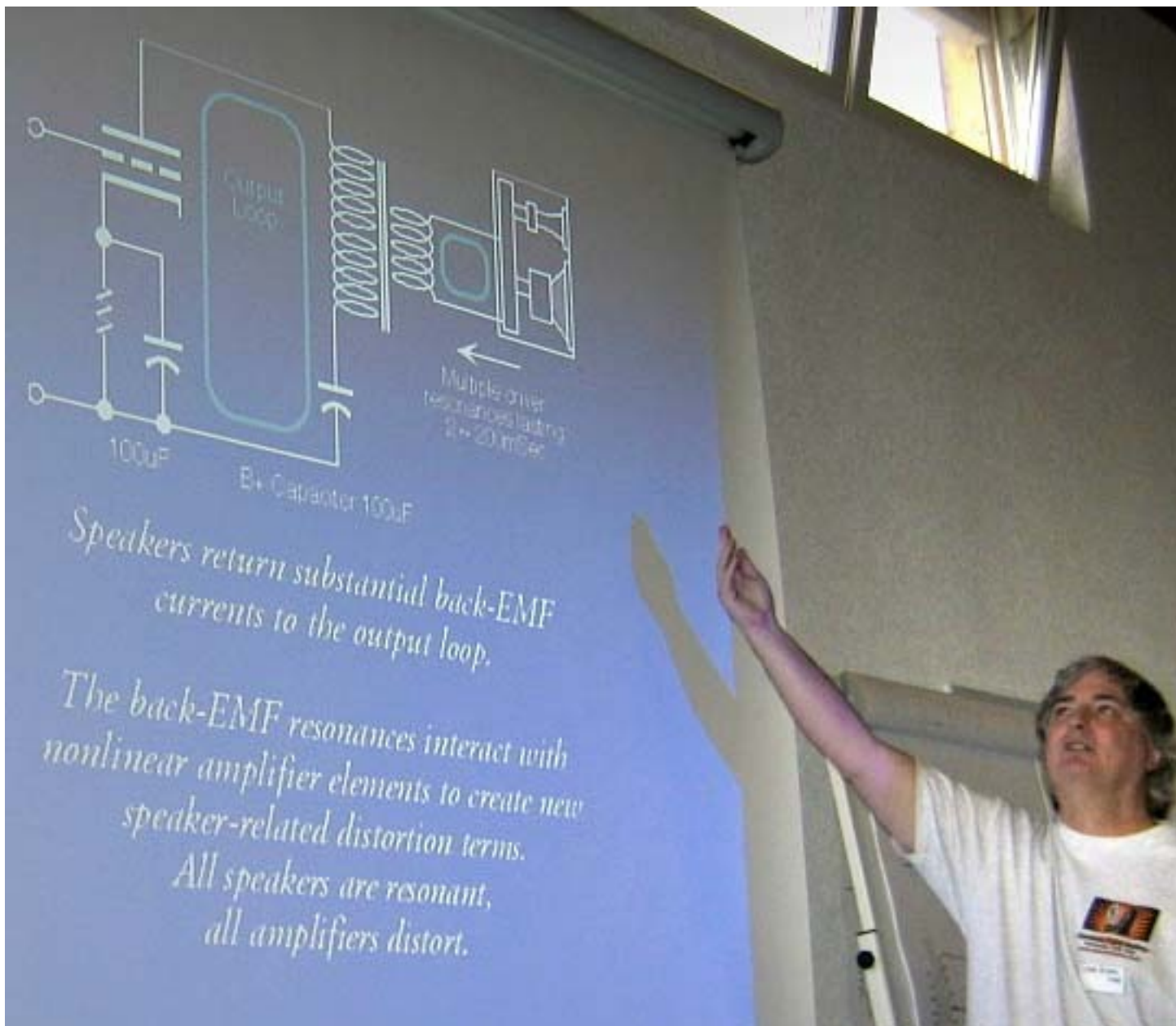


Európai Trióda Fesztivál Prezentáció

Lynn Olson



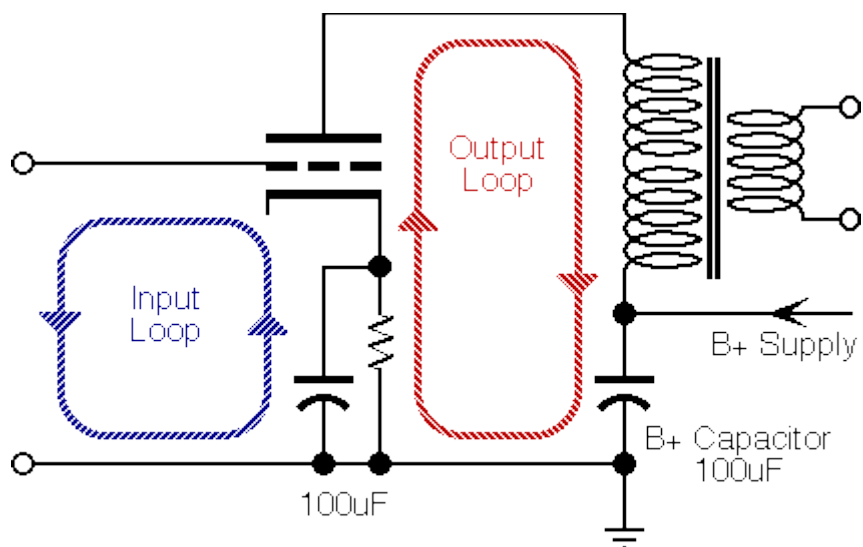
(Photo credit by Johannes LeBong)

Ez egy rövid összefoglaló a [2004-es Európai Trióda Fesztiválon](#) tartott nyitóbeszédéből, amely a „Bay Area Tube Fest”-en elhangzott korábbi prezentációra, valamint John Atwood, Gary Pimm és Mark Kelly további új kutatásaira épül.

Mivel a feszültséget könnyebb mérni, mint az áramot, sok mérnök és audiofil az erősítőn belüli úgynevezett „jelútra” gondol, akkor földhöz képest mérhető feszültségekre figyel. Az egyébként nehézkesebben mérhető áramokat általában figyelmen kívül

hagyják, különösen a föld vezetékben „visszatérő” áramokat. Márpedig áram nélkül nincs erősítés, és természetesen nincs teljesítmény sem a hangszórók meghajtásához. Általános iskolai fizika tananyag, zárt hurok szükséges ahhoz, hogy áram folyhasson.

A működő erősítő jelöltja egy zárt **áramkör**, amely összeköti a forrást és a fogyasztót. A lehető legegyszerűbb erősítő két külön áramkörrel rendelkezik egyik a bemeneti, másik a kimeneti.



Conventional SE

Az elektroncső differenciál bemenettel (rács, katód) és kimenettel (anód, katód) rendelkezik. Az egyes csomópontok impedanciái eltérőek, de a cső nem ismeri és nem törődik sem a ház, sem a bemeneti földdel. A földelés nem más, mint egy kényelmes alacsony impedanciájú összegző csomópont az áramkör tervezője számára, maga a cső egyáltalán nem igényel földelést, mivel csak a bemeneti közti különbséget érzékeli és a kimenete is differenciális.

