

Cső kontra tranzisztor a HIFI végerősítőkben

Piret Endre okl. színesztévé szakmérnök

Régóta tartó, öröknek tűnő vita tárgya, hogy melyik felépítésű végerősítő a jobb, a csöveket vagy a félvezetőket alkalmazó-e? Szinte vallások alakultak ki, melyekben sok a szubjektív, divat stb. hatás. E hatások alól magamat sem tudtam teljesen kivonni. Most azt szeretném bemutatni, hogy a sok évtizedes próbálkozásaim e vitában hova vezettek. Igyekszem a szubjektívítást kikapcsolni, illetve a szubjektív benyomásokat konkrétumokkal alátámasztani.

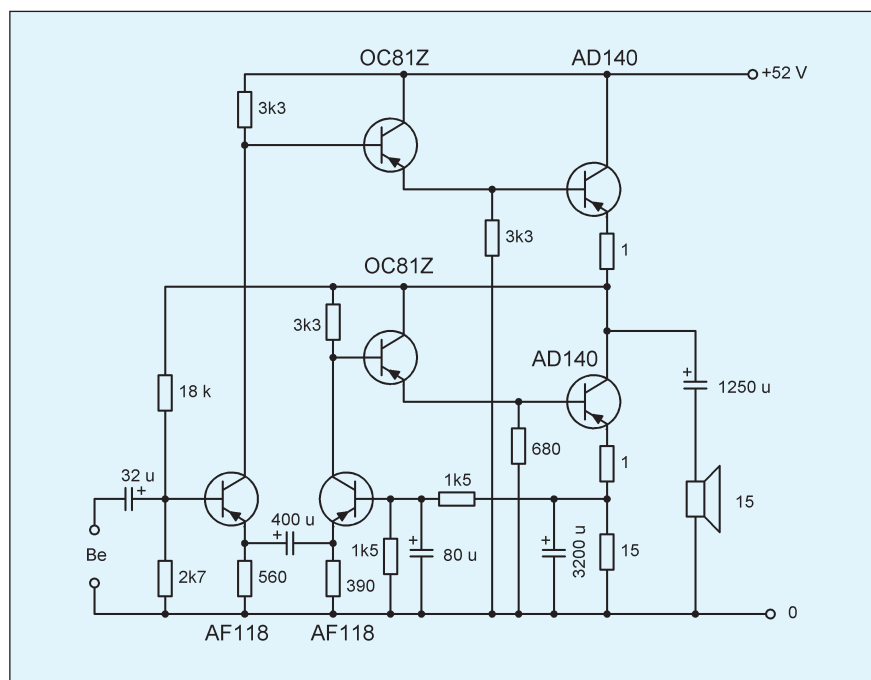
Kezdetben nem volt alternatíva, nem léteztek teljesítménytranzisztorok. Csak a csöves ellenütemű erősítő jöhetett szóba, mint megoldás. A csövek a hangszórókhöz viszonyítva magas impedanciájú eszközöknek tekinthetők, ezért az erősítő kimenetén egy illesztőtranszformátorra, a kimenőtranszformátorra van szükség. És itt kezdődik a baj.

A kimenőtranszformátornak széles, a teljes hangfrekvenciás sávban kell illeszteni a hangszóró alacsony impedanciáját a magas impedanciájú csövekhez. Alsó határfrekvenciáját a primer tekercs induktivitása határozza meg, innen 6 dB/oktáv meredekséggel vág le. A felső határfrekvenciát pedig a szórt induktivitás, a rövidrezárt szekunder

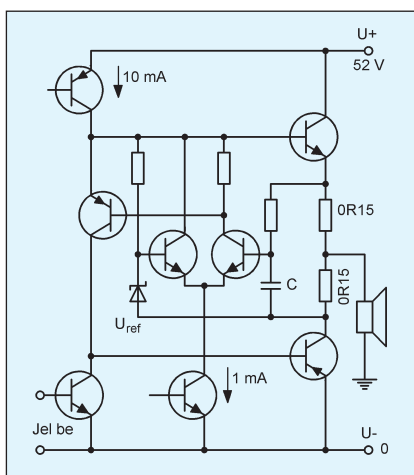
mellett mérhető primer induktivitás határozza meg. A szórt induktivitás a primer induktivitás nagyságának és egy szórás tényezőnek szorzatából adódik, mely szórás tényező nagysága a kimenőtranszformátor geometriájára jellemző érték. Ebből következik, hogy az alsó és a felső határérték egymástól függ, egymástól függetlenül nem változtatható. A kimenőtranszformátor sávzélességét csak a transzformátor felépítésével, az egyes tekercsek felosztásával és egymásba fűzésével lehet növelni. Igen munkáigényes és nehezen reprodukálható munka. Az elmondottakból adódik, hogy a kimenőtranszformátor a csöves erősítő minőségének meghatározó eleme, az erősítő legfeljebb olyan jó lehet, mint

