

I. sávi TV-átjátszóban alkalmazott teljesítményerősítő fokozatok

MANDJÁK GÉZA
BHG

A televíziós gerincadó-hálózatok kiépülése után szükségessé vált a kisebb települések, leárnyékolt területek és városrészek, valamint a főadóktól távolabb eső, lakott területek megfelelő minőségű műsorral való ellátása. Ezt a célt szolgálják a TV átjátszó berendezések, melyek általában a gerincadó-hálózat valamely közelben működő nagy teljesítményű adójának jelét veszik, s azt egy másik csatornára transzponálva és felerősítve a szükséges irányba újból ki sugározzák.

A korábban kifejlesztett BCA típusorozatú átjátszó berendezések alkalmasak a TV I., II. és III. sáv valamelyik csatornáján vett anyaadó jelének a III. sávban való továbbítására. Az átjátszócsalád teljessé tételéhez, valamint a Magyar Posta előzetesen bejelentett igényének teljesítéséhez szükség volt egy tranzisztorizált erősítő fejlesztése, mely az alapátjátszó kimenő jelét a szükséges 20; 40; 80 W szintre erősíti a TV I. sávban. Az I. sávi erősítő fejlesztése a már meglévő TV III. sávi erősítő alapján történt. Az I. sávi erősítő mechanikai felépítése azonos a már előbb említett III. sávi berendezéssel. Az erősítőlánc felépítésének alapját a 10 W-os teljesítményerősítő jelenti. Ez az áramkör egy szélessávú nagyfrekvenciás fokozat, amely a TV I. sáv ($48 \text{ MHz} \pm 70 \text{ MHz}$) bármely csatornáját erősíti. A felhasznált eszköz BLW 75 típusú NPN szilícium planár epitaxiális tranzisztor, amely strip-line tokozású. A tranzisztorokban az elemi tranzisztorok kis értékű emitterballaszt ellenállásokkal csatlakoznak a tok emitter kivezetéséhez. Ennek linearizáló szerepe van. Az intermodulációs torzítás, amely az eszköz nagy jelű tulajdonságára utal az egész berendezésre vonatkozó minőségi jellemzőknek is egyik legfontosabb paramétere. A gyártó cég ezért külön felhívja a felhasználó figyelmét arra, hogy az eszköz milyen célra használható fel. Jelen esetben ez a tranzisztor a TV átjátszóknak széles sávú erősítőiben történő felhasználásra készült.

Fontosabb jellemzői a következők:

$$U_{CE \max} = 32 \text{ V};$$

$$I_{C \max} = 4 \text{ A};$$

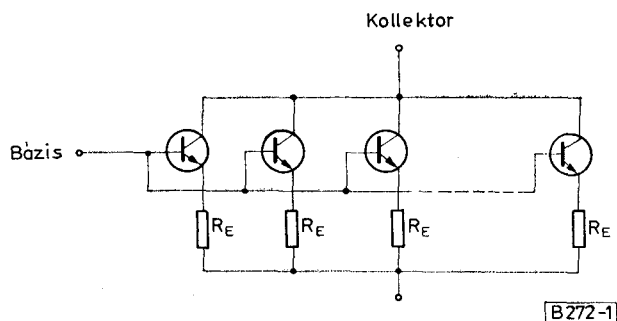
$$P_{\text{tot}} = 60 \text{ W};$$

$$G_p \text{ típ. } 9 \text{ dB};$$

$$P_{0 \text{ sync}} \leq 14 \text{ W};$$

$$d_{\text{im}} = -55 \text{ dB} (f_k = 8 \text{ dB}; f_h = -7 \text{ dB}; f_s = -16 \text{ dB}).$$

Az előzőekben említett emitterballaszt ellenállásnak más szerepe is van. A nagyfrekvenciás tranzisztoroknál felléphet az áramkoncentráció. Az áramkoncentráció oly módon akadályozza meg, hogy a tranzisztort elemi kis tranzisztorokból építik fel, amelyeknek mindegyikén áramvisszacsatolást hoznak létre egy kis értékű R_E emitter-ellenállással (1. ábra).