Manapság a passzív komponenseket nem tekintjük automatikusan hang szempontjából láthatatlannak, ezért számolja össze a hurok minden részét, hogy megértse, honnan származhat az elszíneződés. Egy hagyományos SE erősítőben például a kimeneti

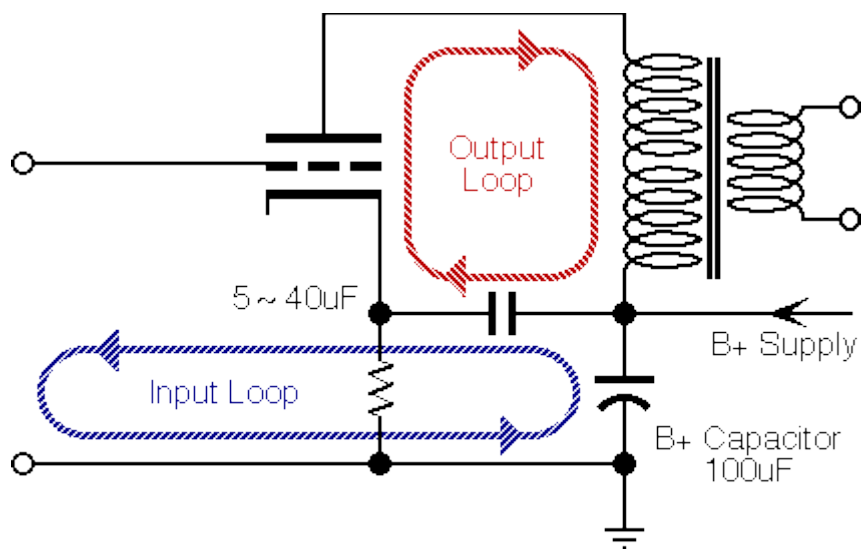
hurok anód → kimenő transzformátor → tápegység puffer kondenzátor → katód átblokkoló kondenzátor → végül visszatér a katódra. Ennek a huroknak minden eleme **közvetlenül** a jelútban van, és elszínezi/elszínezheti a hangot.

Sok áramkörben a tápegység (B+) szűrő kondenzátora és a katód átblokkoló kondenzátora ellentétes polaritású, eltérő értékű és eltérő feszültség tűrésű elektrolit kondenzátor. Mennyi esélye annak, hogy a kondenzátorok okozta elszíneződés valami varázslatos úton ebből a soros kondenzátor láncból?

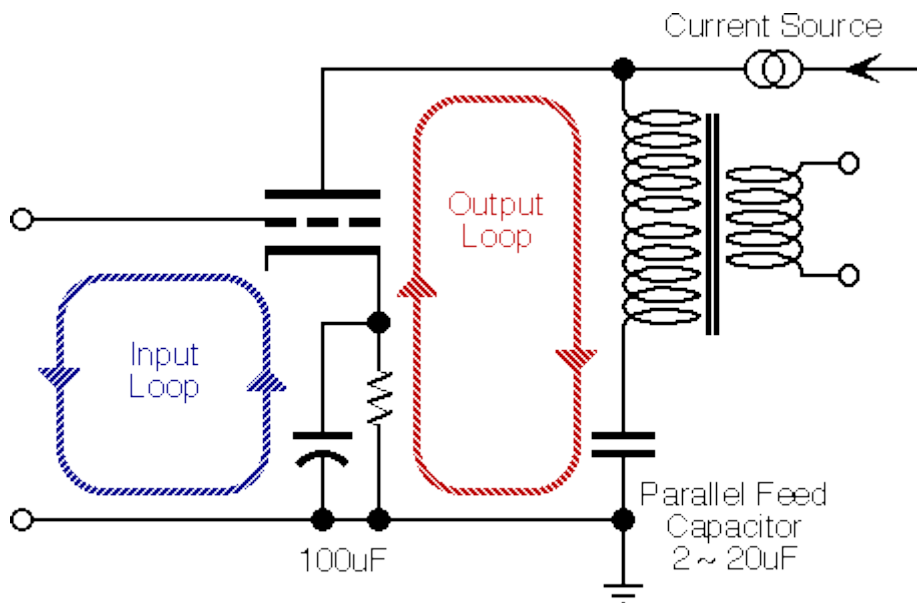
Ugyanez az elemzés vonatkozik a bemeneti oldalra is annak ellenére, hogy az áramok nagyon alacsonyak, a cső differenciális bemenetét továbbra is befolyásolják a cső és a forráskomponensek közötti soros részek. A cső nem a rácsán lévő jelet erősíti – a **potenciális feszültségkülönbséget erősíti** a rács és a katód között, így a katódoldali áramkör ugyanolyan fontos, mint a rácskör.

Az anód és a katód közötti **kimeneti hurokban** nagy hangfrekvenciás áramok folynak, míg a rács és a katód közötti **bemeneti hurok** árama nagyon kicsi (de nem nulla!). Mindkét hurok érzékeny a hurokban használt alkatrészekre: a triódára, a transzformátorra, a kondenzátorokra és nagyon valószínű, hogy magára a vezetékre is.

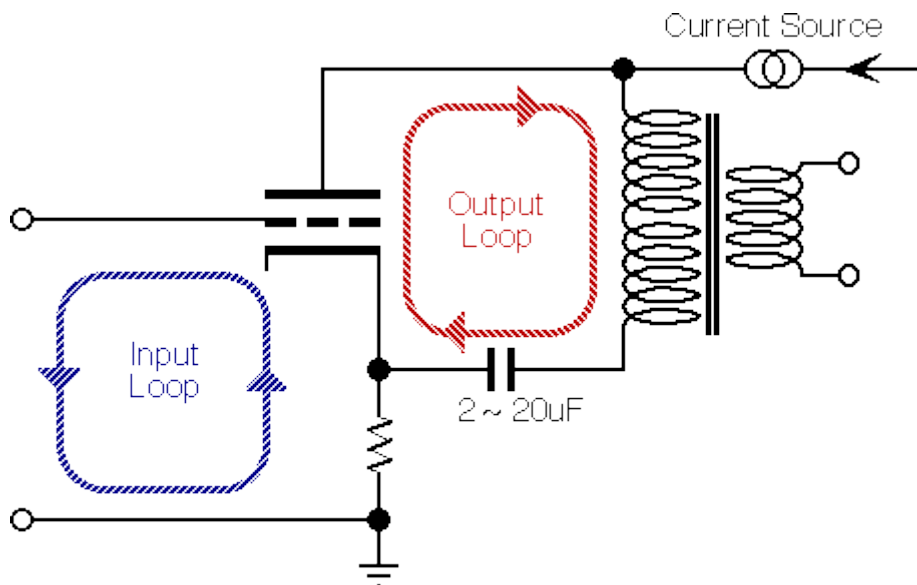
Az ismertetett áramhurkok szem előtt tartásával figyelje meg a következő topológiákat. Bár úgy tűnhet, hogy redundáns visszatérési útjaik vannak, ne feledje, hogy az áram nagy része mindig az alacsony impedanciájú áramköri elemeken fog folyni. Ez az alábbiakban bemutatott alternatív topológiák egyik elsődleges előnye. A hangfrekvenciás (AC) áramok már nem kényszerülnek át a tápegység (B+) gyenge minőségű kondenzátorán, így annak csak egy sokkal egyszerűbb feladatot kell ellátnia, azaz az egyenirányítóból érkező feszültséget simítja.



