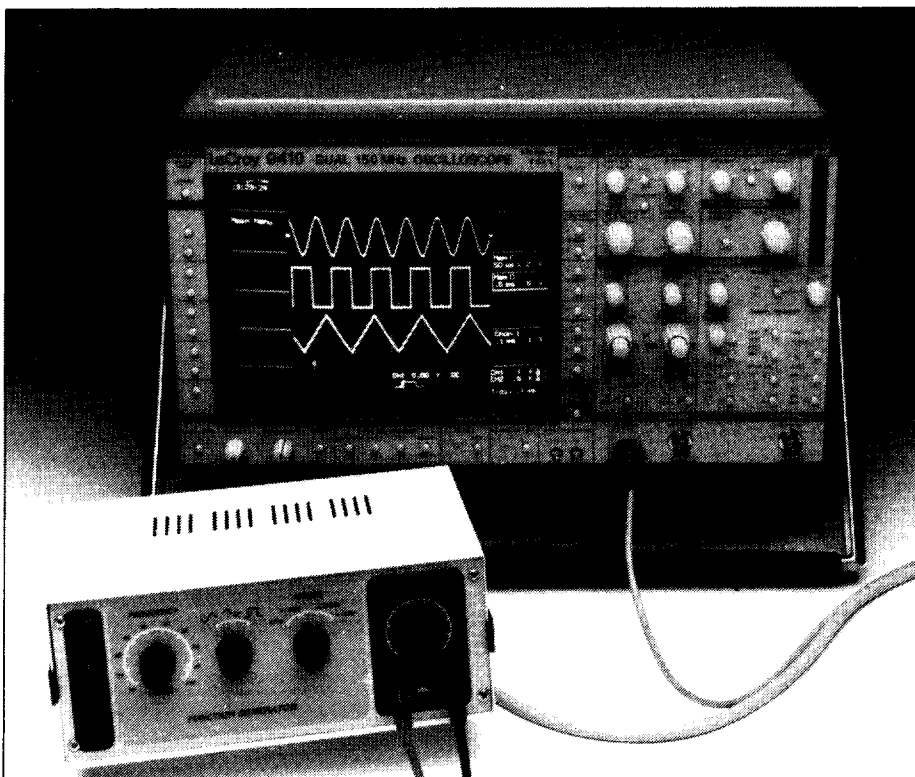


EGYSZERŰ FÜGGVÉNYGENERÁTOR

**Olcsó és könnyen beszerezhető
alkatrészek, könnyű megépítés**



Kapcsolások teszteléséhez a függvénygenerátor gyakorlatilag nélkülözhetetlen. Az itt bemutatott laboratóriumi műszer megépítése olyan egyszerű, hogy az „hétvégi projekt”-nek is megfelel: minimális ráfordítás, szabványos alkatrészek és olyan kapcsolási elv, mely már több ezer példányban bevált.

Műszaki adatok

- **Frekvenciatartomány:**
4 dekádikus tartomány 10 Hz-től 100 kHz-ig
- **Frekvenciabeállítás:**
Lineáris, fokozat nélküli
- **Görbealakok:**
Szinuszos, háromszög, négyszög (átkapcsolható)
- **A szinuszos torzítási tényezője:**
Jellemző érték (az audio-tartományban): 0,5%
- **Kimenet:**
Valamennyi görbealak 50 Ω-os kimeneti impedancián (rövidzártúró)
- **Amplitúdó:**
600 Ω-os terhelésen:
0,1 mV...2 V_{CSCS} (szinuszos), 6,5 V_{CSCS} (háromszög), 9 V_{CSCS} (négyszög)
50 Ω-os terhelésen:
0,1 mV...2 V_{CSCS} (szinuszos), 3,5 V_{CSCS} (háromszög), 4,5 V_{CSCS} (négyszög)
- **Áramfelvétel:**
12 V-ról kb. 100 mA

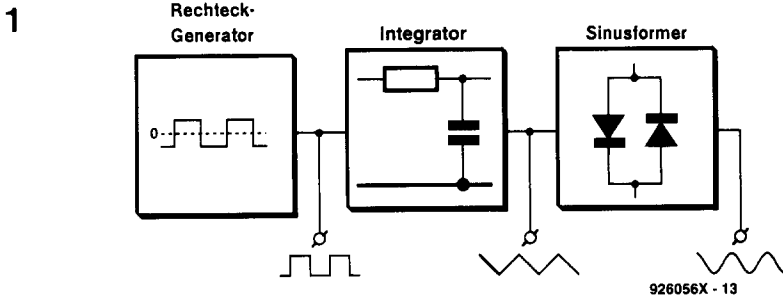
Ha egyszerű, gond nélkül megépíthető, kis költségekkel járó és könnyen beszerezhető alkatrészeket tartalmazó függvénygenerátorról van szó, akkor az Elektor-Labor már legendássá vált fejlesztése, az „Egyszerű függvénygenerátor” csaknem verhetetlen. A sokezer példányban megépített kapcsolás szinte a tökéletességig elérték és számtalan alkalommal igazolta kiválóságát, költség/hasznosság aránya pedig olyan, ami már alig javítható tovább. A 2206-os típusú szabványos függvénygenerátor IC-t követő, diszkrét elemekből megépített kimeneti fokozat megkímél a beszerzéssel kapcsolatos mérgelődéstől, ugyanakkor jobb görbealakokat produkál, mint az oly nehezen beszerezhető speciális erősítő IC-k.

