

## Hangtechnika – felsőfokon

Urbán István okl. villamosmérnök

*Ebben az összefoglaló cikkben egy olyan jóminőségű, nagyteljesítményű végfokot ismertetek járulékos áramköreivel együtt a zenész, diszkós vagy HI-FI-kedvelők körével, mely minden igényt kielégít. Ennek megfelelően jó a frekvencia- és fázisátvittele, valamint a hosszúidejű stabilitása, és megfelelő védelemmel rendelkezik a túlmelegedés ellen.*

### 1. 300 W-os teljesítményerősítő VFET-tel

A tervezés indulásakor felvetődött a kérdés, hogy milyenek legyenek az erősítő végtranzisztorai? 300 W-nyi zenei teljesítmény eléréséhez 4 Ω-on elég szigorú feltételeknek kell teljesülni. A legfontosabb, hogy a tápfeszültségnek ±60 V körülinek, de inkább nagyobbak kell lennie. Ez a legfontosabb paramétert, a végtranzisztorok letörési feszültségét egyértelműen meghatározza. A rostán itt már áthullik az ismert végtranzisztorok nagy része. A nemlineáris torzítás alacsony szinten tartása érdekében jó lenne, ha hasonló négyzetes karakterisztikával rendelkezne, mint hajdan az elektroncső, ami úgy tűnik, hogy feltámad poraiból és újra reneszánszát éli. A félvezetőfizikából ismert, hogy az elektroncső karakterisztikáját legjobban a FET-ek közelítik meg.

Az is ismert, hogy a hagyományos FET-ek kisjelű eszközök, amelyek csak mA-es nagyságrendű drain-árammal működnek. Kialakítottak azonban a MOS-FET gyártástechnológiában egy olyan méhsejtszerűen összekapcsolható struktúrát, ami lehetővé teszi, hogy az egyetlen lapkán integrált sok-sok FET áramát összegezzék és így teljesítményerősítésre is használható eszközt hoztak létre.

Nagyon leegyszerűsítve ez a POWERFET (vagy SIPMOS, HEXFET stb.). Többféle típusa létezik, elsősorban kapcsolóüzemű tápegységekben és teljesítményerősítőkben alkalmazzák, attól függően, hogy milyen karakte-

risztikával rendelkeznek. Számunkra a kapcsolóüzemben használható eszköz nem jöhet számításba, mert az erősítőben csak a lineáris  $U_{gs}/I_d$  karakterisztikájú típusok használhatók.

Sajnálatos, hogy ezek az eszközök nagyon drágák, különösen, ha a paraméterek a következők:  $I_d = 30$  A,  $U_{ds} = 100$  V,  $P = 120$  W. Márpedig ebben az erősítőben ilyen eszközt kell alkalmazni p- és n-csatornásat párosával, tehát összesen négyet. Ezen eszközök darabja a cikk írásakor – 1996 májusában – több ezer forint volt. Ez az első olvasatra lehangolóan tűnik, hiszen így egy komplett egységcsomag ára elérheti a 20 000 Ft-ot. Az ár mérlegelésekor azonban egy dolgot nem szabad elfelejteni: nagy teljesítményt csak úgy tudunk produkálni, ha megfelelő alkatrészeket használunk, az pedig pénzbe kerül. Ezzel indokolható a látszólag drága VFET használata.

Kínálkozik egy másik megoldás is a szükséges teljesítmény elérésére. Már volt szó róla, hogy ezek az eszközök tetszőleges számban párhuzamosan kapcsolhatók, hogy a szükséges teljesítményt elérjük. Ezek szerint nem kell fetétlenül egy tokban lenni a disszipációhoz szükséges összes VFET-nek. Ebben az esetben elmondható, hogy a kisebb disszipációjú eszközök ára relatíve kedvezőbb, így az erősítő valamivel olcsóbban is megépíthető. Ez a megállapítás azonban csak akkor igaz, ha az egy áramkörben használt FET-eket  $U_{gs}$ -re szigorúan összeválogatjuk. A válogatás oka fizikailag igen egyszerű. Mindig az a FET disszipál legjobban, amelyiknek a legkisebb a nyitófeszültsége, így ez előbb-utóbb túlterhelődik és észrevétlenül, látszólag minden ok nélkül tönkremegy. Ez lesz a sorsa a csoportból a következő legkisebb  $U_{gs}$  feszültségű tranzisztornak is, amíg mind „el nem roppen”. Ahhoz, hogy ezt elkerüljük, a tranzisztorcsoportokat a gyakorlat szerint század volt pontossággal válogatni kell. Az erősítő alkatrészeinek vásárlásakor erre nagyon oda kell figyelni. A

Hobbi Elektronika egységcsomagjai több száz darabból válogatott FET-csoportokat tartalmaznak, ezért az építést az itt vásárolt egységcsomagból célszerű elvégezni.

#### 1.1. Műszaki adatok

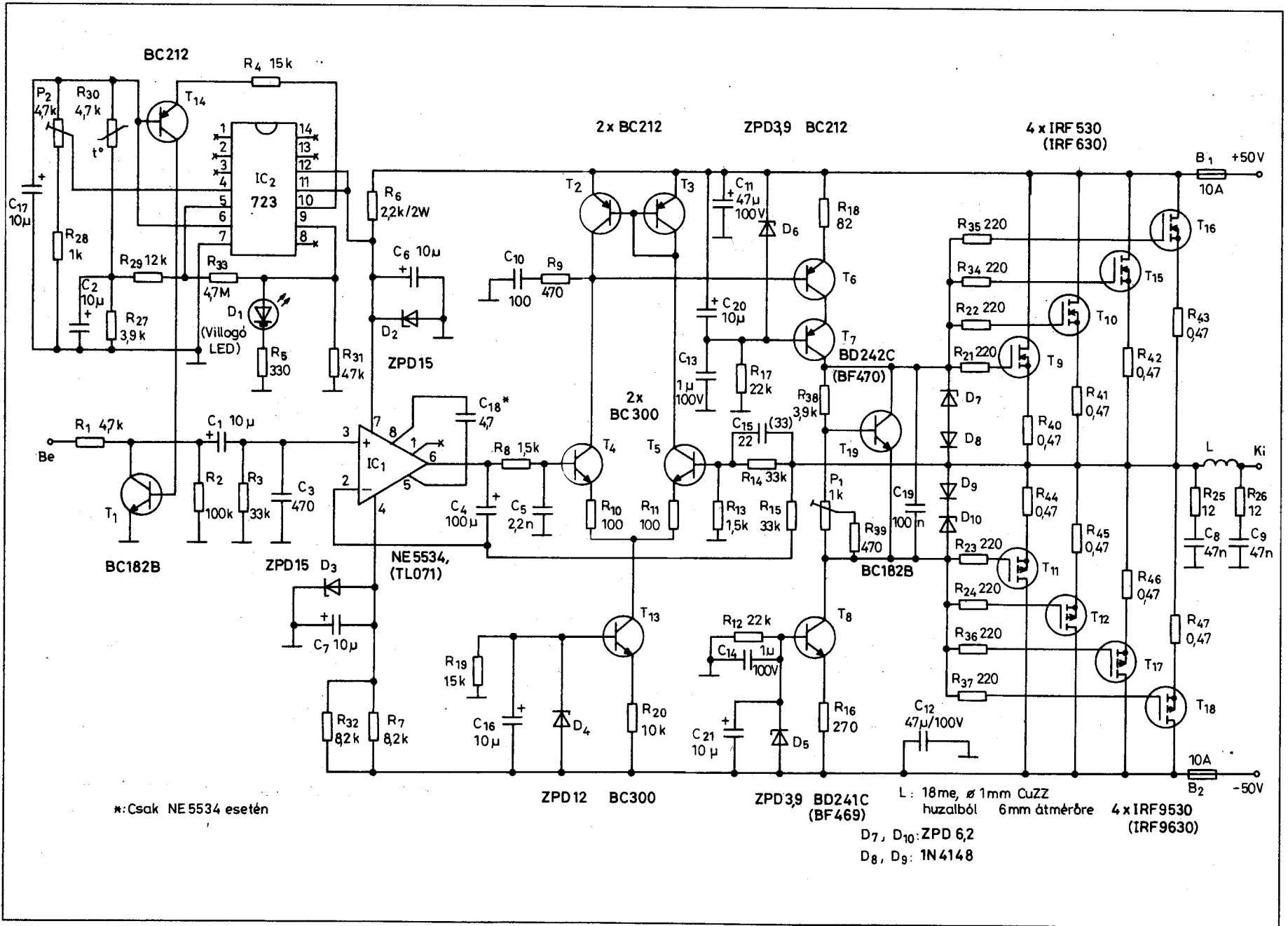
|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Bemeneti impedancia:  | 30 kΩ, túlmelegedés esetén 4,7 kΩ |
| Érzékenység:  | 1,3 V (teljes kivezérléshez)      |
| Terhelő impedancia:   | 4 Ω                               |
| Névleges kimenőteljesítmény:  | 225 W szinuszos, 300 W zenei      |
| Harmonikus torzítás névleges teljesítménynél a 35 Hz ... 16 kHz sávban: | 0,1% alatt                        |

#### 1.2. Az áramkör működése

A bemenőjel az 1. ábra alapján az  $R_1$  ellenállásra kerül, mely a túlmelegedés elleni védelemben játszik szerepet.  $R_2$  a  $T_1$  kollektorát 0 potenciálra tartja.  $R_3$  és  $R_{15}$  értékei megegyeznek, hogy a műveleti erősítő bemeneti áramai által, a bemenetekkel sorbakapcsolt ellenállásokon okozott feszültségesség ne hozzon létre feszültség-szint-változást a kimeneten. A  $C_1$  csatolókapacitátor használatát az előbbiek teszik szükségessé.