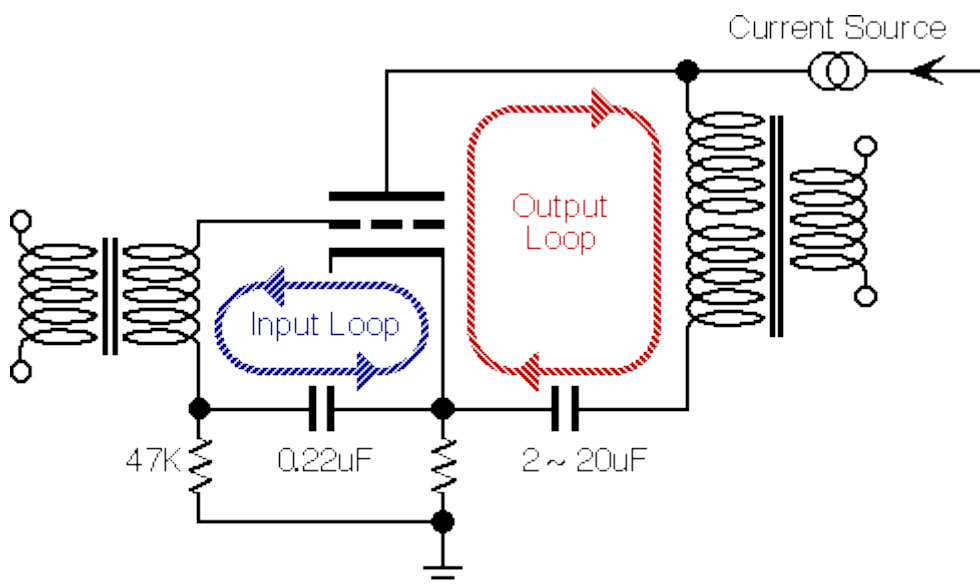
Elliano Ultrathath



SE Parallel Feed



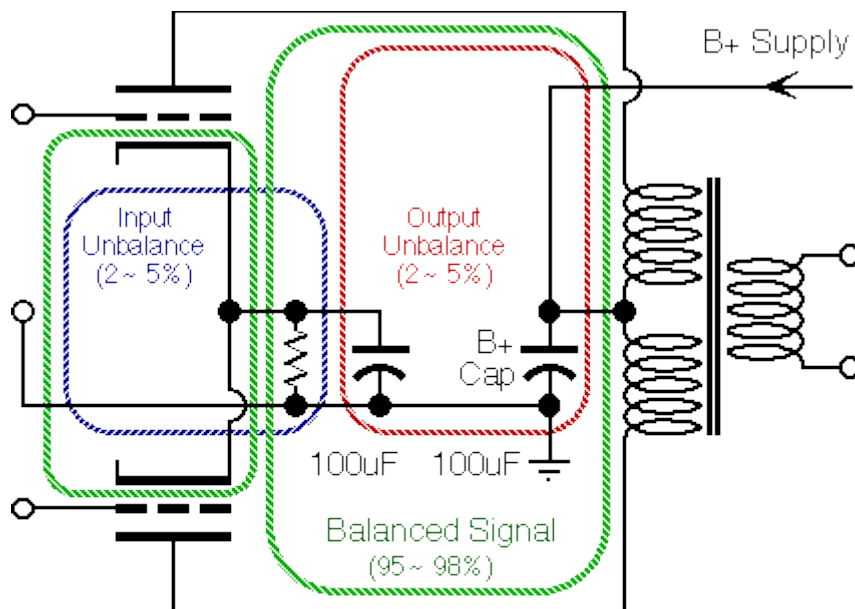
Western Electric (output)



Western Electric (repeater amplifier)

Minden PP, vagy ellen ütemű erősítő valójában két erősítő, amelyek párhuzamosan működnek: egy tökéletesen kiegyensúlyozott PP erősítő és egy másodlagos SE erősítő, amely 26-30 dB-vel alacsonyabb jelszinten üzemel meg a fő PP erősítő. Ez a másodlagos, "árnyék" erősítő képviseli a csövek és a transzformátor elsődleges aszimmetriáinak (jellemzően 2-5%) összegét. Próbálkozhat különféle aszimmetria csökkentő elrendezésekkel, de ez inkább súlyosbítja, nem pedig javítja a

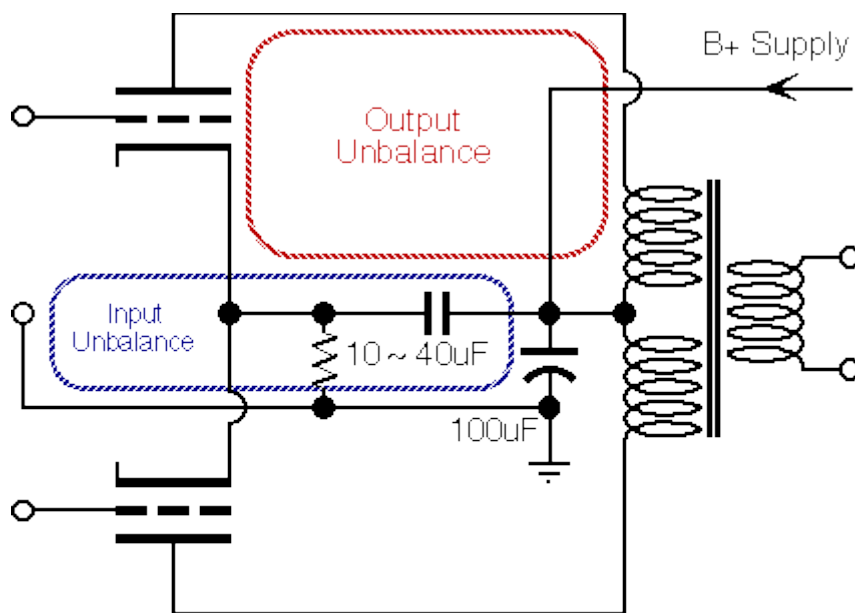
helyzetet, mert ahogy a hiba a nullához közeledik, a frekvencia és fázisfüggő komponensek jelennek meg. Más szóval, a nullázás csak egy frekvencián és teljesítményszinten valósítható meg, de valós körülmények között az áramkör a nullponttól mindkét irányba eltávolodik.



