

HOB
BY

Elektronika FÜZETEK

4.

Ágoston – Nagy

Audiofil-Varázs II.

20 W-os „A” osztályú Push-Pull erősítő



- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1
- 0

**100 W-os
hibrid²
erősítő**



Alkatrészek

**Még
egyszer a 20 W-os hibridről**



**Félvezetős RIAA-korrektor
Univerzális előerősítő**



találkozók – képekben

www.radiovilag.hu

6. 20 W-os „A” osztályú Push-Pull erősítő 7591 típusú csövekkel

Az erősítő mért műszaki adatai

Kimenő teljesítmény	2 × 20 W, közel „A” osztályú üzemben
Kimenő impedancia	8 Ω
Frekvenciamenet	15 Hz-től 21 kHz-ig (-1dB-es pontok, 1 W kimenő teljesítmény, 2,83 V _{eff} / 8 Ω mellett; a frekvenciamenet elsősorban a kimenő transzformátortól függ)
Teljesítmény sávszélesség	25 Hz-től 22 kHz-ig (-3 dB-es pontok, 20 W kimenő teljesítmény, 12,6 V _{eff} / 8 Ω mellett; a teljesítmény sávszélesség elsősorban a kimenő transzformátortól függ)
Harmonikus torzítás	<0,9 % (1250 Hz / 10 W) <1,5% (1250 Hz / 20 W)
Jel-zaj viszony	< 78 dB (súlyozatlan, rövidre zárt bemenet) < 98 dB (súlyozott, rövidre zárt bemenet)
Áthallási csillapítás	< 46 dB (20 W kimenő szintnél)
Bemenő impedancia	100 kΩ
Bemenő érzékenység	1,3 V _{eff} , 20 W kimenő teljesítményhez
Csillapítási tényező	20,0 dB (Z _{out} = 0,8 Ω 1 kHz-nél) (Damping Factor, DF)
Visszacsatolás mértéke	20 dB
Teljesítményfelvétel	kb. 110 VA nyugalmi, kb. 140 VA, P _{ki} = 2 × 20 W

Mottó: „A kevesebb néha több”

A hazai csöves audiofil szakirodalom eddigi gyöngyszemei, az „Audiofil-Varázs” I. kötete, illetve Ágoston Lajos: „Audiofil erősítők” című könyve egyaránt azt sugallják, hogy egy erősítő nem attól lesz jó, ha bonyolult kapcsolástechnikát és sok alkatrészt alkalmaznak benne. Az audiofil hangzás bajnokainak tartott Single Ended „A” osztályú triódás erősítők alig tartalmaznak passzív alkatrészt. Az ellenállások száma csatornánként 8–10 db körüli, a kondenzátorok száma legfeljebb 4–5 db, kapcsolástól függően. Sokak szerint éppen ezért szólnak szebben, mint a közel dupla ennyi alkatrészből felépülő csöves Push-Pull kapcsolások, nem beszélve a legelterjedtebb tranzisztoros Push-Pull erősítőkről, amelyek csatornánként minimum 30 db ellenállást, 15 kondenzátort, meg vagy 10 db tranzisztort tartalmaznak.

Természetesen tudjuk, hogy nem önmagában az alacsonyabb alkatrészs szám az oka a szebb hangzásnak, de hogy van összefüggés, az nyilvánvaló. A felületes szemlélő abba a hibába eshet, hogy egyszerűen az alacsony alkatrészs számnak tulajdonítja a jó hangot, de a szebb hangzás oka ennél mélyebben gyökerezik. Egy triódás SE kapcsolásba azért elegendő csupán néhány passzív alkatrész, mert egyrészt a SE kapcsolástechnika szükségtelenné teszi a végerősítő tükörképének megépítését, másrészt a trióda minimális torzítása miatt elmaradhatnak a negatív visszacsatoló hurokhoz szükséges többlet alkatrészek is. Félvezetős erősítőkben a tranzisztor magas torzítása miatt kötelezően alkalmazott negatív visszacsatoló áramköri részek, valamint a munkapont hőmérséklet-függetlenségét biztosító áramköri részletek kialakítása miatt számos többlet alkatrész beépítése szükséges.

Ha a fenti irányelvet követjük, akkor látszólag nincs is más teendőnk, mint építeni egy Single Ended triódás erősítőt és eljuthatunk az audiofilek nirvánájába. Csakhogy ezeknek az erősítőknek is vannak hátrányaik, ami miatt elterjedésük nem kimondottan széles körű. Legfőbb hátrányuk, hogy nem olcsók. Ennek egyik oka, hogy maguk a Single Ended erősítőkben alkalmazott triódák is kissé „túl vannak árazva”. A másik árdrágító tényező az egyenáramú előmágnesezés miatt légréses, erősen túlméretezett kimenő transzformátor. A Single Ended triódás erősítők rossz hatásfokúak, ezért ha nem akarunk a kedvükért külön erőművet építeni, be kell érünk kis kimenő teljesítménnyel. Ez további gondok forrása, hiszen sokan nincsenek abban a helyzetben, hogy a 2A3 csőből nyerhető kb. 3 W vagy a 300B 8-10 W-ja kedvéért lecseréljék hangdobozukat egy kellő érzékenységu és ugyanakkor jó minőségű – tehát következésképp drága – hangfalra. (Tudvalevő, hogy a hangsugárzó érzékenysége és hangminősége között semmiféle összefüggés nincs. Léteznek kiváló és pocék hangfalak mind alacsony, mind nagy érzékenységu kivitelen egyaránt. Ha valaki egy jó minőségű, de viszonylag érzéketlen hangfallal rendelkezik, nyilván nem szeretné újabb

költségekbe hajszolni magát csak azért, hogy a SE csöves erősítőjéhez egy megfelelő hang-sugárzót vegyen.)

