

Nemcsak nosztalgia

10 W-os HIFI-végerősítő csövekkel

Piret Endre okl. színes tv szakmérnök

HIFI-berkekben újra divatba jött a csöves erősítő. Barátok, ismerősök unszoltak egy csöves erősítő konstruálására, szerintük erre életkorom is predestinál, hiszen szakmai pályafutásom első harmada a csöves korszakra esett. A kihívás számomra az volt, hogy mire jutok, ha a mai lehetőségek előnyeit és korlátait figyelembe véve egy HIFI-végerősítő fejlesztésébe fogok.

Csőves erősítőt jó harmincöt évvel ez előtt konstruáltam és építettem utoljára. Azóta sokat javult az elektronikai alkatrészek minősége, a mérés technika is fejlődött, de bizonyos alkatrészek eltűntek, vagy beszerzésük igen-igen megnehezült. A legnagyobb probléma azonban az, hogy az erősítő műszaki paramétereivel szemben támasztott követelmények megnöttek az idők folyamán. Gondoljunk csak a csöves erősítő minőségét jól jellemző harmonikus torzításra! Az 1960-as évek elején az 1% körüli torzítású erősítőt HIFI-nek neveztünk (DIN 45 500 szabvány), a mai félvezetős erősítők nagyságrend(ekkel) kisebb harmonikus torzítást produkálnak, még ha ez az adat nem is mindig jellemző ezek minőségére. A feladat tehát nem egy régi konstrukció mai eszközökkel történő reprodukálása volt, hanem annak – lehetőség szerinti – továbbfejlesztése.

A tervezés első és talán alapkérdése az volt, hogy milyen rendszerű, milyen alapvető felépítésű kapcsolást válasszak. Egy viszonylag olcsón kivitelezhető konstrukció érdekében olyan kapcsolást kell választani, amely a legdrágább alkatrésszel, a kimenőtranszformátorral szemben nem támaszt szélsőséges követelményeket. Ezt a szempontot hangsúlyozza az, hogy a kimenőtrafó-tekercselési lehetőségek az idők folyamán beszűkültek, no meg az is, hogy az erősítővel szemben támasztott nagyobb minőségi követelmények a bonyolultabb, tehát drágább transzformátor irányába hatnak.

Az olcsó realizálás szempontjának a katódcsatolt vagy a részben katódcsatolt végfokozatok felelnek meg. Ezen

végfokozatokra az jellemző, hogy a terhelőellenállás részben vagy egészben a végerősítőcsövek katódkörében van. A végerősítő fokozaton belüli lokális negatív visszacsatolás kis kimenőellenállást létesít, és ez segít a kimenőtranszformátor okozta problémák leküzdésében. Az ilyen kapcsolás az üzembiztonság szempontjából is előnyös, mivel a terhelés megszakadása-kor a kimenőtranszformátoron a hangfrekvenciás feszültség nem ugrik fel, és így a kimenőtranszformátor nem üt át, mint az egy „hagyományos”, egyszerű végfokban történik. Egyébként az analógia a szokásos félvezetős végfokozatokkal könnyen észrevehető, hiszen a félvezetős erősítők végerősítő eszközei is többnyire szintén 100% helyi visszacsatolással, emitterkövetésként működnek.

A lehetséges kapcsolási elrendezések (pl. PPP, Quad, McIntosh) közül az 1962-es döntéshez hasonlóan a választás az ún. kettőscsatolású erősítőre esett (10 W-os végerősítő, *Rádiótechnika 1962/9.*, módosított kimenőtrafó: *RT 1964/1.*), melynél a két egyforma, viszonylag egyszerű kimenőtranszformátor közül az egyik a végerősítőcsövek katódkörében, a másik a csövek anódkörében van. A trafók összköltsége, a hálózati trafót is beleértve, ennél a kapcsolásnál tűnt a legalacsonyabbnak.

A tervezés másik kezdeti kérdése a végerősítőcsövek típusának kiválasztása volt, ez ugyanis egyben az erősítő kimenőteljesítményét is meghatározza. Az EL84 mellett döntöttem, amely a kis torzítás érdekében választott A-osztályú beállításban 10 W kimenőteljesítményt nyújt. Ez ugyan nem túlságosan nagy teljesítmény, de tapasztalatom szerint a 20 négyzetméteres szobámban szükséges 3...4 W így is biztonságosan előállítható. A cső maga aránylag könnyen beszerezhető, alacsony anódfeszültsége miatt az erősítő kondenzátorai is viszonylag olcsók. (Csak egy közbevetett megjegyzés: a jó erősítő halkabban is jól szól, fiziológiai okokból félrevezető a „bőmből” erősítők összehasonlítása.)