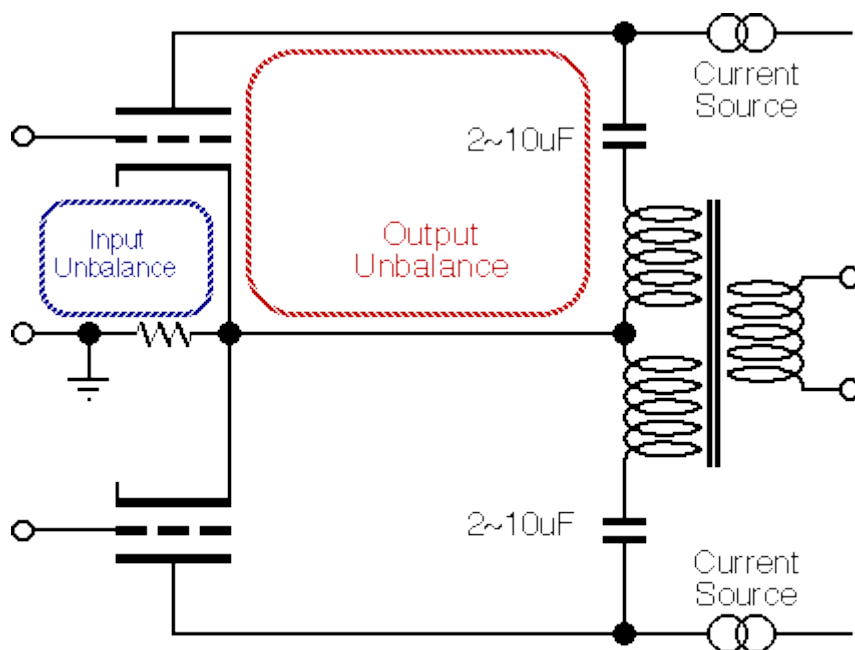
Conventional PP

A szándékosan nagy aszimmetria, például 20-30% eltérés a csövek közt, vagy eltérő szintű meghajtójel használata, úgy tűnik, hogy a legrosszabb ebben az SE és PP párban, maximalizálja az egyes típusok elszínező hatását. A legjobb megközelítés elektromos és hangzás szempontjából is a legegyszerűbb: hagyja, hogy a csövek megtalálják saját munkapontjukat, és alakítsák az áramkört.

Tegyük fel, hogy a felső cső 105%-os erősítéssel működik, míg az alsó cső 100%-os erősítéssel. Az eredő erősítés 102%, az aszimmetria jelének erősítése pedig 5%. Ez – az aszimmetria okozta – a jel szinte nincs hatással a teljes erősítés vagy frekvencia menetre, ellenben ez **a felelős minden a rendszerben** megjelenő páros felharmonikusért és tápegységből bejutott zajért. Az aszimmetria okozta hangfrekvenciás áramok ugyanúgy folynak át a katód áramkörön, mint egy SE erősítőben, előnyben részesítve azt a csövet, amelyiknek a legnagyobb az erősítése.



Western Electric PP



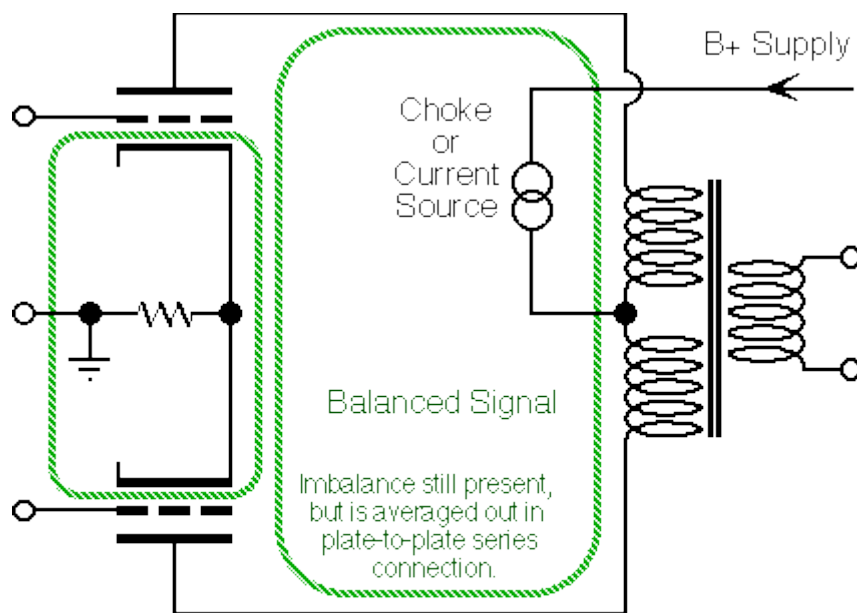
Western Electric Parallel Feed

A következő két áramkört néha "kényszer szimmetrikusnak" nevezik, mivel mindkét csőnél azonos erősítést eredményez. Ez nem olyan meglepő, mint amilyennek elsőre hangzik. A csövek sorba kapcsolódnak, az erősítés egyszerűen a kettő pillanatnyi

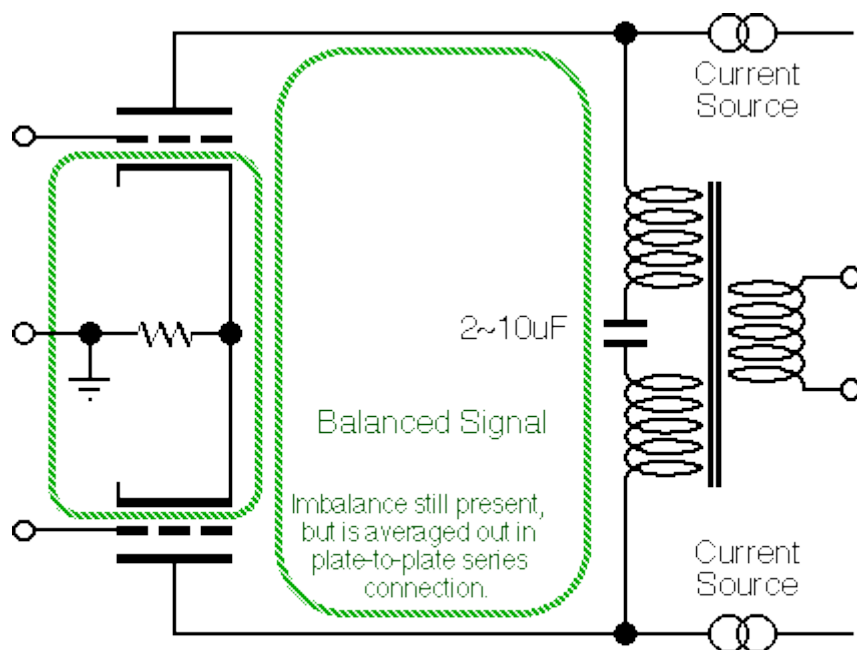
összege. Ennek vannak bizonyos következményei: ha egy cső árama határolódik vagy egyszerűen ki van kapcsolva, az erősítő nem működik tovább, épp úgy, ahogy egy izzó eltávolítása a karácsonyfa égősorából kikapcsolja az egész kört.

A hagyományos „A” osztályú PP erősítő (amint az az első rajzon látható) csövei **párhuzamosan kapcsolódnak**. Amikor az egyik cső árama határolt, vagy klippel, a másik cső jobban kezd vezetni, hogy kompenzálja a kiesést. A hagyományos A osztályú PP erősítők funkcionálisan párhuzamosan, míg a kényszer szimmetrikus differenciál erősítők sorosan kapcsolódnak, ami kihatással van a jel vágására, a túlvezérlésre, sőt a torzítás felharmonikusainak eloszlására is. Két soros cső kissé eltérően működik, mint a párhuzamosan kapcsoltak, ami különböző típusú torzításokat eredményez. A soros áramkör hamarabb kezd klippelni, mivel a jel a hullámforma mindkét felét határolja (az SE áramkör csak a jelalak a hullámforma egyik oldalán határolódik, míg a hagyományos „A” osztályú PP áramkör lehetővé teszi hogy a "bekapcsolódó" cső besegítsen/átvegye a "kikapcsolódó" cső szerepében).