A leírás szerinti megépítés lehetőleg egyszerűbbé és megbízhatóbbá tételéhez nem elegendő csupán az elektronikát elhelyezni a panelon. Ha ugyanis – mint szokásos – a kapcsolók és potméterek a készülékdoboz előlapjára kerülnek, akkor mindig fennáll a bekötési hibák és az olyan nemkívánatos mellékjelenségek veszélye, mint az áthallások, a visszacsatolások és a szórások. A több átkapcsolható tartománnyal rendelkező függvénygenerátoroknál a terjedelmes kábelezés már önmagában is problémákhoz vezethet.

Ebből kiindulva olyan új, nyomtatott áramköri lapot fejlesztettünk ki, amelyre valamennyi kapcsoló és potméter közvetlenül felszerelhető. Ezt a panelt közvetlenül az előlap mögé lehet helyezni, ami lényegesen egyszerűsíti a megépítést és javítja a működőképességet. A hálózati tápegység hálózati trafóját szintén közvetlenül a panelra kell felszerelni.

Működési elv

A függvénygenerátorok legnagyobb része nem tartalmaz szinuszos oszcillátort, hanem az 1. ábrán bemutatott elvnek megfelelően működik. A stabil multivibrátorral ugyanis az IC-technikában egy négyszöggenerátor egyszerűbben valósítható meg és széles frekvenciatartományban stabilan működtethető, a frekvencia beállítása pedig igen egyszerűen, potméter útján történhet. Ha a négyszögjellel integrátort vezérlünk, akkor tiszta háromszöggörbe keletkezik: a négyszögjel ütemében egy kondenzátort konstans árammal töltünk, illetve sűtünk ki. A háromszögtől a szinuszig egészen egyszerű és



1. ábra. A négyzetből háromszög, a háromszögből szinusz: ez a legtöbb generátor működési elve

meglepően hatásos módszer vezet: a háromszöggel diódákkal történő háttárolása során a csúcsok nem egyszerű levágásra, hanem lágy lekerekítésre kerülnek. Ennek eredményeként elfogadható torzítási tényezőjű szinuszjelhez jutunk. Ez a módszer is kiválóan alkalmas IC-be történő integrálásra.

Az IC külső kapcsolása

Maga a függvénygenerátor a 2. ábra kapcsolásában az Exar gyártmányú XR2206-os IC-re épül, melynek külső kapcsolása néhány ellenállásra és kondenzátorra korlátozódik. Annál érdekesebb (és fontosabb) viszont ezeknek a külső alkatrészeknek a funkciója, melyet a következőkben ismertetünk.

R2, C1, P1, P2, R3 és R6, valamint C4...C7 és S2 (Frekvenciabeállítás):

R2, P1, P2 és R3 egymással sorba kapcsolódnak, és a 12 V és a test között feszültségosztót alkotnak. A hullámosság és a zavarfeszültségek kiszűrése céljából C1 az R2 utáni feszültséget hidegíti.

A feszültségosztóról P2 csúszkáján át 0,3 V és 2,8 V közötti feszültséget veszünk le. P1 a beállítási tartomány finom beállítását teszi lehetővé.

Az IC a 7-es kivezetésén a feszültséget (belső szabályozás útján) 3 V-os fix értéken tartja. Ez a 3 V és a P1 csúszkáján megjelenő 0,3...2,8 V között található az R6 ellenállás. Az R6-on folyó áram így a P1 csúszkáján levő feszültségtől függően alakul. Ez az áram (I_{R6}) vezérli a frekvenciát, mely

egyébként még az 5-ös és a 6-os kivezetés közé kötött kondenzátor értékétől is függ a következő kifejezésnek megfelelően (I_{R6}-ot amperben, C-t farádban kell behelyettesíteni):

