

Hangerősítőkapcsolások 25–100 watt kimenőteljesítményre

Rózsa Sándor okl. vill. mérnök

Jelen összeállításunk folytatása a Rádiótechnika 1968-as évkönyvében megjelent „Modern hangerősítő kapcsolások” című közleménynek. Az ott közölt kapcsolások iránt megnyilvánult széleskörű visszhang és a nagyobb kimenőteljesítményű erősítők iránti fokozódó érdeklődés szolgált alapul jelenlegi kapcsolásaink összeválogatásánál. Előljáróban megemlítjük, hogy a közölt kapcsolások mind megépült és kipróbált, jól működő erősítőket képviselnek. A nagyszámú gyakorlati adat, transzformátorrajz a megépítés megkönnyítésére szolgál.

Tekintettel arra, hogy a 68-as évkönyvben megjelent összeállítás részletesen foglalkozott az előerősítővel, ezúti közleményünkben főleg a nagyteljesítményű végerősítővel foglalkozik. A kapcsolások egyrésze teljes erősítő, egyrésze pedig csak végfokozat kapcsolás. A problémákör teljes áttekintése érdekében új olvasóinknak az ott megjelent összefoglalás elolvasását is ajánljuk. Képzettebb olvasóink az előerősítőket és a végfokozatokat tetszés szerinti kombinációkban építhetik össze.

Bevezetés

Egy hangerősítő berendezés által leadott kimenőteljesítményt alapvetően

a végerősítőcsövek megválasztása a kimenőttranszformátor és a hálózati tápegység szabja meg, feltételezve egyébként a beállítás és az illesztés helyességét. A kapcsolás kiválasztásánál alapvető kiindulás a végerősítő csövek megválasztása, illetve beszerizhetősége. Meglevő csöveknél a beállítás megválasztásával közelíthetjük meg a kimenőt teljesítmény igényt. Ha alapvető szempont adott kimenőt teljesítmény elérése, akkor a végerősítő csövet úgy kell megválasztani, hogy alkalmas legyen leadására. A cső megválasztása és a kimenőt teljesítmény meghatározása után a kimenőttranszformátor és hálózati tápegység helyes megméretezése (vagy kapcsolásaink közül való kiválasztása) biztosítja a kívánt kimenőt teljesítmény elérését.

Tekintsük át ezt a három alapvető kiindulási pontot általánosságban.

A végerősítő csövek és beállításuk

Bár közhelyként hangzik, mégis kiindulásként le kell írunk, hogy 20 wattnál nagyobb kimenőt teljesítményt szinte kizárólag ellenütemű kapcsolásban állítanak elő. Alapvetően trióda, tetróda és pentóda csövek kerülnek ezekben az erősítőkben felhasználásra. A végerősítő csövek A, AB, B, és D osztályban működnek. A működési osztályt a nyugalmi áram beállítása és az előfeszültség biztosítása szabja meg.

„A” osztályban a munkapontot

a cső karakterisztika egyenes szakaszának közepén választjuk meg és az előfeszültséget katódellenállás biztosítja. Vezérlés közben az össz-anódáramfelvétel nem változik.

„B” osztályban külön egyenirányítóról állandó előfeszültséget adunk és a munkapontot a lezárási pont környezetében választjuk meg. A B₁ üzemmódban csak 0 előfeszültségig történik rácsáram mentesen a vezérlés, B₂ üzemmódban pedig a pozitív rácsfeszültség tartományban is történik vezérlés. Ekkor rácsáram is folyik, ezért a vezérléshez teljesítmény is szükséges. Mind a B₁, mind a B₂ osztályban a kivezérés függvényében erősen változik a végfokozat által felvett anódáram.

Az AB osztály munkapontját az A és a B munkapont között választják meg és ugyancsak katódellenállás állítja be. A katódellenállást nagykapacitású elektrolit-kondenzátor hidalja át. Ez a fokozat kis kivezérésnél „A” osztályban működik, nagy kivezérésnél pedig „B” osztályban. A működés váltást az okozza, hogy a nagy kivezérésnél megnövekvő anódáram a katódellenálláson átfolyva eltolja a munkapontot a B osztály közelébe. Az AB osztályú végfokozat anódárama a kivezérés függvényében kisebb mértékben megnő. (kb. 30–50 %-kal).

„D” osztályú beállításnak azt az állandó előfeszültséggel biztosított B osztályhoz közeli munkapontot nevezük, melynél a csövek torzítása minimális értékű. A helyét nagyjából a rácsfeszültség-anódáram karakterisztikán a lefelé meghosszabbított egyenes szakasz metszi ki a rácsfeszültség-tengelyből. A „B” osztályú beállítást kis kivezérésnél a karakterisztika görbülete miatt erő-

sebb torzítás jellemzi. „D” osztálynál ez jóval kisebb mértékű, mert itt még mind a két cső működik, mindkét félperiódusban. Nagy kivezérésnél azután már félperiódusonként csak egy-egy cső működik hasonlóképpen, mint a „B” osztálynál. „D” osztályú beállításban is történhet a vezérlés rácsárammal vagy rácsáram mentesen. A felvett anódáram a kivezérés függvényében erősen változik. (Félvezető technikában „D” osztályú erősítőnek az impulzusszélesség modulált jelekkel vezérelt „B” munkapontban dolgozó fokozatot nevezik.)

Az egyes fokozatok hatásfoka függ a működési osztálytól is. „A” osztályban a hatásfok 50 % körüli (eltekintve a triódtól, ahol még kisebb „B” és „D” osztályban pedig 70–75 %, „AB” osztályban pedig a kettő közötti. Mit jelent ez a gyakorlatban? A végerősítő csöveket szemlélve azt látjuk, hogy az eldisszipálható teljesítmény csövenként 18–25 watt. Két általában használt csőből tehát 25 watt nagyságrendű teljesítmény vehető ki, mert itt az egyenáramú fogyasztás nem változik. B és D osztályban ezekből a csövekből 100 watt teljesítmény is elérhető, mert amikor pld. 140 watt teljesítményt vesz fel a fokozat és 70% a hatásfoka, akkor 40 watt marad a fokozatban, ami nagyságrendileg a két cső megengedett disszipációs teljesítménye.

Trióda csöveket vagy triódnak kapcsolt tetródnak és pentódnak főleg „A” osztályú beállításban használnak, mert ennek a beállítási módnak legkisebb önmagában a torzítása. Az említett 18–25 watt disszipációjú csövekből 12–14–16 watt teljesítményű erősítők épülnek 2 % maximális torzítással.

Tetródnak és pentódnak főleg AB és D osztályban használnak. A tiszta „B” munkapont gyakorlatban sosem fordul elő az erős kezdeti torzítás miatt. Tetróda csöveinket (6L6 és 807) az jellemzi, hogy nagyobb teljesítményt, illetve a velük elérhető legnagyobb teljesítményt csak rácsáramos beállításban adják le, bár vezérlő teljesítményigényük nem túl nagy. A jelenlegi erősítő-technikában legelterjedtebb a pentóda, rácsáram mentes „D” osztályú beállítás, mert a kifejezetten e célra szerkesztett végerősítővel (EL 34, OS1, OS 18/600) könnyen elérhető a teljesítménymaximum (kb. 100 watt).

1. táblázat

Teljesítmény	Csőtípus	Működési osztály	Anódfeszültség
20—25 watt	2x EL 12 spec 2x OS 18/600 2x 6L6 2x EL 34 2x 807 2x OS 1	AB AB AB A A A	300—400 V 400 V 350 V 300—400 V 300—400 V 300—400 V
40—50 watt	2x PL 36, P1 500 2x OS 18/600 2x EL 12 spec 2x 6L6 2x EL 34 2x OS 1 2x 807	D D D D, D D D	300 V 600 V 400 V 400 V 400—500 V 600 V 600 V
60—70 watt	2x E 130 L 2x EL 34 2x OS 18/600 2x OS 1 4x PL 36, PL 500 2x 807	D D D D D D, D,	300 V 500 V 600 V 600 V 300 V 800 V
80—100 watt	4x OS 18/600 2x OS 1 2x EL 34 2x 807	D D D D,	600 V 600 V 800 V 800 V
150 watt	4x OS 18/600 4x EL 34 4x 807	D D D,	600 V 500—600 V 600 V
250 watt	6x OS 1 6x EL 34	D D	600 V 600—800 V

Megemlítjük, hogy nagyobb teljesítményeknél gyakran előfordul a végerősítőcsövek négyeszerese és hatszorozása is különösen az igen kedvező „D” osztályban, mert ily módon a teljesítmény megkétszereződik, illetve megháromszorozódik, változatlan vezérlő rendszer mellett. Az 1. táblázatban az elérhető kimenőteljesítmény szerint csoportosítottuk a Magyarországon leggyakrabban előforduló végerősítő csöveket.