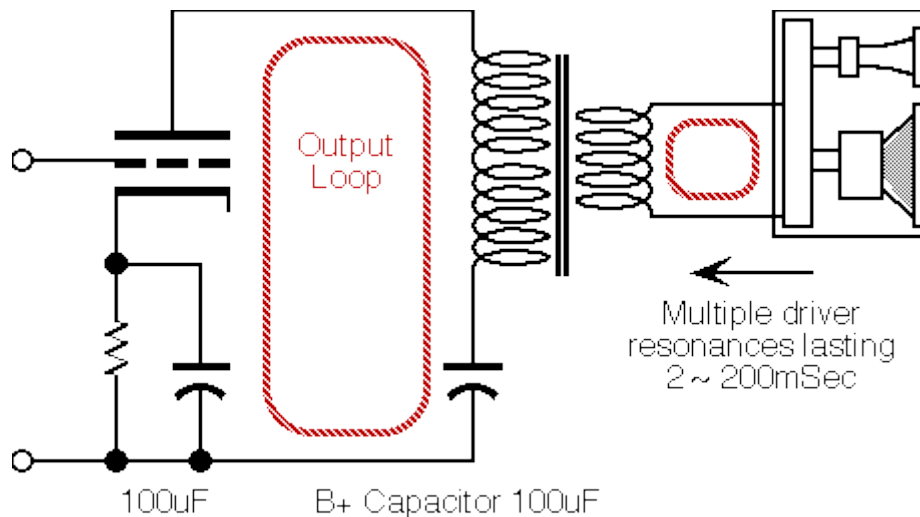
Érdekes módon lehetséges egy átmeneti osztályú erősítő létrehozása egy egyszerű sönt áramkör beillesztésével a (közösített)katódok és kimenő transzformátor középső kivezetése köze. A sönt egy soros RC tag 10-40uF jó minőségű kondenzátor sorba kötve egy ellenállással (kb. 1K elég, de ez az érték változhat). Közvetett fűtésű csöveknél a legalacsonyabb torzítás az ellenállás 50 és 150 ohm közötti értékénél van, míg a közvetlen fűtésű típusok a 0 ohmos értéket részesítik előnyben (hagyományos „A” osztályú PP áramkör). Úgy tűnik, hogy a legalacsonyabb torzítást beállító sönt ellenállás a cső torzítási spektrumának függvénye. Azok a csövek, amelyek kevesebb magasabb fokszámú felharmonikusot termelnek a 0 ohmos értéket részesítik előnyben a sönt áramkörben, míg azok, amelyek valamivel gazdagabbak a nagyobb rendű harmonikusokban, 100 ohm körüli vagy annál nagyobb értéket szeretik.



Differential (forced balance)



Differential Parallel Feed



Speakers return substantial back-EMF currents to the output loop.

*The back-EMF resonances interact with nonlinear amplifier elements to create new speaker-related distortion terms.
All speakers are resonant,
all amplifiers distort.*

(A hangszórók jelentős EMF áramokat adnak vissza a kimeneti hurokba. A hátsó EMF rezonanciák kölcsönhatásba lépnek a nemlineáris erősítő elemekkel, hogy új hangszórókkal kapcsolatos torzítási komponenseket hoznak létre. Minden hangszóró rezonáns, minden erősítő torzít.)

Itt van az első oldalon látható grafika, és hozzá a drámai végjáték. Ez egy fontos pont, ezért van szükség egy kis drámára. Az erősítők tervezői évek óta azt feltételezik, hogy a hangszórók tökéletesek, a hangszórók pedig az erősítőket tartják tökéletesnek. Sajnos nem a tökéletesség platoni világában élünk, hanem a való világban, ahol a dolgok messze nem ideálisak.

A valódi hangszórók (és itt az **összes** hangszóróra gondolok, kivétel nélkül) meglehetősen jelentős mennyiségű rezonancia energiát tárolnak, és viszonylag hosszú ideig az erősítőn belüli tranziens folyamatok időtartamához képest (tíz -több száz milliszekundum). A Q-k magasak, és vannak rezonancia pontok,

vagy akár több száz rezonancia pont is. Az a legrosszabb, hogy kedvenc hangsugárzónk nagyon alacsony veszteségű kapcsolattal rendelkezik az erősítő és a mozgó elemek között (magas BL - tényező), így ezek a rezonanciák hatékonyabban jutnak vissza az erősítőhöz.

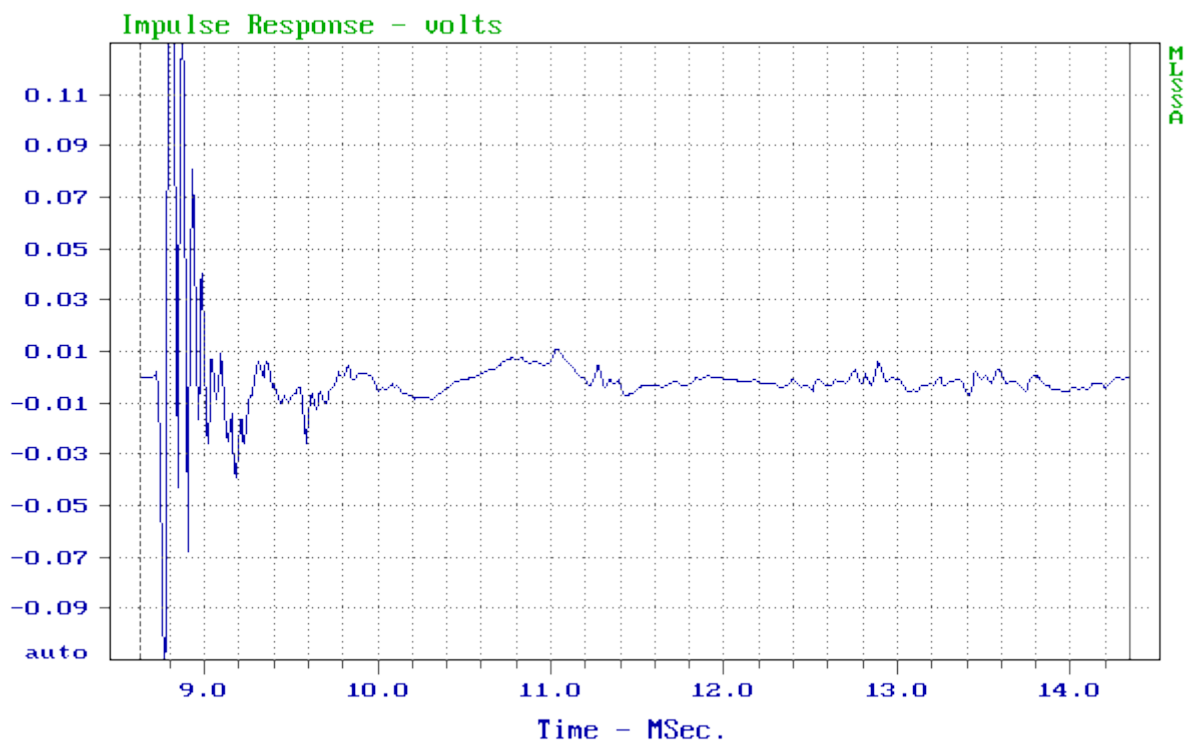
Ha a kimenő fokozatunk torzításmentes lenne (amit a hangszórók tervezői feltételeznek), akkor nem nagyon érdekelne minket a dolog, de sajnos a kimeneti fokozatunk nemcsak nem torzításmentes, hanem jellemzően a legnagyobb torzítással rendelkező erősítő fokozat. Tehát az erősítő legrosszabb fokozata szoros kapcsolatban áll az egész hangreprodukciós lánc legmasszívabb és legrosszabb tranziens viselkedésű jelátalakítójával.