$R_6$ ,  $C_6$ ,  $D_2$ ,  $R_7$ ,  $R_{32}$ ,  $C_7$ ,  $D_3$  a műveleti erősítő 15 V-os tápfeszültségét állítják elő.  $R_6$  nagyobb teljesítményű, hogy a tápáram a túlmelegedés elleni védelem számára is elegendő legyen. A műveleti erősítőnek két feladata van. Egyrészt növeli a bemeneti impedanciát, másrészt az erősítő hangszóró kimenetén megjelenő egyenfeszültség-szintet nagy pontossággal 0-ra állítja be.

A műveleti erősítő erősítése a hangfrekvenciás sávban egységnyi. Ezt a  $C_4$  kondenzátorral értük el. Az



1. ábra

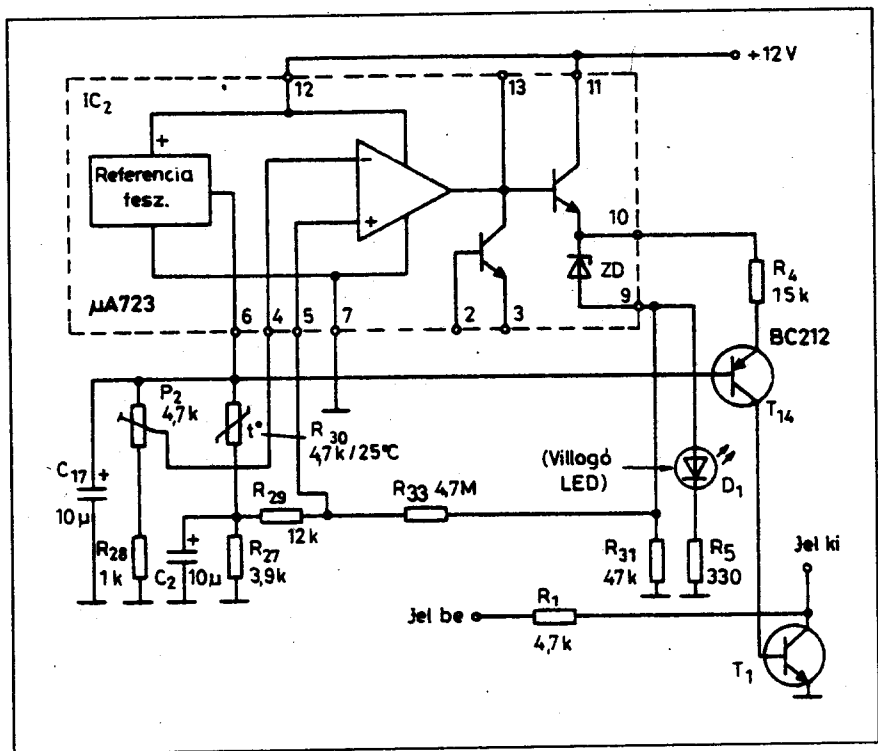
$R_{15}$  visszacsatoló ellenállás a  $C_4$ -gyel együtt egy integráló áramkört alkot, ami kiszűri a kimenőjel váltakozó feszültségű összetevőjét és csak az egyenáramút engedi tovább az  $IC_1$  invertáló bemenetére. A negatív visszacsatolás következtében a műveleti erősítő kimenetének feszültségszintje úgy változik, hogy a bemenetek azonos feszültségszinten legyenek. Mivel a teljesítményerősítő kimenete az invertáló bemenetre kapcsolódik, a neminvertáló bemenet pedig 0-ra van kapcsolva, az erősítő kimenete is 0-ra áll be.

$R_1$ ,  $C_3$  és  $R_8$ ,  $C_5$  aluláteresztő szűrőket alkotnak.  $T_4$  és  $T_5$  differenciálerősítőt képez, amelynek munkaellenállása a  $T_2$ ,  $T_3$ -ból álló áramtükör.  $R_{10}$  és  $R_{11}$  visszacsatoló ellenállások növelik a fokozat linearitását. A differenciálerősítőt az  $R_{19}$ ,  $R_{20}$ ,  $C_{16}$ ,  $D_4$ ,  $T_{13}$  alkotta áramgenerátor táplálja, az áram értéke 1 mA körüli. A  $T_6$  és  $T_7$  kaszkód erősítőt alkot, ez hajtja meg a végtranzisztorokat.

A kaszkódfokozat munkaellenállása  $R_{12}$ ,  $R_{16}$ ,  $C_{14}$ ,  $C_{21}$ ,  $D_6$ ,  $T_8$  alkotta áramgenerátor, melynek árama 12 mA. Ez az áram a  $P_1$  csúszkájának helyzetétől függően egy 0 ... 3 V nagyságú feszültségesztést hoz létre a potenciométeren. Ennek a feszültségnek a fele képezi a FET-ek  $U_{gs}$  feszültségét, amelynek nagysága meghatározza a rajtuk átfolyó nyugalmi áram értékét.

A munkapontbeállító fokozat az IRF-es konstrukciónál egy kicsit megváltozott.  $T_{19}$ -es pozíciószámmal bekerült egy tranzisztor, az  $U_{gs}$  feszültség beállításához.  $D_7$ ,  $D_8$ ,  $D_9$ ,  $D_{10}$  az erősítő kimeneti rövidzárvédelmét alkotják. Rövidzár esetén a kimenőfeszültség nyilvánvaló, hogy 0 marad és a negatív visszacsatolás hatására a VMOS FET-ek  $U_{gs}$  feszültsége nagymértékű növekedésnek indul. Ezt határozza a diódák alkotta áramkör, így a végtranzisztorokon átfolyó áram nem haladhat meg egy maximális értéket, amely még nem okozhatja a tranzisztorok meghibásodását. Az L terkercs védi az erősítőt, ha a terhelés tisztán kapacitív jellegű.

Az erősítő erősítési tényezőjét a következő összefüggéssel számíthatjuk ki:  $A_u = 1 + R_{14}/R_{13}$ . Behelyettesítve az ellenállások értékeit  $A = 23$ . Az erősítés növelése a torzítás növekedéséhez vezet. Torzítási szempontokat figyelembe véve ajánlatosabb az erősítés növelését az  $R_{14}$  növelésével megvalósítani.



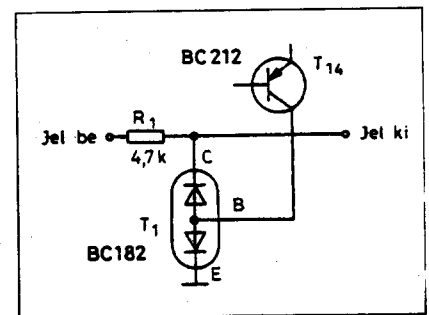
2. ábra

Az áramkör fontos eleme a túlmelegedés elleni védelem. Ez a 2. ábra szerint működik. Az  $R_{30}$ -as termisztort a végtranzisztorokkal közös hűtőbordára kell szerelni. A hőmérséklet növekedésével csökken az ellenállása, tehát nő a  $\mu A723$  differenciálerősítőjének neminvertáló bemenetére kapcsolt feszültség. Amikor az utóbbi eléri az invertáló bemeneten levő,  $P_2$ -vel beállított feszültségszintet, a differenciálerősítő átbillen. Ekkor a  $T_{14}$  tranzisztor vezérlőjelet kap, a  $T_1$  tranzisztor szaturálódik és leosztja a bemenő jelet, mert  $R_1$  és  $T_1$  ebben az állapotban feszültségosztót alkot, így megszűnik a végtranzisztorok további melegekedése. A differenciálerősítőt pozitív visszacsatolás segíti a gyors, pillanatszerű átkapcsolásban. Ennek hiányában az átkapcsolási folyamat hosszabb idő alatt menne végbe és a  $T_1$  tranzisztor ez idő alatt a bemenő jelet torzítaná.