$$f = \frac{I_{R6}}{3C} \text{ [Hz]}$$

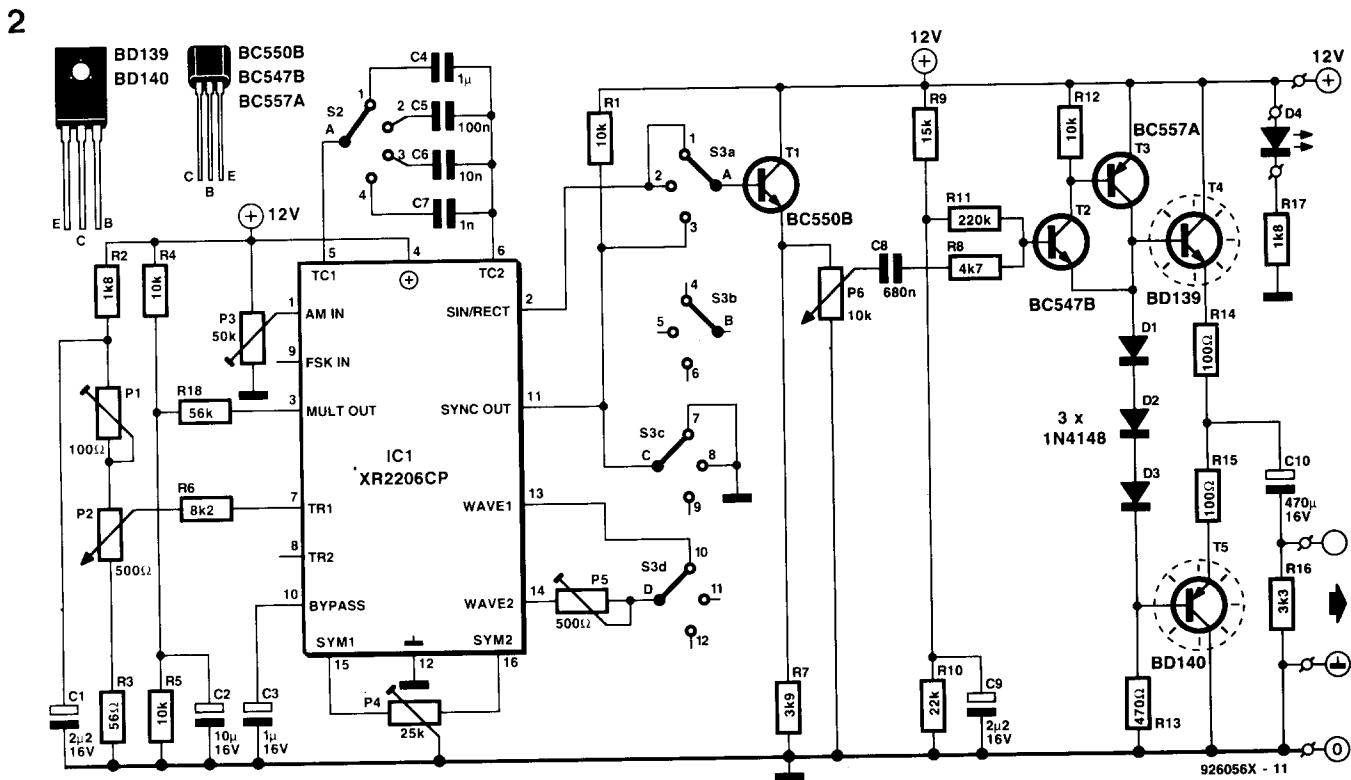
A kapacitás értékét az S2-vel átkapcsolható C4...C7 kondenzátorok határozzák meg. Mivel I_{R6} (P2 által lehetővé tett) 24...330 μA-es beállítási tartománya több mint egy dekád átfogását teszi lehetővé, a C4...C7 kondenzátorokkal 10 Hz (C4) és 100 kHz (C7) között négy, a végeiken egymást átlapoló, dekádikus frekvenciatartományhoz jutunk. Mivel a frekvencia I_{R6}-tal és így P1 feszültségével is egyenesen arányosan változik, lineáris potméter használata esetén **lineáris frekvenciaskálához** is jutunk.

R4, R5 és C2 (Egyenfeszültség-beállítás):