A táblázat adatait tekinthetjük adott esetben kiinduló pontnak. Kiseb teljesítménynél kedvezőbb a 2 nagyobb cső alkalmazása, mint 4 vagy 6 kisebbé. Ezért nem szerepel pl. az 50 wattos erősítők között a 6x EL 84, bár ez a fokozat is leadná „D” osztályban az 50 wattot. De már 70 wattra a 4x PL 36 a 300 voltos anódfeszültséggel és a nagyon alacsony 1700—1800 ohmos illesztő ellenállással kedvezőbb lehet mint a 600—800 voltos és 8—10,000 illesztő ellenállással működő pentódás fokozatok.

A meghajtó rész

A végfokozat elnevezésén tulajdonképpen a meghajtó fokozattal összekapcsolt végerősítőket értjük. Gyakorlatilag ez a negatív visszacsatolásba bevont fokozatokkal is azonos. A meghajtó fokozatra sokféle variáció elképzelhető, leggyakrabban a következők:

- Kettős trióda (erősítő + fázisfordító)
- Pentóda + kettős trióda (erősítő + erősítő fázisfordító)
- Pentóda + trióda (erősítő + fázisfordító)

Az a) variáció az egyik legelterjedtebb megoldás, előnye, hogy kevésbé gerjedékeny a negatív visszacsatolás szempontjából; hátránya, hogy jelentős visszacsatolást csak magas bemenőfeszültségnél (pl. 5—10 volt) lehet megvalósítani. Ismertebb variációk az ECC 85 és ECC 83, valamint ritkábban az ECC 82 csővel működő fokozatok.

A b) variáció (EF 86 + ECC 82 ECC 83 kombinációban) igen előnyös de csak rendkívül jó kimenő transzformátorral lehet stabilan megépíteni. Elterjedése korlátozottabb.

A c) megoldás a kettős katódú ECF 80, ECF 82 stb. csövek megjelenésével igen előnyösen kialakítható meghajtófokozatot jelent. A pentóda rész nagy erősítést, a trióda rész pedig egyszerű fázisfordítást (katodin kapcsolás) tesz lehetővé. Várható a kapcsolás széleskörű elterjedése.

A kimenő transzformátor

Az átvitt frekvencia sáv, az alsó határfrekvencia és a megvalósítható negatív visszacsatolás szempontjából döntő szerepe van a kimenőtranszformátornak. Mit kívánunk egy jó kimenőtranszformátortól?

- Nagy legyen a primer induktivitása és kicsi legyen a vas átmágnesesítése. Ezt nagy vasmagkeresztmetszettel és relatív nagy menetszámmal érhetjük el. $B = \max. 6-7000$ gauss az alsó határfrekvencián.
- Kicsi legyen a szórt induktivitása. E cél érdekében készülnek a transzformátorok osztott kivitelen.

- Kicsi legyen a szórt kapacitása. A tekercsek közötti vastagabb szigeteléssel tudjuk biztosítani.
- Alacsonyak legyenek az ohmos ellenállásai a jó hatásfok érdekében. Megvalósítható jól méretezett huzalkeresztmetszetek alkalmazásával (1...1,5 (2) A/mm² az irányadat.) Itt hívjuk fel a figyelmet arra, hogy ha pl. egy D osztályú erősítőnél 2x100 mA a maximális áramfelvétel, akkor a félperiódust tekintve ezt az áramot egy cső egyedül veszi fel, sőt a csúcsonak ennek 1,4-szeresét. Példánkban tehát a kimenő transzformátor féloldalán 280 mA csúcsáram folyik. Ezen összefüggés ismerete nélkül méretezett kimenőtranszformátorok hatásfoka 70—75% és a felhasználó csodálkozik, hogy a 40 wattos erősítő miért ad csak 30 wattot.
- Előnyös a szimmetrikus tekercselrendezés és az ezzel járó primer oldalak közötti alacsony szórás. E célból készülnek az osztott és keresztbe kapcsolt kimenőtranszformátorok.

A kimenőtranszformátorok méretezésére egy egyszerű és a gyakorlatban bevált közelítő módszert az EL 34 csővel készített erősítőknél fogunk ismertetni. Itt inkább a gondos munkára hívjuk fel a figyelmet. Legfontosabb szempontok a következők: Párhuzamosan kapcsolt szekunder tekercseknel egyetlen menet eltérést sem szabad megengedni. Primer és szekunder tekercs rész közötti szigetelésre jól bevált: 1, réteg műanyagfólia + 1 réteg $d = 0,1$ mm vastag prespán + 1 réteg műanyagfólia. 800 volt anódfeszültségnél lehet 2—2 réteg fólia is. Igyekezzünk a rendelkezésre álló tekercselési teret teljesen kitölteni. Előnyös, ha a primer és a szekunder rézellenállás azonos hányada az illesztési ellenállásoknak. Pl. egy 15 ohm és 4000 ohm között illesztő transzformátornál a féloldal 1000 ohmra illeszt. Ha ennek 10 ohm a réz ellenállása (1/100 rész), akkor a szekunder réz ellenállás 0,15 ohm legyen. A kapcsolási részben nagyszámú variációt mutatunk be elkészített kimenőtranszformátorok alapján.

A hálózati tápegység

Jó tápegység a jó erősítő lelke, tartja egy régi amatőr közmondás. Fokozottan érvényes ez a megállapítás nagyteljesítményű végfokozatokra. Elvileg legelőnyösebb a zérus belső ellenállású stabilizált tápegysége lenne. Ez a megoldás azonban nagyon megdrágítaná a készülék erősítőket. A probléma „A” osztálynál nem jelentős, még talán AB-nél sem. A „D” osztálynál azonban általában 1:3—5 arányban változik a végfokozat áramfelvétele. Nagy belső ellenállású tápegységnél ez az áramváltás erős feszültségesést jelent. Ez a

negatív irányú feszültség csúszás, illetve csökkenés az anódfeszültség szempontjából nem kritikus, bár egyáltalán nem mondható előnyösnek. Jelentős problémát okoz azonban, ha ezt a feszültségcsökkenést megérzi a végerősítőcsövek segéd-rács-feszültsége, mert ez a kivezérelhetőséget, a zérus rácselepfeszültségnél beálló maximális anódáramot csökkenti le.

Rosszul méretezett erősítőnél ez a hatás még fokozódhat, ha a segéd-rácsfeszültséget előtét ellenállással adják, mert nagy kivezérlésnél a segéd-rács áram is megnő. Az erősítő technika jelenlegi helyzetében nagyon előnyösek a szilíciumdiódás csúcsegyenirányítás tápegységek, különösen akkor, ha a segéd-rács-feszültség azonos az anódfeszültséggel ($2 \times EL$ 34 40–55 wattig). Ezt az előnyt azonban csak a megfelelően méretezett transzformátor biztosítja mert ezeknél az egyenirányítóknál alacsony az áramfolyási szög és ezért a csúcsáram kétoldalas vagy Graetz egyenirányításnál is nagyon magas, a kivett egyenáramhoz viszonyítva. A szilíciumdiódáknál ma még olcsóbb egyenirányító csövek alkalmazásánál, az említett hátrány kiküszöbölésére 2 egyenirányítót alkalmaznak. A segéd-rácsfeszültséget és az előcsövek anódfeszültségét biztosító egyenirányítót gyakran előterhelik (lásd EAG erősítők) a segéd-rácsáram változás által okozott feszültségváltozás csökkentésére. Előnyösebb megoldás e célra egy nagyobb teljesítményű csöves csúcsegyenirányító fokozat beállítása, mert a terhelő ellenállás feleslegesen melegíti az egyébként is sok meleget termelő erősítőt.

A „D” osztályú beállítás állandó előfeszültséget igényel. E célra egy 25... 50 voltos tekercset kell alkalmazni. Csúcsegyenirányítással ebből 40... 70 volt feszültséget kaphatunk, ami az előforduló csövekhez elegendő. Rácsáram tartományba vezérelt csöveknél az előfeszültség forrásnak is kis belső ellenállásúnak kell lenni, mert a beálló rácáram eltolná a munkapontot.

A hálózati transzformátor méretezésénél nem szabad takarékoskodni, mert a rosszul méretezett transzformátor nem csak melegszik, hanem nem is adja az előírt feszültségeket.

A bevezető rész összefoglalása

Nem törekedtünk teljességre a bevezető rész összeállításánál, csak a legfontosabb szempontokra kívántuk felhívni a figyelmet. Az elmonotakból megállapítható, hogy a címben megadott teljesítményhatárookra sokféle végerősítő alkalmas. Legelőnyösebb a „D” osztályú beállításban működő rácáram mentes pentóda fokozat (EL 34, OS1, OS18/600). Ezek között nagyon kedvező az EL 34 cső 40... 55 wattos beállítása az azonos anód és segéd-rács feszültség

miatt. Meghajtás szempontjából kedvező az ECF betűjelű csövek alkalmazása. Kimenőtanszformátort, mi után készen amúgy sem lehet vásárolni, nagyon gondosan házilag kell elkészíteni. A hálózati tápegységnek minden szempontot figyelembe véve a szilícium diódás tápegység a legelőnyösebb.