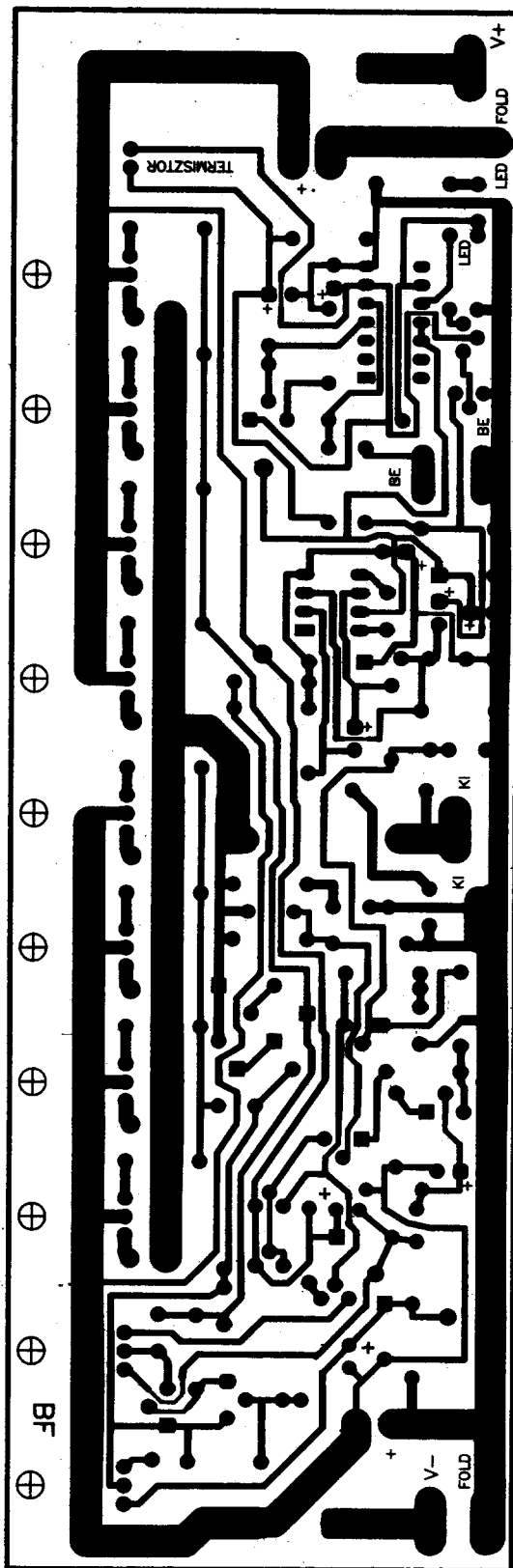
A pozitív visszacsatolás mértékét az  $R_{29}/R_{31}$  aránya határozza meg. E visszacsatolás velejárója a hiszterézises ki-be kapcsolási ciklus. Ez azt jelenti, hogy ha a hőfokvédelem működésbe lépésének hőmérséklete  $P_2$ -vel  $100^\circ C$ -ra van állítva és az üzembe lépett, csak akkor kapcsol ki, ha a hőmérséklet néhány fokkal  $100^\circ C$  alá süllyed. Ezzel elejét vehetjük az indokolatlanul sűrű ki-be kapcsolásoknak.

A  $\mu A723$ -as IC a Z-diódás kimenetén keresztül vezérli a  $D_1$  villogó LED-et és ide van kapcsolva az  $R_{31}$  pozitív visszacsatolást biztosító ellenállás is. E kimenet használatára azért volt szükség, mert nyugalmi állapotban, amikor nincs túlmelegedés, az IC 10-es lábán több voltos feszültség található, amely működtetné a villogó LED-et. A  $T_{14}$  tranzisztor biztosítja, hogy a  $T_1$  bázisa a védelem kikapcsolt állapotában ne kaphasson áramot. Ha a bázist egyszerűen a földpotenciálra kapcsolnánk, a kollektor-bázis átmenet nyitóirányba polarizálna és levágná a bemenő jel 0,5 V-nál nagyobb negatív feszültségű csúcsait.

A tranzisztor ebben az állapotban a 3. ábra alapján úgy tekinthetjük, mint két, anódjánál összekapcsolt diódat.



3. ábra



4. ábra

Ezért világos, hogy a bázist vagy negatív feszültségre kell kötni, vagy szabadon kell hagyni.

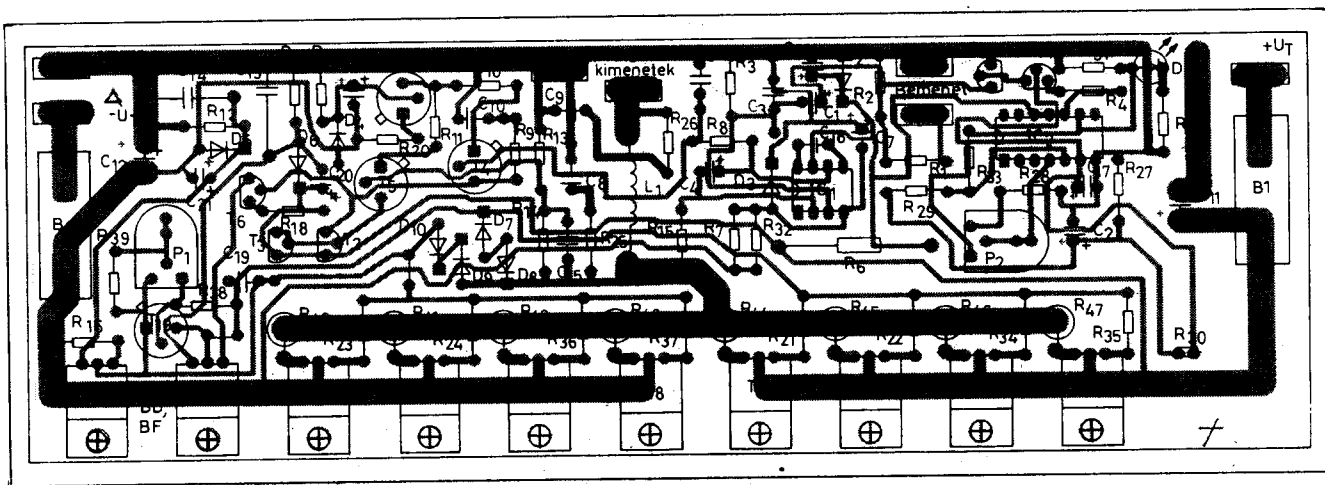
### 1.3. Az erősítő szerelése, élesítése

Az erősítő jól megtervezett nyákrája a 4. ábrán látható. A szereléshez csak a kapcsolási rajz alapos áttanulmányozása és megértése után szabad hozzáfogni. A jóminőségű panel és mérethelyes alkatrészek használata elsőrendő követelmény a siker érdekében, ezért célszerű a szerző üzletében kapható egységcsomagot megvásárolni és abból megépíteni. Természetesen az Ön hozzáértésére és szaktudására továbbra is szükség van. Nem kerülhet meg az oszcilloszkóp és hanggenerátor használata sem, ha pontos információt akarunk kapni a kész erősítőről.

A szerelést a 5. ábra alapján figyelmesen végezzük el! Minden alkatrészt ültessünk le a panel szintjére, hogy ne legyen rajta lógó, zárlatot okozó elem. A forrasztást szakszerűen, jó minőségű (pl. Weller) pákával érdemes kivitelezni. FIGYELEM! Pisztolypákát ne használjunk!

Fokozottan ügyeljünk a teljesítménytranszisztorok és a hűtőborda szerelésére. Az összes tranzisztort csillámlemezzel szigeteljük el a hűtőbordától! A T<sub>7</sub> és T<sub>8</sub> tranzisztorokat rögzítő csavarokat szigetelő alátéttel szereljük. A T<sub>9</sub> ... T<sub>12</sub> MOSFET-ek rögzítő csavarjait csak a hűtőbordától kell elszigetelni. Ezeknek a csavaroknak elektromos összeköttetést kell létesíteniük a tranzisztorok drain-jei és a panel között. A tranzisztorokat csak a hűtőbordára való szerelés után forrasszuk panelba, hogy a hűtőborda vastagsága ne okozzon problémát a csavarozásnál, majd ohmmérő segítségével ellenőrizzük, hogy nincs-e rövidzár a tranzisztorok fémtojka és a hűtőborda között.