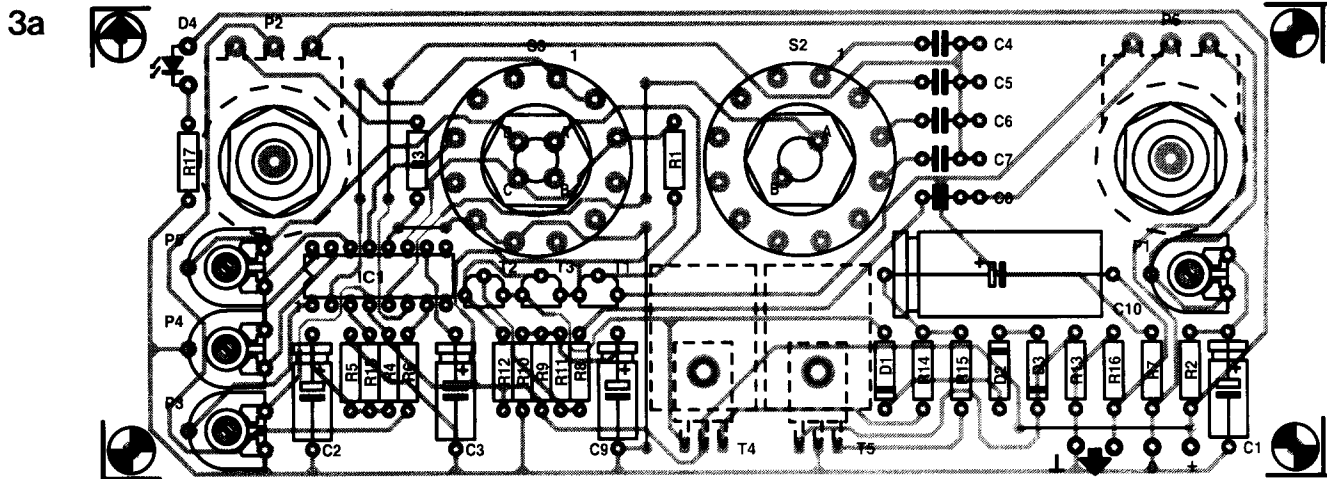
R4 és R5 olyan szimmetrikus feszültségosztót alkot, mely az IC 3-as kivezetését a tápfeszültség felének megfelelő (12 V/2 = 6 V) szinten tartja. Ezáltal a 2-es kivezetésen található szinusz/háromszög kimenet is a tápfeszültség felének megfelelő feszültségen van. C2 megint a feszültségosztó hidegítésére szolgál.

P3 és R18 (Amplitúdó-beállítás):

A szinuszjel és a háromszöggel kimeneti amplitúdója mind a 3-as kive-



2. ábra. Ahogy az egy tisztességes függvénygenerátorhoz illik, a kapcsolás egy egyszerű külső kapcsolású, szabványos függvénygenerátor IC-ből és egy ugyanolyan egyszerű, de tranzistorokkal megépített kimeneti erősítéssel áll



3a ábra. Az egyszerű (egyoldalas) panelra valamennyi potmétert és kapcsolót közvetlenül kell felszerelni, így a huzalozás igen egyszerűvé válik (illetve elmarad!)

zetésen kifolyó áramtól, mind az 1-es kivezetésen (AM-bemenet) fellépő feszültségtől függ. A 3-as kivezetésen kifolyó áramot és ezzel az alaperősítést az R18 ellenállás határozza meg. A beállítás viszont azzal a P1-gyel történik, amellyel az 1-es kimenet feszültsége 0 V és 12 V között állítható be. A 2-es kivezetésen található kimenet amplitúdója akkor a legkisebb (gyakorlatilag nulla), ha az 1-es kivezetésen a tápfeszültség fele van jelen. P3 ekkor középállásban van. Ha csúszkáját (és ezzel a feszültséget) felfelé vagy lefelé mozdítjuk, akkor a kimeneti amplitúdó megnő.

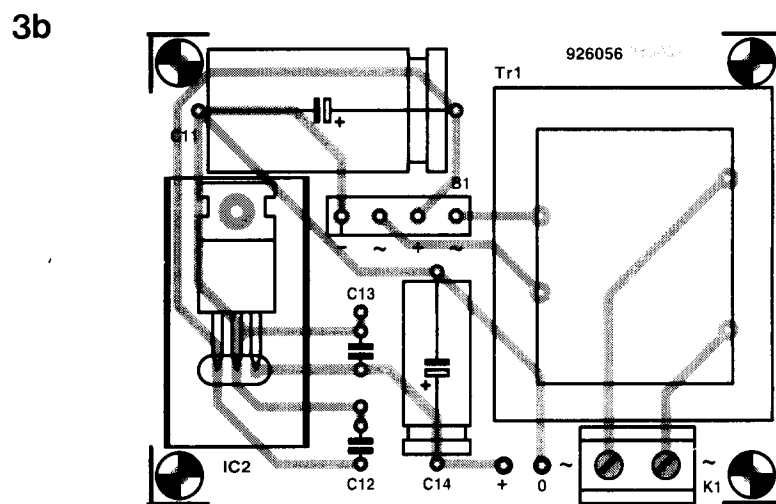
C3 az IC 10-es kivezetésén megjelenő belső referenciafeszültség hidegtésére szolgál.

P4 a háromszög- és szinusz görbealakok **szimmetriájának** beállítását teszi lehetővé.

P5 biztosítja a lehetőséget a szinuszel torzítási tényezőjének beállítására (S3 1-es állása, S3d zárva).

R1 a 11-es négyszögjel-kivezetés belső kimeneti tranzistorának kollektorellenállása.

