

Az elektroncsövek lenyűgöző hangzása

Eric Barbour, SVETLANA Electron Devices

Az IEEE SPECTRUM 1998. augusztusi számában egy érdekes, figyelemre méltó cikk jelent meg a fenti címmel. Bár a cikk, ugye, nem tegnap jelent meg, – de talán ezért is –, a hazai fonoamatőrök számára minden bizonnyal nemigen elérhető. A cikk magyar változatát itt adjuk közre Tóth Gábor fordításában.

Bár a szilárdtest technológia elsősorban dominál a mai világ elektronikai iparában, az elektroncsövek még mindig jelen vannak két teljesen különböző, szűk, de nem elhanyagolható területen. A két területen az okok teljesen különbözőek. A mikrohullámú technikában a csöveknek még mindig nincs versenytársuk, köszönhetően a nagy nagyfrekvenciás teljesítményt nyújtó képességüknek. A másik terület – a zenei hangzás létrehozása és reprodukálása – egy ennél sokkal bonyolultabb és vitatottabb kérdés.

A bonyodalmak és viták abból erednek, hogy a zenét az emberek számára szolgáltatják, akiknél a nem lineáris fül-agy hallórendszer működése igen messze van attól, hogy teljesen világosan

megértsük. Mivel senki sem tudja biztosan, hogyan kell modellezni az emberi hallószerv működését, senki sem tudja, hogyan kell mérni és minősíteni a hangtechnikai berendezést. Egy kevés bizonyos fajta torzítás rosszabbul hathat a hallgatóra, mint egy nagyobb mértékű másfajta torzítás. Így végül is nem marad más hátra, mint meghallgatással minősíteni az audio rendszert. Ebből ered a vita: a szubjektív emberi észlelés – különösen, ha belekeverednek művészi szempontok is – szinte a vitára és okoskodásra van ítélve.

Röviden a lényegre mutatva, egy kereskedelmileg jelentős vásárló réteg úgy találta, hogy három területen jobban preferálja a csöves berendezések által szolgáltatott hangot:

- Hangszer erősítők (főként gitárerősítők)
- Néhány, a stúdiótechnikában használatos berendezés
- Az úgynevezett High-end berendezések, a kicsi, de növekvő audiofil piac.

Ezeken a területeken a hajdan vevőcsövekként ismert, de ma csak egyszerűen csöveknek nevezett vákuum-elektronikai eszközöket alkalmazzák. Nemcsak dacol a csövek felhasználása ezeken a területeken a félvezetőkkel, hanem az 1990-es évek folyamán még tovább terjeszkedik is.

A mai vákuum-elektronikai eszközök uralmuk alatt tartják a 100 millió USA \$-os gitárerősítő világpiacot. Egy durva becslés azt mutatja, hogy a hangszererősítő és High-end berendezésekben alkalmazott csövek iránti igény a 80-as évek eleje óta évi



10%-os növekedést mutat lanyulás nélkül, még az 1991-1992-es recesszió idején is.

Érdekes, hogy az audio csövek iránti igények nagy része nem az USA-ból, hanem Ázsiából ered. Japánban, Taiwanon és főleg Kínában a csöves berendezések kultikus tiszteletet vívtak ki maguknak, és az ősi amerikai és európai csöves berendezések és gitárok a gyűjtők megbecsült értékei.

Miért csövek – szubjektív alapon

A csöves hangtechnika az említett három területen kölcsönösen össze nem egyeztethető, és egymást nem befolyásoló területnek tűnik, még akkor is, ha mindhárom terület egyenesen a



zenei hangzás létrehozását és visszajátszását szolgálja. Gyakran látható, hogy a népszerű EL34 teljesítménypentóda fordul elő a gitárerősítőben, és a high-end készülékben is. Sőt, a két különböző berendezés áramköri topológiája gyakran igen hasonlít egymásra, ha nem azonos.

