

D-osztályú erősítők – mi, miért és hogyan?

By Eric Gaalaas [eric.gaalaas@analog.com], Fordította: Tóth Gábor

Az először 1958-ban publikált D-osztályú erősítők mostanában (2006!) növekedő népszerűséget vívtak ki maguknak. De mi is az a D-osztályú erősítő? Hogyan viszonyulnak más beállítású hangfrekvenciás erősítőkhöz? Hogyan kerül a D-osztályú beállítás az audio sávba? Mi kell a „jó” D-osztályú erősítőhöz? Melyek az AD (Analog Devices) D-osztályú audio áramkörök jellegzetes tulajdonságai? A cikkben a fenti kérdésekre találunk választ.

Hangfrekvenciás erősítő háttérismeretek

A hangfrekvenciás erősítők feladata, hogy a bemeneti hangfrekvenciás jelet a szükséges hangerősségen és teljesítményen a kimeneti elektromechanikus hangnyomás-keltő eszközön pontosan, nagy határfokkal és kis torzítással reprodukálják. A hangfrekvenciás sáv közismerten 20 Hz...20 kHz közé esik, tehát erősítőnknek e sávon belül kiváló frekvencia-átviteli karakterisztikával kell rendelkeznie (persze kivételek a különféle sáv-limitált erősítők, például a basszus-erősítő, vagy magashang-sugárzó). A leadható teljesítmény széles határok között változik: néhány száz milliwatt a fejhallgató erősítőknél, néhány watt a TV, vagy PC audio alkalmazásoknál, néhányszor tíz watt a mini szobai sztereó audio, vagy az autó HIFI berendezésekben, akár száz (vagy több) watt a házi és professzionális berendezésekben, és még több a koncert-, színháztermeket, előadótermeket hanggal betöltő berendezésekben.

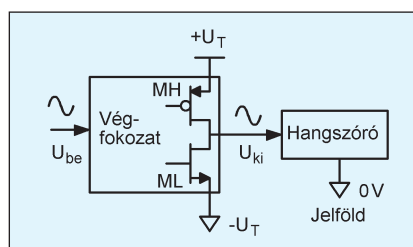
A hangfrekvenciás erősítő analóg megvalósítása lineáris üzemmódban működő végtranzisztorokat használ. A feszültség-erősítés mértéke rendszerint magas, legalább 40 dB. Ha ez az erősítés egy visszacsatolási hurok része, az egész hurokerősítés szintén igen nagy. Visszacsatolást a legtöbb erősítőben alkalmaznak, mivel a nagy hurokerősítés a minőség jelentős javulását eredményezi – csökkenti a jelét nemlinearitása által okozott jelentős torzítást, és elnyomja az erősítés tápfeszültség-ingadozás okozta változásait (PSR).

A D-osztályú erősítő előnye

A hagyományos erősítők végtranzisztorai azonnali, folyamatos kimeneti áramot képesek szolgáltatni. A hagyományos erősítők végfokozatainak lehetséges üzemmódja A-, AB- vagy B-osztályú. A D-osztályú erősítővel összehasonlítva ezen beállítások végfok teljesítmény-disszipációja igen nagy, legnagyobb a legelterjedtebb lineáris A osztályú beállításban. Ez a különbség adja a D-osztályú erősítők legnagyobb jelentőségét! A disszipáció csökkenése csökkenti a fejlesztett hőt, ezzel a nyomtatott áramköri lapok méretét, költségét, és hordozható rendszerekben megnöveli a telepek élettartamát.

Lineáris erősítők, D-osztályú erősítők és a teljesítmény-disszipáció

A lineáris erősítők kimeneti fokozatai közvetlenül a hangszórókra csatlakoznak (néhány alkalmazásban kondenzátoron keresztül). Ha bipoláris tranzisztorok vannak a végfokozatban, azok rendszerint nagy kollektor-emitter feszültséggel lineáris üzemmódban működnek. Ahogy az **1. ábrán** látható, a kimeneti tranzisztorok MOS tranzisztorokkal is helyettesíthetők.