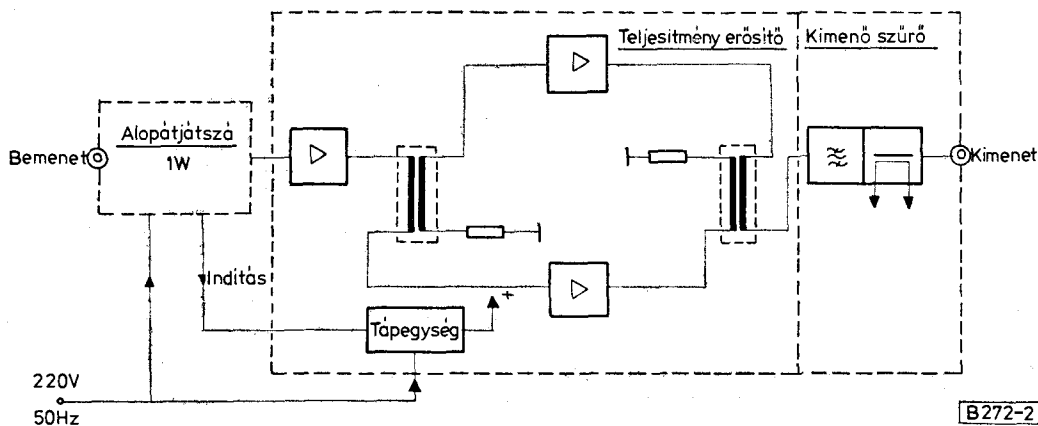


1. ábra. Elemi tranzisztorok párhuzamos kapcsolása különálló emitter-visszacsatoló ellenállással

Az áramvisszacsatolás nem engedi, hogy az egész áramkör emitterárama egy elemi tranzisztorra koncentráldjon, így a másodlagos letörés veszélye lényegesen csökken. Az ily módon megvalósított, úgynevezett másodlagos letörés ellen védett tranzisztoroknál az elemi tranzisztorok azonos kristálylapkán, monolit formában készülnek, a kis értékű R_E félrevezető ellenállásokat pedig ugyanabban a tokban helyezik el. Az R_E ellenállás teljesítményt emészt fel, és ezért kis értéken kell tartani, csak éppen akkorára választva, hogy egy bizonyos kimenőkarakterisztika-tartományban (a biztonságos működési területen) tönkremenetel ne következhesse be.

A nagy szintű működés korlátját jelenti elvben a tranzisztor maximális kollektorárama ($I_{C \max}$) a letörési feszültség ($U_{CE \max}$) és a telítési feszültség (U_{SAT}). A gyakorlatban a nagyfrekvenciás alkalmazások szempontjából általában a telítési feszültség korlátozza a maximális áramot és nem az eszközre megadott csúcsáram.

A tranzisztor disszipációs teljesítménye alapvetően meghatározza a nagy teljesítményű működés hatá-



2. ábra. TV I. sávi 20 W-os TV átjátszóadó

rait. A nagyfrekvenciás tranzisztoroknál a jó hőelvezetés biztosítása külön nehézséget jelent, mivel a hűtőszerkezet nem hozhat be számottevő parazitaelemeket (pl. szórt kapacitást). A disszipációs teljesítmény azonban önmagában még keveset mond, hiszen igen lényeges az áramkör hatásfokának értéke is. Jó hatásfok esetén (pl. C osztályú erősítőknél) azonos disszipációs teljesítmény mellett lényegesen nagyobb teljesítményszint érhető el, feltéve, hogy ezt az egyéb korlátozó tényezők is lehetővé teszik. A nagy szintű működést szintén befolyásolják az eszköz nemlineáris tulajdonságaiból adódó torzítások, nevezetesen a harmonikusok keletkezése, a keresztmoduláció és az intermoduláció. Ha ezekre nézve az előírások szigorúak, a tranzisztor teljesítőképessége nem használható ki.

A kapcsolás méretezése több feltételből indulhat ki, de a törekvés általában az, hogy a kimenő teljesítmény maximális legyen. Ez áttételesen azt is célozza, hogy kisebb kivezérléskor a nemlineáris torzítás a minimális értéket vegye fel. A két feltétel többnyire fedi egymást, azaz a nagyobb kivehető teljesítmény kisebb teljesítmények esetén lineárisabb működést eredményez.

A TV I. sávi átjátszóberendezéseknek a legszigorúbb műszaki követelményeket a legkorszerűbb technológiai megoldásokkal kell teljesíteniük.

A berendezés alapegysége a BCA 13 típusú alapátjátszó, amely egy kis teljesítményű komplett készülék. Alkalmas önálló üzemre és teljesítményerősítő fokozatokkal kiegészítve nagy teljesítményű berendezésként történő felhasználásra.

A TV I. sávi teljesítményerősítők három változatban készülnek, 20, 40 és 80 W kimenő szinkron csúcs teljesítménnyel. Meg kell jegyezni, hogy a végfokozatok széles sávú erősítők. Az eddig elektroncsővel kivitelezett fokozatok csatorna szelektív megoldásúak voltak és ez a sávon belüli más csatornára való áthangolást, a több hangolóelem miatt nehézkessé tette.

A széles sávú erősítő hangolást nem igényel és a csatornára hangolás csak a kimenőszűrőnél jelentkezik. Ez a beállítást egyszerűbbé, gyorsabbá és pontosabbá teszi.

