivitelezési illetve beállítási tanácsokat. Mivel az áramkör egyes részei igénylik az IC<sub>1</sub> referenciaértékét, egy kiegészítő +2,5 V-os feszültségre is szükségünk lesz. Higyjük el, megéri!

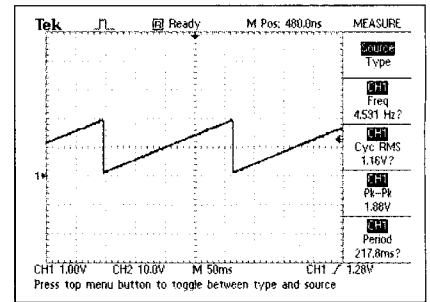
Az IC<sub>3</sub>/c-nél kezdjük a mérést: a P<sub>4</sub>-gyel beállítható 0 és +1,85 V közötti

érték ellenőrzésével! (Az ellenőrzéseket az üres IC<sub>1</sub> lábainál végezzük.) Hasonló módon IC<sub>3</sub>/d kimenete P<sub>5</sub>-tel állíthatóan ±1,6 V-ot kell, hogy szolgáltatson.

Kicsit izgalmasabb a sweep üzemmód beállítása. Olyan fűrészeljre van szükségünk, amelynek periódusideje három fokozatban állítható, a felütása pedig 0,02 V-tól +1,85 V-ig tart. A beállításhoz oszcilloszkópra feltétlenül szükség van! Az IC<sub>2</sub>/a-val felépített áramgenerátor forrásáramát R<sub>1</sub>-el módosíthatjuk, ha nagyon eltér a három megadott értéktől. Abszolút precíz igény esetén R<sub>1</sub> helyén potenciométert kellene alkalmazni, de már így is van



11. ábra

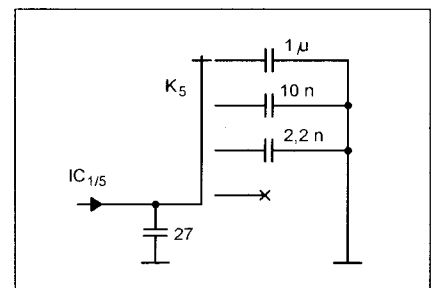


12. ábra

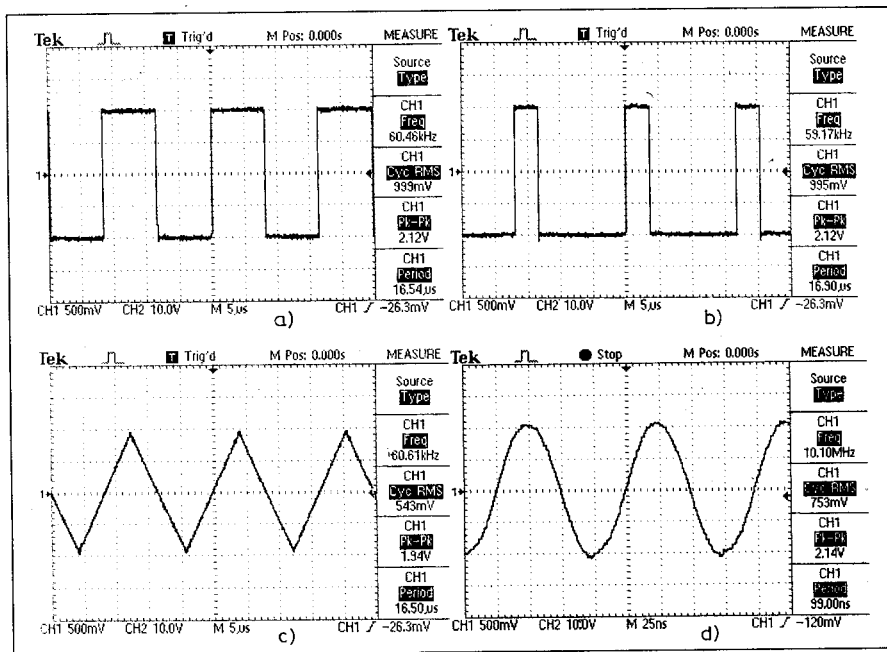
az áramkörben elég. A C<sub>1</sub>-en előálló fűrészelj, IC<sub>2</sub>/b után sem nem 0-tól indul, s az amplitúdója sem 1,85V. Tehát az erősítést a P<sub>2</sub>-vel és az ofszetet a P<sub>3</sub>-mal külön be kell állítani. Egy végső állapothoz közeli jelalakot mutat a 12. ábra oszcillogramja. A kitöltési tényező változtatásához IC<sub>3</sub>/b kimenete ±2,3 V-ot ad a DADJ bemenet feszültségéhez. Tekintve az egyenfeszültségű, ill. alacsonyfrekvenciás részleteket, idáig a megvalósítás problémamentes.