A következő részt, mely az erősítők kapcsolási vázlatait és a transzformátorok adatait tartalmazza, a végerősítőcsövek szerint csoportosítottuk. Minden esetben a cső legelőnyösebb felhasználására igyekszünk példát adni. Mégegyeser utalunk arra, hogy a teljes erősítők előerősítő részeire szinte tetszésszerű kombinációban alkalmazhatók a más erősítők, végfokozatainak is. Figyeljük meg, hogy a 800 voltos erősítők külön 3–400 voltos segéd-feszültségforrást alkalmaznak az előerősítőnek és a segéd-rácsnak. Mire ez a feszültség az előerősítőre jut, már 240... 280 volt nagyságrendű. Ugyanez a helyzet a 400 voltos anódfeszültségű rendszereknél. Változtatott előerősítő és végerősítő kombinációnál arra ügyeljünk, hogy a szűrőellenállást esetleg megváltoztatva ez a feszültség kerüljön az előerősítőre. A szűrőellenállást nyugodtan meg lehet változtatni, mert általában csatolásmentesítés miatt olyan nagyok a szűrőkondenzátorok, hogy a szűrés szempontjából nem jelent semmit, ha 20 kilohm helyett pl. 10 kilohmot használunk soros ellenállásként, amikor a végfokozatnál átmegy az anódfeszültség az előerősítőre. A fűtések megfelelő biztosítása magától értődik.

Az egyes végerősítőfokozatok beállítási adatait a rádiócsőgyárak adják meg. Ezek az értékek elég jól megközelíthetők, bár ezeket ideális körülményekre határozzák meg. A következő részben megadott adatok, csőgyári adatok, de a konkrét kapcsolások teljesítményadatai a legtöbb esetben saját mérési eredményeinkből származnak.

Teljesítményerősítő kapcsolások

6L6 elektroncső

A sugártetróda csőnek klasszikus típusa a 6L6 elektroncső. Erősítő építésnél 47 wattig használható, bár erőltetett üzemmódban, nagyobb anódfeszültséggel 65–70 wattot is

le tud adni. Legjellemzőbb beállításait a 2. táblázat foglalja magában.

Széleskörű elterjedését az alacsony torzítási tényezőjének köszönheti. Párba válogatott csövek minden visszacsatolás nélkül 2% torzítási tényezővel adják maximális teljesítményüket. Leggyakrabban 20–25 watt teljesítményre használják rácáram mentes beállításban. A rácáramos vezérlést katódkövető fokozatok beállításával, egyenáramú csatolás mellett lehet megvalósítani. Ezt a megoldást azért nem ismertetjük, mert az említett 47 wattot $2 \times EL$ 34 vagy 2×807 egyszerűbben leadja.

Komplett 25 wattos, mikrofon érzékenységu, két bemenő csatornával rendelkező erősítő kapcsolását láthatjuk az 1. ábrán. Az előfokozatban egyetlen ECC 83-as cső működik. A két csatorna keverését anódkövető (anódról rácra visszacsatolt) fokozat végzi. Ennek a fokozatnak kapcsolásunkban kb 4,5-szeres az erősítése azzal az előnnyel, hogy a csatornák nem húzzák el egymást és a fokozat kimenő ellenállása igen alacsony.

A modern erősítőknél nagyon elterjedt az anód-rács visszacsatolás alkalmazása. A későbbiekben még számos példát fogunk erre látni. Előnye az is, hogy a rác-katód impedancia is lecsökken. ECC-83-nál 2,2 meghosszított visszacsatoló ellenállásnál kb 40 kilohm ez az impedancia ami brumm-érzékenység szempontjából is kedvező.

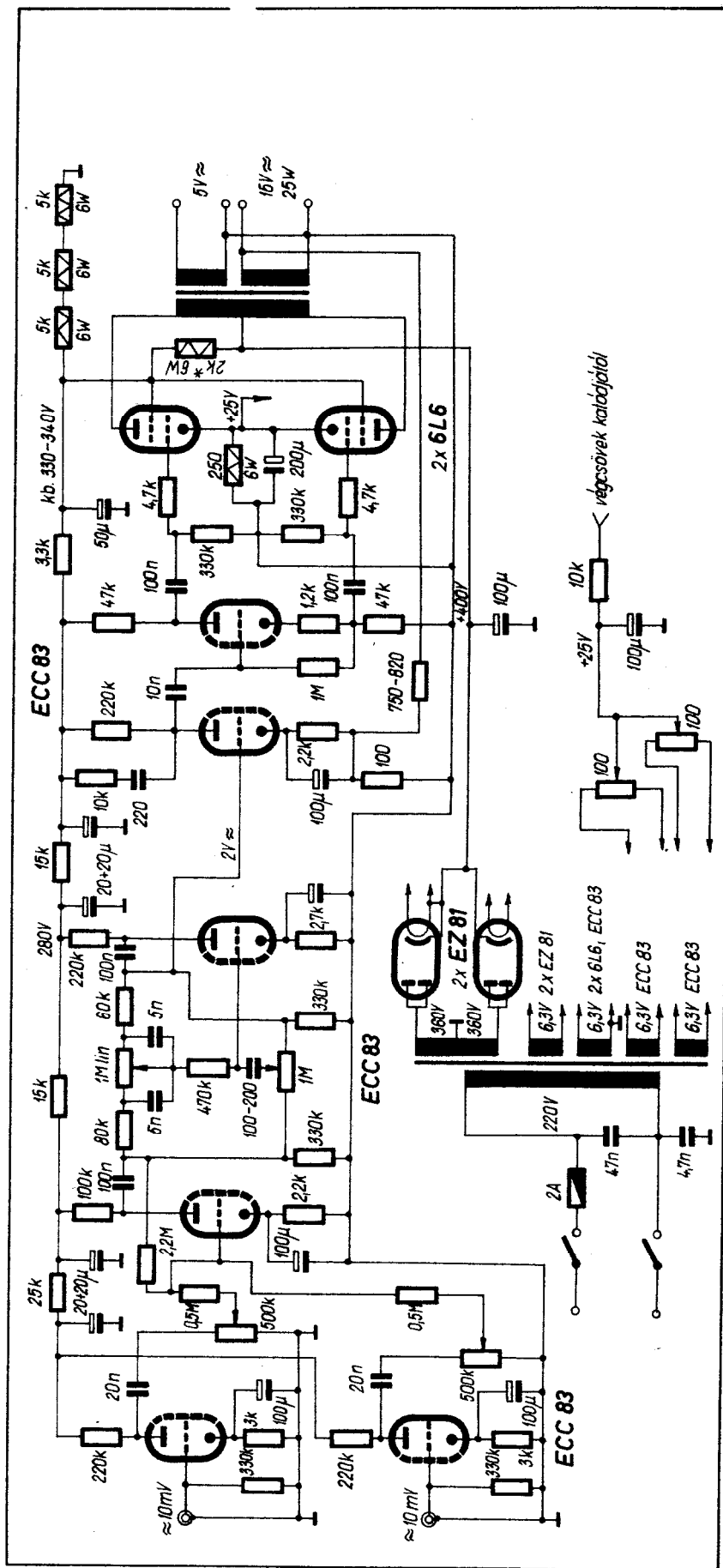
A szokásos ± 16 –18 dB-es mélymagas emelés-vágást megvalósító fokozat is ugyanebben a kapcsolásban működik. Ez a fokozat középállású szabályozóknál egyszerűen erősít. A szabályozók elforgatásával változik meg erősítése 0,1-szeresre vagy 10-szeresre. Előnye, hogy kisebbek a jelszintek, így pl. a meghajtó fokozatnak kisebb jelet kell leadni mint a lepkés megoldásnál.

A végfokozat AB osztályú beállításban működik. Meghajtását egyetlen ECC 83 cső végzi. Az előírt 25 voltos katódfeszültséget a csillaggal jelölt 2 kilohmos ellenállás változtatásával lehet beállítani. A végfokozatban 12 dB nagyságrendű negatív visszacsatolást alkalmazunk, mert a fokozat torzítása önmagában is kedvező.

Az erősítő kimenő transzformá-

2. táblázat

Elektroncső	2x 6L6		
U _a (V)	270	360	360
I _a (mA)	2x 67–72	2x (44–66)	2x (44–102)
U _{g₂} (V)	270	270	270
R _{g₂} (Ω)	—	—	—
I _{g₂} (mA)	2x (5,5–8,5)	2x 2,5–7,5	2 (2,5–8)
U _g (V)	—22,5	—22,5	—22,5
R _k (Ω)	—	—	—
R _{an} (Ω)	5000	6600	3800
P _{an} (W)	18,5	26,5	47 rácáramos beállítás
k (%)	2	2	2



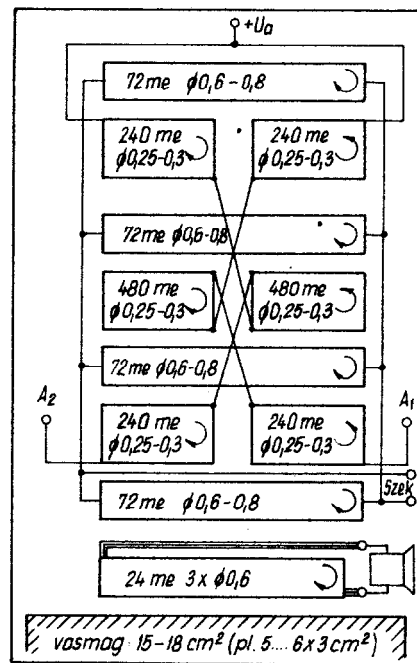
1. ábra. 25 wattos teljesítmény erősítő 2 x 6 L6 végerősítővel

3. táblázat

Elektroncső	2x PL 36:	2x PL 500
U _a (V)	300	300
I _a (mA)	2x (18—100)	2 (18—70)
U _g (V)	150	150
I _g (mA)	2x (1—19)	2 (1—12)
R _g (Ω)	—	—
U _g (V)	—29	—29
R _k (Ω)	—	—
R _{an} (Ω)	3500	5200
P _{xi} (W)	44,5	30
k (%)	7,2	8—10

torainak összes adatai megtalálhatóak a 2. ábrán, ahol az elkészítés módja, a tekercsek menetiránya és összekötési sorrendje is látható.