amilyen jó a kimenőtranszformátora. A tekercsosztások növelésével viszont növekszik a transzformátor szórt kapacitása. Ez a kapacitás a szórt indukcióval rezonanciát hoz létre, ha ez a rezonancia megközelíti az átviteli sávot, ott kiemelést okozva nagy problémát jelenthet.

Idáig jutva nagy örömmel vettem annó tudomásul *N. Crowhurst* ötletét. Ő egy kapcsolástechnikai trükkel felezni tudta a szórt induktivitást. Két egyforma kimenőtranszformátort alkalmazott. Az egyik a két végerősítő cső anódkörébe, a másikat azok katódkörébe, a szekundereket pedig egymással párhuzamosan kötötte be. A hálózati trafók módjára (de a szekunder alul!) tekercselt kimenőtranszformátorokkal 7-8 kHz-ig terjedő teljesítménysávzélességet lehetett elérni. Viszonylag egyszerű tekercsosztással ez a határ 15 kHz fölé volt emelhető. A szórás tényező nagyságát befolyásolja a tekercselés „karcsúsága” is. Vagyis minél alacsonyabb és hosszabb a tekercselés, annál kisebb a szórt induktivitás. Ez adta nekem azt az ötletet, hogy a transzformátort toroid vasra tekercseljük minden osztás nélkül, vagyis úgy mint a hálózati trafókat. El is készültek ezek a trafók, és beváltották reményeimet (bővebben [1]-ben). Ez az erősítő szépen szól, sokáig etalonnak használtam. Mintha azért egy kis fátynal lett volna még a hangszórók előtt, de ez nem volt nagyon zavaró. Ma már tudom, hogy jól hallottam ezt a jelenséget annakidején. Az ok: a kimenőtrafó hiszterézis vesztesége, mely kisebb ugyan egy hiper-



1. ábra



2. ábra

szil vasmagnál, de így is határozottan észlelhető.

Időközben lettek germánium, majd szilícium teljesítménytranszisztorok. A kimenőtrafótól való megszabadulás vágya hajtotta a tranzisztoros végerősítők felé. Első tranzisztoros erősítőm egy AB-osztályban dolgozó erősítő, melyet *R. Osborn* és *P. Tharma* (Mullard, 1963) konstruált még germánium tranzisztorokkal (**1. ábra**). Ezt az erősítőt később „szilíciumosítottam”, majd kisebb átalakításokat eszközöltem. Figyeljünk fel az alsó végtranzisztor emitterkörében levő ellenállásra, amelyen keletkező egyenfeszültség a nyugalmi árammal arányos. Ezt visszacsatolva, az a végtranzisztorok munkapontját stabilizálni igyekszik! Ez kétségen kívül érdeme a kapcsolásnak, de egyben hátránya is, mert így az erősítő tápellátása nem alakítható át szimmetrikussá. Szükség van a kimenetén levő csatoló elektrolitkondenzátorra. Ezen a kondenzátoron, valamint az emitterellenállást áthidaló kondenzátoron is átfolyik a teljes hangszóróáram. Ez zavart engem, és még az is, hogy ezek a kondenzátorok alacsonyfrekvenciás sávkorlátozást okoznak.

DC csatolt erősítőre vágytam, szimmetrikus tápfeszültségellátással, és ezt az akkori trendnek megfelelően a B-osztályú erősítők körében gondoltam megtalálni. Hosszú keresgélés következett, az egymást követő konstrukciók egyre jobbak lettek, eltűnt a

fátyol a hangszórók előtt, de volt egy közös hibájuk: mindegyiknek „tranzisztorhangja” volt. Nehéz leírni, mi ez a „tranzisztorhang”. Az erősebben szóló középmagas hangok (hegedűk, szoprán kórus, szoprán szólólisták hangja) egy jellegzetes fémes elszíneződést mutattak. Néha még a beszédhangnál is előjött ez a jelenség.