Az alábbiakban leírásra kerülő Push-Pull erősítőt azoknak javasoljuk, akik egy könnyen megépíthető, mégis jó minőségű erősítőre vágnak. A 7591 sugártetróda csövekkel megépített erősítő közel „A” osztályú beállításban 2×20 W kimenő teljesítményt képes szolgáltatni, így azoknak is megfelelő lehet, akik nem rendelkeznek kellően érzékeny hangfallal. A jó minőségre garancia a 7591 sugártetróda csövek kis torzítása. (Az adott beállításban negatív visszacsatolás nélkül is csak kb. 2,5% lenne a torzítás, az alkalmazott kismértékű n.v.cs. mellett pedig 1,5% alá csökken.) További előnyt jelent a kis alkatrészs szám, ami könnyebbé és gyorsabbá teszi a megépítést. Ki tudja, ettől talán még audiofilebbé is lesz az erősítő, ha másért nem, akkor azért, mert a kevés alkatrész megvásárlása akkor sem vág földhöz senkit, ha igen jó minőségű gyártmányokból válogat.

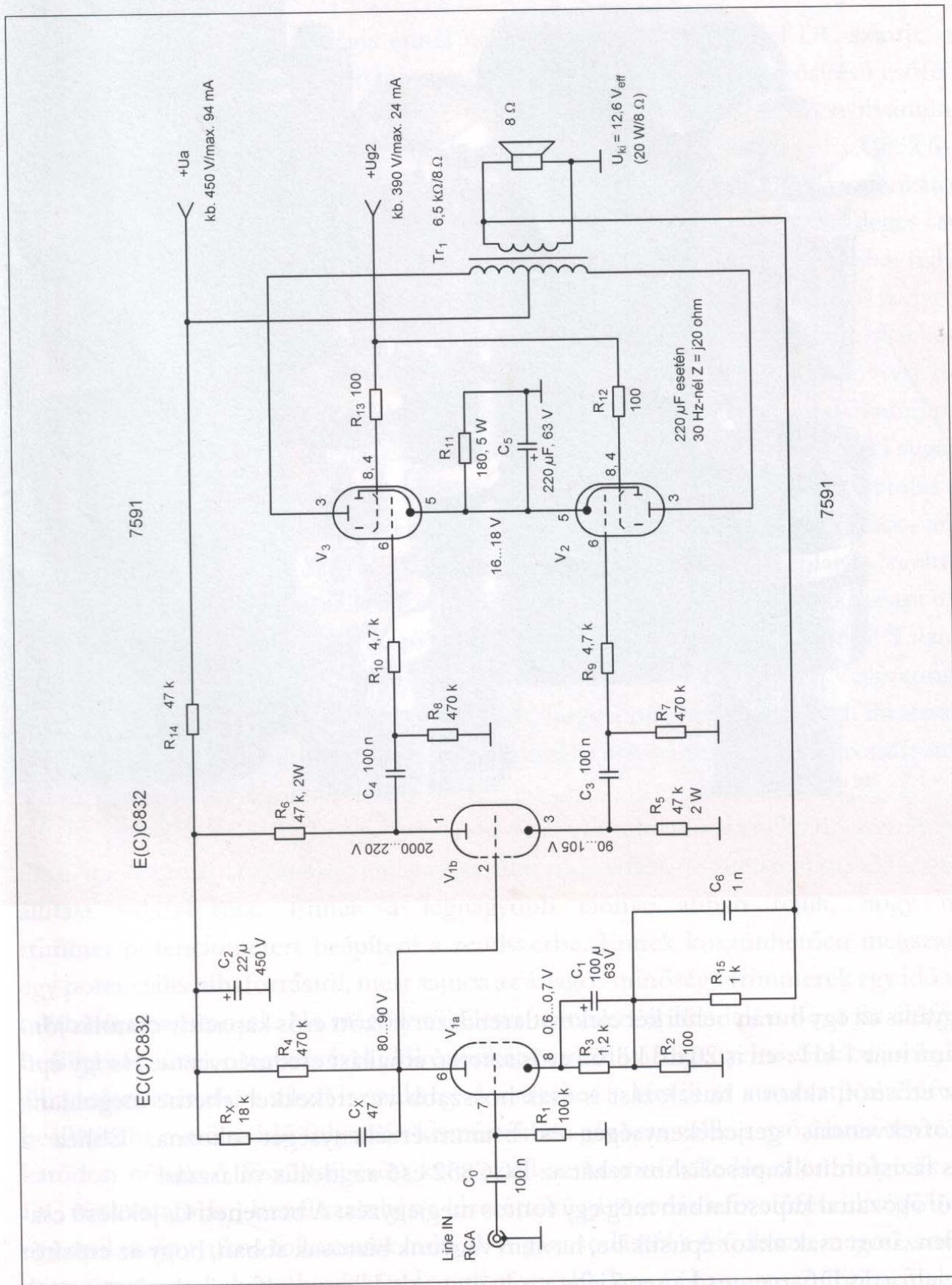


A kapcsolat

A **6.1. ábra** szerinti kapcsoláson hozzáértőknek talán az tűnhet fel, hogy az alkalmazott különleges csöveken kívül tulajdonképpen nincs rajta semmi szokatlan. Az áramkör végletesen egyszerű és áttekinthető. Hogy ilyen egyszerű megoldásokkal is jó eredményt, azaz részletgazdag, természetű hangzást tudunk elérni, az nagyon nagy mértékben a csöveken múlik. Ahogy mondani szokás, az ördög a részletekben lakozik!

A meghajtó fokozatban alkalmazott csövet a praktikusságukról közismert amerikaiak kimondottan erre a kapcsolásra fejlesztették ki. Annak idején a nem túl sokatmondó 12DW7 nevet adták neki a keresztségben. Ilyen csövet Európában sosem gyártottak, ezért szinte lehetetlen beszerezni. Szerencsére a szlovákiai JJ Electronic csőgyár meglátta benne a fantáziát és gyártja ezt a típust, ECC832 néven. A csőgyár találón választotta meg az európai szabvány szerinti ECC832 elnevezést, mert ez rögtön sugallja, hogy ez a kettőstrióda nem más, mint egy nagy erősítésű ECC83 és egy kis erősítésű ECC82 cső kombinációja, egyetlen közös burában. Hogy miért előnyös ezt a két merőben eltérő tulajdonságú csövet egy burában egyesíteni? A kapcsolat behatóbb elemzéséből majd kiderül.

