

Rejtély és valóság a Hi-Fi végerősítőben

Piret Endre színes-tv szakmérnök

A cím láttán a tisztelt Olvasó véleménye könnyen lehet az, hogy ezt a cikket felesleges elolvasnia, hisz oly sok jó erősítő részletei láttak már napvilágot. Azokat pedig, akik ezen erősítők között különbséget hallanak, de ennek műszaki okát megadni nem tudják, nem érdekli. Most mégis arra kérjük a tisztelt Olvasót, hogy előítéleteit tegye félre, s olvassa el ezt a cikket.

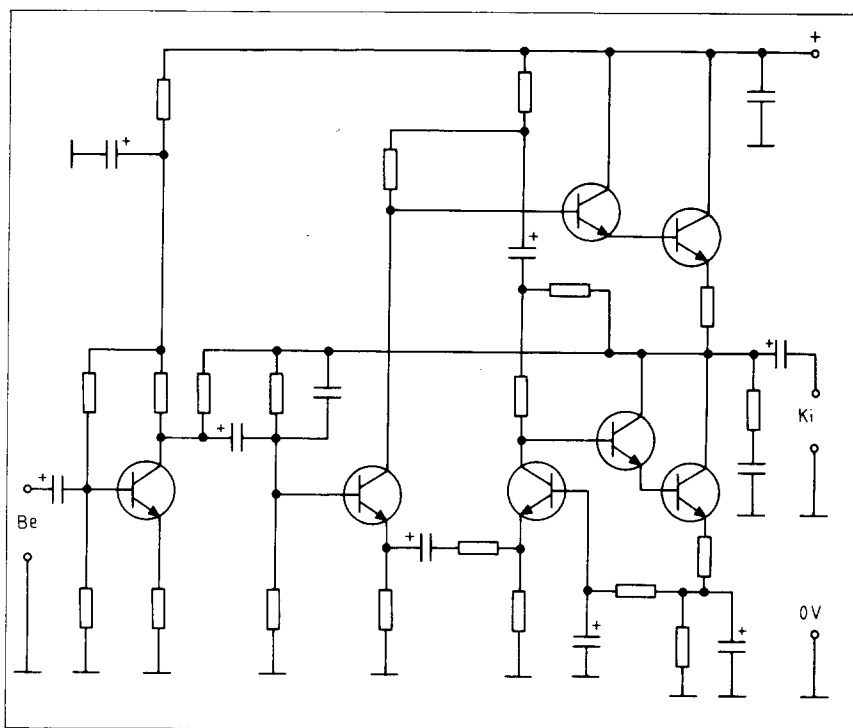
Előzmények – indítékok

Hosszú éveken át a szerző véleménye az volt, hogy egy jó erősítő átviteli tulajdonságai olyan jók, hogy a hangkép kialakításában nem az erősítőé a döntő szerep, hanem a többi eszközé, például a hangszóróké. Ezt az álláspontot erősítette meg az, hogy olvasható volt, lényegesen nagyobb gyakorlattal rendelkező szakmabeliek is így vélekednek. Így volt ez egészen addig, amíg egyszer egy hangszóró kipróbálására nem került sor. A hangszórót rossz hatásfoka miatt nem a szerző saját 15 W-os végfokozatáról, hanem egy utánépített Quad végfokozatról tápláltuk meg. Ezt a végfokozatot előzőleg alaposan kimértük, mert a működési elvnek és annak megvizsgálására készült, hogy a különböző felvezető típusok okoznak-e mérhető változást. A hangszóró igen rosszul szólt, mint utóbb kiderült, a középhangú sávban erős kónuszrezonanciája volt.

További kísérletként átkapcsoltuk a hangszórót a szerző erősítőjére. A hangszóró továbbra is kellemetlenül szólt, de azonnal észlelhetően jobban, mint a Quadról. A szerző saját hangszóróival végezve el az összehasonlítást, ugyanez a különbség volt hallható, az említett kónuszrezonancia elmaradása miatt a különbség még hangsúlyozottabb. A szerzőben egy világ omlott össze; a Quad erősítőn végzett mérések azt bizonyították, hogy az minden mért paraméterében jobb, mint a szerző 20-25 éves konstrukciójú végfokozata. A meglepetést betetőzte a meghallgatás alatt lévő hangszóró tulajdonosa, aki azelőtt sohasem hallotta a szerző erősítőjét, és két perc alatt arra a megállapításra jutott, hogy hangszórója megítélésére csak a szerző ősi végfokozatát

szabad használni, mert a másik oly sokkal rosszabb. Körülbelül fél évig nem mertük elhinni amit hallunk. Közben, a biztonság kedvéért, több gyári, hazai és külföldi végerősítőt hasonlítottunk össze a szerző végfokozatával. Egyetlen egy akadt csak közöttük, amelyiknél nem azonnal a szerző végfokozatát találtuk jobbnak már az első pillanatban, és az a Naim cég Nait erősítője volt. Az erősítőket a „line” bemenet és a hangszóró kimenet között vizsgáltuk.