A tápegységben 2 db EZ 81 elektroncsővel történik az egyenirányítás. 25 watt teljesítménynél ez a



2. ábra. 25 wattos kimentőtranszformátor 2 x 6L6 végerősítőhöz R_{aa} = 6000 ohm

megoldás kielégítőnek mondható. Teljes kivezérlésnél lecsúszik az anódfeszültség 360—380 volttra a transzformátor réz ellenállásától függően. A segédrács feszültséget a huzellenállásokból álló osztó is stabilizálja. A hálózati transzformátor adatai a 3. ábrán láthatók.

Kifogástalan megépítés mellett az erősítő 1%-nál kisebb torzítás mellett leadja a 25 wattot, ami csak egészen mély hangoknál növekszik meg 2—3%-ra a kimentő transzformátor miatt. Zajszintje egyenes frekvenciakorrekció állásban —48... —50 dB nagyságrendű.

PL-36 — PL-500 elektroncső

Nálunk még kevésbé terjedtek el PL 36; PL 500-as erősítők. Külföldön azonban igen széleskörűen alkalmaz-

$6,3V$ $0,6A$ $\phi 0,55$ 22 me	$6,3V$ $0,6A$ $\phi 0,55$ 22 me
$6,3V$ $3A$ $\phi 1,2$ 22 me	$6,3V$ $2A$ $\phi 1$ 22 me
E — $2 \times 360V$ $2 \times 1200 me$ $\phi 0,25-0,3$	
220V — 750 me $\phi 0,55-0,6$	
vasmag: $17,5 cm^2$ ($5 \times 3,5 cm^2$)	

3. ábra. 25 wattos ($2 \times 6L6$) erősítő hálózati transzformátora

zák a TV vevők sorvégcsővét D osztályú erősítők építésére, különösen E-változataikat az EL 36-ot és az EL 500-at.

A 4. ábrán 40 watt teljesítményű ultralinear végfokozat kapcsolási vázlatát láthatjuk. A beállítás eltérően a 3. táblázat adataitól, 300 volt segédrácsfeszültséggel működik. Ez esetben — 49 volt előfeszültséggel lehet beállítani a $2 \times 18-20$ mA nyugalmi áramot. A megadott 44,5 wattból a kimenő transzformátor hatásfoka miatt kapunk kb 40 wattot.

A végfokozat vezérlését az említett kedvező megoldású ECF 80-as cső végzi. Ez esetben már — 20 dB nagyságrendű visszacsatolást is meg lehet valósítani, ha ezt egyébként a kimenő transzformátor lehetővé teszi. A kimenőtranszformátor illesztő ellenállása anódtól anódig 3500 ohm.

A tápegység szilíciumdiódás csúcs-egyenirányítóval működik. A 2 db sorbakötött fűtésű PL 36-os cső 50 voltos izzítófeszültségét előnyösen lehet használni előfeszültség előállítására is. A soros 5 kiloohmos állít-

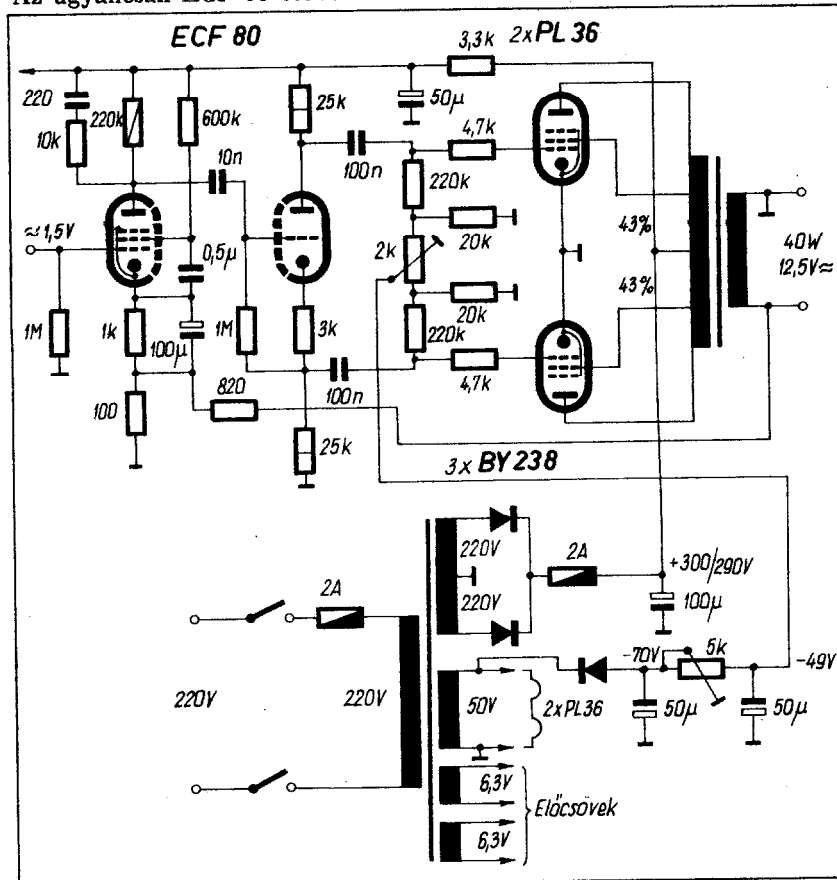
ható ellenállás az előfeszültség abszolút értékét, a 2-kiloohmossal pedig a végcsövek szimmetriáját lehet beállítani.

Az 5. ábrán a modernebb PL 500-as csőnek 30 wattos erősítőben történő alkalmazására mutat példát. A 3 bemenőcsatornás erősítő 2 mikrofon és 1 nagyszintű bemenetről vezérelhető. Az elhúzásmentes keverést választó ellenállások biztosítják. A következő cső erősít és impedanciát illeszt. A lepkeszabályozó után kapcsolódik a tulajdonképpeni végerősítő egység.

Az ugyancsak ECF 80 csővel fel-

épített meghajtó fokozat az előző ábrához hasonló beállítású, de most a kb 5000 ohm illesztő ellenállású végfokozatot vezérli. A tápegység ugyancsak szilíciumdiódás, de itt hídkapcsolású egyenirányítóval. A transzformátor leágazást úgy kell megválasztani, hogy az anódfeszültség 300 volt legyen.

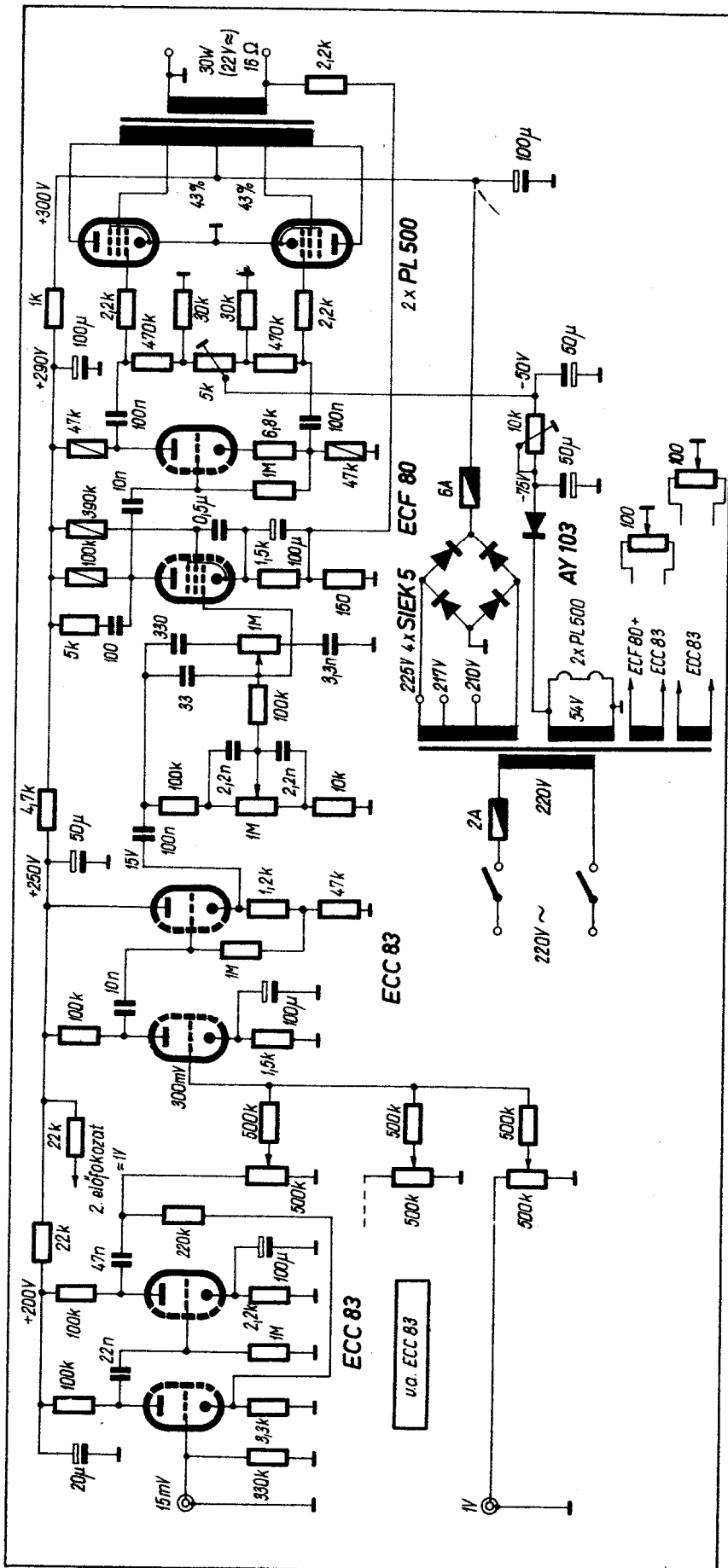
Ebben az esetben pl az erősítő teljes kivezérélnél kb 180 mA áramot vesz fel. A transzformátor anódtekerését 400—500 mA-ra célszerű méretezni drótátmérő szempontjából, ha azt akarjuk, hogy teljes kivezérélnél se essen le a feszültség 290 volt-