A gitárerősítők a világ csőtermelésének háromnegyedét használják fel. Ez nem is meglepő, mivel a csöves gitárerősítők rendíthetetlenül ülnek a rock-and-roll világ trónján. Ebben az esetben az 1950-es és 60-as évek korai csöves erősítőinek jellegzetes hangzása – a jelentős torzításukkal – ebben a zenei világban szabványt teremtettek a zenészek körében. Ezekben az években, az USA-ban és Nagy-Britániában bekövetkező kulturális devianciák zenészei egyenesen ezt a hangzást kedvelték, köszönhetően az erősítő jellegzetes nemlinearitásának, relatíve egyszerű felépítésének, és annak, hogy nem tartalmazott (vagy csak nagyon kis mértékben) negatív visszacsatolást.

Amint azt több gitárerősítő technikával foglalkozó könyvben és folyóiratban (*Guitar Player*, *Guitar World*, *Vintage Guitar*) is leírták és olvasható az interneten is (alt. guitar. amps), az 50-es évek csöves erősítőinek vágási torzítása és más mesterséges hangzási tulajdonsága előfeltételévé vált a megfelelő zenei hangzásnak.

Egy erősítő érdemeiről beszélve a vágási torzítás egy fontos sarokpontnak látszik, amit gyakran olyan lágynak írnak le, mint egy rézfúvós hangszer hangja. A kimeneti transzformátor telítési torzítása szintén jelentős szerepet játszik az erősítő hangzásának meghatározásában. Egy másik paraméter – nevezetesen a beütésre való érzékenység – az áramköri nemlinearitásokból és az anódtápegység gyenge szabályozásából ered.

Szintén a csövek javára írható, ámbár nem vita nélkül, hogy lehetővé válik egy vezérelt, úgynevezett végtelen hang-kitartási effektus (infinite sustain effect),

amit a gitárhúrok és a hangszórók közötti akusztikus visszacsatolás következtében a jel útjába kerülő erősítő jelkomprimálási tulajdonsága okoz. Ez a jelenség a zenészek körében jól ismert, és nagyon nehéz félvezetős erősítővel reprodukálni. Az a sok tervező, aki az elmúlt 30 évben cső-szimulátorok építésével próbálkozott, csak változó zenei és üzleti sikert mondhat magáénak. Az ilyen berendezéseknek vannak ugyan támogatói, de az amatőr és profi gitárosok többsége inkább a csöves erősítőkre szavaz.

Amint azt *Richie Fliegler*, a Fender Musical Instruments Corporation alelnöke írta egy privát levelében, „Ami engem illet, az nem kérdés, hogy a csöves elektronikának nincs helyettesítője.”

Ez a fajta gondolkodás hatással volt a professzionális felvevő és keverő berendezések világára is. 1985-től kezdve néhány stúdiómérnök nosztalgikus vonzódást kezdett érezni az úgynevezett „lágý” és „euforikus” elektroncső hang iránt, – valószínűleg a korábbi gyakorlatukban előforduló régi csöves berendezések ismerete alapján. A cső-rajongók többnyire párhuzamba állítják a csövek „lágý” hangját a modern



digitális felvételek nyers, durva hangzásával (amelyhez igen sok köze van a berendezésekben nagy számban megtalálható elektrolitikus csatoló kondenzátoroknak és olcsó műveleti erősítőknél). Mindenféle érvelés ellenére a stúdiómérnökök elkezdtek a 1947...1970-es évekből származó ősi csöves kondenzátormikrofonokkal, keverőkkel, limiterekkel és equalizátorokkal kísérletezni. Ennek két eredménye lett: az ősi csöves berendezések árai az égbe emelkedtek, illetve sok kis magáncég alakult a különféle tervezési elméletek szerint tervezett csöves berendezések gyártására.