A kettős csatolású végerősítő

A végfokozat és vezérlő áramköreinek elvi működése az 1. ábra segítségével követhető. Csak a jelút és a működési elv szempontjából fontos alkatrészeket tüntettük fel, a munkapontokat beállító alkatrészeket nem. Kezdjük a kimenetnél! A két kimenőtrafó teljesen egyforma. Primerjeik a végerősítőcsövek szempontjából sorba-, míg szekunderjeik párhuzamosan vannak kötve. Primerimpedanciájukat az optimális illesztőellenállás felére, szekunderüket a névleges terhelőimpedancia duplájára kell méretezni. A végerősítőcsövek feszültség-erősítése a teljes terhelőellenállásra vonatkoztatva kettős, ami előny pl. a PPP (Paralel Push-Pull) kapcsoláshoz képest. Ennek köszönhetően PPP erősítőhöz képest jelen esetben csak fele akkora vezérlőfeszültségre van szükség.

A vezérlőfeszültség-igény azonban még így is elég nagy. A végerősítőcsövek pentóda-hatásfokának biztosítására segédtrácsuknak váltófeszültségű szempontból a katódjukkal azonos potenciálra kell lenniük, egyenfeszültségű szempontból viszont a katódhoz képest pozitív potenciált, az EL84 esetében az anódpotenciállal megegyező +250 V-os feszültséget igényelnek. Az 1. ábrát tekintve feltételezzük, hogy a két kimenőtranszformátor menetiránya megegyezik és szekunder oldaluk fázishelyesen van összekötve, ekkor a felső cső katódja és segédtrácsa a kimenőtranszformátorok rajz szerinti felső kivezetéseire, anódja viszont a cső fázisfordítása miatt az anóddoldali trafó alsó kivezetéséhez csatlakozik, vagyis keresztbe van kötve.

A végcsövek meglehetősen nagy vezérlőfeszültségének biztosítását segíti elő egy utánhúzó kapcsolat, mely úgy jön létre, hogy a végcsöveket vezérlő csövek munkaellenállásait nem a pozitív tápfeszültségre, hanem az anóddoldali kimenőtrafó megfelelő melegepontjára kötjük, ahol a tápfeszültségre szuperponált, a vezérlőfeszültséggel azonos fázisú váltófeszültség van. Ezt a fajta „csizmahúzó” kapcsolást (bootstrap) a félvezetőtechnikában is gyakran alkalmazzuk. (Fentiekből kiderül, hogy a kimenőtranszformátorok menetirány-azonosságának megállapítása a megépítésnél fontos, ennek gyakorlati módszerére majd visszatérünk.)

A két végerősítőt meghajtó fokozat szimmetrikus, ezek előtt egy szintén szimmetrikus feszültség-erősítő foko-

zat van. Az erősítő bemeneti fokozata egy anód-katód (katodinnak is nevezett) fázisfordító. A negatív visszacsatolóhurok szintén szimmetrikus felépítésű, és a katódoldali kimenőtrafó primeréről az első feszültségerősítő fokozat katódjára hat. Kimarad a visszacsatoló hurokból a fázisfordító, amely úgyis nagy lokális visszacsatolással dolgozik, és ezenkívül *látszólag* kimarad a kimenőtrafó.

A visszacsatolóhurok a végerősítő-csővek kimenőellenállását, amely a lokális visszacsatolás miatt már eleve kicsi, tovább csökkenti, vagyis a kimenőtranszformátorok táplálása feszültséggenerátorról történik. Így a kimenőtranszformátorok nemlineáris torzítása, mely a vasmag nemlineáris mágneszési görbéjéből (a B-H görbéből) ered, elhanyagolható nagyságúra csökken. Így ugyanoda jutunk, mintha a szekunderről csatolnánk vissza.