A 20 W-os átjátszó teljesítményerősítője előerősítőből és két paraleljáratott 10 W-os tranzisztoros vég-

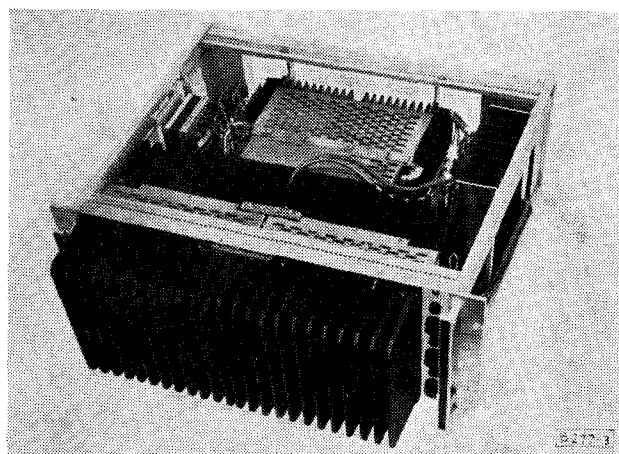
fokozatból áll. Az erősítőfokozatokat csatornaszűrő és iránycsatoló követi (2., 3. ábra).

A 40 W-os átjátszóban az alapátjátszót követő teljesítményerősítő két — a 20 W-os típusnál ismertetett — erősítőfokozatból és az őket összekapcsoló paraleljárató egységből áll. A kimeneti szűrőt és az iránycsatolót ez esetben nem az egyes erősítők, hanem a paraleljárató egység tartalmazza. A paraleljárató egység széles sávú, 3 dB-es iránycsatolókkal végzi a meghajtó teljesítmény szétosztását és az erősítők kimenő teljesítményének összegzését (4. ábra).

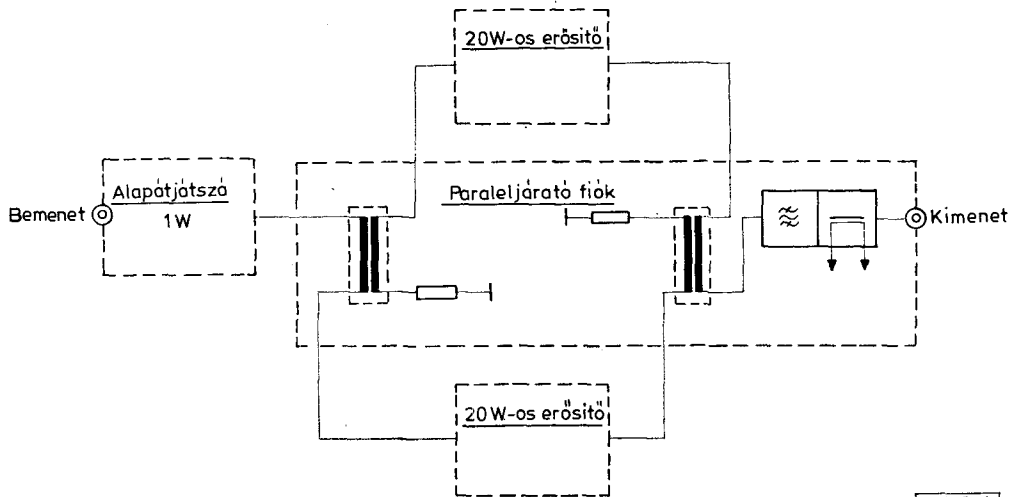
A 80 W-os átjátszó teljesítményerősítője 4 db, a 20 W-os típusnál ismertetett erősítőfokozatot tartalmaz, valamint az ezeket összekapcsoló paraleljárató fiókot (5. ábra).

A következőkben a végerősítőkre és természetesen a komplett átjátszókra vonatkozó műszaki adatokkal, illetve előírásokkal kell megismerkednünk (6. ábra).

Az átjátszócsalád fejlesztésénél az egyik kiinduló szempont az volt, hogy az egyes típusok minél több azonos egységgel rendelkezzenek. Ennek megfelelően a különböző kimenő teljesítményű készülékekben a 20 W-os teljesítményerősítők darabszáma változik és természetesen néhány kiegészítő szerelvény.