Az erősítő egyfokozatú triódás előerősítővel kezdődik. A fokozat 60 körüli erősítését az ECC83-nak megfelelő csőfél (6-7-8 csőlábak) szolgáltatja. Ezt egy közvetlen csatolású katodin fázisfordító fokozat követi. Ezen a ponton a nagy erősítésű, ezzel együtt nagyon nagy belső ellenállású (62 k Ω) ECC83 cső már nem lenne jó választás, mert csak terhelés nélkül lenne képes szimmetrikus ellenütemű jelet előállítani. A végfokozat viszont terhelést jelent részére, amitől a szimmetria megbomlik. Az ECC83 belső (anódoldalon mért) ellenállása ugyanis összemérhető a végerősítő fokozat pár száz k Ω -os bemenő ellenállásával, és emiatt az anódkörből kicsatolt feszültség kisebb lenne, mint az 1 k Ω körüli belső ellenállással rendelkező katódkörből kicsatolt jel. Ez az aszimmetria a nagyobb frekvenciák felé még inkább fokozódik, mert a végcsövek néhány pF bemenő kapacitásával az ECC83 anódkörét terhelve jelentős fázistolás keletkezne az invertált jelben, míg a katódból kicsatolt neminvertált jelnél ez a fázistolás gyakorlatilag nulla a hangfrekvenciás tartományban. Ez a probléma megoldódik, ha a katodin fokozatba kis erősítésű ECC82 csövet teszünk. A cső belső ellenállása kicsi, mindössze 8 k Ω , ezért az anódkörből kicsatolt invertált jel is jól terhelhető, tehát a teljes hangfrekvenciás sávban megmarad a fokozat szimmetriája. Felmerülhet a gondolat, hogy ECC832 cső híján esetleg a sztereó meghajtó fokozatokat egy-egy ECC83 és ECC82 csővel építsük meg úgy, hogy az ikercsövek egyik felével a bal, másik felével a jobb csatorna jelét erősítsük. Erről mindenkit lebeszélünk. A nagy impedanciás ECC83 sajnos nem alkalmas arra, hogy sztereó jel két felének az egyidejű erősítésére hasz-



6.1. ábra. 20 W-os, közel „A” osztályú Push-Pull erősítő kapcsolása mindössze 3 csővel (ECC832 és 2 × 7591)



náljuk, ugyanis az egy burán belüli két elektródarendszer között erős kapacitív csatolás jönne létre, ami már 1 kHz-en is 20 dB körüli erős sztereó áthallást eredményezne. Ha így építenénk az erősítőt, akkor a huzalozást is csak hosszabb vezetékekkel lehetne megoldani, ami rádiófrekvenciás gerjedékenységet és brumm-érzékenységet okozna. Ehhez a katodinos fázisfordító kapcsoláshoz tehát az ECC832 cső az ideális választás!

Az előfokozattal kapcsolatban még egy fontos megjegyzés: A bemeneti C_0 jelölésű csatoló kondenzátort csak akkor építsük be, ha nem vagyunk biztosak abban, hogy az erősítő meghajtó jelforrás DC-mentes kimenő jelet szolgáltat. Általában a jelforrások zöme ennek eleget tesz, legfeljebb néhány millivoltnyi ofszetfeszültséggel szolgáltatja a meghajtó jelet.