Miért a csövek – objektív alapon

A néha gúnyos és megtévesztő vélemények ellenére, amelyekkel a csöves berendezések „mágikus hangzását” jellemzik egyesek, vannak valóban nagyon is hozzáértő villamosmérnökök, akik igenis komoly előnyöket fedeztek fel a csöves berendezésekben. Egy példa erre *John Atwood*, aki a One Electron Co, Santa Clara, Calif. vállalat mérnök-tulajdonosa. Ő korábban alkalmazás-specifikus és más integrált áramköröket tervezett, és ezt a szakmát cserélte fel teljes munkaidőben csöves elektronikai hobbiával.

Atwood véleménye a következő: a csöves és félvezetős berendezések hangzása közötti különbség a két fajta elektronikában alkalmazott alkatrészek fizikai tulajdonságainak különbségéből, és a különböző áramköri topológiából ered. A lineáris (trióda) elektroncsöveknek alacsonyabb teljes torzítása van, mint a tranzisztoroknak vagy FET-nek, és a torzítási termékek alacsonyabb rendűek. ... Tulajdonképpen a csövek határolási karakterisztikája nem sokkal lágyabb, mint a félvezetőké, de a félvezetős elektronikákban alkalmazott visszacsatolás „négyesgösesíti” a karakterisztikát, így a nagymértékű visszacsatolás rosszabbá teszi a legtöbb félveze-

tős berendezés túlvezérlési karakterisztikáját.

„A alacsony szintű vagy nulla visszacsatolással megépített berendezést jobban ki lehet vezérelni, hallható torzítás nélkül”. Atwood így folytatja: „Erős negatív visszacsatolás tranzienst intermodulációs torzításhoz (TIM) vezet a hurkon belüli limitált jelváltozási sebesség (Slew rate), vagy vágás (clipping) miatt”.

A vágási torzítás nem az egyetlen probléma. Félvezetőkben a karakterisztika hőmérséklet okozta jelentős változása együtt a relatíve alacsony maximális működési hőmérséklettel arra kényszeríti a tervezőket, hogy a disszipációt alacsony szinten tartásuk által, hogy a B-osztályú beállítást használják. Sok megvalósításban az eredmény a hallható keresztvezési torzítás, amit gyakran meg sem említene az adatlapokon, a publikált specifikációkban. Az ilyen adatlapok tipikusan a teljes teljesítménynél mért adatokat tartalmazzák, ahol a keresztvezési torzítás minimális. A kereskedelmi elektroncsöves erősítők beállítása A- vagy AB-osztályú, amelynek jelentősen alacsonyabb torzítása van kis jelszintnél is.

Egy másik audió specialista, *Bruze Rozenblit*, a Transcendent Sound Co. Kansas City, Mo. tulajdonosa – és a csöves erősítők jól ismert tervezője – úgy látja, hogy a csöves berendezések hangzásában fő szerepet játszik a kimenőtranszformátor. „A melegség, amely a nagy mennyiségű másodrendű harmonikus torzítás jelenlétéből és a transzformátoron átvitt jel alacsony jelváltozási sebességéből ered, egyfajta színezést okoz, amit simító jelenségként lehet leírni. ... a transzformátor egy nemlineáris elem, amely a jelben az idő- és frekvenciatartományban változtatásokat végez, ezzel megváltoztatva a hangot.”

Bill Whitlock, a Jensen Transformers Inc., Calif. elnöke hasonló véleményen van: „A csövek észrevehető előnyeinek többsége a kimenőtranszformátorból (ami gyakran együtt jár a csöves erősítővel) ered. A harmonikus

torzítás meglehetősen nagy is lehet, akár 1% vagy több, de szinte kizárólag alacsonyrendű (második és harmadik felharmonikus). A transzformátor torzítása frekvenciafüggő, mégpedig olyan módon, ami más torzításnál nem fordul elő. Intermodulációs torzítás (IM) keletkezik, amikor egy alacsony frekvencia a csatornán ugyanabban az időben áthaladó magasabb frekvencia erősítését modulálja. Az emberi fül sokkal érzékenyebb erre az intermodulációs torzításra, mint a teljes harmonikus torzításra (THD). Elektronikus áramkörökben az ember azt várja, hogy az IM háromszor-négyeszer nagyobb, mint THD. Ezzel szemben a transzformátor IM torzítása harmada-negyede a harmonikus torzításnak.”