Itt érkeztünk el az első meglepetéshez: jól, túl jól érzékelhető különbséget hallottunk végerősítők között. A dologban az volt a legszomorúbb, hogy a jelenség – ebben a stádiumban – *méréstechnikailag nem volt megfogható*, csak szubjektív érzékéssel volt észlelhető, ami nagyon ingoványos terület. Meg kell azonban jegyezni, hogy a



1. ábra. A szerző régi, „A” osztályú erősítőjének felépítése

(Folytatás a 619. oldalról)

romkörös sávszűrő kell!) A demodulátor a szokásos TBA120S. Itt is van egy homályos pont. Az IC 8. és 11. lába közé kapcsolunk – itt 22 nF – kondenzátor a deemfázis szerepét tölti be. A Wegener-Panda rendszerben használt előkiemelés nagyságát nem ismerjük. Lehetséges, hogy e kondenzátor értékét változtatni – valószínűleg növelni – kell. Az 1 µF-os (metálpapír) csatló-kondenzátorokkal a jeleket az LM 1894 IC-vel megvalósított zajcsökkentő áramkörre vezetjük. Ennek részletes leírását a RT 1982/8. számának 350-351 oldalain találjuk.

Tulajdonképpen egy kivezérlésfüggő aluláteresztő szűrő, amelynek töréspontja mozog. Hatásosan – 12-14 dB-lel – csillapítja a zajt a csatornában és helyes beállítás esetén (1 kΩ-os potenciométer) hűen követi a jelváltozást. A kimenőjeleket ezután célszerű egy CMOS kapcsolóval (CD4066) a megfelelő csatornaerősítő bemenetekre kapcsolni oly módon, hogy biztosíthatassuk a csak bal, csak jobb, ill. sztereó üzemmódot. Ennek oka az, hogy újabb (pl. az ASTRA műholdon) egyes transzponderbélők felhasználják a sztereó vivőket többnyelvű szinkronhang ill. kísé-

rőhang átvitelére. Ilyen esetben igen zavaró lenne, pl. ha a bal hangszóróból angolul, jobbról pedig németül halljuk kedvenc sportközvetítésünket.

Megjegyezzük, hogy a fenti CMOS kapcsolóval célszerű az eredeti hangvívóból származó (main sound) jel bekapuzása is.

A leírt áramkör már közelebb van az eredetihez, de még tág tere van a kísérletezésnek.

Felhasznált irodalom:

Grundig STR 201 Satellite Tuner Service Manual

kellemetlenül szóló erősítőknél voltak olyan tulajdonságai is, amelyekben azok felülmúlták a szerző erősítőjét. A szerző erősítője nagy amplitúdójú beütéseknél hajlamos a „lefulladás”-ra és kicsit „fátyolosan” szól. Ezek okát tudni véltük: egyike az AC-csatolásból eredő rossz tranzienst viselkedés, a másikat a túl nagy intermodulációs torzítás okozhatták. Mindezekkel együtt a régi erősítő messze kellemesebben szólt a többinél. A jó az lett volna, ha olyan erősítőre tehetünk volna szert, amely egyesíti magában a jó tulajdonságokat. Ennek létrehozásához azonban tudni kellene, mi a kellemetlen hangzás műszaki oka. De haladjunk sorjában. Próbáljuk meg körülírni, bármilyen nehéz is, milyen hang az, amit a szubjektív összehasonlításoknál kellemetlennek éreztünk.

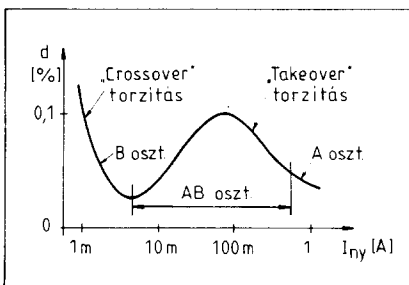
Mi az, ami zavar?

Egy jellegzetes élesség a hangzásban, amely főleg a középmagas hangoknál, főleg női beszédhangnál és a hegedűknél a legzavaróbb. Nem kell különleges műsor, a rádió URH adásával is azonnal észlelhető. Van, aki géphangnak, van, aki csikorgásnak, érdességnek nevezi. Természetesen a jelenség csak akusztikus hangszereknél jelentkezik, szintetizátor-, vagy egyéb tánc-, rock-, stb. zenénél, amelyek eleve gépzének, nem olyan feltűnő. A digitális jelfeldolgozás „hangja” – legalábbis a szerző számára – úgy tűnik, elfedi az effektust.