S3 (Görbealak-átkapcsolás): S3 háromállású (1 = szinusz, 2 = háromszög, 3 = négyszög). Az 1-es és 2-es állásban a kapcsoló utáni erősítő (T1 bázisa) S2a-n át az IC 2-es kivezetésére csatlakozik és innen kapja 6 V-os egyenfeszültségű beállítását is. A 11-es kivezetésen levő négyszögjel-kimenetet S3c-vel egyidejűleg a testre köti, hogy így a négyszögjelnek a többi görbealakra történő áthallását megakadályozza. A kapcsoló 3-as állásában a négyszögjel a kimeneti erősítőre kerül.



3b ábra. A hálózati panel beültetése

Egyenfeszültségű mérési értékek

- **IC1**
 - 1-es kivezetés: kb. 10 V (az amplitúdó kiegyenlítésére szolgáló P3 beállításától függően)
 - 2-es kivezetés: kb. 6 V (S3 1-es, szinusz állásban)
 - 4-es kivezetés: 12 V
 - 7-es kivezetés: 3 V
 - 10-es kivezetés: 3 V
 - 12-es kivezetés: 0 V
- C2 pozitív pólusa: 6 V
- P1/P2 csomópontja: kb. 2,8 V (az amplitúdó kiegyenlítésére szolgáló P1 beállításától függően)
- P2/R3 csomópontja: kb. 0,3 V (az amplitúdó kiegyenlítésére szolgáló P1 beállításától függően)
- T1 emittora: 5,3 V (S3 1-es, szinusz állásban)
- C9 pozitív pólusa: 7,1 V
- T2 kollektora/T3 bázisa: 11,3 V
- T2 emittora/T3 kollektora/T4 bázisa: 6,5 V
- T5 bázisa: 4,4 V
- C10 pozitív pólusa: 5,5 V
- R17/D4 összekötési pontja: 10,4 V

ALKATRÉSZJEGYZÉK

Ellenállások:

- R1, R4, R5, R12 = 10k
- R2, R17 = 1k8
- R3 = 56 Ω
- R6 = 8k2
- R7 = 3k9
- R8 = 4k7
- R9 = 15k
- R10 = 22k
- R11 = 220k
- R13 = 470 Ω
- R14, R15 = 100 Ω
- R16 = 3k3
- R18 = 56k
- P1 = 100 Ω, beállítópotméter
- P2 = 470 Ω, potméter, lineáris
- P3 = 50k, beállítópotméter
- P4 = 25k, beállítópotméter
- P5 = 500 Ω, beállítópotméter
- P6 = 10k, potméter, lineáris

Kondenzátorok:

- C1, C9 = 2μ2/16 V
- C2 = 10μ/16 V
- C3 = 1μ/16 V
- C4 = 1μ
- C5, C12, C13 = 100n
- C6 = 10n
- C7 = 1n
- C8 = 680n
- C10 = 470μ/16 V
- C11 = 1000μ/16 V
- C14 = 100μ/25 V

Félvezetők:

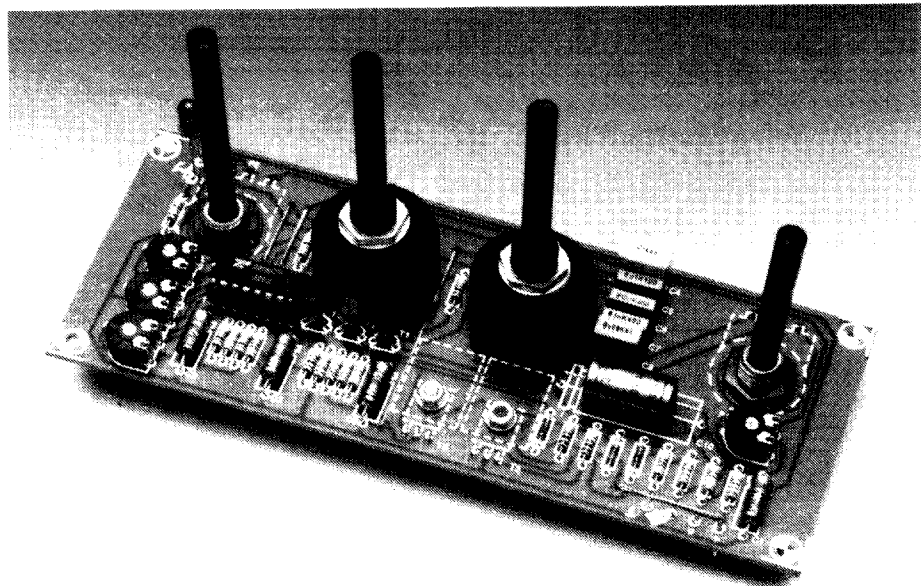
- D1, D2, D3 = 1N4148
- D4 = LED, Ø 5 mm, piros
- B1 = B80C1500/1000
- T1 = BC550B
- T2 = BC547B
- T3 = BC557A
- T4 = BD139
- T5 = BD140
- IC1 = XR2206CP
- IC2 = 7812