3. ábra. 20 W-os erősítő fiók



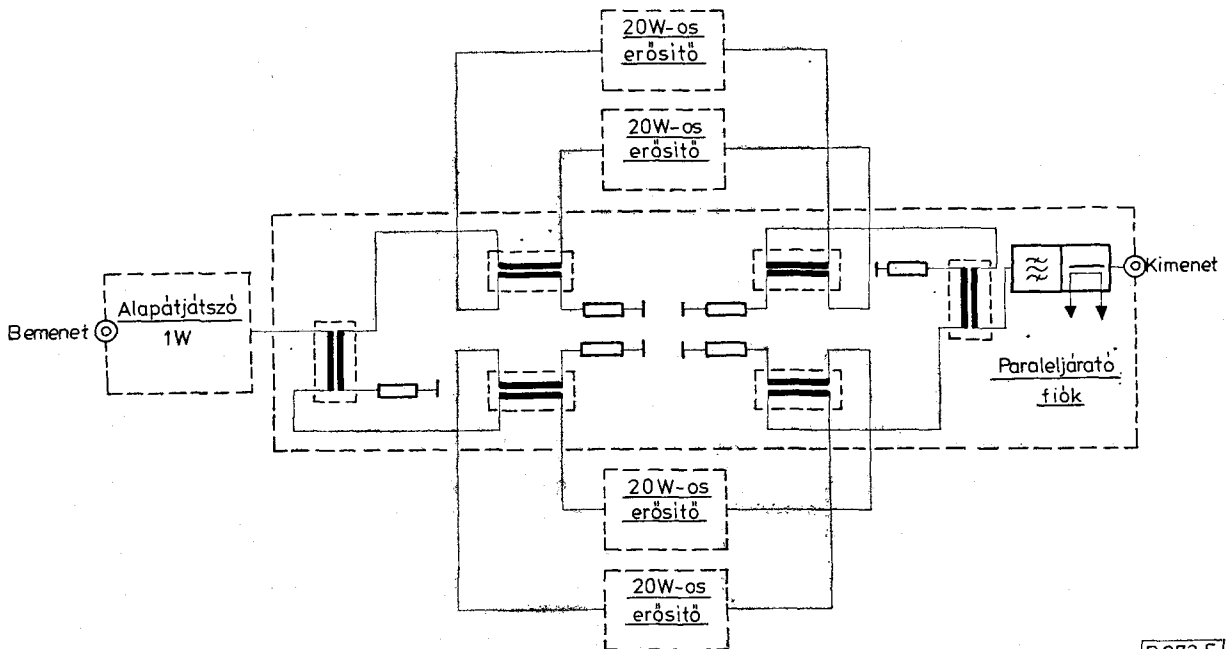
B 272-4

4. ábra. TV I. sávi 40 W-os TV átjátszóadó

A nagyobb kimenőteljesítmény elérése többféleképpen oldható meg. A legegyszerűbb megoldás egy megfelelő teljesítményű tranzisztor lenne, azonban ilyen a fejlesztés időszakában még nem állt rendelkezésre. A teljesítmény fokozására, széles sávú lineáris erősítőknél az erősítő fokozatok párhuzamos kapcsolása nyújt lehetőséget. Alkalmazhatunk kettő, vagy több tranzisztort párhuzamosan, de ha ezek nincsenek tökéletesen illesztve, vagy ha az áramkör felépítése akár a legkisebb mértékben is aszimmetrikus, akkor a teljesítmény egyenlőtlen megoszlására és vadrezgések keletkezésére számíthatunk. A bemeneti transzformálás problémája is súlyosabbá válik,

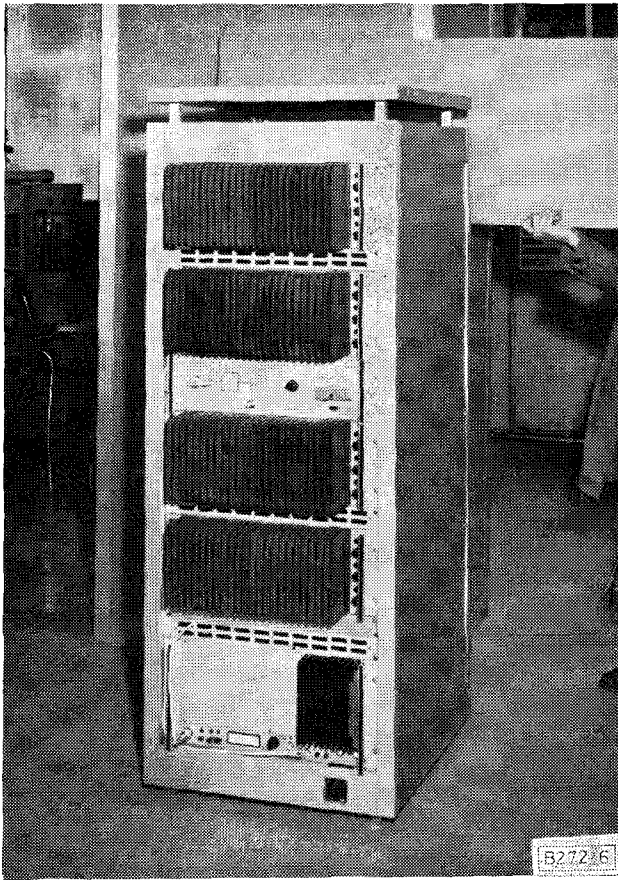
mivel a tranzisztorok párhuzamos kapcsolása csökkenti a bemenő és kimenő impedanciák valós részét és nagyobb párhuzamos reaktanciát jelent a kimenőkörben. Ez szükségszerűen csökkenti az áramkör sáv-szélességét, és csökkenti a stabilitást. Az ellenütemű tranzisztorok alkalmazása kiküszöböli ezt az impedanciáttranszformálási problémát, de tovább növeli a vadrezgések keletkezésének lehetőségét és az áramkört két tranzisztorra korlátozza.