Ez még nem zavaró. Ha mégis ennél nagyobb lenne a bejövő jel DC-szintje, akkor az ECC832 nagy erősítésű csőfele hibás munkapontba áll, amit a kis erősítésű csőfél a direkt csatolás miatt átvesz. Az eltolódott DC szintek erősebb torzításban nyilvánulnak meg. Tartsunk egy próbát! Ha az erősítő bemenetére dugjuk a jelforrást és az ECC832 6-os lábán a feszültség 10 V-ot meghaladó mértékben elmozdul, építsük be a C_0 kondenzátort!

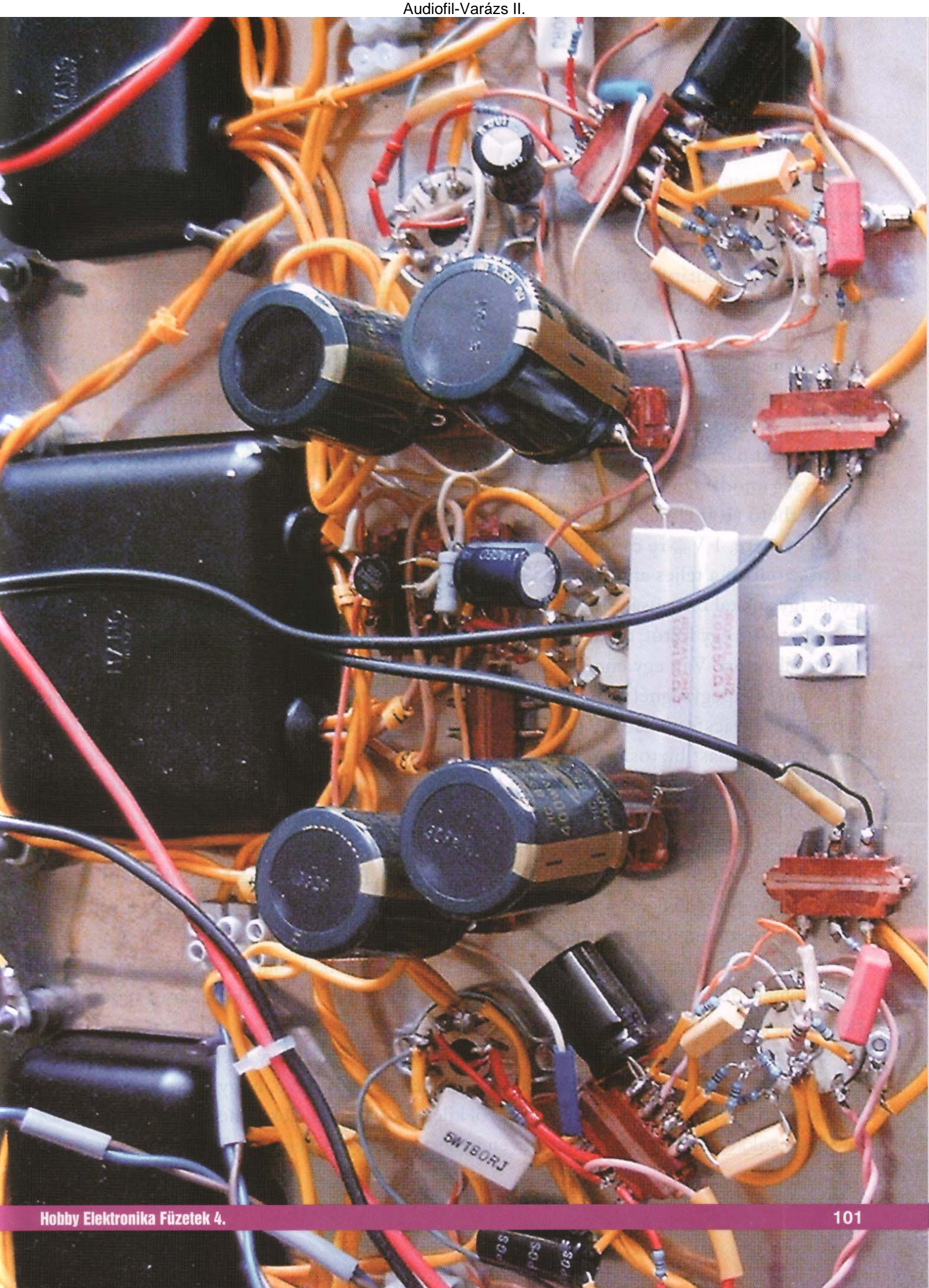
Nemcsak a meghajtó, hanem a végfokozat is ritkán alkalmazott, különleges csövet tartalmaz. A 7591-es típuszámmal jelzett elektroncsövet szintén az amerikaiak fejlesztették ki, és mivel 4-számjegyű a kódja, kitalálhatjuk, hogy military változat. (Rossz nyelvek szerint az amerikai katonai elektroncsövek azért készültek 4 számjegyes azonosító kóddal, nehogy bárki, aki ilyen csövet zsákmányol, kitalálhassa, mire jó a cső. Szó, ami szó, ha tényleg ez volt a szándék, akkor a sikerük teljesnek tekinthető.) A hadsereg általában mindenből a legjobbat akarja magának, tehát elhihetjük, hogy ez a cső jó. Egyrészt, mivel sugártetróda, kedvezően kicsi a torzítása – már említettem, hogy kb. 2,5% lenne visszacsatolás nélkül is. A cső másik nagy erénye, hogy kimondottan nagy az erősítése: a segédrács–vezérlőrács rendszert triódának tekintve az erősítési tényező $\mu_{g2g1} = 16,5$. Ez duplája a legelterjedtebb végcsöveknél szokásos (6L6G, EL34, KT88) $\mu_{g2g1} = 8$ értéknek. Ez hétköznapi nyelvre lefordítva kb. annyit tesz, hogy a cső feleakkora feszültséggel kivezélrelhető! Talán mondanom sem kell, hogy szerencsénkre a JJ Electronic ezt a csövet is gyártja. Végeredményben a cső rendkívül nagy erősítésének köszönhető, hogy a meghajtást egyetlen ikertriódával, az ECC832-vel meg tudjuk oldani, és ilyen minimális csőszámmal is kompromisszumok nélkül tudunk erősítőt építeni.