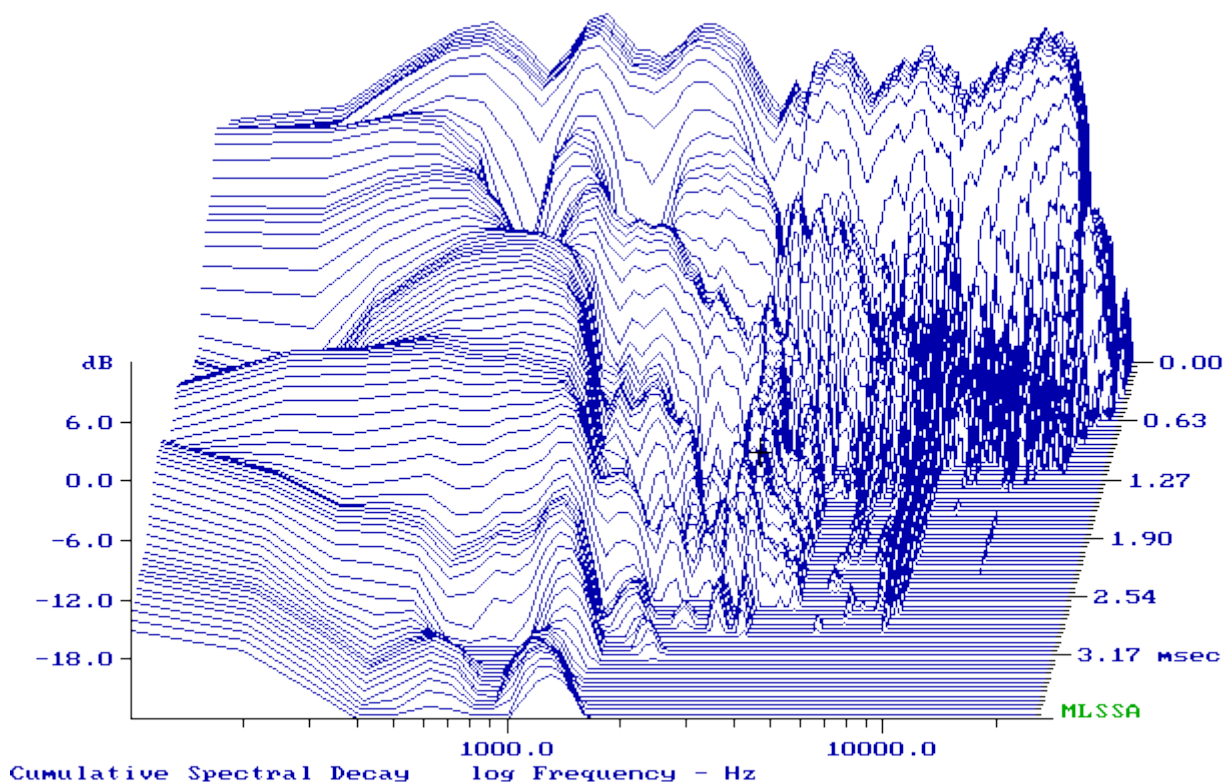
Most már látja a bajok lehetőségét. Korábban aggódtunk a B+ szűrő kondenzátorának hallhatósága miatt az aktuális jelút áramkörében. Ez sokkal rosszabb! A nem kívánt hangszóró rezonanciák keresztmodulálódnak a hasznos jellel az előremenő úton. Ismét minden nemlineáris elem hozzájárul a torzításhoz, ezúttal keresztmodulációs termékeket létrehozva a hangszóróról visszajutó jel és a meghajtó jel között.

Az erősítők tervezői, akik okosnak tartják magukat, egyszerű LCR hálózatokkal fognak előállni, amelyek szimulálják a hangsugárzó általános impedanciáját. Sajnos az ilyen egyszerű hálózatok feltételezik, hogy maguk a hangszórók tökéletesen lineárisak (és torzítás mentesek) a működési tartományukon belül. Az igazi hangszóróknak nem csak egy, hanem sok rezonancia pontja van, különösen a működési tartomány felső részén. Ezek a rezonanciák a kimeneti fokozat anódján jelennek meg, a kimenőtrafó által 20-30-szorosra föltranszformálva.

Ez az oka annak, hogy kedvelem azokat a kimeneti fokozatokat, amelyek nagyon egyenletes kimeneti impedancia görbék, mivel a jelalak a működési tartományon belülingadozik -egy olyan tulajdonság, amelyben az „A” osztályú PP DHT triódák kiválóak, és az első néhány száz milliwattban az SE DHT triódák is elég jók. Bajba kerülünk, ha "csomók" vannak a dinamikus kimeneti

impedanciában, például „AB” osztályú vagy pentóda üzemben. Ez nagymértékben növelheti a hangszóró színezettségének hallhatóságát, a legrosszabbak az „AB” osztályban működő tranzisztoros fokozatok- ezért a tranzisztorok és a tölcséres hangsugárzók nem kompatibilisek. A tölcsérek összetett és kiterjedt visszaható-EMF rezonanciával rendelkeznek, nagyon alacsony IM torzítással kombinálva (így az erősítő torzítása sokkal jobban hallható). Bár a tranzisztoros erősítő visszacsatoló hurka mindent megtesz, hogy kis értékű ellenállást szimuláljon a kimenő fokozatban.