Az első bekapcsolás előtt zárjuk rövidre az erősítő bemenetét! A P<sub>1</sub> trimert forgassuk jobbra, ütközésig. A pozitív és negatív tápfeszültségeket a biztonság érdekében célszerű négy-négy



5. ábra

12 V/5 W-os izzón keresztül a végerősítőre kapcsolni. Rövidzárlat esetén az izzók világítása jelzi a hibát. Normális működés esetén az izzósoron mért feszültségesés nem nagyobb 11 V-nál. Ha a kimeneten 0 V-ot mérünk, akkor nagy valószínűséggel nincs hiba az erősítő összeszerelésénél.

Oszilloszkóppal és hanggenerátorral vizsgáljuk meg az erősítő átvitelét. Ezzel a nagyfrekvenciás gerjedések is felderíthetők. Ha gerjedést tapasztalunk, a technológiai leírásban közölt eljárások valamelyikét alkalmazzuk! Ha mindent rendben találtunk, kapcsoljuk ki a tápfeszültséget, szereljük le a sorba kötött izzókat, iktassunk egy 200 mA mérés határú árammérőt a negatív tápfeszültség és az erősítő közé! Kapcsoljuk be az erősítőt és forgassuk el a P<sub>1</sub>-et, amíg kb. 50 mA nagyságú áramot mutat a műszer.

Ezután kisszintű szinuszzel ellenőrizzük a keresztelési torzítást. Ha szükséges, állítsuk nagyobbra a nyugalmi áram értékét. Ezután állítsuk be a túlmelegedés elleni védelem bekapcsolási hőmérsékletét. Szereljük a termisztort egy fémlmezre, kivezetéseit huzallal kössük a panelba. Helyezzük a lemezt forrásban levő vízbe, ügyelve, hogy a huzalok ne merüljenek víz alá, mert a víz áramvezetése nem elhanyagolható, ezért meghamisítja a beállítást! Forgassuk a P<sub>2</sub> trimert jobbra ütközésig, majd forgassuk lassan balra, amíg a villogó LED működésbe lép. Ezzel a beállítás kész, 100 °C-on aktivizálódik a hővédelem. Ha ezt alacsonyabb hőmérsékleten szeretnénk elérni, értelem szerűen járjunk el: alacsonyabb, ismert hőmérsékletű közeghez érintve a termisztort, állítsuk be a be-

kapcsolási küszöbszintet. Szereljük vissza a termisztort a hűtőbordára és forrasszuk be a kivezetéseit a panelba. A bemeneti rövidzárlat távolítsuk el és az erősítő használható. Amennyiben az erősítőt tartósan 100 W felett kívánjuk üzemeltetni, célszerű ventilátoros hűtést alkalmazni.

#### 1.4. Típusajánlatok a 300 W-os erősítő építéséhez

A 300 W-os erősítő elődje a *Hobby Elektronika* 1993/7., 8., 9. számaiban jelent meg. A most közlendő változások ehhez az alaptípushoz hasonlítva értendők. Az erősítő árának csökkentése érdekében a TO3-as tokozású MOSFET-eket IRF530/IRF9530, vagy nagyobb tápfeszültség esetén IRF630/IRF9630 típusokra cserélhetjük.

Ezek a TO-220-as tokozású tranzisztorok olcsóbban szerezhetők be, mint az eredeti 2SJ135 és 2SK50. *A tranzisztorcseré a nyák változása mellett csupán annyi megkötéssel jár, hogy ezeket U<sub>gs</sub>-re szigorúan válogatni kell. Az üzletünkben kapható egységcsomag tranzisztorainál ez megtörtént. Más beszerzési forrásnál erre ügyeljünk, mert a nem válogatott tranzisztorok egyenként könnyen eldisszipálnak!*

Az erősítőhöz ajánlott gyűrűmagos transzformátor effektív feszültsége 2 × 40 V – 2 × 55 V között legyen. A két érték közötti választást elsősorban a hangdoboz impedanciája határozza meg. Ha a hangdoboz 4 Ω-os vagy ennél kisebb, elegendő a 40 V körüli érték, és ekkor az IRF530/IRF9530 típusú tranzisztorokat célszerű használni. Ha a hangszugárzó 8 Ω-os vagy ennél nagyobb, tápfeszültségnek az 55 V-ot

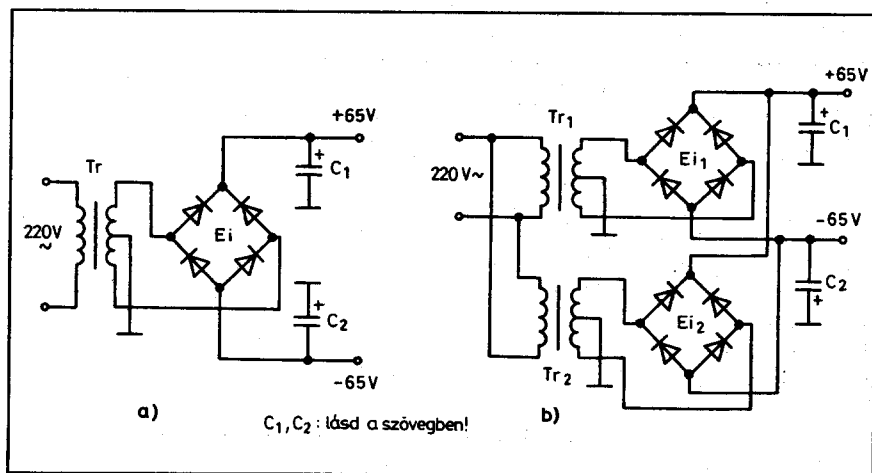
válasszuk. Az erősítő működésébe ez alapvetően nem szól bele, csak a kivehető teljesítményt befolyásolja. Az üzletben a háromféle változathoz használható tranzisztorokkal együtt ezek a transzformátorok is beszerezhetők. A tranzisztorok típusának és a transzformátor feszültségének változása miatt a 300 W-os erősítőhöz háromféle panel kapható:

1. A TO-3 tokozású 2SJ/2SK változat. Alaptípus, tápfeszültsége, terhelése nem kritikus; a megadott határok között bármi választható. Ez a változat jelent meg a hivatkozott *Hobby Elektronikákban*.

2. IRF BD-változat. Ennél a típusnál a végtranzisztor IRF530, IRF9530, a meghajtó tranzisztor pedig BD241C, BD242C lehet. A tápfeszültség 55 V, a terhelés pedig 4 Ω vagy ez alatt legyen. A panelen a meghajtó tranzisztornál BD felirat van.

3. IRF BF változat. Ennél a típusnál a végtranzisztor IRF630/IRF9630, a meghajtó tranzisztor pedig BF469, BF470, vagy BF472 lehet. A tápfeszültsége, terhelése nem kritikus; a megadott értékek között bármi választható. A panelen meghajtó tranzisztornál BF felirat olvasható. Az elmúlt években szerzett tapasztalatok alapján ez a legjobb változat, az üzletben szinte kizárólag csak ezt forgalmazzuk.

A 2. és a 3. konstrukciónál szükségessé vált a C<sub>19</sub> kondenzátor bekötése, amely a MOSFET-ek gerjedését akadályozza meg. A C<sub>15</sub> kondenzátort hasonló ok miatt csökkenteni kellett. A P<sub>1</sub> potenciométer értékét a megváltozott végtranzisztor-típusok miatt meg kellett növelni. Az új érték 1 kΩ. A nyu-



6. ábra

galmi áram értékét elegendő 60 mA-re állítani. A beállítást óvatosan véghezvük, mert ha megszalad az áramfelvétellel, egy idő után a FET-ek túlmelegedés következtében tönkremehetnek. A nyugalmi áram beállítása után a keresztelési torzítást hanggenerátorral és oszcilloszkóppal ellenőrizzük. Az IRF típusú FET-ek használata miatt a D<sub>7</sub>, D<sub>10</sub> diódák küszöbfeszültségét csökkenteni kellett.

Ezek a módosítások a Hobby Elektronikában az 1. alaptípusra megjelent kapcsolási rajzhoz képest értendő. A továbbiakban az összeszereléshez az 1. ábrát, vagy az egységcsomagban található kapcsolási és ültetési rajzot vegyük figyelembe.