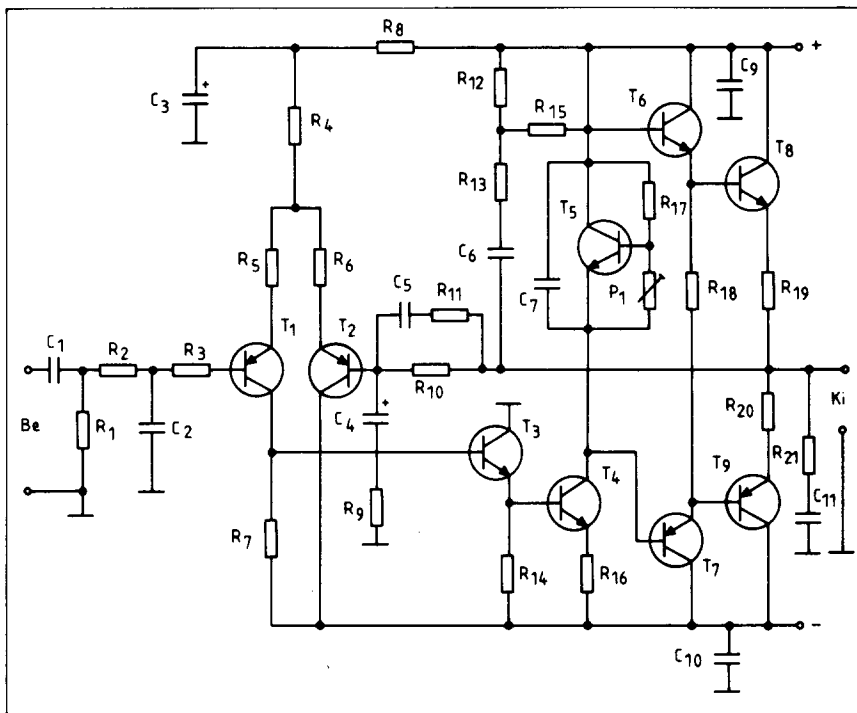
Ez a leírás nyilvánvalóan homályos, nem egzakt. Mégis, a szerzőnek nem több és nem kevesebb volt a célja, minthogy ezen rejtélyes hangzásnak műszaki okát megtalálja és kiküszöbölje.

A kiindulópont

Az összehasonlítások alapja az a bizonyos „rég” erősítő volt, amely a „csikorgást” nem produkálta. Az erősítő kapcsolása az 1. ábrán látható, az érdektelen elemértékek feltüntetése nélkül. A konstrukció alapja az [1] megoldásának némileg módosított és modernizált változata. A végtranzisztorok nyugalmi áramát külön DC hurok stabilizálja. Az erősítő –



3. ábra. Az 1. erősítő torzítása teljes kivezérlésnél a végtranzisztorok nyugalmi áramának függvényében



2. ábra. Az 1. erősítő felépítése a szokványos, néhány módosítással

vizsgálódásaink szempontjából – érdekes tulajdonságai:

- kimenőteljesítménye 10 W (16 Ω -on), 15 W (8 Ω -on), 0,15% harmonikus torzítás mellett;
- a negatív visszacsatolás főleg helyi, a hurokban alkalmazott max. 26 dB, és az csak egyetlen feszültség-erősítő fokozatra terjed ki, paralel-paralel rendszerű;
- felső határfrekvenciája a visszacsatolással 60 kHz-re korlátozott;
- a végtranzisztorok munkapontja 16 ohmos terhelésnél majdnem tiszta „A” osztály.

Az „osztály” teszi?

A vizsgált erősítők közül egyedül a szerző erősítőjében voltak „A” osztályú beállításban működő végtranzisztorok, a többi erősítő „B” osztályú volt. (A Nait erősítőről semmit sem tudunk, a gyár titkosként kezeli a kapcsolást.) Szinte biztosra vettük, hogy a végtranzisztorok beállításában keresendő a dolog nyitja, a „B” osztályú végtranzisztorok „éresítik” meg a hangot.

Ez utóbbi feltevést igazolni látszanak a világpiacon megjelent erősítők, amelyek ún. NSB (Non Switching B), vagyis nem kapcsoló „B” osztályú végfokokkal működnek. Az NSB végfoknak az a lényege, hogy a végtranzisztorok sohasem zárnak le teljesen, vagyis nyugalmi áramuk a teljes vezérlés folyamán megmarad. A torzítás elmaradásának magyarázatául azt mondják, hogy a végtranzisztorok kapacitásai feszültségfüggőek, s ezek a változó kapacitások okoznak torzítást (AM-PM

konverziót). Ez a torzítás nyilvánvalóan nem léphet fel egy „A” osztályú végfokozatban, hiszen a végtranzisztorok ebben az esetben sem zárnak le sohasem teljesen. Megjegyezném, hogy az NSB végfokozat nem új találmány, közel két évtizede ismeretes [2]; a jelenlegi megoldások nagy része is ezen a régi konstrukción alapszik.

Az „osztály” kérdéseire a választ úgy kaphatjuk meg, ha konstruálunk egy olyan végfokozatot, amely átkapcsolható az „A” és „B” osztályú beállítás között úgy, hogy közben az erősítő műszaki paraméterei ne (vagy alig) változzanak.