Egyebek:

- K1 = csillárszorító, 2-áramkörös NYÁK szereléshez, 7,5 mm-es raszterrel
- S1 = hálózati kapcsoló, 2-áramkörös
- S2 = forgókapcsoló, NYÁK szereléshez, 1 sík, 4 állás (1x4)
- S3 = forgókapcsoló, NYÁK szereléshez, 4 sík, 3 állás (4x3)
- Tr1 = hálózati trafó, 15 V/220 mA szekunder, pl. VTR3115 (Monacor) vagy VR3115 (Block)
- Hűtőborda, SK12 (25 mm), T4-hez és T5-höz, 2 db
- Hűtőborda, ICK35SA, IC2-höz, 1 db
- 4 mm-es hüvely, szigetelt előlap szereléshez, 2 db
- Készülékcsatlakozó, beépíthető, biztosítéktartóval
- Finombiztosíték, 100 mA-es, lomha
- Készülékdoboz, LC850 (Telet)
- NYÁK száma: 926056
- Előlapfólia száma: 926056-F

Hálózati tápegység és kimeneti erősítő

A hálózati tápegység a 12 V-os kimeneti feszültséget 7812-es IC-vel állítja elő a szokásos megoldásban, ami



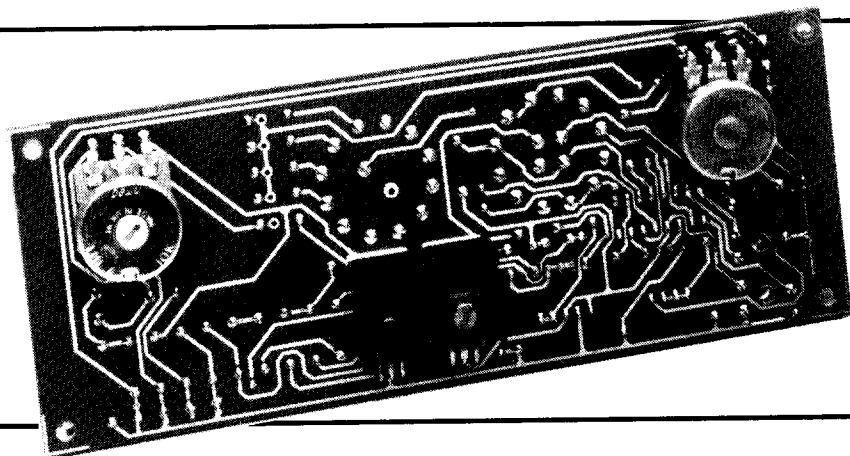
itt tökéletesen elegendő. A kapcsolás kritikus pontjain (feszültségosztók) emellett amúgy is kiegészítő hidegítéseket alkalmazunk. A készülék bekapcsolt állapotának kijelzése a tápfeszültségre az R17 ellenálláson át csatlakozó D4-es LED-del történik.

A kimeneti erősítő gyakorlatilag egy feszültség-erősítés nélküli szuper-emitterkövetőt képez. T1 még egy egészen normális emitterkövető, mely a 2206-os kimeneti jeleit nagyohmosan pufferelem. Emitterében az amplitúdó-beállításra szolgáló P6 potméter kisohmos vezérlést kap. Az egyenáramú leválasztás a C8 csatlólkondenzátor útján csak P6 után következik. A kimeneti fokozatnak a tápfeszültség felére történő egyenfeszültségű beállítását az R9 és R10 ellenállásokból álló feszültségosztó végzi. Az így keletkezett 6 V-os feszültség hidegítésére C9 szolgál. Ez a feszültség a nagyohmos R11-en át T2 bázisára kerül, ahol nagy bemeneti impedanciát állít be. C8 helyén egy kis fóliakondenzátor alkalmazásával csak így lehet olyan mély sarkfrekvenciát elérni, mely a csillapítás nélküli átvitelt a legalacsonyabb frekvenciartományban is lehetővé teszi.

T2 T3-mal együtt komplementer Darlington-fokozatot képez, mely igen nagy áramerősítésű npn tranzisztorként viselkedik. Ennek a szupertranzisztornak az emitterén az R13 emitterellenállással sorba kötve három dióda is található, melyek a T4 és T5 komplementer kimeneti tranzisztorok bázisai között 1,8 V előfeszültséget hoznak létre. Ez az előfeszültség a fokozat R14 és R15 emitterellenállásain mintegy 3 mA nyugalmi áramot hoz létre. A kívánt kimeneti ellenállás nagyságát az emitterellenállások értéke határozza meg (kb. a fele érték = 50 Ω). Akinek kis kimeneti impedanciára van szüksége (például hangszóró közvetlen rácsatlakoztatása céljából), az R14 és R15 értékét egészen 10 Ω-ig csökkentheti. A C10-es kimeneti elkő az egyenfeszültséget tartja távol a függvénygenerátor kimenetétől. R16 a kimeneten olyan 3k3 értékű alapterhelést valósít meg, melyen át az elkő be- és kikapcsoláskor fel tud tölteni és ki tud sülni.