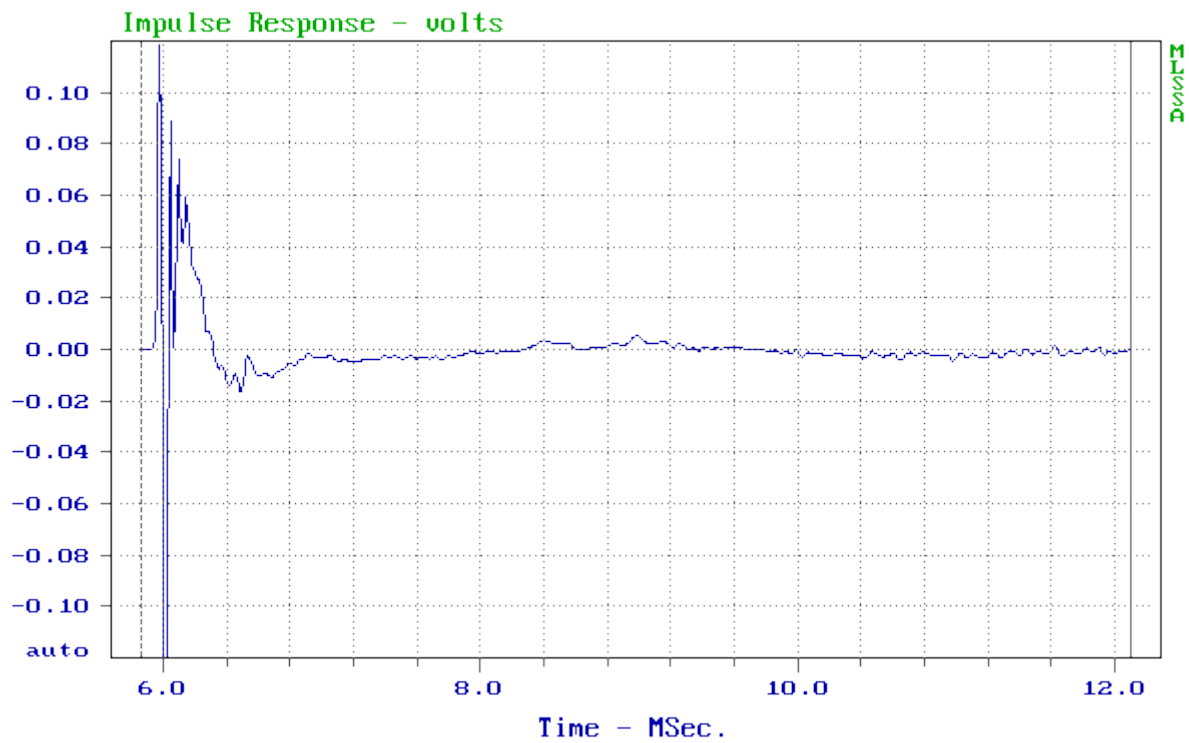
-12.54 dB, 3606 Hz (36), 2.194 msec (45)

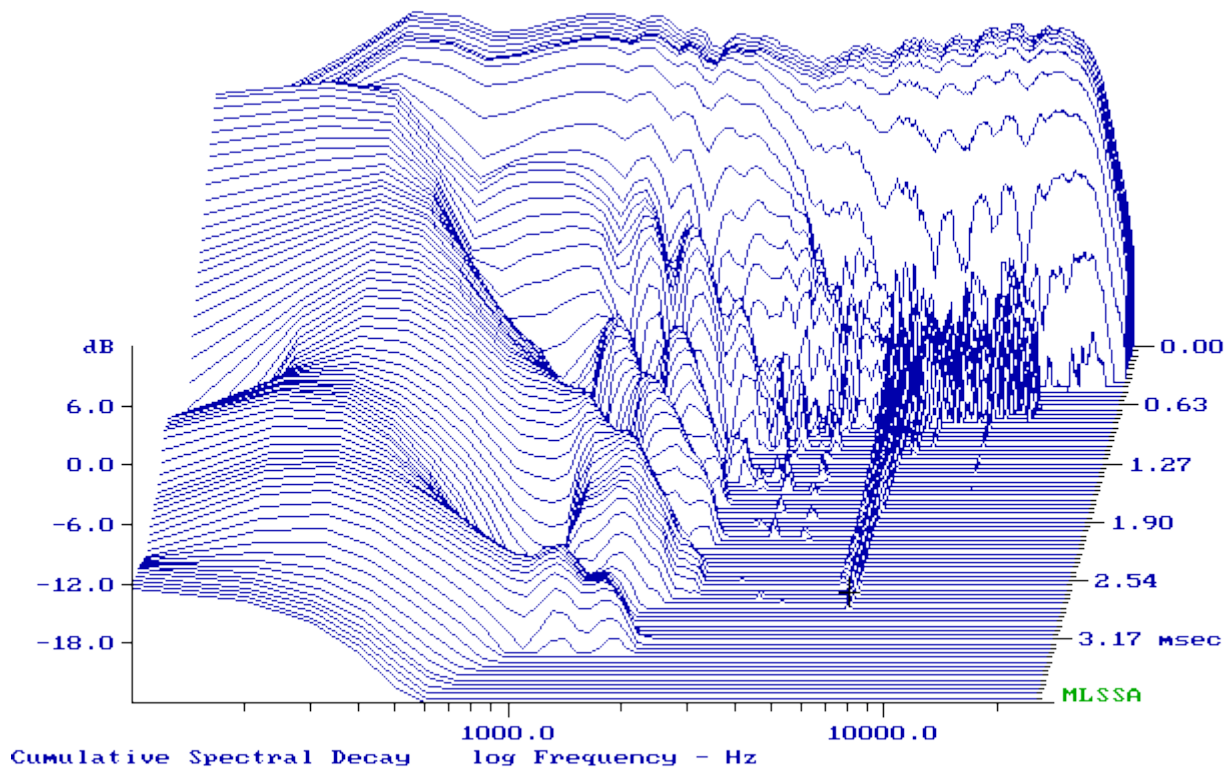
A felső diagrapár egy kereskedelmi hangszóró, amelyet néhány évvel ezelőtt mértem az MLSSA-n, és az alsó diagrapár az Ariels. Nem akarom bántani senkinek az érzéseit, de a tölcséres hangsugárzók általában rosszabbak, mint az első diagram hangsugárzója. A nagy hatásfokú hangszórók időreakciója problémás (a tölcsér szájának széléről származó visszaverődések miatt), van egy fontos kompenzáció: az IM torzítás jellemzően tízszer jobb, mint a közvetlen sugárzóké. Tehát a tölcséres sugárzók bizonyos zenetípusoknak kedveznek, másoknak nem.

Általánosságban elmondható, hogy a hatásfok és az alacsony IM torzítás árát a rezonanciákkal terhelt impulzusválasz jelenti. Nem az impulzus felfutó éle okoz gondot amely csak a felső határfrekvenciát érinti, hanem a hátsó élben tárolt energia, amely befolyásolja a hangszóró színezettségének érzetét és az ebből eredő az erősítőre visszakerülő visszaható-EMF rezonanciákat.

A tölcsérek késleltetett energiájának csökkentése érdekében (ez megint **nem** kapcsolódik a lineáris fázisú keresztváltásokhoz vagy az impulzus éléhez), a tölcsér kemény szélének "kisimítására"

szolgáló kezelések (Tractrix profilok, UREI-stílusú hab vagy filc szalagok) rendkívül hatékonyak, mintegy 1dB hatásfok csökkenéssel. Ha tovább megyünk, egyes prototípus tölcsérek akusztikailag átlátszó membránokkal rendelkeznek, például elektrosztatikus tölcsérek vagy még egzotikusabb tölcséres ion hangszórók. Persze ez egy teljesen más beszélgetés témája ...