A kimeneti fokozat vizsgálatához nagyfrekvenciás generátorra is szükség lenne. Ennek hiányában csak a már működő IC<sub>1</sub> jelét tudjuk vizsgálni. Annyit mindenképpen ellenőrizni kell, hogy az IC<sub>4</sub> kimenetén előáll-e a ±2 V-os, a P<sub>6</sub>-tal szabályozható DC-feszültség! A két jel együttes hatása jelenik meg az IC<sub>5</sub> kimenetén. A mintakészülékben a tápfeszültség alsó határa ellenére, az IC<sub>5</sub> még elviselte a 2 V-os ofszetet. Ha az erősítő valamelyik oldalán már vág, akkor az R<sub>24</sub> és/vagy az R<sub>25</sub> módosításával csökkenteni kell az ofszetet. Másik megoldás a kimeneti erősítő tápfeszültségének megemelése: ilyenkor magasabb ofszet, ill. nagyobb erősítés is beállítható. A nyákterv módosítása nélkül ez utóbbi is megtehető, de akkor a tápegységünk sem így néz már ki!

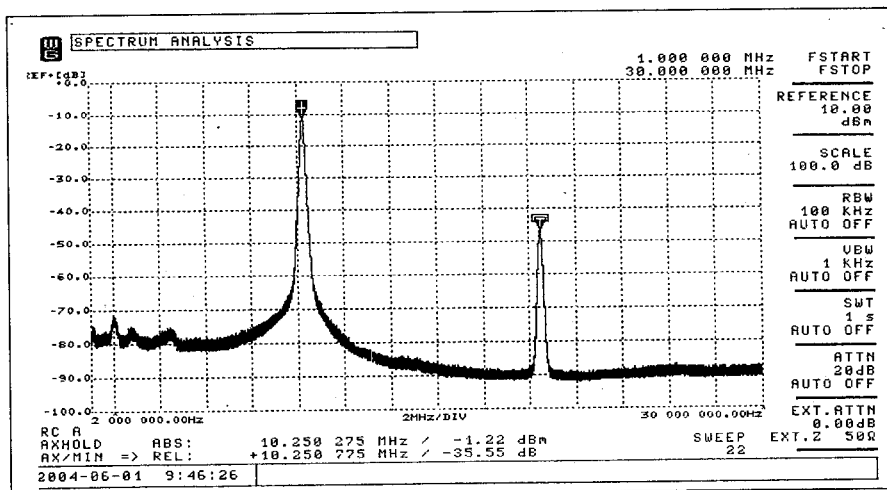
Mind ezek után helyére tehetjük az IC<sub>1</sub>-et! Némi magyarázatra szorul még a hangolókondenzátorok áramköri