A végfokozat – a 7591 csöveken kívül – nem tartalmaz semmi különöset. A végcsövek munkapontjának beállításához az egyszerűbb megoldást, az automatikus előfeszültség beállítást választottuk. Ennek a legnagyobb előnye abban rejlik, hogy nem kell trimmer-potenciométert beépíteni a rendszerbe. Ennek köszönhetően megszabadulunk egy potenciális hibaforrástól, mert sajnos az átlagos minőségű trimmerek egy idő után kontakthibára hajlamosak. Ha mégoly tökéletes trimmert építenénk is be, a fix előfeszültségű beállítás a csövek öregedésével időközönként utánállítást igényelne. Sokkal jobb, ha erre az állítgatásra már eleve nincs is szükség. A csöveket is kíméli az automatikus előfeszültségű beállítás: ha a cső az idő folyamán kismértékben gázossá válik, a cső árama egyre nő, ami a katódon növekvő feszültségesést kelt, ezzel az áramnövekedés ellen dolgozik. (Negatív DC visszacsatolás.) Ezzel szemben a kismértékű gázosodás a fix előfeszültségű beállításnál egy tipikus öngyilkos folyamatot indít el. A gázosodástól a cső árama megnő, amitől fokozottan melegszik, következésképp egyre gázosabb lesz és hamarosan tönkremegy.

Természetesen az automatikus előfeszültségnek is vannak hátrányai. Azért, hogy csak egyenáramon legyen negatív visszacsatolás, a katódelenállást egy nagy kapacitású kondenzátorral söntölni kell. Szerencsére az általunk választott, egyetlen közös katódelenállást tartalmazó változatban a két végcső ellenfázisú vezérlése miatt a katódkondenzátoron csak a két cső váltakozó áramának különbsége folyik, ami jól összeválogatott csövek és hibátlan szimmetriájú fázisfordító esetén minimális. Ha végcsőenként külön-külön katódelenállást használnánk, akkor a katód kondikon jelentős váltakozó áram folyna, ami nem kívánatos.

Az automatikus munkapont beállítás másik hátránya, hogy kis nyugalmi anódáram esetén az előfeszültség beállítására nem alkalmas, azaz B osztályt közelítő beállítás nem állítható elő vele. Ez nekünk egy cseppet sem fáj, hiszen a jó hangzás érdekében eleve az „A” osztályú beállítás a célunk. A fix előfeszültség kicsit jobb hatásfokú, a tápfeszültség egy részét nem kell felemészteni a katódelenálláson. Mivel a 7591 cső nagyon nagy erősítésű, a többi csőhöz képest alacsony, 17 V előfeszültséggel is beéri, ami alig okoz hatásfokcsökkenést.

Szólni kell még a negatív visszacsatolásról. Sajnos, a tetródás vagy pentódás erősítők nem lehetnek meg negatív visszacsatolás nélkül. Bár sugártetródák esetén a torzítás n.v.cs. nélkül sem lenne zavaróan magas, a fokozat nagy kimenő ellenállású, áramgenerátoros jellegű lenne. A hangszórók ezt nem szeretik, mert ha túl nagy impedanciával hajtjuk meg azokat, a hangszóró saját rezonanciáit nem csillapítja az erősítő, színezi a hangot és a mélyek belengenek. Az erősítőben teljesen szokványos hurok visszacsatolást alkalmazunk, amelynek értéke 20 dB. Ez még éppen kellően alacsony kimenő ellenállást biztosít ($0,8 \Omega$, 20 dB Damping Factor), egyúttal még stabil, gerjedés mentes üzemet ad. A visszacsatolás fázisára ügyeljünk, hibás fázis esetén az erősítő azonnal begerjed, ilyenkor meg kell fordítani a kimenő transzformátor szekunder tekercsének a bekötését. A C_6 kondenzátor értékének megválasztása erősen függ a kimenő transzformátor szórt induktivitásától és kapacitásától. A kapcsolási rajzon feltüntetett érték (1 nF) jó kiindulási alap, próbálgatással addig változtassuk, amíg az erősítő 1 kHz-es négyszögátvitele szép, túllövésmentes nem lesz. Túl kis kapacitás esetén a túllövés nem szűnik meg, túl nagy kapacitás esetén pedig az erősítő lomhává válik, a felfutó élek lekerekednek. Az első trióda anódkörében levő RC komplexum (R_X , C_X) a stabilitást szolgálja. Jó kimenő trafó esetén elhagyható, de ha nagy amplitúdóknál gerjedést tapasztalunk, akkor építsük be ezt az RC komplexumot és a gerjedés megszűnik.