### 1.5. Tápegység és további építési tanácsok a 300 W-os erősítőhöz

Jó erősítőt nem lehet építeni jó tápegység és jó konstrukció nélkül. Ez a megállapítás minden erősítőre igaz, de ez igazából a 100 W fölötti teljesítménynél érződik, ahol az egész konstrukcióhoz szükséges hűtőborda, trafó és járulékos áramkörök mérete, súlya jóval meghaladja az amatőr gyakorlatban megszokottakat. Tulajdonképpen az egész áramkör túlnő az amatőr kereteken, mert nem hiszem, hogy ezt az erősítőt valaki csak úgy szórakozásból, kísérleti céllal rakná össze. Úgy gondolom, hogy mindenki, aki ennek az erősítőnek a megépítéséhez hozzáfog, nagyon jól tudja, hogy mire szeretné használni és ennek megfelelően milyen terméket szeretne az építés eredményeként kapni. A teljes siker érdekében azonban nem elég csak az alkatrészeket a panelra fellapátolni és három ma-

zzalggal valamilyen táphoz csatlakoztatni. Ez a gondolkodás biztos kudarchoz és sok felesleges kiadáshoz vezet, míg egy jól átgondolt építési stratégia egész biztos, hogy megéri a gyümölcsöt. Természetesen emellett az alapvető műszerekre, mint oszcilloszkóp és hanggenerátor, valamint komoly szakértelemre és konstrukciós jártasságra is nagy szükség van.

Mivel ez az erősítő nem szériatermék, nem tudok hozzá dobozt és huzalozási vázlatot biztosítani. Ezért a következőkben azokat a gyakorlati tapasztalatokat írom le, amelyek a hangtechnikában általánosan használtak és amiket ennél az erősítőnél az építés során eredményesen alkalmaztam.

A tápegység felépítése a 6. ábra szerint kapcsolástechnikailag nagyon egyszerű. Mindössze trafóból, Graetz-hídból és pufferkondenzátorokból áll. A kondenzátor kapacitása minimum 10000 µF, a feszültsége minimum 63 V legyen. Azért adom meg ezt az értéket, mert a piacon nehéz beszerezni ennél nagyobb feszültségű, nagykapacitású elköt. Legjobb lenne a 47000 µF/80 V-os, de ha nincs jobb, az előbbi is használható. A Graetz-híd legalább 250 V/25 A-es legyen, hűtőfelülettel ellátva.

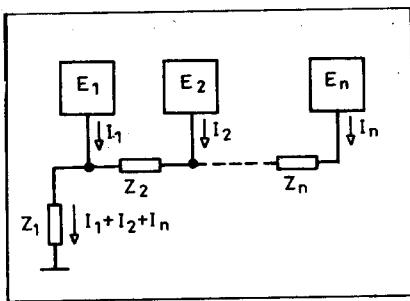
A tápegységben a hálózati transzformátor a kritikus alkatrész. A kis méret, kis súly és ami a legfontosabb, a kis szórt mágneses tér érdekében lehetőleg gyűrűmagra tekercselt trafót érdemes használni. Mivel ilyen teljesítménynél a puffert töltő csúcsáramok értéke igen nagy, ez a tekercsek jelentős mechanikai igénybevételét okozza és a trafót „zizegőssé” teszi. Ezt elkerülendő, a trafót impregnált, vagy műgyantával ki-

öntött legyen. A teljesítménye az erősítő hatásfokát figyelembe véve 1,5-szöröse legyen az erősítő szinuszos teljesítményének. Ezt azonban nem muszáj betartani, mert a gyakorlatban a zenei teljesítménnyel számolhatunk, ami a formátényezője miatt ugyanannál a tápnál mindig nagyobb, mint a szinuszos teljesítmény. Ebben az esetben megfelel egy 300 VA-es transzformátor, ami az eddig ismertetett jellemzőkkel rendelkezik. Ez a szerző üzletében beszerezhető.

Tudvalevően a trafó sem ideális eszköz, teljes kivezérélnél a pufferfeszültség nyíván leesik néhány V-ot, ami limitálja a kivehető teljesítményt, legyen az szinuszos vagy zenei. Ez csak úgy küszöbölhető ki, ha az előbbinél lényegesen nagyobb teljesítményű trafót használunk, vagy a 6.b ábra szerint a 300 VA-es trafóból kettőt, Graetz-eken keresztül párhuzamosan kapcsolunk. Ebben az esetben vehető ki folyamatos csúcsterhelésnél a névleges szinuszos teljesítmény.

### 1.6. A konstrukció kialakítása, huzalozás, földelés

Bátran kijelenthetem, hogy nincs egységes zavarvédelmi módszer, viszont számos olyan gyakorlati fogás van, amellyel a káros hatások csökkenthetők. A hangfrekvenciás erősítőknél ide tartozik a földelés, az egység árnyékolása, a fokozatok tápellátás szerinti leválasztása stb. A helyes földelés a zavarok és gerjedések csökkentésének alapvető módszere. A föld egy ekvipotenciális felület, ami viszonyítási pont a mérések során. A földvezetékek helyes kialakításához először minimalizálni kell a két vagy több forrásból érkező, a földvezetékek impedanciáin keresztül folyó áramok okozta zavarok feszültségét, másodsor ki kell zárni a földhurkok kialakításának lehetőségét, mert ezek igen érzékenyek a szórt mágneses terekre és a földsínek potenciálkülönbségeire. A huzalozás során szem előtt kell tartani, hogy minden vezetéknek véges impedanciája van és a térben szétszórt földelési pontoknak gyakorlatilag nem azonos a potenciáljuk. Ezért a tápegység földvezetékét nem szabad használni a jeláramkörök földvezetékeként. Legfontosabb, hogy a tápegység pufferkondenzátorainak rendkívül nagy értékű, rövid töltőáram-impulzusai hatását távoltartsuk az erősítőtől. Ennek legbiztonságosabb



7. ábra

módja, ha az egyenirányítóról érkező, lüktető egyenáramot szállító vezetékzés a lehető legrövidebb és kellően vastag huzalból készül. Ezt a vezetékét a kondenzátor kapcsáig nem szabad elágaztatni.

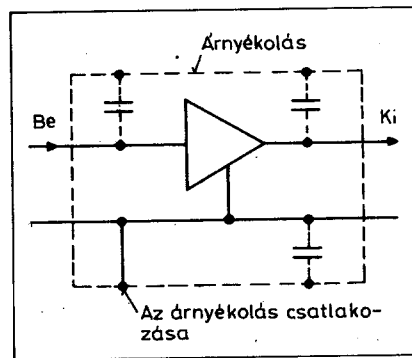
Minden további vezetékzésnek ezután a pufferekről kell kiindulni, még a földelésnek is. A nagyáramú egységek, tápok, végfokok vezetékkeit célszerű önállóan, különválasztva vezetni. Kerülni kell ezek nyomtatását. Az erősítő egységeit egymás után úgy kell felfűzni a jel haladásának sorrendjében a tápvezetékre a 7. ábra szerint, mint a gyöngyöt. A jeláramkörök földvezetékeinek ez a soros összekötése a legegyszerűbb és legjobban elterjedt módszer. Az alkalmazásának azonban vannak korlátai. Az egyes fokozatok között keresztcsatolás jöhet létre a földvezetékek soros impedanciáin átfolyó viszáramok következtében. Nyilván ilyenkor meg kell változtatni a haladás sorrendjét. A tapasztalat azt mutatja, hogy ilyen esetben a legérzékenyebb fokozatot a lehetőség szerint a lehető legközelebb kell elhelyezni az elsődleges földelési ponthoz, mivel ennek a potenciálja van legközelebb a nullához. A kisszintű jelek árnyékolását, ahol lehet, kerülni kell. Ha árnyékol-

vezetékét használunk, vigyázzunk az árnyékolóharisnya testre kötésével, mert az meglehetősen kritikus. Általános irányelv, hogy csak az egyik vége földelhető. Az, hogy melyik vége és hova, csak kísérleti úton határozható meg. Ez meghatározza a szerelés, élesztés sorrendjét. A szerelést mindig a nagyáramú egységekkel kell kezdeni: táp-végfok-védelem-hangszín-előfok-RIAA stb.

Az erősítőt fémdobozba kell beépíteni, ami része a konstrukciónak. A biztonság miatt a dobozt földelni kell, de nem szabad azt használni az erősáramú és a jeláramkörök földvezetékeként. A dobozt csak egy pontban szabad összekötni a földvezetékekkel.

Külön ki kell emelni a hangerő-, hangszín-, balansz-szabályozó potméterek földelését. Minden potmétert el kell szigetelni a doboztól és csak szigetelést biztosító műanyag forgatógombbal szabad azokat ellátni. A kötözővezetékek közös árnyékolóharisnyában legyenek. A potméterek árnyékolásait a 8. ábrán látható módon célszerű földelni. Ha a jeláramkörnek különálló földelési pontja van, az árnyékolóharisnyát olyan pontra földeljük, ami a jelvevő közös pontjához van kötve.