A félvezetős erősítőkről beszélve, Whitlock azt állítja, hogy azok minősége „... függ a nagy negatív visszacsatolástól, amely minden paramétert befolyásol, beleértve a keresztvezési torzítást is. A műveleti erősítők nyílthurkú átvitelének torzítása tipikusan 20% és 70% között van. A rendszer stabilitása viszont azt követeli meg, hogy a nyílthurkú erősítés 6 dB/oktáv szerint csökkenjen. Ez azt jelenti, hogy a műveleti erősítőnek a hangfrekvenciás tartomány felett már nincs megfelelő erősítéstartaléka a saját torzítás csökkentésére. Ezek a hangfrekvencia feletti jelek a torzítási termékekkel együtt aztán további THD és IM torzítást hoznak létre a következő fokozatban. Ez az intermoduláció hallható, de nem-harmonikus termékeket hoz létre, amelyek megfertőzik az alapzajt, és elmoszák a zene legfinomabb és legkényesebb részleteit.”

Miután sok mai analóg tervező azt állítja, hogy a csövek eleve zajosak, Atwood éppen az ellenkezőjét állítja: „A hangfrekvenciás tartományban az 1/f zaj dominál a söréztaj felett, és jelentősen változik eszközről-eszközre”, és a következőt vette észre: „Ézért az eszközt alacsony 1/f zajra kell válogatni, ámbar a mikrofónia a csöveknél valóban probléma”.

Whitlock álláspontja kissé különbözik az előzőtől: „A nagyobb tápfeszültség egyrészt ugyan valóban megnöveli a dinamikatartományt, másrészt a csövek az audio tartományban zajosabbak (a transzformátor segítségével nélkül).” Atwood azzal a megjegyzéssel kommentálja az előbbi véleményt, hogy ez csak a kisimpedanciás, alacsony jelszintű jelforrásnál, mint néhány (nem kapacitív) mikrofon, igaz.

Az aktív elemek tulajdonságaihoz még hozzájárul a csövekkel együtt felhasznált passzív komponensek hatása is. Atwood véleménye szerint az alacsony impedanciás tranzisztoros áramkörök nagy értékű csatoló kondenzátorok felhasználását kívánják meg, amelyek szükségszerűen elektrolitikus kondenzátorok. A magas dielektrikus abszorpció, pontatlan nagyfrekvenciás karakterisztika, az elektrolitikus kondenzátorokat előnytelen elemmé teszi a hangfrekvenciás sávban, összehasonlítva a csöves áramkörökre jellemző, jó minőségű film-kondenzátorokkal, melyeket a fokozatok csatolására használnak. „Miközben igenis lehetséges félvezetős áramköröket elektrolitikus kondenzátorok nélkül építeni, azt ritkán teszik meg” – mondja Atwood.

Whitlock azt mondja, hogy ő úgy érzi, az elektrolitikus kondenzátorokkal valójában alacsony frekvencián van a baj: „A fő probléma a dielektrikus hiszterézis, amely alacsony frekvencián nagy harmonikus torzítást okoz, mivel itt állandóan nagy feszültségváltozás van a kapacitáson.” Whitlock azt is mondja, hogy a közvetlen csatolás a legkívánatosabb séma, akár csőről, akár félvezetőről van szó.

Hasonló nézetten vannak a gitárerősítő-tervezők is. *Rick Perrotta*, aki hosszú ideig hangmérnök volt, és mellest a Matchless Amplifiers, Santa Fee Springs, Calif. cég társalapítója, azt mondja, hogy amikor egy transzformátor telítésbe megy, akkor egy kompressziós hatás jön létre. „Ha valaki azt mondja, hogy egy különleges gitárerősítőnek