A tápegység

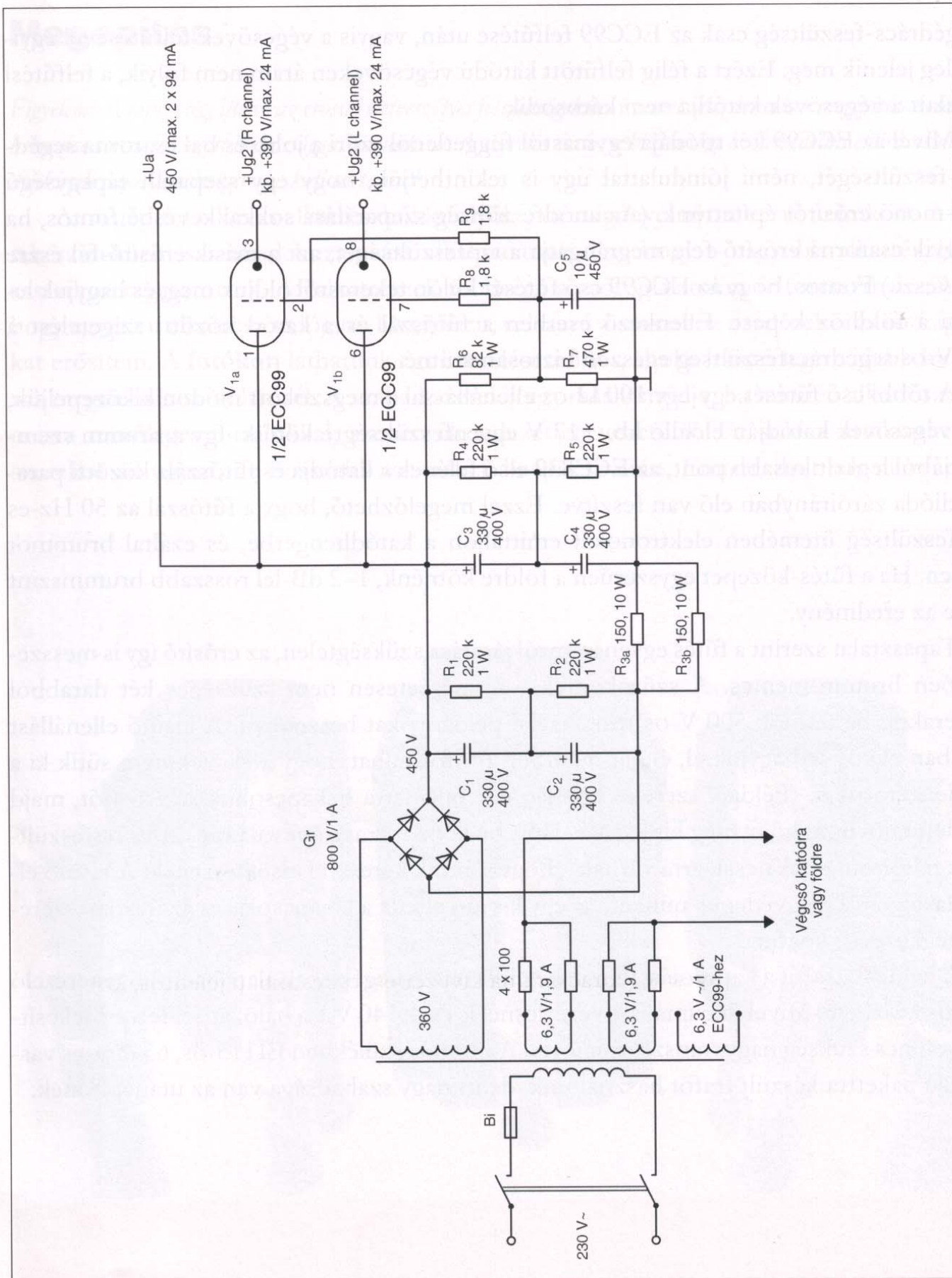
Meg kell emlékezni néhány szóban a tápegységről is. Tudvalevő, hogy a tetródás/pentódás erősítőknél nagy gonddal szűrni csak a segédrács feszültségét kell. Ha a segédrács feszültsége brummos, akkor az anódáram is brummossá válik. Ezzel szemben az anód nagy belső ellenállása miatt az anódtápfeszültség változása nem okoz jelentős anódáram-változást, ezért itt a szűrés kisebb is lehet. A tápegység ennek az elvnek a maximális kihasználásával készült (6.2. ábra).