4. ábra. 40 wattos végerősítő fokozat $2 \times PL 36$ elektroncsővel

4. táblázat

Elektroncső	$2 \times EL 34$								
	375	350	375	400	425	475	500	750	800
$U_a(V)$	375	350	375	400	425	475	500	750	800
$I_a(mA)$	$2 \times (75-95)$	$2 \times (35-93)$	$2 \times (35-120)$	$2 \times (30-100)$	$2 \times (30-120)$	$2 \times (30-102)$	$2 \times (30-125)$	$2 \times (25-84)$	$2 \times (25-91)$
$U_{gs}(V)$	375	350	375	400	425	375	400	375	400
$I_{gs}(mA)$	$2 \times (11-22)$	$2 \times (5-25)$	$2 \times (5-25)$	$2 \times (5-25)$	$2 \times (4-25)$	$2 \times (4-25)$	$2 \times (4-25)$	$2 \times (3-19)$	$2 \times (3-19)$
$R_{gs}(\Omega)$	470	470	470	1000	1000	750	750	750	750
$U_g(V)$	—	—32	—32	—38	—38	—38	—36	—39	—39
$R_k(\Omega)$	130	—	—	—	—	—	—	—	—
$R_{aa}(\Omega)$	3400	3800	2800	4000	3400	5000	4000	11 000	11 000
$P_{ki}(W)$	35	36	44	45	55	58	70	90	100
$k(\%)$	5	6	5	6	5	6	5	6	5



6. ábra. 30 wattos erősítő 2 x PL 500 végerősítővel

nál lejjebb. A trafó primer teljesítményét a 300 volt \times 180 mA figyelembevételével kell meghatározni.

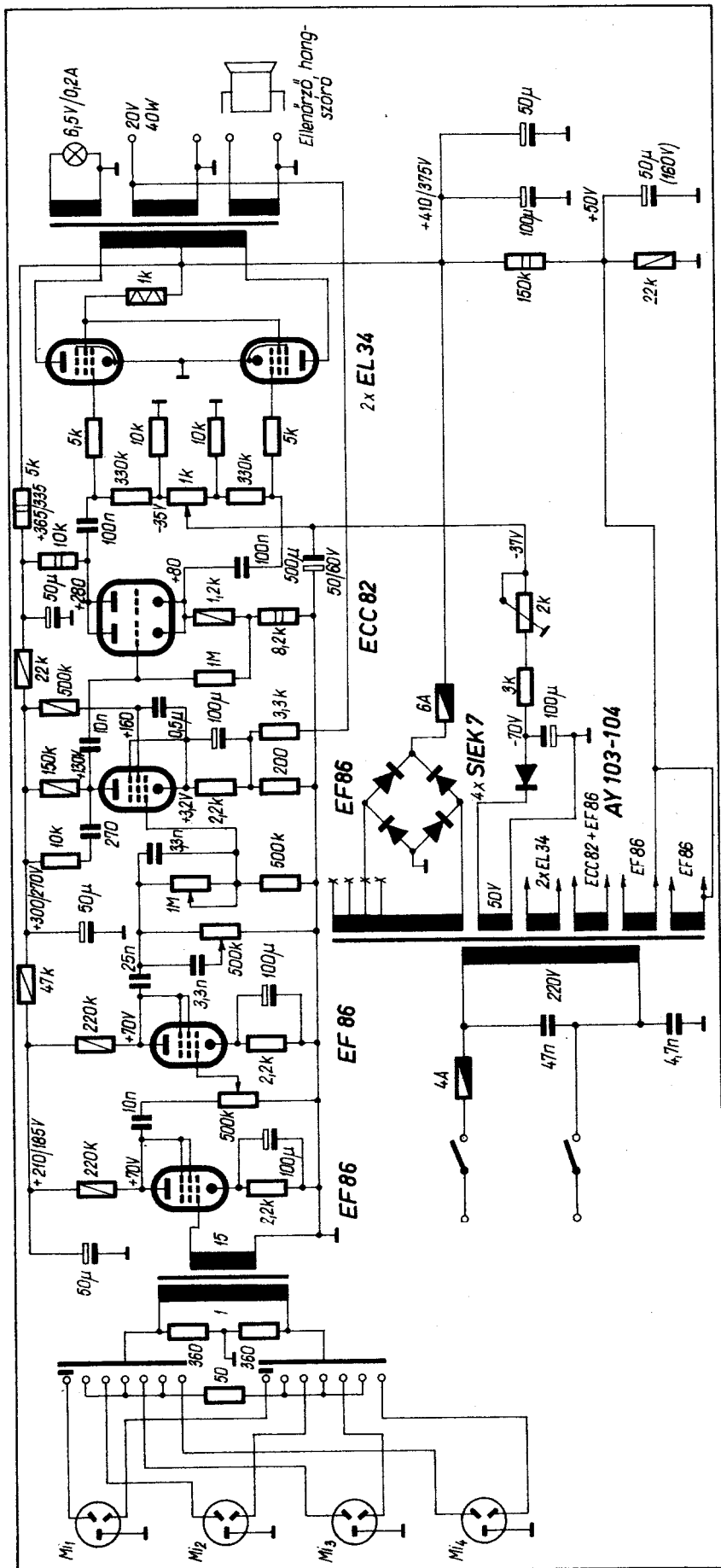
Ennél az erősítőnél a 2. ábrán megadott kimenőtranszformátor primer oldala minden további nélkül alkalmazható. A szekunder menetszámot a szükséges feszültség vagy ohmos illesztés szerint kell meghatározni. Az ultralinear leágazás nem túl kritikus, 35–50% között bárhol megválasztható. Biztosabban leadja a kívánt teljesítményt ha 35% irányában választjuk meg a leágazást.

A PL - csöves erősítők ultralinear beállítása egyébként teljes kivezérélnél a segédrcsfeszültség effektív csökkenését eredményezi. Azért van itt –45 volt körüli (a rácson mérhető) előfeszítés az előírt –29 helyett, hogy nyugalmi helyzetben kompenzálja a megnövelt segédrcsfeszültséget. Teljes kivezéréskor a segédrcsfeszültség dinamikusan leesik a 150–180 volt körüli értékre. Az ultralinear kapcsolás előnyét itt azzal kell megfizetni, hogy a –29 voltos beállításnál szükséges 2×20 volt vezérlőfeszültség helyett 2×32 volt vezérlőfeszültséget kell előállítani.