Az erősítő kialakításához kiindulópontként a ma „standard”-nek tekinthető kapcsolástechnikát választottuk, amely lényegében a 741-es műveleti erősítő és utódainak kapcsolástechnikájával azonos. Nevezzük az így létrejött erősítőt I. erősítőnek. Kapcsolása a 2. ábrán látható. Ebből kitűnik, hogy több pontban eltér a szokásostól. Ezek a TIM (Tranziens InterModulációs torzítás) elkerülése céljából mind az erősítő nyílthurkú linearitásának javítása, és/vagy sáv szélességének növelését célozzák. Eltéréseket találunk:

- a végtranzisztorokat meghajtó tranzisztorok (T6, T7) emitterében, az egyetlen közös emitterellenállás biztosítja, hogy a meghajtók mindig „A” osztályban működjenek. Kisebb és főleg alacsonyabbrendű harmonikusokból álló torzítás lett az eredmény;

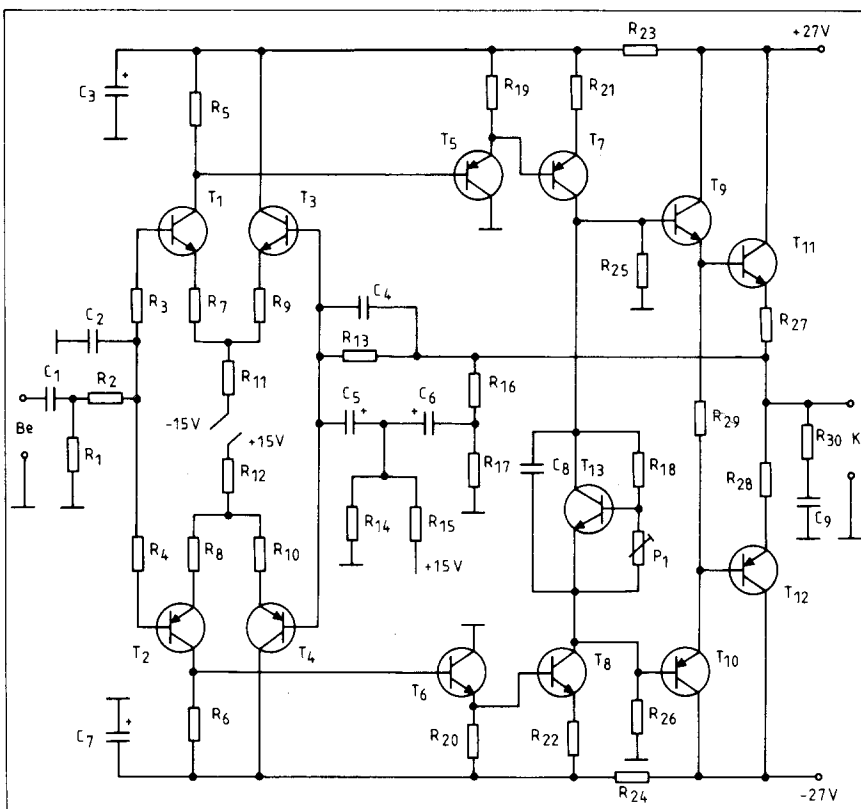
- T4 kollektorkörében a feszültségutánhúzó pozitív visszacsatolást a szokásos 20–30 dB-ről – az R13-as ellenállás beépítésével – 6 dB-re korlátoztuk.

– T3 képeben pótlólagosan egy emitter-követőt építettünk be. Ez T1 és T2 számára lineárisabb működést tesz lehetővé, és javítja T4 dinamikus tulajdonságait (részletezés később);

– eltérés még az is, hogy T1 és T2 emitterében helyi visszacsatolást létesítettünk. A hurokban alkalmazott visszacsatolás így 26 dB-re volt csökkenthető.

A P1-es munkapont-beállító potenciométerrel az „A” és „B” osztályú, valamint az összes közbülső munkapont beállítható. Az erősítő harmonikus torzításának változása a végtranzistorok beállításának függvényében a 3. ábrán látható; jellege a várttal megegyezik.

A meghallgatáskor következett az újabb meglepetés: a nyugalmi áramtól teljesen függetlenül ez az erősítő is „csikorgósan” szól. Semmilyen jelentős, illetve általunk észlelhető változás nem következett be, ha a végtranzistorok nyugalmi áramát 30 mA és 0,7 A között kapcsolgattuk. A kellemetlen hangzást tehát nem a végtranzistorok nyugalmi munkapontja közötti különbségben, sőt továbbmenve, nem a vég-erősítő eszközök környékén kell keresni, hanem előrébb az erősítőben. De hol?