A Graetz-híd által egyenirányított feszültséget elkókkal szűrve előáll az anódfeszültség. Itt a szűrés javítására egy kis trükköt alkalmaztunk. A szűrő kapacitást megfeleztük és a két kapacitás közé a negatív ágba egy szűrő ellenállást (R_{3a} , R_{3b}) építettünk be. Ez az ellenállás azért áll két párhuzamos tagból, mert erősen melegszik. Ha az R_3 nem kerül beépítésre, a tápegység anódfeszültség kimeneti pontján, normál terhelés mellett, $4 V_{pp}$ brummfeszültség mérhető (100 Hz-es háromszögjel). Az R_3 beépítését követően ez a brummfeszültség kb. negyedére, $1 V_{pp}$ -re csökken. Természetesen az ellenállást tehetnénk a pozitív ágba is, akkor azonban a teljes anódfeszültség rajta lenne, ami életvédelmi szempontból nem előnyös. Így sokkal biztonságosabb. A segédrácsnak azonban további szűrésre van szüksége. Ide tehetnénk egy fojtót; aki akarja, ezt a megoldást is választhatja, vagy használhat félvezető stabilizátort. Van egy ennél előnyösebb megoldás is!

Ennél a tápegységnél az ECC99 kettőstriódával kivitelezett aktív szűrő állítja elő a végcsövek segédrácsfeszültségét. Ez a megoldás a fojtótekerces szűréshez hasonló mértékű brumm-elnyomást biztosít. Működési elve igen egyszerű. A cső vezérlőrácsára gondosan szűrt egyenfeszültséget adunk, és a katódon megkapjuk a kellően szűrt egyenfeszültséget. (A rácskörben a nagy ellenállások miatt kis értékű szűrőkondenzátor is jó szűrést ad.) Könnyen belátható, hogy a kapcsolás a brummot a cső erősítési tényezőjének megfelelő hányadára – ECC99 esetén kb. huszadára – csökkenti. Ebbe a fokozatba kisebb áramú trióda nem való, mert a végcsövek segédrácsárama kivezérési csúcsokban jelentős, kisebb cső ekkora áramot nem tudna leadni.

(Az ECC99 helyett a 6840 vagy az 5687 típusjelű amerikai military csövek is ragyogóan megfelelnek, de ezek beszerzése nem egyszerű, és az utóbbi típus lábkiosztása a rajzhoz képest kissé eltérő.)

A fojtós megoldáshoz képest az aktív szűrés egyik előnye, hogy a segédrács munkaponti feszültsége az anódfeszültségnél alacsonyabb lehet. Tudvalevő, hogy a tetródák ezt a beállítást szeretik, mert így az anód felületéről kilépő szekunder elektronok visszarepülnek az anódra, csökken a Dynatron-hatás néven ismert begerjedés veszélye. További előny, hogy



6.2. ábra. Tápegység a 2 x 20 W-os Push-Pull erősítőhöz

a segédrács-feszültség csak az ECC99 felfűtése után, vagyis a végcsövek felfűtésével egyidejűleg jelenik meg. Ezért a félig felfűtött katódú végcsöveken áram nem folyik, a felfűtési idő alatt a végcsövek katódja nem károsodik.

Mivel az ECC99 két triódája egymástól függetlenül szűri a jobb és bal csatorna segédrács-feszültségét, némi jóindulattal úgy is tekinthetjük, hogy egy szeparált tápegységű duál-monó erősítőt építettünk. (Az anódfeszültség szeparálása sokkal kevésbé fontos, ha az egyik csatorna erősítő-fele megrángatja a tápfeszültséget, azt a másik erősítő-fél észre sem veszi.) Fontos, hogy az ECC99 cső fűtését külön tekercsről oldjuk meg, és hagyjuk lebegni a földhöz képest. Ellenkező esetben a fűtőszál és a katód közötti szigetelést a 390 V-os segédrácsfeszültség egészen biztosan átütne.

A többi cső fűtését egy-egy 100 Ω -os ellenállással a megszokott módon kiközepeljük, és a végcsövek katódján előálló kb. +17 V egyenfeszültségre kötjük. Így a brumm szempontjából legkritikusabb pont, az ECC832 első felének a katódja és fűtőszála közötti parazita dióda záróirányban elő van feszítve. Ezzel megelőzhető, hogy a fűtőszál az 50 Hz-es fűtőfeszültség ütemében elektronokat emittáljon a katódhengerbe, és ezáltal brummot keltsen. Ha a fűtés-közeget egyszerűen a földre kötnénk, 1–2 dB-lel rosszabb brummszint lenne az eredmény.

Tapasztalat szerint a fűtés egyenáramról járatása szükségtelen, az erősítő így is messzemenően brumm-mentes. A szűrőkondikat természetesen nem szükséges két darabból összerakni, ha tudunk 500 V-os feszültségű példányokat beszerezni. A kisütő ellenállást azonban ekkor se hagyjuk el, életet menthet! Előfordulhat, hogy a csövek nem sütik ki a kondenzátorokat. (Például szerelés közben egy pillanatra bekapcsoljuk az erősítőt, majd hirtelen rájövünk, hogy még kipróbálás előtt be kéne forrasztani valamit.) A csúcshőfeszültségre feltöltött elkók „csak arra várnak”, hogy rajtuk keresztül kisülhessenek! A kisütő ellenállások ettől megvédenek minket, ha egy kis idő eltelik a kikapcsolás és az óvatlan szerelés megkezdése között.