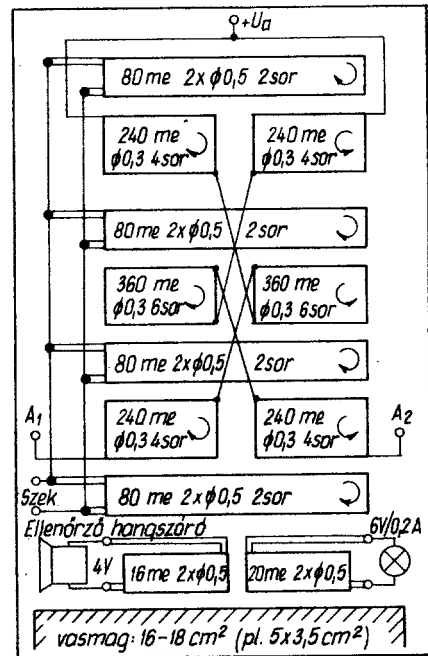
EL-34 elektroncső

Az elmúlt évtized leggyakrabban használt és egyik legkedvezőbb tulajdonságú elektroncsőve a 25 watt anód és 5 watt segédrcs disszipációjú EL 34-es elektroncső. A 4. táblázatban megadott adatokból látható, hogy ez a csőtípus szinte minden erősítőépítési feladatra alkalmas. Alkalmazására 3 példát is bemutatunk. A 6. ábrán 40 watt kimenőteljesítményű erősítőt láthatunk. Ez az erősítő kifejezetten mikrofon erősítésre készült. Bemenő rendszere 4 dinamikus mikrofon váltott üzemi működését teszi lehetővé. Hangkorrekciója csak vágó jellegű kb –10 dB vágást biztosít mind magas, mind a mély oldalon. Az erősítőrendszer felépítése egyszerű, az előfokozatban az igen kedvező zajtulajdonsággal rendelkező EF 86 elektroncső kerül alkalmazásra trióda kapcsolásban. A végfokozatban az ECF funkciót szétválasztva látja el az EF 86 és a párhuzamosan kötött ECC 82. A negatív visszacsatolás mértéke kb. 17–18 dB. A hálózati tápegység felépítésében újat nem tartalmaz. Tekintettel arra, hogy ez az erősítő szélesebbkörű érdeklődésre számíthat, részletes transzformátoradatait 7. és 8. ábránk megadja. Más kimenőfeszültség igénynél csak a kimenő transzformátor szekunder oldalán kell változtatni.

A 9. ábrán látható 50 wattos erősítő is 4 csatornás, de ezek a bemenetek keverő üzemmódban egyidejűleg is használhatók. Az előerősítést ECC 83 végzi. A közbeeső erősítést és a mély-magas emelést-vágást a már bemutatott negatív visszacsatolt rendszerű fokozatok végzik. Az erősítő kapcsolástechnikailag már ismert

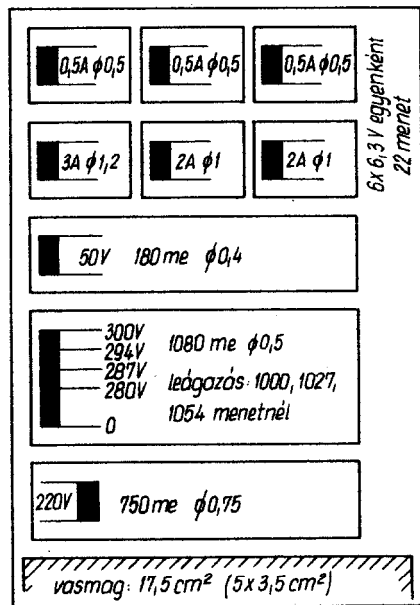


6. ábra. 40 wattos erősítő 2 x EL 34 végerősítővel

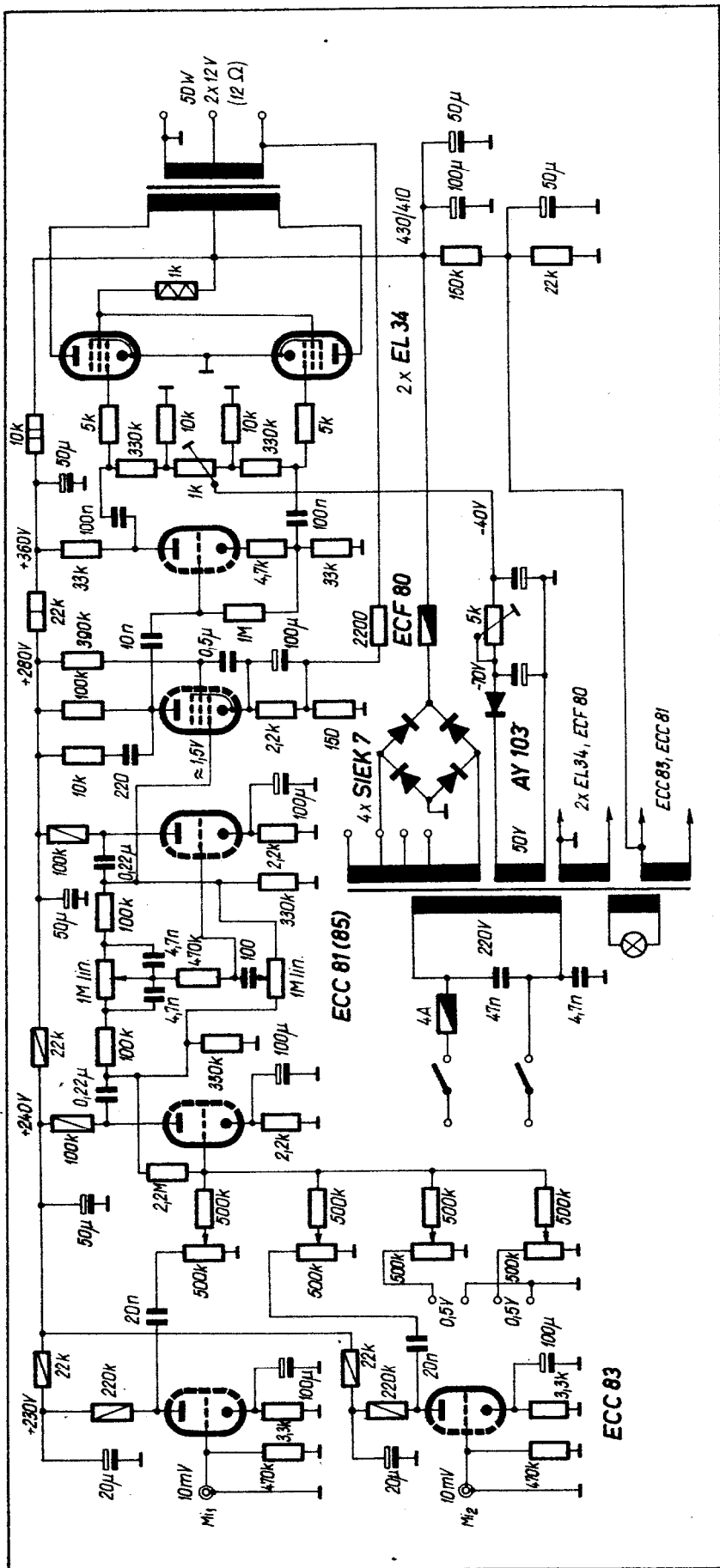


7. ábra. 40 wattos kimenő transzformátor 2 x EL 43 csőhöz $R_{aa} = 4000$ ohm

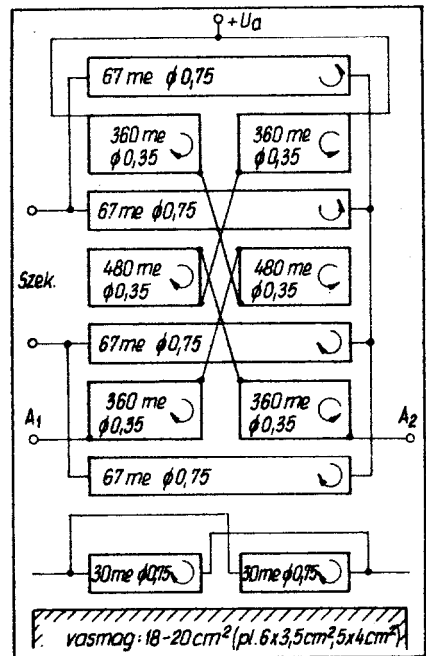
ismertnek nevezhető. Megjegyezzük, hogy tápegységében igen jó elkókat kell alkalmazni. Az alkalmazott 430 volt feszültséggel elmentünk az az elkók igénybevételének felső határáig. Jobb lenne itt 500/550 voltos elkó, de ilyen nem igen lehet beszerezni. Az elkókat beépítés előtt célszerű formálni. Az erősítőt először a legalacsonyabb anódfeszültségre kell kapcsolni, majd több napos üzem után lehet a végleges értéket beállítani. Úgy kell a transzformátor leágazást megválasztani, hogy a beállított 2 x 30 mA -os nyugalmi anód-



8. ábra. 40 wattos (2 x EL 34) erősítő hálózati transzformátora



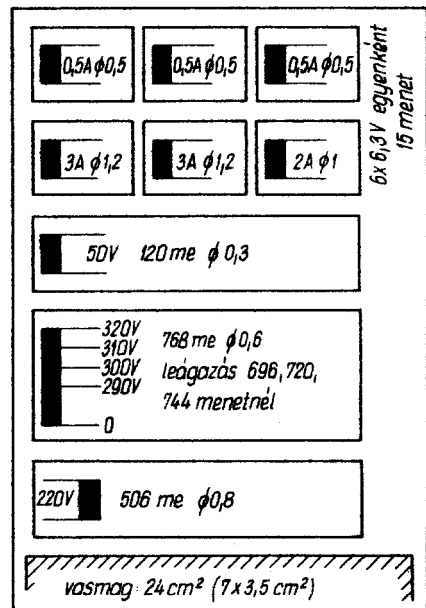
9. ábra. 50 wattos 4 csatornás erősítő 2 x EL 34 végcsőstíplel