Másik lehetséges megoldás az, hogy modul áramkörökből egy csoportot képezünk, azonos bemenő és kimenő impedanciákkal, majd egy teljesítményelosztó hálózattal vezéreljük ezeket és a kimenőtelje-



B 272-5

5. ábra. TV I. sávi 80 W-os átjátszóadó



6. ábra. 80 W-os átjátszóadó új alapátjátszóval

sítményeiket egy összegző áramkörrel egyesítjük. Ez az üzemmód az áramkörök azonosságára fokozottan kényes, mert ha beállításuk eltérő, akkor egy tranzisztor gyengülése, vagy meghibásodása az egész teljesítmény elvesztését jelentheti. Végül az elosztó, illetve összegző áramkörök pólusokká válhatnak és nem kívánt rezgéseket okozhatnak még a jelenlevő frekvenciától eltérő frekvencián is.

Ezen problémák egyik megoldása az, hogy 50 Ω -ok között működő modulokat építünk, amelyek mentesek a nem kívánt vadrezgésektől, és amelyeket hibrid csatolókkal vezérelhetünk és összegezhethetünk. A hibrides összegzés biztosítja a széles sávú hangolás mentes illesztést, valamint megakadályozza az egyes erősítő egységek egymásra hatását. Ezzel a módszerrel elkerülhető az egy tranzisztor, vagy erősítő blokk meghibásodása esetén fellépő teljes üzemenképtelenség. Lássunk erre egy konkrét példát. A vállalat által fejlesztett 80 W-os teljesítményerősítő egy, vagy több erősítő fiók meghibásodása esetén, ha csökkentett teljesítménnyel is, de folyamatosan üzemet tud biztosítani a hiba megszűntetéséig. Tekintettel arra, hogy az átjátszóberendezések a legkülönbözőbb, nehezen megközelítő helyre telepíthetők, és itt a karbantartás, illetve javítás körülményes. Ezért fiók-cserével a helyszínen javítható a berendezés.

Ehhez azonban szükséges, hogy az erősítő fiókok műszaki paraméterei azonosak legyenek. Vizsgáljuk meg, hogy melyek ezek a főbb jellemzők, amelyeknek

azonos volta biztosítja a minimális teljesítményvesztést és a fiókok felcserélhetőségét.

Meghibásodott fiókok száma	1	2	3	80 W-os erősítő kimenőteli teljesítménye a meghibásodott fiókok függvényében
Kimenő telj. meghibásodás esetén	50 W	20 W	5 W	

20 W-os erősítőfiók műszaki adatai:

Bemenet

- névleges bemenő impedancia 50 Ohm
- állóhullámaránya 48...70 MHz között $r \leq 1,2$

Kimenet

- névleges terhelő impedancia 50 Ohm
- a terhelés maximális állóhullámaránya $r \leq 2$
- névleges kimenő teljesítmény (kép-szinkroncsúcs) 20/2 W

Teljesítményerősítés

- 48 MHz-en 38 dB
- 70 MHz-en 37 dB

Intermodulációs produktum a névleges teljesítménynél ($f_k = -8$ dB; $f_h = -10$ dB; $f_m = -17$ dB) < -60 dB

A paraméterek ismertetése után térjünk rá a 20 W-os teljesítményerősítő fiók tárgyalására.