A hálózati trafót a kapcsolási rajzon bejelölt feszültségértékek alapján egy jó tekercselő el tudja készíteni. Mivel maximális kivezérélnél is csak 140 VA a hálózatból felvett teljesítmény, nincs szükség nagy transzformátorra. A mintakészülékben EI115-ös, 65 mm-es vastagságú pakettára készült trafót használtunk, de itt nagy szabadsága van az utánépítőnek.

Megépítés

Figyelem! A tápegység, illetve az erősítő életveszélyes feszültségekkel üzemel. Az áramkör megépítése és üzembe helyezése során fokozott óvatossággal járjunk el! A szerelés során a biztonsági és életvédelmi előírásokat mindenkinek saját felelősségére be kell tartania.!

A megépítés a kevés alkatrészből kifolyólag nem igényel nyomtatott áramkört. A mintakészülékben is szabad huzalozást alkalmaztunk úgy, hogy a nagyobb alkatrészeket a sasszihoz ragasztottuk. Az alkatrészek többsége a csőfoglatokra felforrasztható. Azért, hogy egyetlen alkatrész se lógjon levegőben, célszerű a sasszihoz forrléceket és sorkapcsokat erősíteni. A **fotókon** láthatunk egy szerelési módot, ahol a lehető legrövidebb huzalozás megvalósítása volt a cél. A szabad szerelés egy másik módja, ha minden alkatrészt egymásra merőleges huzalokkal, szépen elrendezetten vezetünk. Ez sokkal áttekinthetőbb szerelést ad ugyan, de hosszabb vezetékek beépítése árán. Emiatt, ilyenkor nem árt, ha



ezüst huzallal szerelünk. Mivel az elektronoknak nincs szépérzékük és a kis alkatrészsám miatt „vad” huzalozás esetén is áttekinthető marad a kapcsolás, lemondunk a szépen rendezett vezetékezésről.

A kész erősítő nagyon kellemes hangot produkál. Ez nem kis részben az erősítőláncban alkalmazott kevés alkatrésznek is köszönhető. (Összesen 6 kondenzátor, 14 ellenállás valamint egy „megspórolt” erősítő fokozat, szemben a Williamson kapcsolás 7 kondenzátorával, 22 ellenállásával.) A kis alkatrészsám miatt nagyon kicsi az erősítőlánc fázistolása. A kellő fázistartalék miatt még 30 dB n.v.cs. mellett sem mutatta az erősítő gerjedés jeleit. (Természetesen ez csak jó minőségű kimenő transzformátorral lehetséges.) A 30 dB n.v.cs. a bonyolultabb kapcsolásoknál már csak mindenféle kompenzációs trükkökkel vagy fokozatok közötti DC csatolás alkalmazásával lenne stabilan elérhető. Természetesen nem érdemes túlzásokba esni, a 20 dB n.v.cs. már bőven elegendő a hangszóró kisimpedanciás meghajtásához. Ne használjunk erősebb negatív visszacsatolást, mint amennyi feltétlenül szükséges, különben amit nyerünk a réven, a vámon elveszítjük! (Tovább csökkenne a kimenő ellenállás és a torzítás, de romlana a tranziensátvitel.)

Az erősítő a kis csőszám ellenére kellően érzékeny, a 20 W kimenő szinthez 1,3 V effektív bemenő jelszint szükséges. Ezt a CD játszó gond nélkül produkálják. Ha esetleg kisebb jelszintet adó jelforrással is rendelkezünk (pl. tuner vagy magnetofon), akkor az R_{15} növelésével gyengíthetjük a visszacsatolást, ezzel kb. arányosan megnő az érzékenység. Arra ügyeljünk, hogy amilyen arányban növeljük R_{15} -öt, olyan arányban csökkentsük a vele párhuzamos C_6 kondenzátor értékét, hogy a négyszögátvitel ugyanolyan szép maradjon. Dupla érzékenység (kb. 600 mV) még elérhető ezzel a módszerrel, de ez alá nemigen tudunk menni. Kisebb n.v.cs esetén már túl nagy lenne a kimenő impedancia. Ha a 20 W-ot meg szeretnénk növelni, akkor használjunk 9 k Ω -os kimenő transzformátort. Ezzel a 7591 cső katalógusa szerint 28 W teljesítmény is elérhető. A mintakészülékben olyan előre gyártott, EI92-es vasra, 50 mm vastag pakettre készült trafót használtunk, amelynek a 6,5 k Ω impedanciája már adott volt.

A szokásos, réteges tekercselési technikákkal készítsük el a kimenő transzformátort. Ha ehhez nem értünk, válasszunk a kereskedelemben kapható transzformátorok közül 6,5 k Ω ...9 k Ω közötti impedanciára készült példányt, amelyet 30 W-os erősítőkhöz ajánlanak. (Ilyen pl. a Hammond 1650G.)

A szerző szívesen válaszol a nagy.attila@csobarlang.hu elektronikus levélcímen (a 30 - 971 - 3375 telefonon) az utánépítés során esetleg felmerülő kérdésekre. Az erősítőhöz szükséges csövek, foglalatok, kondenzátorok, transzformátorok a www.csobarlang.hu internetes áruházban, illetve a fenti telefonon beszerezhetőek.