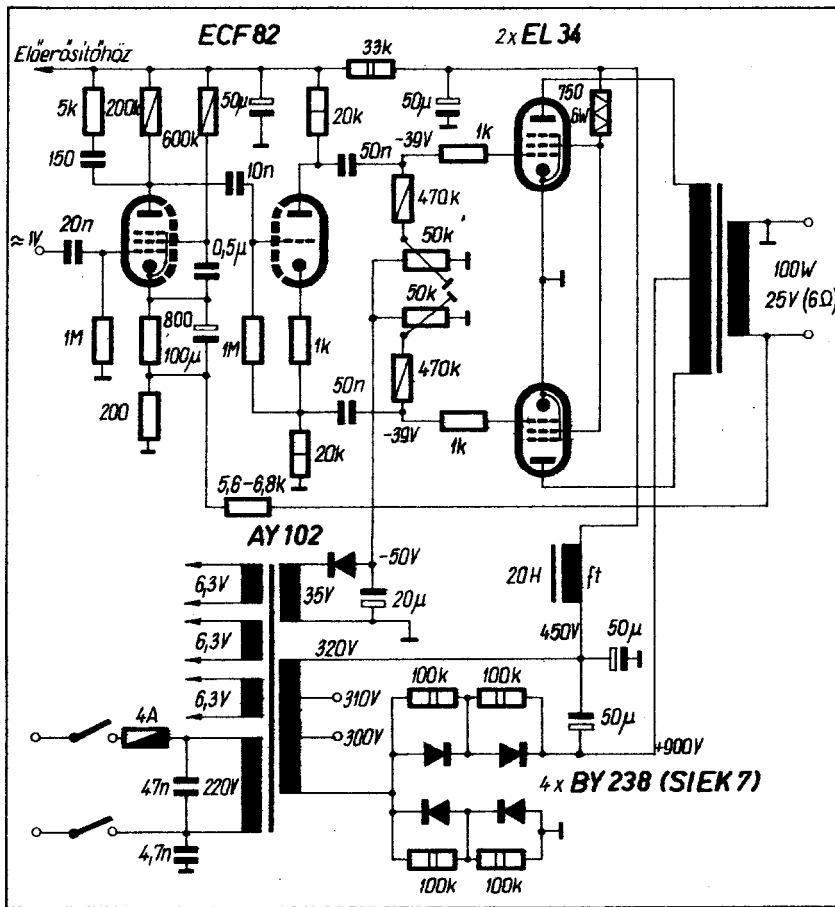
10. ábra. 50 wattos kimenő transzformátor 2 x EL 34 csőhöz $R_{aa} = 3400$ ohm

áramnál kb 420–430 volt legyen az anódfeszültség.

Az erősítő kipróbált és jól bevált transzformátorainak részletes adatai a 10. és 11. ábrán láthatók. A hálózati transzformátor méretezéséhez kiegészítésként megemlítjük, hogy tapasztalataink szerint előnyös, ha csak 8–9000 gaussra vesszük igénybe a vasmagot. A huzalkeresztmetszetek megállapításánál figyelembe vesszük a rövid folyásszögű szilíciumdiódás egyenirányító magas csúcsáramát is.



11. ábra. 50 wattos (2 x EL 34) hálózati transzformátora



12. ábra. 100 wattos végerősítő fokozat 2 × EL 34 végerősítővel

Kimenő transzformátor méretezése

A kimenőtranszformátor egyszerű méretezése a következő: (Ezt az eljárást tetszésszerűtől végerősítőknél lehet alkalmazni a megfelelő adatok behelyettesítésével.)

Kiindulási adatunk az 50 watt teljesítmény elérése. Ehhez kiválasztottuk a cső 425 voltos 55 wattos beállítását. Ekkor a cső illesztő ellenállása anódtól anódig 3400 ohm. A vasmag keresztmetszetét önkényesen 20 cm²-nek választjuk. (20–30 wattos erősítőnél 15–18 cm², 70–100 wattosnál 20–25 cm²).

Ha a cső 55 wattot ad 3400 ohmon, akkor a két anód között fellépő váltófeszültség:

$$U_{aa} = \sqrt{P_{H1} \cdot R_{aa}}$$

$$U_{aa} = \sqrt{55 \cdot 3400} = 432 \text{ volt.}$$

A transzformátor primer oldalán tehát 2 × 216 váltófeszültség lesz üzem közben. Működjön az erősítő 35 Hz-től, itt 6000 gauss mágnesezést engedünk meg.

A transzformátor voltonkénti menetszáma:

$$n/\text{volt} = \frac{10^8}{4,44 \cdot 35 \cdot 6000 \cdot 20} = 5,4 \frac{\text{menet}}{\text{volt}}$$

Ebből a transzformátor primer oldala:

$$2 \times 216 \cdot 5,4 = 2 \times 1170 \text{ me.}$$

Válasszuk helyette a 2 × 1200 kerek és jó részekre osztható menetszámot. A végfokozat maximális árama 2 × 120 mA. Ezt az áramot a működési félperiódusban egyetlen cső veszi fel. Az átfolyó 240 mA-hoz választottuk a ∅ 0,35 huzalt. Jobb lenne 0,4 vagy 0,45, de ez nem fér be az ablakba. A szekundernél 2 × 12 volt feszültséget akartunk kapni. Ezek menetszámát egyszerű aránypárral kapjuk meg:

$$1200 : n_x = 216 : 12$$

$$n_x = \frac{12 \cdot 1200}{216} = 67 \text{ menet}$$

A szekunder tehát 2 × 67 menet.

A szekunderen átfolyó átlagáram 2 A, de 2 párhuzamosan kapcsolt tekercsen osztjuk meg. Az egy tekercsre jutó 1 A áramra 0,75-ös huzalt alkalmaztunk, bár itt is jobb lett volna 0,8–0,85-ös.

Ezzel meghatároztuk a transzformátor minden fontosabb adatát. A számítás több tényezőt nem vesz figyelembe, de eredményességét így is igen sok elkészült jól működő transzformátor bizonyítja. Egy adatra még felhívjuk a figyelmet. A ki-

számított menetszámot ellenőrizni kell belefér-e az ablakba. Igen gondos munkával az ablak 28–30-ra tölthető ki rézzel. A tekercsek elrendezését illetően megemlítjük, hogy a megadott arányok szerinti hatrészes primer elosztás és a négyrészes szekunder osztás igen jóminőségű kimenő transzformátorok készítését biztosítja.

Ezen adatok szerint elkészített transzformátoron a következő adatokat mértük:

R primer: 2 × 45 ohm.

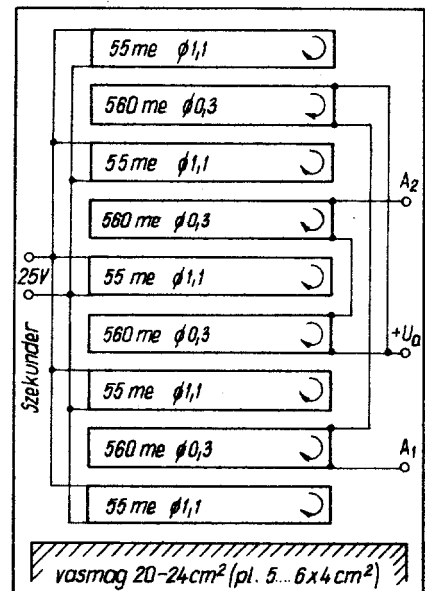
R szek.: 0,5 ohm.

Tekintve, hogy a féloldali illesztés 850 ohm, a 45 ohm ennek 5%-a 12 ohm mellett pedig a 0,5 ohm 4% veszteséget okoz. A rézveszteségek közel azonosak, összegük kb 9%. A trafó rézhatásfoka tehát 91%.

Az üresjárású impedanciát 220 voltot a primer oldalra való rákapsolásával mértük meg. 220 voltot 18 mA a transzformátor féloldalán átfolyó váltóáram. Ebből

$$Z_{ii} = \frac{200}{18 \text{ mA}} = 12\,000 \text{ ohm,}$$

Ez az érték lényegesen magasabb a 850 ohmos illesztő impedanciánál. Ha az átmágnesezés nem szabna alsó torzítási határt meg, akkor 5 Hz körül lenne a 3 dB-es pont. A mi esetünkben pedig 35 Hz-en még nem lesz számottevő szintesítés, mert itt 7 kiloohm körüli a transzformátor sőtől inuktivitásának értéke. A 35 Hz-es átvitelt torzítás szempontjából fogja határozni ez a transzformátor, mert 6000 gauss átmágnesezésnél már jelentkezik a vas nemlineáris mágnesezési görbéjéből származó torzítás.