Azokat az egységeket, melyeknek nagy az erősítési tényezője, célszerű fém árnyékolódobozba szerelni. Ezzel kizárható a szórt mágneses és elektromos terek hatása. A legjobb árnyékolóanyag a permalloy lemez. Ha az árnyékolás helytelenül csatlakozik a földszínhez, akkor a parazita kapacitások a kimenetről a bemenetre visszacsatoló kört alkotnak, ami gerjedéshez vezet. Itt az a helyes árnyékolási mód, ha az árnyékolódoboz a 9. ábra szerint az árnyékolt egység földkivezetéséhez csatlakozik, még akkor is, ha ez a pont



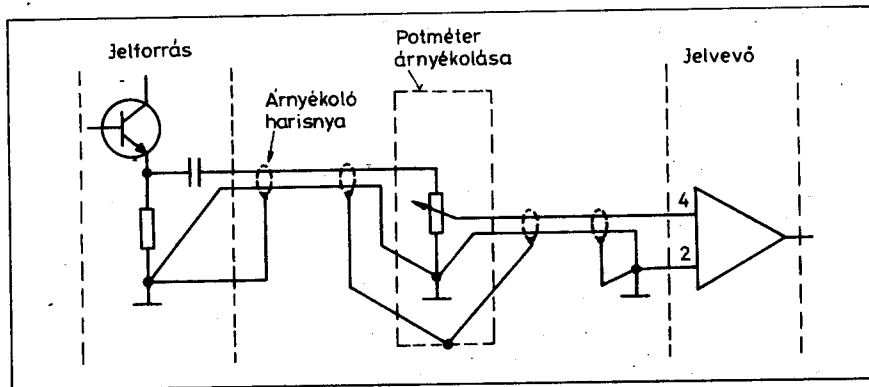
9. ábra

nincs földpotenciálom. Ha az itt leírtak alapján építjük meg az erősítőt, az bizonyára az elvárásaink szerint fog működni.

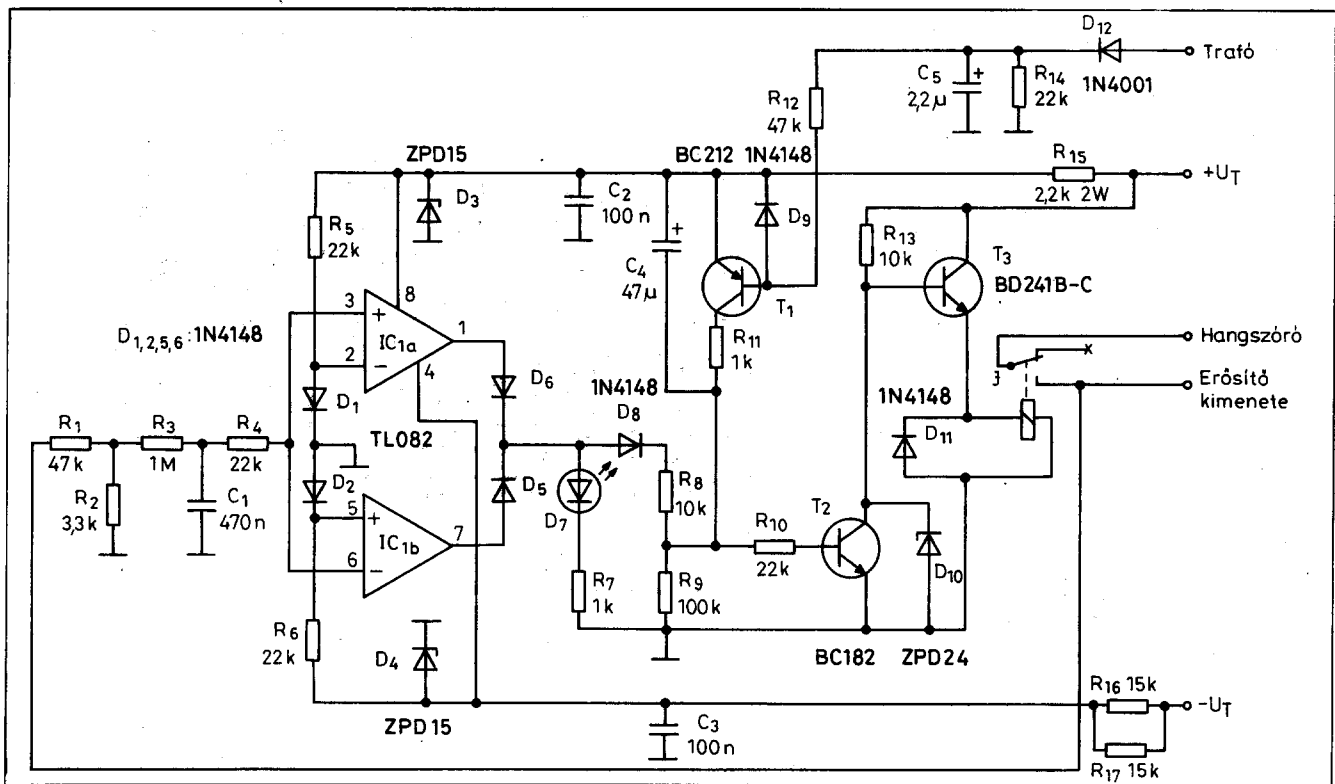
## 2. Védelem a 300 W-os erősítőhöz

Ilyen teljesítményszinten az erősítőt már nem lehet működtetni védelem nélkül. Nehéz meghatározni azt a teljesítményértéket, ahol a védelem használata kötelező, hiszen ez elsősorban anyagi kérdés. Az viszont nyilvánvaló, hogy ha a hangrendszer ára jócskán meghaladja a védelemre fordított költségeket az alkalmazás mindenképpen indokolt. A jó védelemnek többféle feladatra kell megfelelni: védeni kell a hangszórót a be és kikapcsolások során fellépő tranziensek, az erősítő kimenetén tartósan megjelenő nagyon alacsony frekvenciájú, nagy amplitudójú jelváltozások, valamint a DC szint ellen. A védelem a terhelés lekapcsolásával természetesen a végfokot, elsősorban a végtranzisztorokat is védi az említett anomáliák során fellépő, szinte kiszámíthatatlan kölcsönhatásoktól. Előrebocsátom, hogy ez a védelem sem mindenható, csak az ellen véd, amire készült. A gondos, szakszerű munkára, precíz munkaponti beállításokra és az Ön fokozott figyelmére továbbra is szükség van!

Az áramkör valamilyen rendellenes működés érzékelése után egy relét működtet, amelynek kontaktusa az erősítő kimenete és a hangszóró közé van beiktatva. A teljesítményerősítő tápegységének bekapcsolásakor a relé késleltetve húz be, így csak a tranziensek jelenléte után kapcsolja a terhelést a végfokra. Ez idő alatt a pufferkondenzátorok feltöltődnek és eltűnnek a kimenetről a feszültségflangések; a kimeneti feszültség 0-ra áll be. Az



8. ábra



10. ábra

erősítő kikapcsolásakor, a hálózati feszültség megszűnésével a relé azonnal kikapcsol, így a kisülő kondenzátorok tápfeszültségének csökkenése által keltett feszültség-ingulások nem károsíthatják a hangszórót. Ha az erősítő kimenetére valamilyen ok miatt, például a végtranzisztorok meghibásodása következtében, néhány tized másodpercre egyenfeszültség kerülne, a két műveleti erősítő, ami az erősítő kimenetét figyelni, a relén keresztül lekapcsolja a hangszugárlót az erősítő kimenetéről.

A működés a 10. ábra alapján követhető. Fontos, hogy a védőáramkör tápvezetéke a végerősítő tápjára legyen kötve, mert az áramkör csak akkor működik az itt leírtak szerint. A tápfeszültség bekapcsolása után a  $C_4$  az  $R_9$  és  $R_{10}$  ellenállásokon keresztül elkezd töltődni. Az  $R_{10}$ -en átfolyó áram vezérli a  $T_2$ -t, ami telítésbe megy, ezért zárja  $T_3$ -t, aminek az emitterén a feszültség megközelítőleg 0 lesz, így a relé kikapcsolt állapotban marad.

A  $C_4$  megközelítőleg 4 másodperc alatt feltöltődik, az  $R_{10}$ -en nem folyik tovább áram, ezért a  $T_2$  lezár. A  $T_2$  kollektorán a feszültség a  $D_{10}$ -es Z-dióda által meghatározott 24 V-ra emelkedik. A  $T_3$  nyit, az emitterén a feszültség

megközelítőleg 23 V lesz, a J relé behúzás és a hangszórót rákapcsolja az erősítőre. Az erősítő bekapcsolásának pillanata és a relé behúzása között eltelt idő nagyságát a  $C_4$ ,  $R_9$ ,  $R_{10}$  elemek időállandója határozza meg. Ezt módosítani legegyszerűbben az  $R_{10}$  értékének változtatásával lehet.