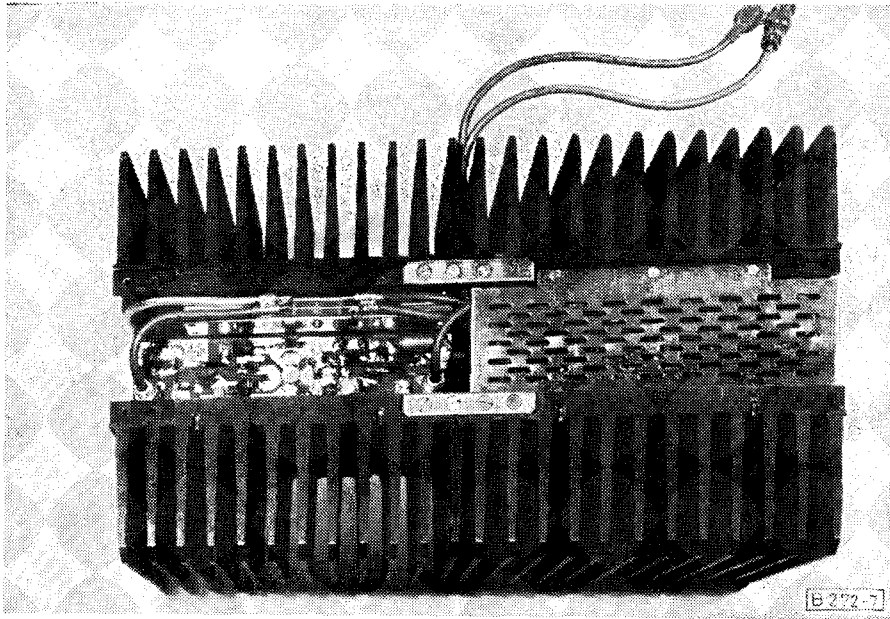
A teljesítményerősítő fiók a paraleljáraton keresztül kapja a meghajtó nagyfrekvenciás jelet (kivéve a 20 W-os átjátszó, mert itt a meghajtó jel közvetlenül az alapjátszóból jön). A paraleljáratott teljesítményerősítő fiók (lásd a 3. ábrát) az alábbi funkcionális egységekre bontható:

- Teljesítményerősítő (5 W);
- Teljesítményerősítő (20 W);
- Kapcsolóüzemű tápegység;
- Segéd tápegység.

Az 5 W-os széles sávú teljesítményerősítő bemenetére a nagyfrekvenciás meghajtó jel, a hátlapi csatlakozón keresztül jut. Ennek a fokozatnak a bemeneti és kimeneti illesztőköre széles sávú, így a TV I. sáv bármely csatornájának használata esetén az áthangolás szükségeltlen. Az áramkörben működő nagyfrekvenciás tranzisztor „A osztályú” beállításban üzemel. A tranzisztor munkapontjának stabilizálásáról és védelméről külön áramkör gondoskodik. A tranzisztor által disszipált hő a nagy méretű hűtőborda sugározza el.

Az 5 W-os teljesítményerősítőből a jel a 20 W-os végerősítő bemeneti 3 dB-es hibridjére jut. Mint az előzőekben említettük, ez a megoldás a széles sávú illesztés és elválasztás egyik jól használható válfaja (7. és 8. ábra).

A hibrid biztosítja a két tranzisztor azonos méretű kivezrlését, ugyanakkor megfelelő lezárást



7. ábra. 20 W-os erősítő blokk

ad a meghajtó erősítő részére. A végerősítő áramkörök kimenőteljesítményét ugyanilyen hibrid összegző. A végerősítő, valamint a szétosztó, illetve összegző hálózatok szintén széles sávúak, csatornától függő behangolást nem igényelnek. A nagyfrekvenciás tranzisztorok „A osztályú” beállításban működnek. Munkaponti kollektor-áramukat külön áramkör tartja stabil értéken. A felerősített kimeneti 3 dB-es hibriden összegzett nagyfrekvenciás jel a hátlapon levő csatlakozón keresztül jut a paraleljárató fiók összegző áramkörére. A disszipált hőt az előlapi nagy méretű hűtőborda vezeti, illetve sugározza el.

A teljesítményerősítő fiók zavartalan tápellátását a hálózati kapcsolóüzemű tápegység biztosítja, amely önálló túláramvédelemmel rendelkezik. Az áramkör jó hatásfokú átalakító, amelyet külső vezérléssel programozni lehet.

A kapcsolóüzemű tápegység működéséhez szükséges stabilizált egyenfeszültséget a segéd tápegység biztosítja. Ez egy rövidzár ellen védett kis teljesítményű áramkör.

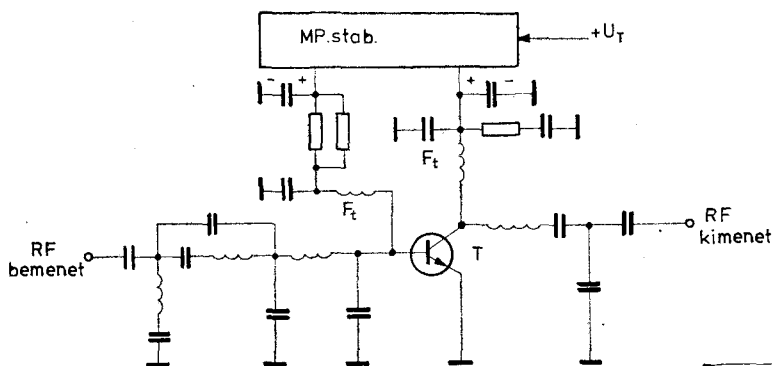
A paraleljárató fiókban levő műszer áramkör az ellenőrzés lehetőségét teremti meg (9. ábra).