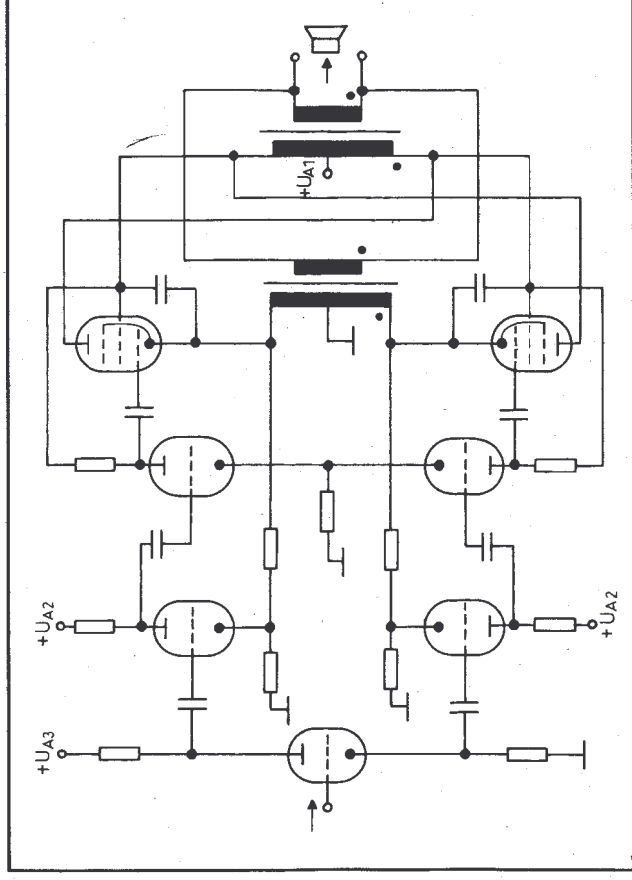
Jótékony hatású az említett visszacsatolási mód az erősítő magasfrekvenciás stabilitása szempontjából, mert a hurokból kimarad a kimenőtrafó szórt inductívítása, és ez egy pólus kevesebbet jelent a hurokban. Hátrányuk tűnhet viszont, hogy a transzformátorok magasfrekvenciás átvitelét a vázolt visszacsatolási mód nem javítja. Ez pontosabban úgy igaz, hogy a felső határfrekvenciát alacsony teljesítményeknél ez az elrendezés nem javítja. A teljesítmény-sávzsélességet (a nagyobb teljesítmény mellett mérhető sávzsélességet) a visszacsatolás

amely sem képes javítani. Mivel ennél a konstrukciónál a hangszínyt a teljesítmény-sávzsélesség növelésére fektettem (a kisteljesítményű sávzsélesség ennél úgyis csak nagyobb lehet) ezt nem tekintettem hátránynak. A teljesítmény-sávzsélesség egyedül a kimenőtranszformátortól függ, megfelelő minőségű kimenőtranszformátort kell tehát készíteni.

Rejtélyesnek tűnhet a végsővek ségdrácsa és katódja közé kapcsolt kondenzátorok szerepe. Ezekre nem volna szükség, ha a kimenőtranszformátorok ideális transzformátorok lennének, azaz a tekercseiknek nem volna rézellenállása. Mivel nem ez a helyzet, úgy képzelhetjük el, hogy a segédtrafócsok és az ideális trafó között egy ellenállás van, melyen a vezérlés folyamán olyan váltófeszültség keletkezik, melynek fázisa az anódon keletkező feszültség fázisával megegyezik, a katódfázisával pedig ellenkező. Ennek következtében a cső hatásfoka csökken, közelebb kerül a trióda hatásfokához. Ezt a nemkívánatos effektust szüntetik meg a segédtrafócsok és katódközé kapcsolt kondenzátorok.

A minőség záloga: a jó kimenőtranszformátor

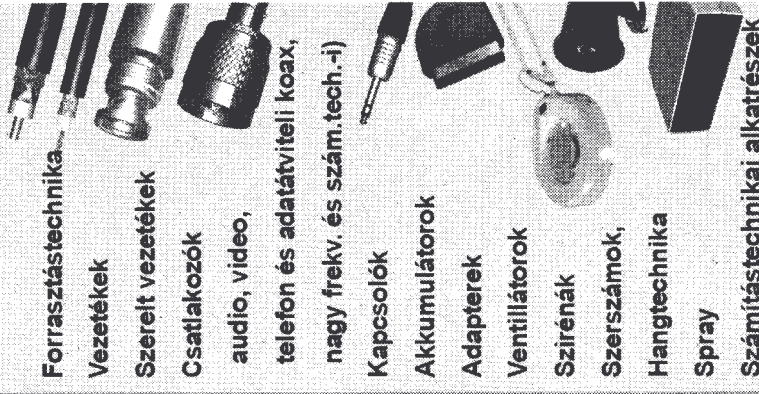
Egy csöves végerősítő legdrágább és az erősítő minőségét leginkább meghatározó alkatrésze a kimenőtranszformátor. A kimenőtranszformátor körül eléggé nagy volt a „sötétség” a csöves erősítők hőskorában, úgy