4. ábra. A II. erősítő az I. erősítő teljesen komplementer-szimmetrikus változata

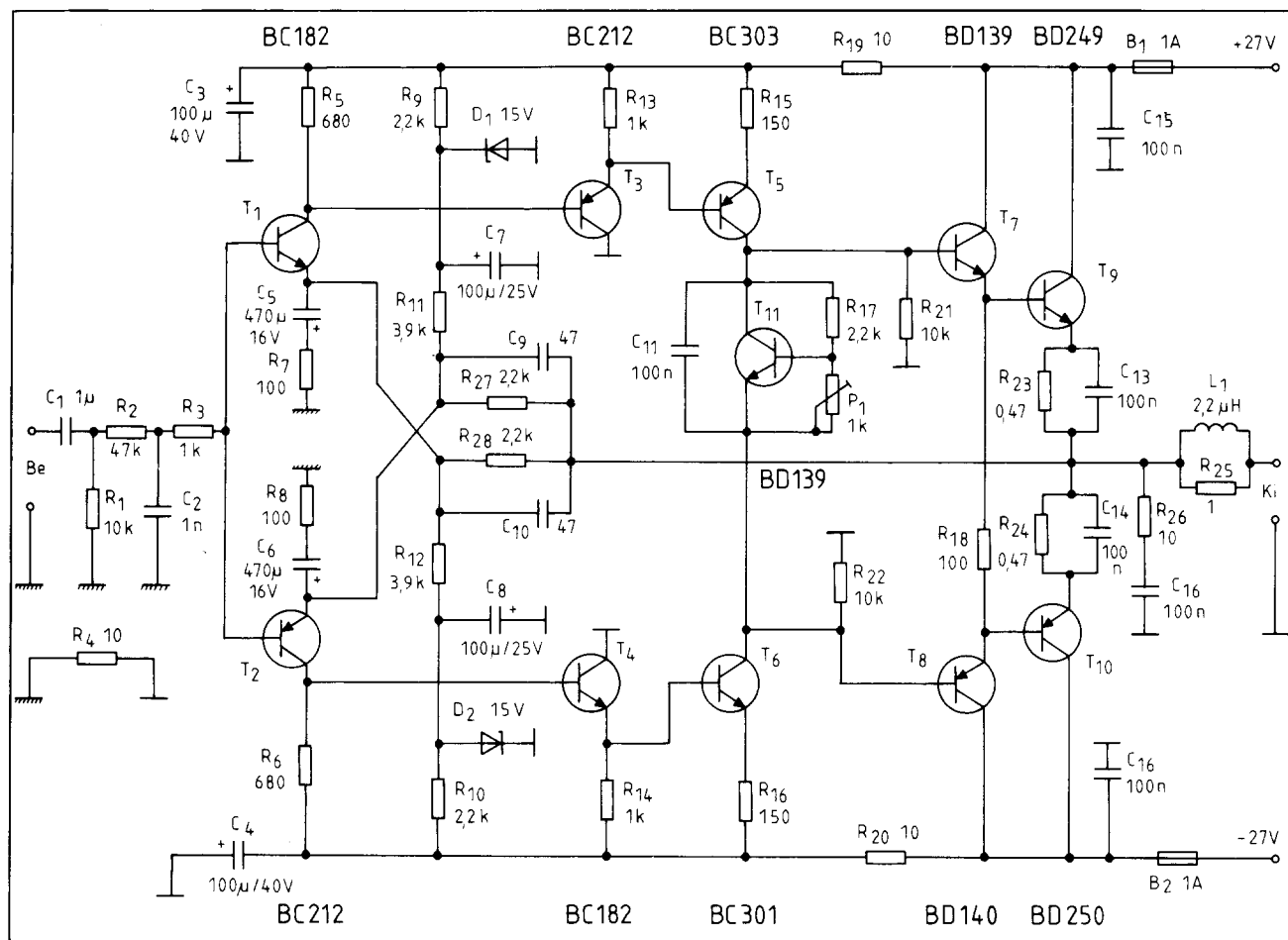
A feszültségerősítő fokozatok

A figyelem a feszültségerősítést nem végző végfokozatról (T5...T9) a két feszültségerősítő fokozat (T3, T4 ill. T1, T2) felé

fordult. Már az I. erősítő kialakításakor felhívta magára a figyelmet a T4 tranzisztorból kialakított fokozat. Ez a fokozat azért kritikus, mert ennek nagy amplitúdó-

jú, lehetőleg a teljes tápfeszültséggel megegyező vezérlőfeszültséget kell szolgáltatnia a végerősítő számára. A fokozat lineárizálása ezért emitterellenállással alig vé-