A relé tekercsére kapcsolt feszültség nagyságát a  $D_{10}$  kicserélésével módosíthatjuk, így nem kötött a relé behúzófeszültsége. Ekkor azonban az  $R_{13}$  értékét is változtatni kell, úgy, hogy a rajta átfolyó áram nagysága kb. 15 mA legyen. Az  $R_{13}$  értéke akkor is módosításra szorul, ha a tápfeszültség nagymértékben eltér az itt megadott értéktől. Ez akkor fordul elő, ha a védelmet nem a fenti 300 W-os erősítőhöz, hanem például a QUAD-405-höz adaptáljuk. Az  $R_{13}$  ellenálláshoz hasonlóan, a megadottól nagymértékben eltérő tápfeszültség esetén az  $R_{15}$ ,  $R_{16}$ ,  $R_{17}$  ellenállásokat is módosítani kell. Az új érték a következő formulákkal számolható:  $R_{15} = (U_T - 15)/23$  [k $\Omega$ ], a negatív tápágban pedig  $R_{16} = R_{17} = (U_T - 15)/3,3$  [k $\Omega$ ].

Az előbbi képletek lehetőséget biztosítanak arra, hogy ezt a védelmet bármilyen végfokhoz használni lehessen.

Normális üzemi állapotban a  $D_{12}$  – amely közvetlenül a hálózati transzformátorra van kötve, a Graetz-híd elé –, feltöltve tartja a  $C_5$ -öt. Erről a feszültségről az  $R_{12}$  a  $T_1$  bázisát ellentétesen polarizálja. A  $D_9$  megakadályozza, hogy a  $T_1$  bázisára túlságosan nagy zárófeszültség kerüljön. A  $T_1$  így lezárt állapotban van. A tápfeszültség kikapcsolásakor megszűnik a  $C_5$  újratöltése, azt  $R_{14}$  kisüti. A  $T_1$  bázisa ekkor az  $R_{12}$ ,  $R_{14}$ -en keresztül a földre van kötve.  $T_1$  vezet és az  $R_{11}$ -en keresztül kisüti a  $C_4$ -et. Ekkor az  $R_{10}$ -en át nyitja  $T_2$ -t, ami lezárja a  $T_3$ -at és a relén a feszültség 0 körüli lesz. A jelfogó elenged és lekapcsolja a hangszórót a végfokról. A  $D_{11}$  védi a tranzisztort a relén fellépő önindukciós feszültségcsúcsról.

Az IC-vel felépített áramköri rész az erősítő kimenetén meghibásodás esetén fellépő egyenfeszültség elleni védelmet valósítja meg.  $R_1$  és  $R_2$  feszültségosztót alkot, amelyre az erősítő kimenőjele csatlakozik.  $R_3$  és  $C_1$  aluláteresztő szűrőt képez, amely a bemenőjelnek csak az egyenáramú összetevőjét engedi tovább. Az  $R_4$ -re a műveleti erősítő bemenetének védelme miatt van szükség. A két műveleti erősítő egy ablakkomparátort képez. Az  $R_5$  és  $D_1$

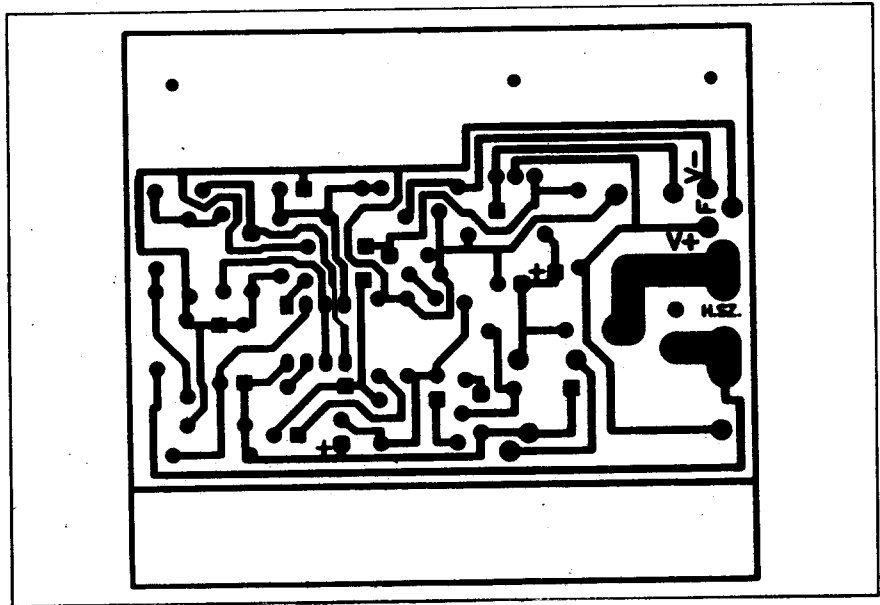


pozitív, az  $R_6$  és  $D_2$  negatív referencia-feszültséget állít elő. Ha  $C_1$  feszültsége a  $0 \dots 0,5$  V értéktartományba esik, akkor az  $IC_{1A}$  kimenetén negatív feszültség mérhető. Ugyanez van az  $IC_{1B}$  erősítő kimenetén is. Így a  $D_5$  és  $D_6$  le van zárva és a  $D_7$ ,  $D_8$  diódákon nem folyik áram. Ha a  $C_1$  a feszültsége abszolút értékben nagyobb  $0,6$  V-nál, akkor vagy az egyik, vagy a másik műveleti erősítő kimenetén az IC tápfeszültségét megközelítő pozitív feszültség jelenik meg. A  $D_5$ ,  $D_6$  diódák közül az egyik vezet, a  $D_7$  LED világít, a  $D_8$  diódán és  $R_8$  ellenálláson keresztül pedig megindul a  $C_4$  kisütése. Amikor a kondenzátoron levő feszültség az induló értéknél  $0,7$  V-tal kisebb lesz, akkor a  $T_2$  már vezetni kezd, majd a kondenzátor feszültségének további csökkenésével a  $T_2$  szaturálódik. A  $T_3$  lezár, emitterén és a relén a feszültség  $0$  lesz. A relé elenged, lekapcsolja a hangszórót az erősítő kimenetéről, a  $D_7$  LED pedig jelzi a végfokozat meghibásodását.

Az IC-nek és az áramkör többi részének  $15$  V-os tápfeszültséget az  $R_{15}$ ,  $D_3$  illetve  $R_{16}$ ,  $R_{17}$ ,  $D_4$  által alkotott egyszerű, Z-diódás stabilizátorok biztosítják. Az  $R_{15}$  ellenállás  $2$  W teljesítményű, hogy a feszültségosztó a LED működéséhez szükséges áramot is szolgáltatthassa.

## 2.1. A védőáramkör szerelése, élesztése

Ezt a műveletet a panel elkészítésével kezdjük, amely a 11. ábrán látható nyák-rajz alapján P20-as technológiával, amatőr eszközökkel is elkészíthető. (Ha ez valamilyen nehézségbe ütközne, a szerző üzletében, a mintadarab megtekintése mellett a panelt vagy az egész áramkör egységcsomagját is megvásárolhatjuk.) A nyák-ot a rajz szerinti kontúrméretre kell megmunkálni, mert így rögzíthető esztétikusan a  $300$  W-os erősítő panelje mellé a hűtőbordára. A  $T_3$  hűtőzászlóját a szokásos módon csillámlemez szigeteléssel kell a hűtőbordához rögzíteni. A szükséges rögzítőfuratok kialakítása után hozzáfoghatunk az alkatrészek beültetéséhez, a 12. ábra alapján. Minden alkatrészt ültessünk le a panel szintjére, hogy ne legyen rajta hibát, zárlatot okozó lógó elem. Ügyeljünk a szakszerű forrasztásokra! A hangszóró és erősítő kimenetre lemezes gyorscsatlakozót kell forrasztani. A panelen a forrszeme-