Ehhez az erősítőben mérőpontok kialakítása vált szükségessé. Mélni lehet a nagyfrekvenciás tranzisztorok munkaponti áramát, az egyes fiókok kimenő teljesítményét, a berendezés kimeneti haladó és reflektált teljesítményét, valamint a tápfeszültséget és a segéd tápfeszültséget.

Az előzőekben megismerkedtünk az áramkörök elvi működésével ezek után nézzük meg, hogy a megvalósítás során milyen főbb szempontokat kellett figyelembe venni.

A fokozatok 50 ohmos lezárások között működnek, így a tranzisztor be- és kimenő impedanciáját illesztő hálózattal kell a megfelelő értékre transzformálni.

Nagy teljesítményű tranzisztoroknál a bázisinduktivitás és a tranzisztor felépítése nagyon kritikus, a legkisebb Q és a legnagyobb sáv szélesség elérése szempontjából. Például a számítás és a gyakorlat igazolta, hogy a bázisköri kondenzátor megfelelő elhelyezése rendkívül fontos. A tapasztalat azt mu-



8. ábra. TV I. sávi 10 W-os erősítő

tatta, hogy 5–10 mm-el közelebb, illetve távolabb helyezve, a bázisköri sávzélesség kb. 10–15%-kal csökkent.

Az átjátszóadók teljesítményerősítője széles sávú és lineáris üzemű. Ez azt a követelményt támasztja a tranzisztor felé, hogy a bemenő, illetve a kimenő karakterisztikája minél jobban megközelítse az egyenest a kivezérlési tartományban.

Ezen a tartományon belül lehet az intermodulációs torzítást minimumon tartani. A kivezérlési határ átlépése a torzítás növekedését eredményezi. Ezzel a rövid és közel sem teljes ismertetővel értékelhető az, hogy milyen sokoldalú követelményeket támaszt egy széles sávú áramkör a tranzisztorokkal szemben. A szétszétásra és az összegzésre 3 dB-es hibridet használunk. A 3 dB-es hibrid egy olyan széles sávú áramkör, amely az egyik bemenetére adott jelet két azonos amplitúdójú, de 90° fázis különbségű jelre osztja (lásd 10. ábra) szét. Két $\lambda/4$ hosszúságú tápvonalrabból áll, amelyek csatolásban vannak egymással. A csatolás mértékétől függ a két kimeneti jel aránya. A hibrid sávzélessége kb. 1 oktáv.

Az osztásarány és a 90° -os fáziskülönbség csak sávközépen teljesül, attól eltérő frekvencián kismértékben változik (lásd a 11. ábrát). Az ábrán az elosztó hálózatként alkalmazott hibrid két kimenő kapujának frekvenciafüggő átvitele látható. A 12. ábrán a széles sávú hibrid állóhullámarányát ábrázoltuk a frekvencia függvényében. A beiktatási csillapítás 60 MHz-en $\sim 0,1$ dB.

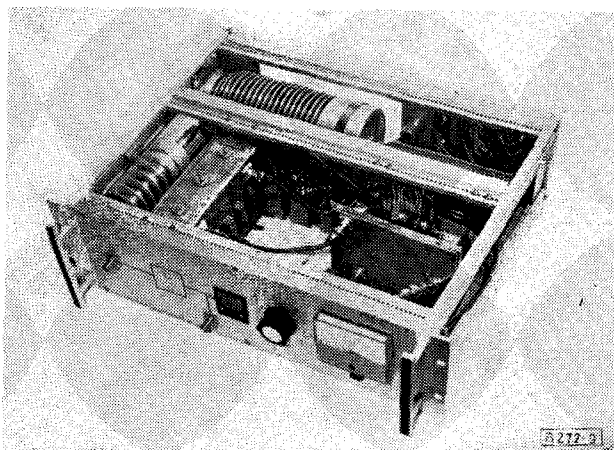
Az eddigiek során a széles sávú teljesítményerősítők felépítését tanulmányoztuk. Az átjátszó adónak a TV I. sávon belül valamelyik csatornán kell sugároznia. Ez azt jelenti, hogy az átviteli láncban belül valahol el kell helyezni egy csatorna szelektív négy-pólust, ami sávszűrő. A szűrő elhelyezésére lehetőség van például az erősítő lánc bemenetén. Ez a megoldás kedvező lenne olyan szempontból, hogy az erősítő bemenetére nem kerülnének csatornán kívüli (pl. oszcillátor jel) jelek és a szűrő kis méretű lehetne. Ez az elrendezés azonban nem biztosítja az erősítő által termelt kombinációs termékek kiszűrését. Az átjátszó erősítőnél a szűrő a teljesítményösszegző hálózat után található. Így biztosítható a csatornán kívüli termékek megfelelő kis szinten tartása.