13. ábra

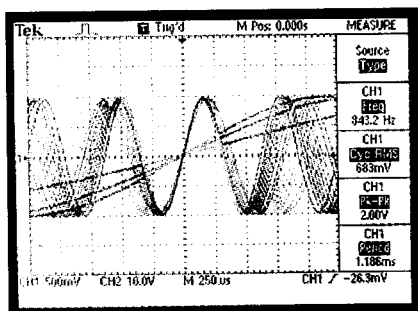


14. ábra



15. ábra

helyezete. Alapesetben ezeket az alkatrészeket egy tárcsás fokozatkapcsolóra (yaxley-re) forrasztottuk. Amennyiben a felső határfrekvenciát beállító C<sub>16</sub>



16. ábra

mellett nem elhanyagolható a szórt kapacitás, akkor az közvetlenül a nyákba is forrasztható, a K<sub>5</sub> bekötése pedig a 13. ábra szerint módosul.

Kritikus lehet még a hullámformaváltoztató kapcsoló (K<sub>2</sub>) bekötése. E helyen használjunk minél rövidebb koaxkábel! Hangsúlyozzuk, hogy ezek a tapasztalatok egyetlen kipróbált MAX038-ra vonatkoznak, ami ugye, semmiképpen nem tekinthető statisztikai átlagnak. Utaltunk is rá, hogy ha nincs szükség finomhangolásra, akkor az R<sub>19</sub>-et kell beültetni és a jumpert a megfelelő helyre kell forrasztani.

Értelemszerűen most IC<sub>3/d</sub> és környezete elmaradhat. Ugyancsak nem használtuk ki a SYNC kimenet adottsá-

gait éppen az 1. részben elmondottak miatt, ám a lehetőséget a nyáklap tartalmazza (R<sub>26</sub> és 23. pont) A kimeneti szintszabályozó potenciométer (P<sub>7</sub>) típusára és a kimeneti osztó kialakítására már a nagyfrekvenciás szereléstechnika szabályai érvényesek, amelyeket néhány példán keresztül a [3] mutat be.

S az immáron kész függvénygenerátor dobozolás, esztétikus megjelenítése egy újabb kihívást jelent(het) az ilyen műszert építeni szándékozónak. Erre részletes receptet adni olyan terjedelmi igényt jelentene, ami meghaladná írásunk limitált lehetőségét. Így mindezen munkálatok a határtalan amatőrleleményességre vannak bízva.

Végül a 14. ábrán bemutatunk néhány szkóppal mért jelalakot, a 15. ábrán a 14.d szerinti szinuszjel spektrumát, a 16. ábrán pedig egy Sweepüzemmódbeli kimenőjelet.

## Zárszó

További irodalmi források szerint egyes MAX038-as típusoknál elérhető a 30 MHz feletti határfrekvencia is. Ha ez így is van, ez az egyoldalas nyákterv már nem megfelelő erre az esetre.

Eddigi tapasztalatom összecseng a katalógusadatokkal, miszerint a szinuszjel 20 MHz-ig oszcilloszkópon nem látható torzítással van jelen, ugyanez négyoszógnél kb. 10 MHz-ig mondható el.

Ennek oka a csip kimeneti buffererősítőjének sáv szélesség-korlátja. A háromszógl esetén is működik ez a korlát, de mivel ez hasonló a szinuszhoz, a torzítása 20 MHz-ig alig észrevehető. A tok adottságainak megfelelően kialakíthatunk teljesen menüvezérelt, kijelzős változatot is, amire a [2]-ben találhatunk egy lehetséges, ám nem ilyen „egyszerű” megoldást.

Végezetül abban bízom, akár a cikk végigolvasása, jó esetben a függvénygenerátor utánépítése nem mélyítette el a kezdeti zűrzavart, a jól működő műszerek nem okoztak kiábrándulást, s a véltlen környezetünket (családtagokat) nem büntetjük dührohamaikkal, mert mint tudjuk, a bűnbak mindig a szerző.

## Irodalom

1. www.maxim\_ic.com
2. http://elm-chan.org/works/wave/report/html
3. Rózsa Sándor: Elektronikus amatőr mérőkészülékek (MK, 1974. 191. old.)
4. www.alternatezone.com/electronics/files/hstglc.txt