1. ábra

Minden lineáris alkalmazásban jelen van a teljesítmény-disszipáció, mint veszteség, mivel U_{ki} előállítása elkerülhetetlenül nem nulla I_{ds} és U_{ds} alkalmazását követeli meg, akár egy tranzisztor alkalmazása esetén is. Persze, a disszipáció mértéke erősen függ a végtranzisztorok munkapont beállításától.

Az A-osztályú végfokozat csak egy darab tranzisztort (mint DC áramgenerátor) tartalmaz, olyan beállításban, amely legalább a hangszóró által igényelt legnagyobb hangfrekvenciás áram szolgáltatására képes. Nagyon jó hangminőség érhető el az A-osztályú beállítással, de persze ez hatalmas disszipációval jár, mivel jelentős nyugalmi áram folyik át a végtranzisztoron.

A B-osztályú beállítás kiküszöböli a nyugalmi áramot, és lényegesen kisebb disszipációs teljesítménnyel jár. A kimeneti tranzisztorok külön-külön vezéreltek el- lenütemben, a felső eszközt úgy vezérelve, hogy pozitív áramot pumpáljon a hangszóróba, míg az alsó eszközt úgy vezérelve, hogy negatív áramot vegyen ki a hangszóróból, és felváltva. Megjegyzendő, hogy a B-osztályú erősítők hangminősége elég gyenge, annak a nemlinearitásnak köszönhetően, ami akkor jelentkezik, amikor a kimeneti áram a nulla értéken átvált. Ilyenkor a kimeneti tranzisztorok hirtelen átváltanak a be-, illetve kikapcsolt állapot között, és fordítva (keresztvezési torzítás).

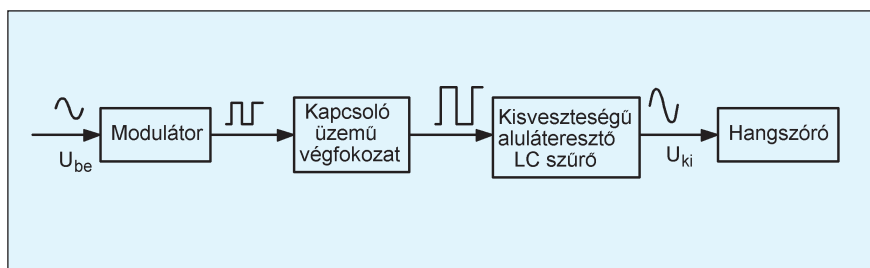
Az AB-osztályú beállítás egy kompromisszum az A- és B-osztály között, mivel valamennyi nyugalmi áram folyik a végtranzisztorokon, de korántsem annyi,

mint az A osztályú beállításban. A kis nyugalmi áram ahhoz elegendő, hogy a keresztelési torzítást kiküszöbölje, és ezzel jó hangminőséget biztosítson. A disszipáció az A- és B-osztályú beállítás értékei között van, de közelebb van az B-osztályhoz, mint az A-osztályhoz. A B-osztályú beállításnál megszokott kapcsolási elrendezéshez nagyon hasonló kapcsolástechnika szükséges ahhoz, hogy az AB-osztály is jelentős kimeneti áramot tudjon biztosítani.

Sajnos, még a jól megtervezett AB-osztályú erősítőknél is jelentős disszipációjuk van, mivel a közepes kimenőfeszültség is még nagyon messze van a pozitív vagy negatív tápfeszültség-határoktól. Ezért a nagy $I_{ds} \times U_{ds}$ szorzat jelentős pillanatnyi disszipációt eredményez.

A teljesen más topológiából következően a D-osztályú (2. ábra) erősítő lényegesen kevesebb teljesítményt disszipál, mint a fentiek. A D-osztályú kimeneti fokozat tranzisztorai a pozitív és a negatív tápfeszültség között kapcsolgatnak úgy, hogy egy folyamatos impulzus-sorozatot állítanak elő. Ez a hullámforma nagyon kellemes a disszipáció szempontjából, mert a kimeneti tranzisztoroknak közel nulla az árama, amikor nem vezet, és alacsony az U_{ds} feszültsége, amikor bekapcsolt állapotban van. A kettő közötti átmeneti állapot pedig nagyon rövid idejű, ezért az $I_{ds} \cdot U_{ds}$ szorzat átlaga mindig alacsony.