Megépítés

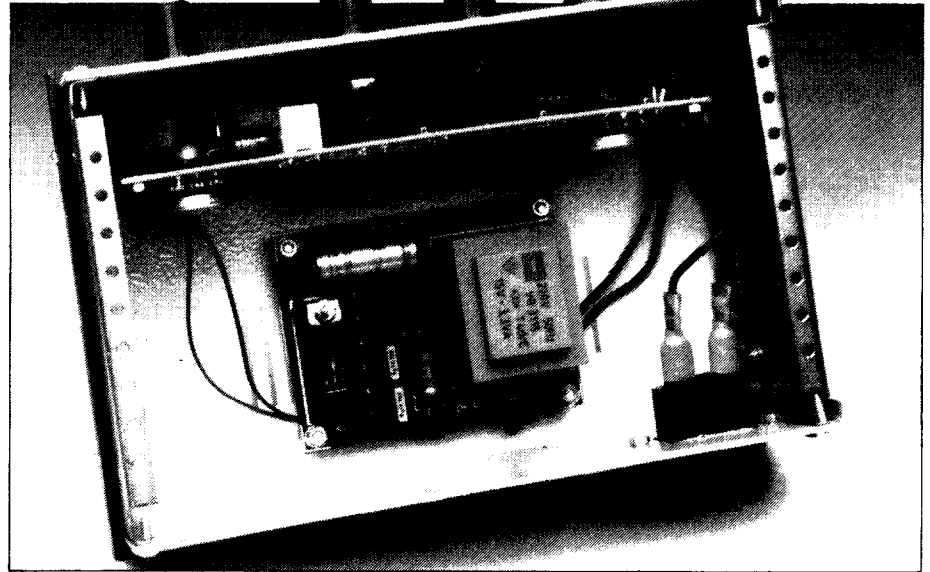
Az egyoldalas NYÁK lapot, melyen a kapcsolás minden probléma nélkül megépíthető, a 3. ábrán mutatjuk be.



A megépítés során a következőkre kell ügyelni:

- **Az átkötésekről** ne feledkezzünk meg (ezeket ültessük be legelőször!).
- **A P2 és P6 potencióméterek** tengelyét hátulról (a forrasztási oldal felől) dugjuk át a panelon és (a beforrasztás előtt!) csavarozzuk fel a panel felső (beültetési) oldalára. Ezután a potméter kivezetéseit rövid huzalok segítségével kössük be a forrasztási oldalra.
- **A P1, P3, P4 és P5 trimmerek** beállítás céljából furatokon át a hátoldarról (forrasztási oldalról) is hozzáférhetők. A panelon bejelölt furatokat e célból fel kell fúrni.
- **T4 és T5** a hátoldalra (forrasztási oldalra) ültetendő be (lásd a fotókat). A beforrasztás során ügyelni kell a kivezetések helyes bekötésére és a hűtőbordának a vezetőcsikoktól való jó elszigetelésére.
- **Az S2 és S3** kapcsolókat beállítógyűrűk segítségével a megfelelő állásszámra kell beállítani.
- **Az S1, a D4 és a kimeneti csatlakozók** az előlapra kerülnek. Ezek elrendezése a panelon látható elrendezéssel megegyezik, így bekötésükhöz rövid huzaldarabkákat is elegendő (lásd a fotót).

IC1-hez foglalat használata ajánlatos. A hálózati tápegység paneljét a generátoregységtől le kell választani és a generátorpanel mögé kell a dobozba beszerelni (lásd a fotót). Az egyenirányító beültetése során ügyelni kell arra, hogy a kivezetések bekötése a panelon található felülnyomattal megegyezzzék (akadnak eltérő bekötésű egzotikus példányok is!). Bár a megadott biztonsági trafó biztosíték nélkül is használható, nem árt, ha hálózati csatlakozás céljára 100 mA-es finombiztosíték befogadására alkalmas biztosítéktartóval ellátott beépíthető készülékcsatlakozót használunk. Fémdobozba való beépítés esetén a hálózati feszültség jó szigetelése mellett a **védőföld vezetékével** való töké-