5. ábra. A III. erősítő teljesen komplementer-szimmetrikus, de differenciálerősítőt nem tartalmaz



gezhető el, a visszacsatoló hurok linearizáló hatására vagyunk utalva. TIM meggon-
dolások miatt a hurokkal Otala [3]-ban
közölt indokai miatt 20...26 dB visszacsatol-
lás fölé nem mehetünk. Ennek a fokozat-
nak a dolgán segítenek feszültségutánhúzó
kapcsolással. (A sokszor olvasható állítás-
sal szemben ez a kapcsolás nem növeli meg
a rendelkezésre álló vezérlőfeszültséget,
csak T4 dinamikus munkaellenállását
transzformálja fel, s erősítést növeli meg.)
Zárt visszacsatoló huroknál ez a torzítás
csökkenésével jár, de a hurokerősítés növe-
lése a TIM veszélyét rejtí magában. Ha a
végerősítő tranzistorokból álló emitter-
követő feszültségerősítése egységnyi lenne,
T4 dinamikus munkaellenállása végtelenre
transzformálna fel. Itt látszik az eljárás
veszélyessége. Ezért már az I. erősítőnél ezt
a pozitív visszacsatolást 6 dB-re korlátoz-
tuk ($R_{12} = R_{13}$).

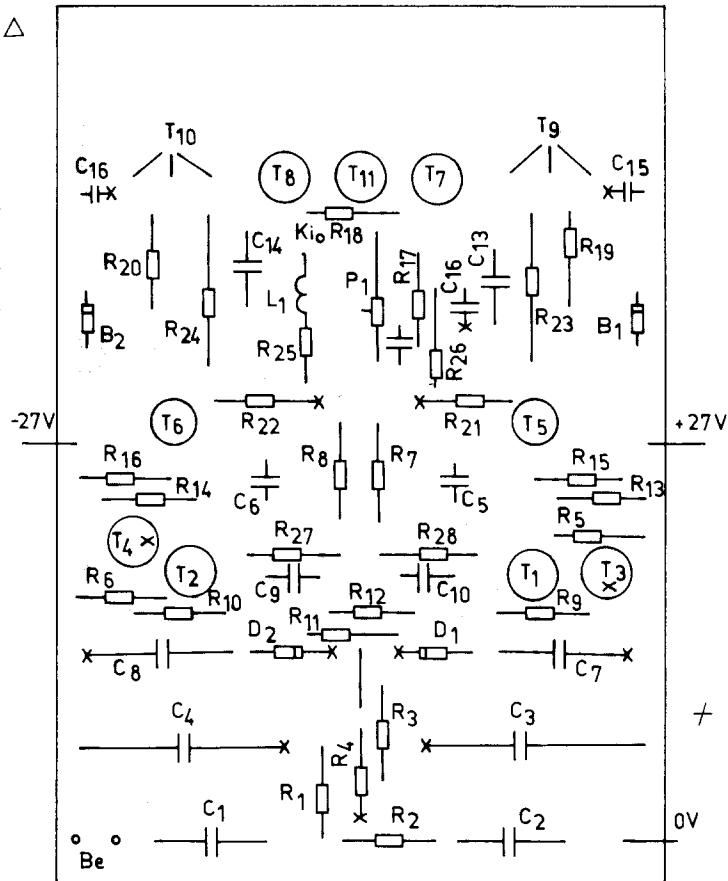
T4 körül még egyéb bonyodalmak is
vannak. A tranzisztor kollektor-bázis ka-
pacitása (amely önmagában nem nagy) a
Miller-hatás miatt, különösen utánhúzó
kapcsolás esetén, oly nagy bázis-emitter
kapacitássá transzformálódhat, hogy a
frekvenciaátvitel felső - 3 dB-es pontja a
hangfrekvenciás sávba kerül. Ez a kapaci-
tás még feszültségfüggő is, így nemcsak
TIM veszélye, hanem a már említett
AM-PM konverzióból eredő torzítás ve-
szélye is fennáll. T3 erősítőláncba iktatásá-
nak egyik indoka épp ez; a másik pedig:
a DC potenciált kb. 0,6 V-tal eltolja, így
hozzásegít ahhoz, hogy a T1, T2 differenci-
álerősítő tranzistorai nagyobb kollektor-
árammal kedvezőbb, lineárisabb munka-
pontban dolgozzanak. Mindezeket az
óvintézkedéseket már az I. erősítőben vég-
rehajtottuk. Most továbbmentünk és telje-
sen számítottuk a feszültségutánhúzó po-
zitív visszacsatolást, remélve, hogy a feltehe-
tően TIM-ből eredő kellemetlen hangzást
ezzel kiküszöböljük.

Újabb sikertelen kísérlet

A II. erősítő (4. ábra) az I. erősítő telje-
sen komplementer-szimmetrikus változa-
ta. Ez a push-pull megoldás lehetővé tette,
hogy a nyílthurkú torzítás 0,5% alá kerül-
jön, s így az előzőnél kisebb, 20 dB-es ne-
gativ visszacsatolással is ez a II. erősítő kb.
fele akkora harmonikus torzítást produ-
kál, mint az I. erősítő. T7 és T8 egymás
dinamikus munkaellenállásai (áramgene-
rátorai), a hatásos munkaellenállást R25
és R26 eredőjével állítottuk be. Ezeknek a
DC munkapontra semmilyen hatásuk
sincs, nagyságukat csak dinamikus meg-
gondolások határozzák meg. Az erősítő
teljesen szimmetrikus felépítése a már em-
lített feszültségfüggő kapacitások által kel-
tett esetleges torzítások csökkentéséhez is
hozzájárul.