Persze a hangfrekvenciás jelek nem impulzus-sorozatok, ezért egy modulátort kell alkalmazni, amely az audió jelet az impulzus-sorozatba konvertálja. Az impulzus-sorozat frekvencia tartalma magában foglalja a hasznos audió jelet, de sajnos egy nagy energiájú frekvenciát is, amely a modulációs eljárás terméke.



2. ábra

Ezért egy aluláteresztő szűrőt kapcsolnak legtöbbször a kimeneti fokozat és a hangszóró közé, hogy minimalizálják az elektromágneses interferenciát (EMI) és ezen kívül azért, hogy megóvják a hangszórót a túl nagy energiájú magas frekvenciás jelkomponenstől. A szűrőnek (3. ábra) veszteségmentesnek (vagy majdnem annak) kell lennie, hogy megőrizzük a kapcsolóüzemmódú kimeneti fokozat előnyét a disszipáció terén. A szűrő rendszerint induktivitásokat és kondenzátorokat tartalmaz, ebből következően az egyetlen teljesítményfelvevő elem a hangszóró marad.

A 4. ábra segítségével egy adott hangfrekvenciás szinuszzel mért, A- és B-osztályú ideális kimeneti erősítőfokozat disszipációs teljesítménye (P_{DISS}) és az AD1994 integrált D-osztályú erősítő mért disszipációja válik összehasonlíthatóvá, a hangszóróba leadott kimeneti teljesítmény szerint paraméterezve. A teljesítményskala arra a maximális $P_{LOADmax}$ kimeneti teljesítményre normalizált, ahol a szinuszjel eléggé vágásba kerül ahhoz, hogy a torzítása elérje a 10%-os harmonikustorzítást (THD) (Clipping). A függőleges vonal jelenti azt a P_{LOAD} határt, ahol a vágás kezdődik.

A kimeneti teljesítmény széles tartományában jelentős disszipá-

ciókülönbség látható, főleg a magas, és közepes teljesítménytartományban. A vágás kezdetén a D-osztályú erősítő disszipációja közel 2,5-szer kisebb, mint a B-osztályú, és 27-szer kisebb, mint az A-osztályú erősítőnél. Vegyük észre, hogy a magas DC nyugalmi áram következtében sokkal több teljesítményt kell beadni az A-osztályú erősítő végfokozatába, mint amennyi a hangszóróra jut.

A kimeneti fokozat hatásfokának (Eff) definíciója, a következő:

$$Eff = P_{LOAD} / (P_{LOAD} + P_{DISS})$$

A vágás kezdetén A-osztályú erősítőben $Eff = 25\%$, a B-osztályú erősítőben $78,5\%$, és a D-osztályú erősítőben 90% (5. ábra). Ezeket a legjobb, A- és B-osztályú erősítőkre vonatkozó ideális (elméleti) értékeket gyakran idézik a szakirodalomban.

A disszipációban és a hatásfokban meglévő különbség csak nő közepes teljesítményeknél. Ez az audió rendszereknél nagyon fontos, mivel a hangos zenei jel hosszú idejű átlagteljesítménye sokkal kisebb (a szorzó 5-től akár 20-ig is terjedhet, a zenei anyag függvényében), mint a pillanatnyi csúcsteljesítmény, amely megközelíti a $P_{LOADmax}$ értékét. Így hangfrekvenciás erősítőben [$P_{LOAD} = 0,1 \cdot P_{LOADmax}$] az az ésszerű átlag-



Ageta méréstechnika



FLUKE

Tektronix

Agilent Technologies

metrix

GW INSTEK

TTP

UNI-T

RIGOL

OWON

MÉRŐMŰSZEREK, OSZCILLOSKÓPOK, ANALIZÁTOROK, JELGENERÁTOROK, TARTOZÉKOK

Ageta Kft. <http://shop.ageta.hu> ; email: ageta@ageta.hu ; Tel.: 30/2564-288 ; Fax: 96/214-342