1. ábra

GAMMA ELECTRONICS

ELEKTRONIKAI ALKATRÉSZ KERESKEDEÉS



Forrasztástechnika

Vezetékek

Szereleit vezetékek

Csatlakozók

audio, video,

telefon és adatátviteli coax,

nagy frekv. és szám.tech.-i)

Kapcsolók

Akkumulátorok

Adapterek

Ventillátorok

Szirénák

Szerszámok,

Hangtechnika

Spray

Számitástechnikai alkatrészek

Kizárólagos Magyarországi képviselet:

FAHRENHEIT

LESLIE KENT

UP CROWN

MAXWELL

M.N.C

ProbsKit

Servitol

YELLOWSTONE

T.M.

Forrasztás technika

Forrasztó ónók

Multiméterek

Hangtechnika

Szerszámok

Spray-k

Akkumulátorok

Szirénák

www.gamma-e.com

VISZONTELADOK KISZOLGALASA

GLOBIZ INTERNATIONAL KFT.

4030 Debrecen, Mikepersci út 132.

Telefon: 06-52 50 30 50, 50 30 55 • Fax: 50 30 55

KISKERT INFOVONAL - 06-32 50 30 32

30...40 évvel ezelőtt is. A félvezetős erősítőknél már nem probléma a kimenőtrafó, így a témában sokat felejtünk. Mindezek következtében szerintem helyénvaló a kimenőről bővebben szót ejteni. A következők természetesen nemcsak a jelen erősítő kimenőire vonatkoznak, hanem igazak minden ellenütemű (nem előmágnesezett) kimenőtranszformátorra.

Az irodalomban sokféle, olykor megtévesztő dolog olvasható erről a témáról. A számomra hozzáférhető legégettebb analízis *Vajda Zoltán* könyvében (*Természethű hangátvitel, Műszaki Könyvkiadó, 1961.*) olvasható, ezt veszem alapul.

A kimenőtranszformátor határozza meg egy erősítő teljesítmény-sáv szélességét. Hiába vonjuk be a negatív visszacsatoló-hurokba a kimenőtrafót, a vég-erősítőcsövek által leadott maximális teljesítményt a visszacsatolás nem képes fokozni. Alacsony kimenőteljesítmények esetén viszont a visszacsatolás képes a sáv szélesség növelésére, hiszen a végcsövekben ez esetben van még teljesítménytartalék. Ezért szokásos a csöves végfokozatok átviteli sávját 1 W kimenőteljesítménynél (és ezt a tényt többnyire elhallgatva) specifikálni.

A teljesítmény-sáv szélesség azt jelenti, hogy megadjuk, milyen frekvenciahatárokon belül adja le az erősítő – névleges torzítási tényező mellett – legalább a névleges kimeneti teljesítmény felét (-3 dB). Esetünkben harmonikus torzítás-határnak a csöves erősítőknél szokatlanul szigorú 0,1%-os határt vettem alapul annak érdekében, hogy a félvezetős erősítők hasonló adatához közelebb kerüljünk.

A mindent eldöntő szórás tényező

Mi határozza meg egy kimenőtranszformátor sáv szélességét? Így is felte-

hetjük a kérdést: mi határozza meg, mekkora sávban biztosít a kimenőtranszformátor optimális illesztőellenállást a végerősítőcső számára? A kimenőtranszformátor helyettesítő képből megállapítható, hogy az alsó határfrekvenciát a kimenőtranszformátor primer induktivitása, a felső határfrekvenciát (az önkapacitást most elhanyagolva) a szórt induktivitás határozza meg. A szórt induktivitás a szórás tényező és a primer induktivitás szorzata. A szórt induktivitás és primer induktivitás hányadosa tehát a szórás tényező, mely 1-nél kisebb szám, 100-zal szorozva és százalékban kifejezve is szoktuk használni. Ez a kimenőtrafó „szórása”. (Egy transzformátor szórt induktivitását egyébként úgy határozhatjuk meg, hogy rövidrezárt szekunder mellett mérjük meg a transzformátor primer induktivitását.)