A kapcsolásnak maradt még vitatható
pontja: a visszacsatolókörben lévő elkő.
A „standard” megoldásnál (I. erősítő) ez
nem kap polarizációs feszültséget. A világ-

x : az alkatrészoldali
földföldhöz



6. ábra

sajtóban sok a vita, hogy az elkő okoz-e torzítást? Abban viszont nincs vita, hogy egy polarizálatlan (polarizáló külső egyenfeszültség nélkül üzemelő) elektrolitikus kondenzátor nonlineáris és instabil elem. Az elkő polarizálását a II. számú erősítőben az első pillanatban talán feleslegesen bonyolultnak tűnő kapcsolással biztosítottuk.

Ez az erősítő minden vizsgált paraméterre szempontjából megnyerte a szerző tetzését. Egy baja maradt: nem szólt jól. Kicsit kevésbé volt kellemetlen, mint az I. erősítő, de határozottan mutatta azt a már körülírt, a szerzőt nagyon zavaró kellemetlen hangzást.

A megoldás felé

A teljes tanácsalanságban azt kezdtük vizsgálni, milyen alapvető különbség maradt a régi és az új erősítők közt, amit még nem próbáltunk ki. Nem találtunk mást, mint a visszacsatolás módját. A régi erősítőnél ez paralel-paralel rendszerű (invertáló erősítő), az újnál ez paralel-soros (nem invertáló erősítő). Nehéz volt elhinni, hogy ez számít. Gyanús mégis, hogy Ota említett cikkében [3] egy erősítő kapcsolást közöl, amelynek szimmetrikus a bemenete; ő mégsem a szokásos, kényelmesebb paralel-soros (nem invertáló), hanem a paralel-paralel (invertáló) elrendezést használja. Ideiglenesen átalakítottuk a II. erősítő visszacsatolását paralel-paralel rendszerűvé (4. ábra), és nem hittünk a fülünknek, a kifogásolt éles hangzás eltűnt. Az addig igen stabil erősítő gerjedékenné vált, ami azt jelezte, hogy valami alapvető változás történt. Most már tudtuk tehát, hogy az ok a legelső fokozatban (és nem az utolsóban, mint eleinte gyanítottuk) keresendő, de meg kellett még ismerni a keletkezés mechanizmusát.

A mechanizmus megismeréséhez segítséget adott [4], mely cikk az elméleti tárgyaláson kívül a TIM fizikáját is részletezi. Közvetve észlelési, mérési eljárást is ad; e szerint jártunk el.

Eltávolítottuk az erősítő bemenetéről az aluláteresztő szűrőt (R2, C2), az erősítőt négyszögjellel vezéreltük. Oszilloszkóppal figyeltük a jelet azon a ponton, ahol a vezérlőjelből a visszacsatolt jelet kivonjuk. Ez paralel-paralel visszacsatolásnál az erősítő invertáló bemenete. Paralel-soros visszacsatolásnál – jobb híján – ez a pont az első tranzistor kollektora. A négyszögjel elején tuskét látunk, amelynek amplitúdója éppen annyi nagyobb a négyszögjelnél, mint amekkora a visszacsatolás a hurokban. Jelen esetben ez a viszony tízszeres, *ettől a nagy tuskétól az első fokozat túl is vezérlődhet*. Amennyiben a bejövő és a visszacsatolt jel a differenciálerősítő nem azonos bemenetén találkozik, a „tüllövés” sokkal hosszabb ideig tart, és az aluláteresztő szűrő beiktatása után is megmaradt kisebb amplitúdóval. Ez a tuske túlvezérlé az erősítőt, vagyis tetten értük a TIM

keletkezési mechanizmusát. Megjegyezendő, hogy mindezek közben az erősítő kiemenetén teljesen kifogástalan négyszögjellel figyelhetünk meg, a TIM-et ezzel a módszerrel *csak az erősítőbe „belemérve” mutathatjuk ki*.

Marad még egy megválaszolatlan kérdés: miért változik a visszacsatolt jel késése a visszacsatolás módjától függően, amikor az erősítő egy és ugyanaz maradt? Egyszerűen azért, mert ha a bemeneti differenciálerősítő két különböző bemenetére kerül, *kivonódásuk „jósága” a differenciálerősítő közösmódusú elnyomásának függvénye*. Ennek a közösmódusú elnyomásnak a *frekvenciamenete olykor több, mint egy nagyságrenddel rosszabb, mint az erősítő frekvenciamenete*, ha ez a tény nem is köztudott. A visszacsatolt jel ily módon további késés szenved, a TIM keletkezésének veszélye nő. Az oly gyakran alkalmazott „standard” kapcsolástechnika a visszacsatolás módjában is elhibázott.