A csatornaszűrő ötkörös sávszűrő, amely a szomszédos csatornák kép, illetve hangvívőjére szivőkörrel van ellátva. A rezgőkörök hangolása a kapacitások változtatásával történik.

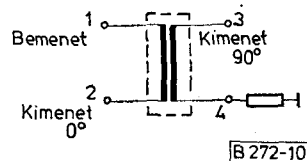
A hangoló szervek átfogása úgy lett méretezve, hogy a szűrőt a TV I. sáv bármely csatornájára behessen hangolni 50 ohmos lezárások mellett.

A szűrő főbb adatait a következők:

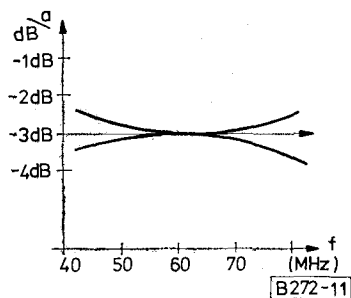
Megengedett teljesítményveszteség az átviteli sávban	$\leq 0,7$ dB
Áthangolhatóság TV I. sáv	45–70 MHz
Max. átvihető teljesítmény	150 W
Bemenő impedancia megengedett ingadozása az átviteli sávban	9%
Átviteli sávzélesség (max. lapos tető)	
CCIB 308 B szabványú adás esetén	7 MHz
CCIR 308 D szabványú adás esetén	8 MHz



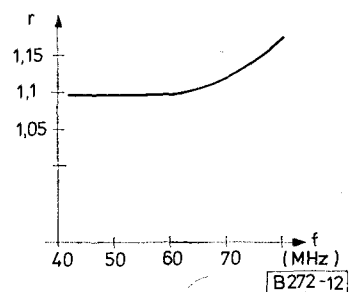
9. ábra. 80 W-os paraleljárató fiók



10. ábra. 3 dB-es hibrid elvi rajza



11. ábra. 3 dB-es hibrid csillapítása a frekvencia függvényében



12. ábra. 3 dB-es hibrid állóhullám aránya a frekvencia függvényében

Az átjátszóberendezéseknek rendelkezniük kell olyan nagyfrekvenciás mérőponttal, amely biztosítja az üzem közbeni ellenőrzést. Ezt a feladatot egy iránycsatoló látja el. Az iránycsatoló egy fővonalból és három csatolt vonalból áll. Az egyik csatolt vonal az előlapi RF ellenőrzés feliratú csatlakozóhoz, a másik csatolt vonal az AGC-hez, adás figyeléséhez, RF haladó méréséhez, a harmadik csatolt vonal pedig az RF reflektált méréséhez szolgáltat jelet. Az AGC jelnek csak a képvivő jellel kell arányosnak lennie, ezért a hangvivő jelet a csatolt vonalon egy szívókör segítségével erősen lecsökkentjük. A haladó, illetve reflektált teljesítmény mérése olyan kialakítású, hogy modulációtól független leolvasást tesz lehetővé.

Az iránycsatoló jellemzői:

Működési tartomány	TV I. sáv (48 ÷ 70 MHz)
Megengedett teljesítményvesztés a sávon belül	≤ 0,2 dB
Max. átvihető teljesítmény	150 W
Bemenő impedancia megengedett ingadozása	5%
RF mérőpont kicsat. csillapítása	25 dB

A végfokozat rendelkezik olyan védőáramkörrel,

amely a reflektált teljesítmény egy bizonyos határon túli növekedésekor a teljesítményerősítő tápfeszültségét megszünteti. Ez a 20 W-os fiókokban levő kapcsolóüzemű tápegység leállításával történik. A reflektált teljesítményhatár, amelynél a leállítás megtörténik 6 és 30 W között állítható.

Ugyancsak szabályozható a lekapcsolás késleltetési ideje is 3–30 mp között.

Az eddigiek során megismerkedtünk a különböző teljesítményű átjátszó erősítők jelenlegi felépítésével. Várható már napjainkban néhány olyan tranzisztor megjelenése a kereskedelemben, amelyek nagyobb teljesítményű erősítők építését teszik lehetővé a műszaki paraméterek további javulása mellett. A közeli jövő feladatai között szerepel az adási sáv kiterjesztése a TV II. és a TV IV. sávra.

I R O D A L O M

- Kocsis Miklós:* Félvezetős impulzustechnika.
Philips: Special semiconductors 1979.
J. M. Pettit: Erősítő áramkörök.
 IREE: Non-Linearity in Transistor amplifiers.
 ITT: VHF/UHF Power Transistor amplifier design.
 Elektro Technology: VHF transistorised wide-band power amplifier.
 Dr. Kovács Ferenc: Félvezetők nagyfrekvenciás alkalmazása.