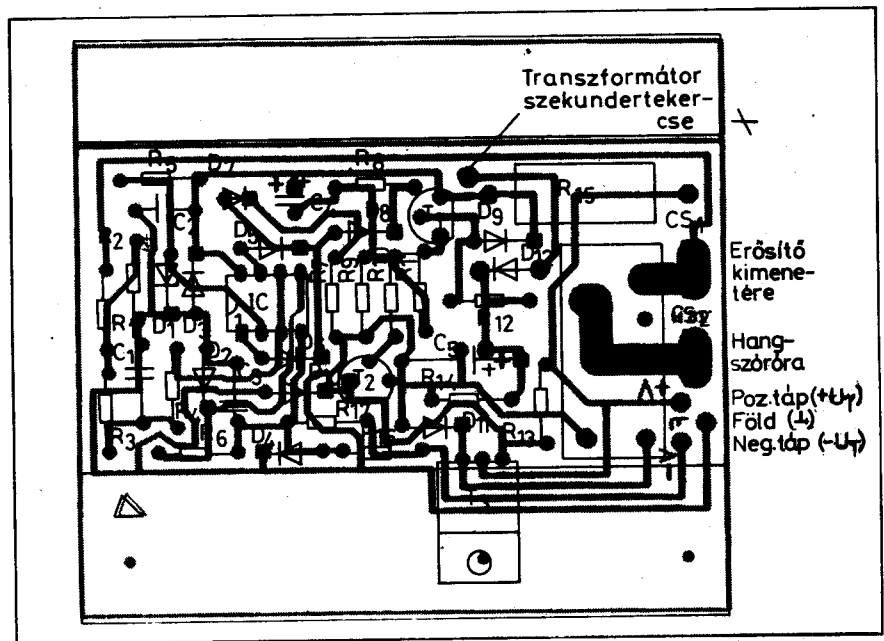


11. ábra

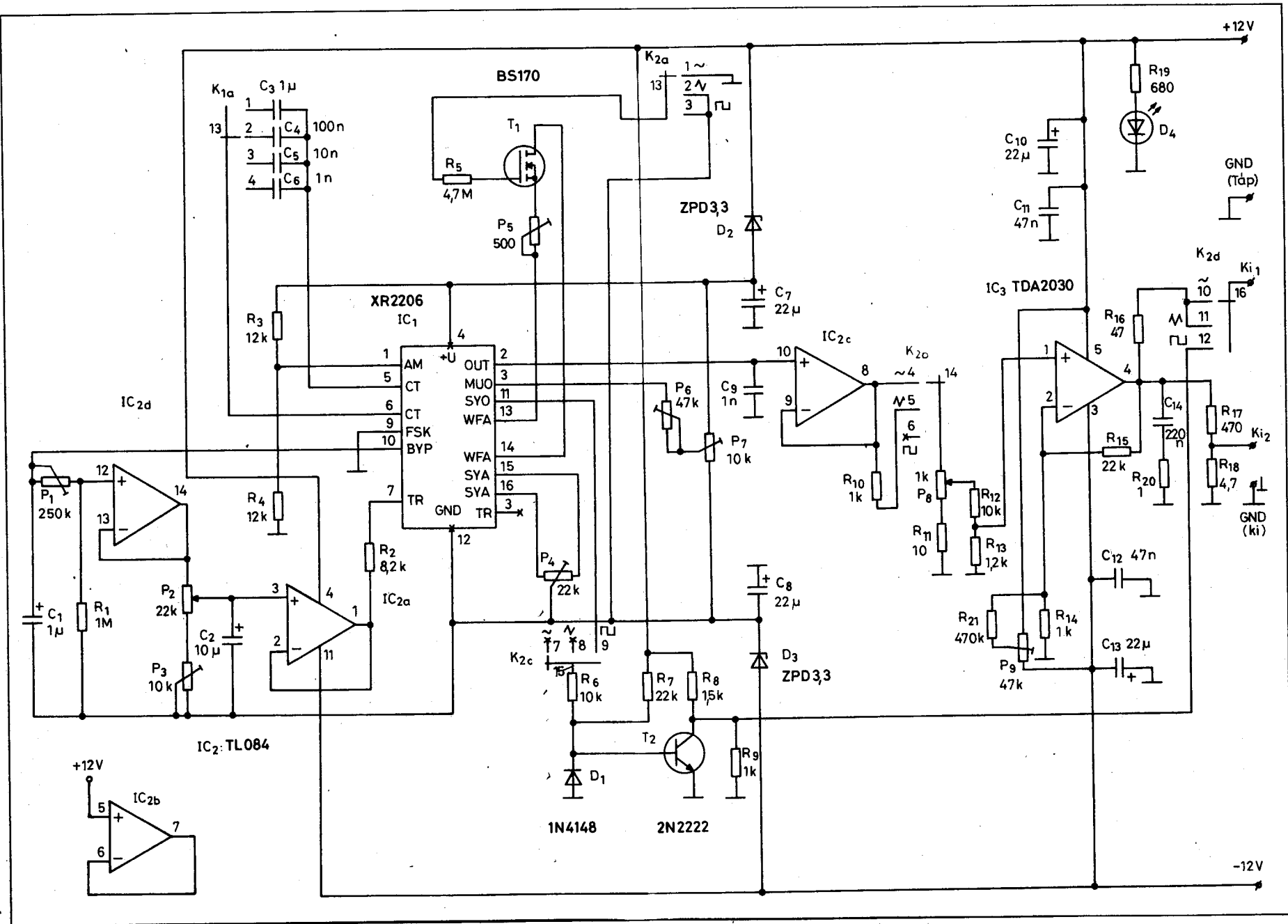
ket ennek megfelelően képeztük ki. A nagyáramú hozzávezetések az erősítőnél is ezzel a biztonságos eljárással oldottuk meg. A fentebb említett egységcsomag természetesen ezt is tartalmazza.

Ha elkészültünk a szereléssel, erős fénnel átvilágítva vizsgáljuk meg, hogy nincs-e a nyák-on valamilyen forrasztásból eredő hiba. Az áramkör nem igényel különösebb beállítást. Ha nem követtünk el hibát a szerelés során, akkor működni kell.

A következő tesztet ennek ellenére el kell végezni! Huzalozzuk össze az erősítő és a védelem áramkörét a 13. ábra alapján. A kötésekhez a fentiekben már előírt nagyáramú gyorscsatlakozót és legalább  $2$  mm<sup>2</sup> keresztmetszetű, különböző színű, hajlékony huzalt használjunk. A működés ellenőrzése céljából a hangszóróra, illetve az erősítő kimenetére menő vezetékek csatlakozóját bontsuk meg. Kapcsoljuk be az erősítő tápját és figyeljük a relét! Az megközelítőleg négy másodperc el-



12. ábra

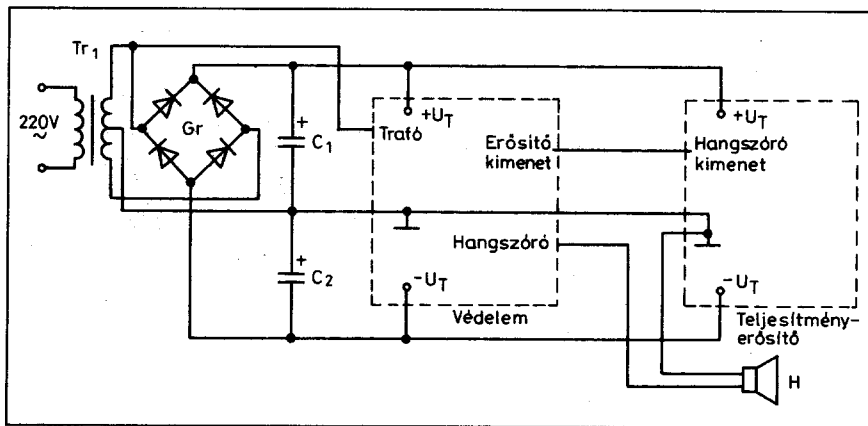


14. ábra

teltével halk kattanással jelezve, szabad szemmel is észrevehetően behúz. Ezután kapcsoljuk ki a tápot és figyeljük meg, hogy a relé azonnal kiold-e. A táp ki- és bekapcsolásán a 220 V-os hálózati feszültség ki- illetve bekapcsolását kell érteni.

Ezután ellenőrizzük az egyenfeszültséget figyelő műveleti erősítők működését. A tápfeszültség bekapcsolt állapotában, a védelem paneljéről a végerősítő felé tartó vezeték – ez az  $R_1$ -ről elmenő vezeték – érintsük a  $D_3$  katódjára! Itt  $-15$  V egyenfeszültség található, ezért a relének azonnal ki kell kapcsolnia. Vegyük el a vezetékét az előbbi pontról, majd miután a relé behúzott, érintsük azt a  $D_4$  anódjára! A  $+15$  V egyenfeszültség hatására a relének ismét ki kell oldania.

Ha ezeket ellenőriztük, akkor a megbontott vezetéseket csatlakoztasuk újra a helyükre és az áramkör működőképes. A hibajelző LED maradhat a helyén a panelen, de igény szerint az előlapra is ki lehet kábelezni.



13. ábra

elérhető áron erre a célra. Ha valaki a kínálatban mégsem találna alkalmas jelforrást, annak ajánlom az alább ismertetésre kerülő szinusz-, négyszög, háromszög generátor megépítését, ami önálló műszerként is jól használható.

### 3.1. Műszaki adatok

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Színusz- és háromszögjel-amplitúdó: | 1 mV – 100 mV  |
| Nagyjelű kimenet:                   | 100 mV – 10 V  |
| Kimenő-impedancia:                  | 4,7 $\Omega$ (1 – 100 mV);<br>47 $\Omega$ (0,1 – 10 V) |
| Négyzetjel:                         | TTL szintű   |