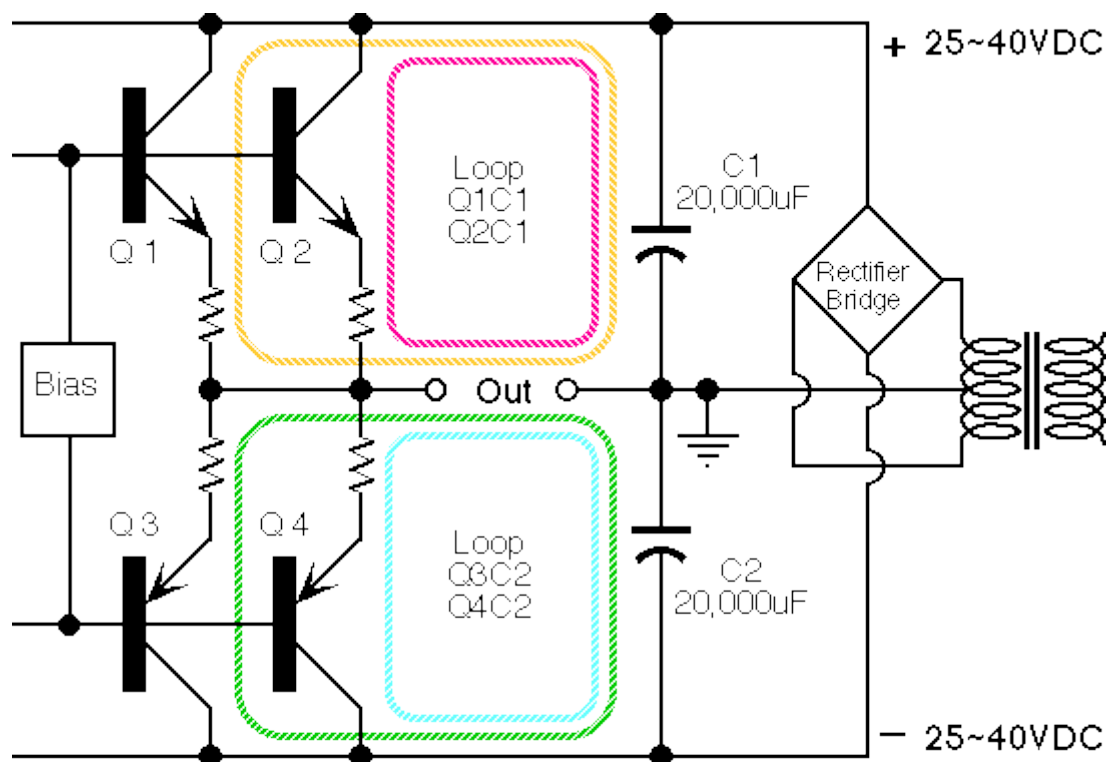


-22.96 dB, 6811 Hz (68), 2.779 msec (57)

Az összes tranzistoros erősítő 99,9%-a az alábbi kimeneti topológiával rendelkezik. A legdrágább, drágább erősítők **sokkal több** tranzisztort tartalmaz, ezek mindegyik termikusan „bolyong”, és végül megtalálja saját „AB” osztályú átmeneti pontját, és az összes kimeneti jel hurok keresztül megy a „számítógép minőségű” elektrolit kondenzátorok kötegén -ami akár 120 000uF is lehet. A plusz és mínusz tápvezetékek széles sávú egyenirányító kapcsolási zajt és „AB” osztályú kapcsolási impulzusokat sugároznak az áramköri lapra. A torzításelemző kijelzőjén látható, hogy egyszerűen a tápegység vezetékeinek mozgatása megváltoztatja a torzítási komponensek alakját, megjelenését és harmonikus szerkezetét, köszönhetően ezen az impulzusok által az áramkör többi részében indukált jeleknek.

A hangszórók tervezői 1980-ban felhagytak az elektrolit kondenzátorok használatával, de mint látható, szinte minden tranzistoros kimeneti fokozatban továbbra is vannak ilyenek, mert zárniuk kell az áramkört, hogy az utolsó fokozat áramot tudjon szolgáltatni a terhelésnek. Az egyetlen alternatíva meglehetősen

ritka – a **teljes** erősítő tápegységének teljes szabályozása, nem csak a bemeneti és meghajtó fokozatoké. A végfokozatokat stabilizált tápegységről kell járatni és elkülöníteni az elektrolit kondenzátoroktól, ami szinte soha nem történik meg. Az egyetlen tranzistoros erősítő, amiről tudom, hogy teljesen szabályozott, az RE Designs LNPA-150 - ami egyébként nem úgy szól, mint egy tranzistoros erősítő, hanem inkább mint egy nagyon jó triódás erősítő.



The Worst-Case Scenario

Class AB transistor amplifiers switch different loops in and out of circuit. Loops for C1 and C2 have opposite-polarity electrolytic capacitors.

(A legrosszabb forgatókönyv

Az AB osztályú tranzistoros erősítő különböző hurkokat kapcsol be és ki az áramkörben. A C1 és C2 hurkok ellentétes polaritású elektrolit kondenzátorokat tartalmaznak.)

Egy tranzistoros erősítő esetében az egyetlen módja annak, hogy következetesen elkerüljük ezeket a gondokat a teljes tápellátás szabályozása, ami a legfontosabb a kimenő fokozatban, valamint az

„A” osztályú működés, amellyel elkerülhető az „AB” üzemmód kapcsoló impulzusai és a melegedési gondok, amelyek véletlenszerűen több tranzisztort érinthetnek, melegszenek/hűlnek és megtalálják saját „AB” osztályú kapcsolási pontjukat. Gazdasági szempontból a teljes szabályozás és a (termikusan is) A osztályú üzemmód rendkívül drága, és ami a legfontosabb a tranzisztoros erősítőt vásárlók számára, megkövetelik, hogy sokkal alacsonyabb fogyasztással működjenek mint az legtöbbször elfogadható. A közepes teljesítményű, jó minőségű és nagyon drága tranzisztoros erősítők piaca nagyon kicsi (ha egyáltalán létezik). Az őszinteség kedvéért az ügyfelek, akik a minőséget keresik a teljesítmény helyett, általában A osztályú csöves erősítőt vásárolnak.

A képen látható több áramkör azt mutatja meg, hogy miért szólnak úgy a tranzisztoros erősítők ahogy, és miért nem "zenélnek szépen" reaktív hangszórókkal. A termikus drift hatására tranzisztorok csoportjai be és kikapcsolnak 0,7 V-os jelszinteken, nagy értékű elektrolit kondenzátorok vannak a **közvetlen** jelútban (az aktuális hurok, ne feledje), és a visszacsatoló hálózatot kérik, hogy korrigálja mindezt. Természetesen ez nem sikerül. A torzításmérőt becsaphatják -persze tiszta ohmos terheléssel-, de a fület nem. Minél hatékonyabb, transzparensabb és leleplezőbb a hangsugárzó, annál rosszabbul fog szólni az ilyen felépítésű erősítő.

Ahhoz, hogy egy erősítő jól szóljon egy transzparens hangsugárzóval az áramkör minden részének belső torzításának a lehető legkisebbnek kell lennie nem csak mérve, de szubjektíven is. Nem tudjuk jól megmagyarázni, hogy miért nem szólnak túl jól a kondenzátorok, de a hangjuk egyértelműen hallható, és nem szabad figyelmen kívül hagyni pusztán azért, mert úgy tűnik, hogy a DA és a DF nem mondja el az egész történetet.