Végre a helyes úton

Most már elkészülhetett a III. erősítő (5. ábra). Megtartottuk a teljesen komplementer-szimmetrikus felépítést, hisz ez a kis nyílthurkú torzítás záloga. Az első fokozatban megszüntettük a differenciálerősítő felépítést, közönséges földelt emitteres fokozatok váltották fel őket. A visszacsatolás ezek emitterére történik, a jelkivonás a bázis és az emitter között jön létre. Az előzőekben részletezett probléma így nem léphet fel. A differenciálerősítő konfiguráció elhagyása DC munkapontbeállítási problémát vet fel, amely nem szokványosan, az 5. ábrán bemutatott módon megoldható. A visszacsatoló hurokban lévő elektrolitikus kondenzátorok kapnak polarizációs feszültséget.

Ez az erősítő a meghallgatásakor végre meglegedést keltett. A konstrukció itt is, mint az előző erősítőknél, lehetővé teszi a végtranzistorok munkapontjának átállítását az „A” és „B” osztály között. A két beállítás között különbséget most sem halottunk.

Cikkünket nem kifejezetten építési leírásnak szántuk, de a III. erősítő nyák és beültetési rajzát közreadjuk (6. ábra). Az alkatrészoldalon összefüggő a földfólia. A bemenet és a visszacsatolás földje ettől elszigetelve, s egy 10 Ω -os ellenálláson keresztül csatlakozik hozzá (e megoldás célja a *földhurok* elkerülése). Az erősítő 16 Ω -os terheléshez készült, de 8 Ω -ra is tud dolgozni, ha a tápegysége és a hűtőbordája megfelelően méretezett. Mindkettő méretezésénél még az is döntő szempont, milyen osztályba állítjuk be a végerősítő eszközt. A szerző 200 mA-es nyugalmi áram (AB beállítás) mellett döntött.

Hogyan kerüljük el a TIM-et?

Az elmondottakból következik, hogy a

TIM komolyabb, és sokkal általánosabb probléma, mint azt hinnénk. Sajnos, mérésére egyszerű, biztos módszert csak olyant ismerünk, amelyhez az erősítő „belsejébe” kell csatlakoznunk. Tervezési szinten a TIM elkerülésének általános szempontjai ismertek, [1], [3], [4]. Itt most konkrétabb szempontokat szeretnénk adni:

- az erősítő bemenetén egy aluláteresztő szűrőt kell elhelyezni. A fázistorzítások biztos elkerülésére ez egy egyszerű RC tag, 3 dB-es pontja jóval a hasznos sáv felett legyen (jelen esetben 34 kHz);

- eldöntjük, hogy mekkora legyen a hurokban alkalmazott visszacsatolás mértéke, 20–26 dB-nél nagyobb nem tanácsos, de nem is nagyon realizálható sáv szélesség-problémák miatt (itt 20 dB);

- megnézzük, milyen frekvencián csillapít a bemeneti szűrő éppen ennyit (most kb. 300 kHz), s az erősítő nyílthurkú sáv szélességét legalább ilyen nagyra csináljuk meg;

- zárjuk a hurkot, a szokásos módszerekkel stabilizáljuk, de csak olyan elemekkel, amelyek nem csökkentik az erősítő sáv szélességét (PD kompenzálás). Ez a művelet az adódó magas zárthurkú sáv szélesség miatt (itt 2 MHz) nem mindig egyszerű;

- ne essünk a szerzőhöz hasonló hibába, ezért zárt hurok és beiktatott bemeneti szűrő mellett vizsgáljuk meg a négyszögjellel a „kivonási pont”-nál; csak akkor legyünk elégedettek, ha nem, vagy alig (50%-nál kisebb mértékben) észleljük a már említett tuskét.

A szerző tisztában van azzal, hogy a fenti követelmények elégségesek, de nem biztos, hogy mind szükségesek. Vagyis lehet, hogy túl szigorúak. Részletesebb és nagyon körültekintő vizsgálattal lehetne csak eldönteni, hol és mennyit lehet engedni belőlük.

Végző tanulság

A szerző meglehetősen nagy munka árán, önmaga számára bizonyítva látja, hogy a tényleg észlelt (és nemcsak vélt) szubjektív benyomások műszaki oka felderíthető. Szerette volna erről a t. Olvasót is meggyőzni, ezért írta meg ezt a cikket.

Irodalom:

1. R. Osborne, P. Tharma: Transistor high-quality amplifiers, *Wireless World*, 1963. máj., jún., júl.
2. P. Blomley: New approach to class B amplifier design, *Wireless World*, 1971. febr., márc.
3. J. Lohnstroh, M. Ota: An audio power amplifier for ultimate quality requirements, *IEEE Trans. on Audio and Electroacoustics*, 1973. dec.
4. C. Adams, dr. Pócsa A., Sombi T.: A tranzienstermodulációs torzítás (TIM) keletkezésének vizsgálata, *Híradástechnika*, 1987. 2. szám.