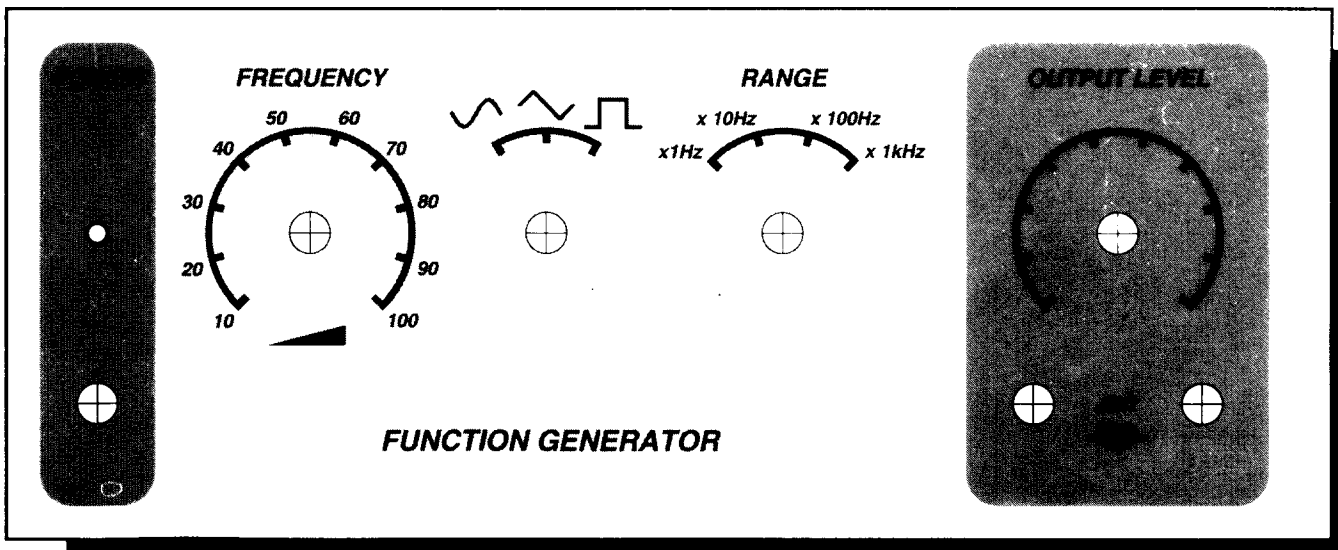
letesen biztos **összekötés** is szükséges. Aki a hálózati csatlakozás céljára nem használ speciális készülékcsatlakozót, annak ügyelnie kell a hálózati kábel korrekt átvezetésére és **húzás elleni tehermentesítésére**.

Aki használható kapacitásmérési lehetőséggel rendelkezik, az a C4...C7 kondenzátorokat kimérheti. Fontos a dekádikus fokozatok pontossága. A tűrések elvileg nem számítanak, amennyiben **egymással megegyeznek**. Ha például mind a négy kondenzátor értéke körülbelül 10%-kal „pluszos”, akkor a hiba valamennyi tartományra nézve együttesen kiegyenlíthető a P1-gyel végzett frekvenciabeállítás útján. A P1-gyel történő frekvencia kiegyenlítéshez (P2 körülbelül a skála közepén!) frekvenciamérőre vagy oszcilloszkópra van szükség. Jobb híján a kimenetre hangszóró is köthető, és a kiegyenlítést adott referenciafrekvenciával rendelkező referenciajelek birtokában, hallás után (lebegési mélypont) is el lehet végezni. (A referenciaforrások például a következők lehetnek: egyenirányítóhid utáni 100 Hz-es hullámosság, 440 Hz-es

hangvilla, tv-monoszópkó adásakor használt 1 kHz-es kísérőhang, a sor-kimenő 15 625 Hz-es fűtülése stb.) A beállítás elvégzése előtt a kapcsolást kis ideig működtetni kell, hogy megfelelően bemelegedjék.

Ha oszcilloszkóp vagy torzításmérő nem áll rendelkezésre, akkor a P5-tel végzett szinuszbéállítás 400 Hz környékén hallás után is elvégezhető (S3 1-es állásban!). Ezt megelőzően még a szimmetriát (azonos nagyságú félhullámok) kell P4 segítségével finoman beállítani (szkóp nélkül P4-et középállásba visszük). Végül az amplitúdó P3-mal addig a szintig növelendő, melynél még éppen nem lép fel túlvezérlés (háromszögfeszültségnél sem). Szkóp használata esetén ez nem jelent problémát, míg szkóp nélkül a határolás belépése a hangszín megváltozása alapján érzékelhető.

Ezzel a beállítást be is fejeztük. A most már bevetésre kész függvénygenerátor laboratóriumi alaplámpént áll rendelkezésre, mely különösen a tesztelésnél és hibakeresésnél használható igen jól. ■



4. ábra. Az előlapfólia kialakítása (kicsinyítve)