Az is könnyen igazolható, hogy egy kimenőtranszformátor alsó és felső határfrekvenciájának aránya első közelítésben a szórás tényezővel egyezik meg. Egy kisebb méretű, hagyományos, teletekerelt transzformátor szórása 2 - 3% körül van, ha a szekunder van felül; valamivel jobb a helyzet, ha a szekunder alul helyezkedik el. Ez azt jelenti, hogy az átviteli sáv alsó és felső határfrekvenciájának aránya 2,5%-os szórással számolva kb. 1 : 40, pl. 100 Hz alsó határfrekvencia esetén a felső határfrekvencia 4000 Hz. Nem valami vigasztaló helyzet, ugye? Csökkentenünk kell tehát a szórást. Mitől függ egy transzformátor szórás tényezője? A transzformátor tekercsének geometriájától, vagyis a tekercs alakjától, a tekerelés módjától. Ez azt is jelenti, hogy a vasmag csak annyiban szól bele az átviteli sáv szélességébe, hogy milyen tekercs helyezhető el rajta, azonos geometriai méretet feltételezve (szabvány méretek) mind-

egy, hogy szilíciumos vagy hiperszil anyagú-e a vasmag.

Részletesebben vizsgálva a kérdést, kiderül, hogy a szórás tényező fordítottan arányos egy tényezővel, mely a tekeréscsúszások kimenőtrafóknál szokásos tekeréscsúszásaitól függ (részletesebben a hivatkozott Vajda-könyvben) és arányos egy „karcsúsági tényezővel” is, vagyis annál kisebb, minél hosszabb, és minél alacsonyabb a transzformátor tekerése. Ezért nem szokták a kimenőtrafók ablakát teletekeréselni, mert az így keletkező karcsúbb tekerés kisebb szórást eredményez.

Egyszerűen kivitelezhető kimenőtranszformátor tervezése volt a cél, és így nem a tekeréscsúszás módszerét követtem, hanem úgy vettem fel a kérdést, hogy van-e olyan transzformátorkivitel, melynek tekerése „karcsú”? Igen, van és ez a *toroidtranszformátor*, melynek hosszú, alacsony, tehát karcsú tekerése van. Egy gyári 230/12 V-os toroid hálózati trafót megvizsgálva 0,1%-os szórást találtam, ami 25-ször jobb, mintha ez a trafó hagyományos felépítésű lenne. Ha mindehhez hozzávesszük, hogy a választott kapcsolatban a két kimenőtranszformátor szórt induktivitása párhuzamosan kapcsolódik és így olyan helyzet adódik, mintha a kimenőnek fele akkora szórása volna, a dolog igen biztató.

A teljesség kedvéért meg kell említeni, hogy a helyzet nem teljesen felhőtlen. Akár tekeréscsúszással, akár „karcsúsággal” csökkentjük a szórást, növekszik a kimenőtranszformátor önkapacitása. A szórást az említett módokon csökkentve az önkapacitás annyira megnöhet, hogy már nem a szórt induktivitás határozza meg a felső határfrekvenciát, hanem a primer tekerés önkapacitása, vagyis egy „pőzna vége” helyzet alakulhat ki.

Összességében megállapíthatjuk, hogy néhány kapcsolástechnikai fi-



100 V-OS VONALI HANGRENDSZER TELJES KÍNÁLATA

Erősítők, keverő-erősítők, álmennyezeti hangszórók, hangdobozok,
kültérre és beltérre egyaránt alkalmas tölcserés hangszórók,
hangoszlopok, asztali mikrofonok széles választékban.







Nagykereskedelem:
Monacor Hungária Kft.
 1135 Bp., Reitter Ferenc u. 7.
 Tel.: (1)-329-2418,
 Fax: (1)-329-2231
<http://www.monacor.hu>,
 e-mail: info@monacor.hu

Telepítők
 jelentkezését várjuk!

Kereskedőpartnereink: Budapest: Hangtechnika Kft. T: (1)-250-3725; HQ Video Elektronika Kft. T: (1)-239-3266; Bagod: Syncopa Bt. T: (92)-560-036;
 Békés: Electric Áruház Kft. T: (66)-411-650; Debrecen: Bernád Hangt. T: (52)-444-227; Győr: Audio-Video Szerviz és Szaküzlet T: (96)-400-624; Kiskőrös: Jancsovics S.
 T: (78)-311-571; Miskolc: Elektronika Kft. T: (46)-413-118; Nyíregyháza: Univox Kft. T: (42)-506-173; Pécs: R. A. R. Kft. T: (72)-327-959; Salgótarján: Front Stúdió Kft.
 T: (32)-310-702; Székesfehérvár: Sulitech 97. Kft. T: (22)-329-646; Szombathely: Elektrodoctor Kft. T: (94)-331-577