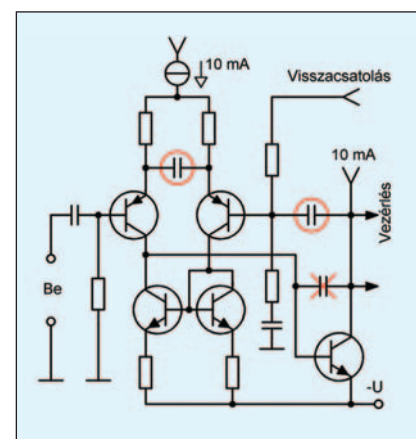
Rövid kirándulás következett a *Linsley Hood* féle A-osztályú erősítők világába. Ezekben a „tranzisztorhang” sokkal kisebb volt. Ebből az következik, hogy a „tranzisztorhang” nagyobb részét a B-osztályú erősítők cross-over torzítása adja. Át kell térni egy az A-, vagy AB-osztályban dolgozó erősítőre. A *Linsley Hood* erősítőt tovább kellett volna fejleszteni, hogy a végtranzisztorok munkapontját ne egy meglehetősen labilis termikus egyensúly határozza meg. Erre nem találtam megoldást.

A szokásos felépítésű erősítők végerősítő tranzisztorai munkapontjának *elektromos* stabilizálására *D. Self* írásában találtam megoldást. Egy DC szabályozó hurkot (nem visszacsatolást, hanem servo-hurkot) használt a munkapont stabilizálására, melyet vázlatosan a **2. ábrán** láthatunk. Kis változtatást kellett azonban rajta csinálni: a hurokerősítő bemenetén egy aluláteresztő szűrőt kellett képezni egy kondenzátorral, különben az érkező váltókomponens túlvezérelte a hurokerősítő differenciálerősítőt. Ez a kondenzátor nem szerepelt az eredeti leírásban. A visszacsatoló hurok a gyakorlatban tökéletesen bevált, stabilizálódott a munkapont, a bekapcsolás után másodperceken belül beállt, és külső behatások mellett is stabil maradt. Egy potenciómterrel beállítható, hogy a végfokozat A-, vagy AB-osztályban működjön-e. A „tranzisztorhang” nagyot csökkent, de nem tűnt el teljesen. A „tranzisztorhang” javarészt tehát a B-osztályú munkapontbeállítás okozza, vagyis a cross-over torzítás az ok. A B-osztályú beállításban keletkezik ilyen fajta torzítás akkor, amikor a jel keresztezi

a 0 tengelyt. A fül ugyanis nagyon érzékeny minden itt keletkező eltérésre. Ha a végerősítő tranzisztorokat nem A-osztályú munkapontba, hanem AB-osztályúba állítjuk, szintén eltűnik a „tranzisztorhang”, pedig ebben az esetben a jelcsúcsoknál az eszközök már B-osztályban dolgoznak, de az átmenet nem a jel nullátmenetekor keletkezik. Ezek után világossá vált, hogy a maradék „tranzisztorhang” okát már nem az erősítő végén, hanem az elején kell keresni. Mint kiderült, az erősítő első fokozatában, a differenciálerősítőben keletkező tranziens intermodulációs torzítás (TIM) a maradék „tranzisztorhang” okozója.

Hogyan keletkezik a TIM? Az erősítő első fokozatát alkotó differenciálerősítő egyik bemenetére a vezérlőjel, a másik bemenetére az erősítő végéről visszavezetett kimenőjel kerül. A differenciálerősítő e két jel különbségét képezi. Ez így rendben is van, de az erősítő kimenőjele kicsit késik. A visszacsatoló hurok egy pillanatra megszakad, a bemenőfokozat erre az időre túlvezérlődik, és ebből az állapotból viszonylag lassan tér magához. Ez a TIM keletkezésének mechanizmusa. A jel meredeksége a 0-vonal metszéspontjában a legnagyobb, itt jelenik meg a TIM is, akárcsak a cross-over torzítás.

Hogyan szüntethetjük meg a TIM-et? A fentiekből következik: az erősítő gyorsításával. Miért lassú az erősítő? A kompenzálás miatt (**3. ábra**). A globális, az erősítő



3. ábra