13. ábra. 100 wattos kimenőtranszformátor 2 × EL 34 elektroncsőhöz
R_{aa} = 11 000 ohm

igen jó érték. Tudjuk, hogy a transzformátor átvitelét a σ szabja meg.

$$\frac{f_{felső}}{f_{alsó}} = \frac{4}{\sigma}$$

Ennél a képletnél a megbecsült 5 Hz-t kell alsó frekvenciahatárnak tekinteni.

$$f_{felső} = \frac{f_{alsó} \cdot 4}{\sigma} = \frac{5 \cdot 4}{0,0002} = 100000 \text{ Hz}$$

Az adat ellenőrzésére hanggenerátorral mérést végeztünk. Méréseink szerint a transzformátor átvitele 50 kHz-en 1 dB-t esik, ami jól összevág a fenti adattal. 100 kHz-körül is működik, de itt már ellenőrizhetetlen rezonanciák is előfordulnak.

A rövid összefoglalásból látható, hogy méretezésünk elfogadható adatokat szolgáltat és tekercselési rendszerünk jó minőségű transzformátorok készítését biztosítja. Ezek után a méretezés más csövekre és más beállításokra is elvégezhető.

100 wattos végerősítő fokozatot mutat a 12. ábra. Itt már sajnos 800–900 volt anódfeszültséget kell alkalmazni. Ennek előállítását feszültségkétszerező fokozat végzi. A hálózati transzformátor méretezését a megadott feszültségek és a táblázatban szereplő áramok szerint kell elvégezni. A végerősítő csöveknél, ha 900 volt az anódfeszültség, elegendő $2 \times 20 \text{ mA}$ nyugalmi áram beállítása. A megadott adatok feltételezik, hogy az erősítő anódfeszültsége teljes kivezrlésnél lecsökken 900 voltól 800 voltra és a segédrcs feszültség 450-ről 400-ra. Ha ez nem történne meg az üresjárási feszültséget kell leszorítani 820–840 volt környékére a transzformátor leágazás áthelyezésével.

Ez a 100 wattos végfokozat előnyösebb mint a 807-es csövekkel felépített rendszer, mert nem igényel vezérlőtelsítményt. Hasonló eredményt csak az OS 1 (PE 06/40) csövekkel lehet elérni.

A 100 wattos erősítő kimenő transzformátorának műhelyrajza a 13. ábrán látható. Ez a transzformátor nem szimmetrikus felépítésű. Elkészítése könnyebb mint a keresztosztású rendszereké, jellemző tulajdonságai azonban rosszabbak. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a 800 voltos működő erősítők kimenőtranszformátora igen gondos munkát igényel, mert 1500 volt nagyságú feszültséglökések fordulnak elő.

E 130 L elektroncső

Ipari célokra készült az igen megbízható működésű E 130 L végerősítő pentóda, melyet a Tungstam is gyártási programjába vett. A cső 27,5 watt anód és 5 watt segédrcs disszipációt bír el. Valószínűleg 100 wattos erősítőbe is alkalmazható, jelenleg csak az 5. táblázatban megadott „D” osztályú 60 wattos beállítását ismerjük. A megépített és kipróbált erősítő kapcsolási rajzát a

5. táblázat

Elektroncső	2x E 130 L
U _a (V)	300
I _a (mA)	2x (80—182)
U _{gr} (V)	150
I _{gr} (mA)	2x (2,5—22)
U _g (V)	—17
R _{ass} (Ω)	1600
P _{ki} (W)	60
k (%)	5

14. ábránk mutatja. A végerősítőcsőnek előnye és hátránya az alacsony feszültségű működés. Előnyös, mert nagyon alacsony az illesztési impedancia. Hátrányos, mert nagy és erősen változó az áramigénye. A 150 voltos segédrcsfeszültséget vagy külön csúcsegyenirányítóval (szilíciumdióda!) vagy pedig a rajzon megadott módon kell stabilizálni.

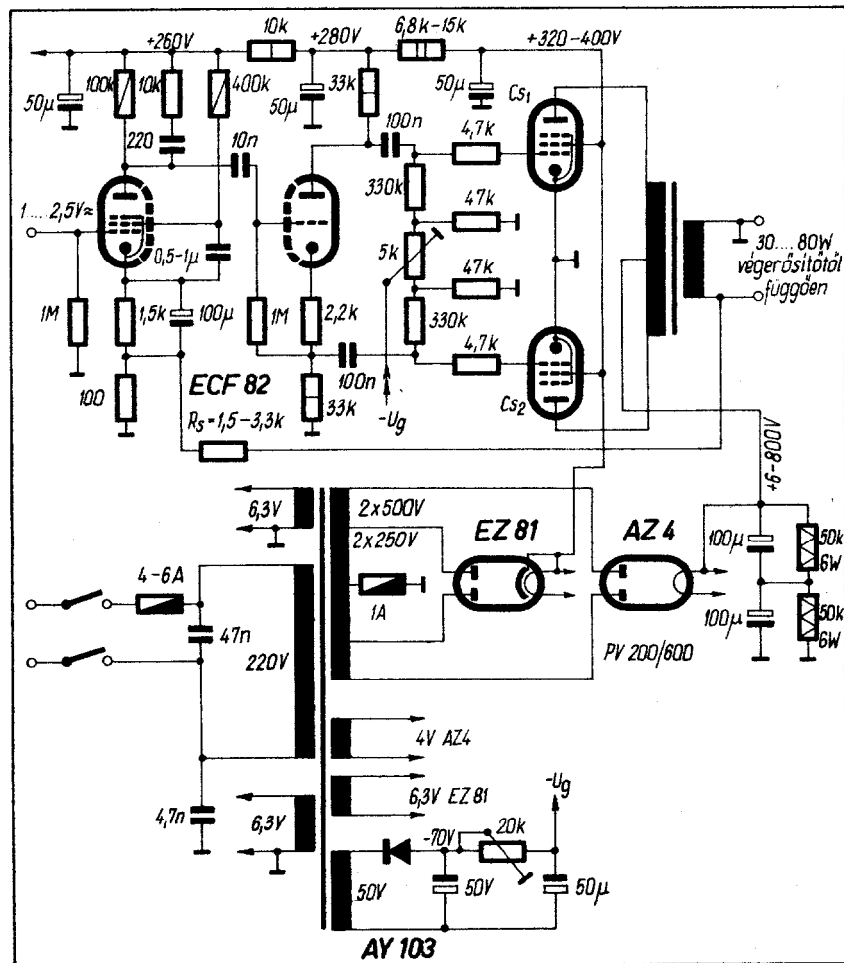
Az erősítő teljes kapcsolását áttekintve látjuk, hogy 3 bemenő csatornával rendelkeznek. Ezek visszahatásmentes keverését anódkövető fokozat biztosítja. Mély-magas hangkorrekcióra a lepkeszabályozó szolgál. A végfokozat meghajtása egyszerű és stabil felépítésű.

A tápegység 3 db EZ 81 csővel működik. Az előállított anódfeszültségből 150 voltot stabilizálunk a VR 150 csővel. Mivel a segédrcsáram 40 mA-t változik, közvetlenül nem stabilizálható a VR 150-tel. Az alkalmazott EL 84 áteresztő cső kismértékű feszültségingadozást biztosít. Amikor 4 mA a segédrcsáram, akkor —10 volt az előfeszültsége, ezért van 160 volt a katódján. Mikor 40 mA a segédrcsáram, akkor a cső előfeszültsége 1–2 volt, ekkor kb 150 volt a segédrcs feszültség. A VR 150 rövidzár érintkezőjét okvetlenül be kell iktatni a segédrcsáramkörbe, mert a VR 150 véletlen kihúzásánál a segédrcsfeszültség felugrana 350 voltra és tönkremenne a cső. Az EL 84 minden további nélkül kivethető, ekkor nem működik a végfokozat.

A csöveken kb 60 mA nyugalmi áramot kell beállítani a 360 volt anódfeszültség miatt.

A megépült erősítő a 60 watt teljesítményt jól leadja (szekunderben mérhető!) Elkészítése nem kritikus. A transzformátorok műhelyrajzai a 15 és a 16. ábrán láthatók.

Mérési adataink szerint az ECC 85 + 2x E 130 L végfokozat frek-



17. ábra. 30... 80 wattos végerősítő fokozat alapkapcsolása

Elektroncső	2x OS 18/600				2x 807				2x OS1
U _a (V)	375	375	425	600	400	500	600	750	600
I _a (mA)	2x (53—67) 2x (20—80) 2x (20—93) 2x (26—80)				2x (28—72) 2x (22—70) 2x (18—70) 2x (15—70)				2x (34—114)
U _{gr} (V)	375	375	425	400	300	300	300	300	300
I _{gr} (mA)	2x (6,5—16) 2x (2—17) 2x (2—21) 2x (2—20)				2x (1—8) 2x (0,5—7,5) 2x (0,3—7,5) 2x (0,2—8)				2x (5—18)
R _{gr} (Ω)	500	500	500	—	—	—	—	—	—
-U _g (V)	—	-32	-38	-33	-30	-32	-34	-35	-45
R _k (Ω)	230	—	—	—	—	—	—	—	—
R _{aa} (Ω)	5000	5000	5000	10 000	6800	8200	10 000	12 000	6000
P _{kl} (W)	26	35	48	69	36	46	56	72	90
k (%)	3,5	2,5	2,5	5	2,5	3	3	3,5	3,5

R_{gr} közös ágban

venciamenete 20 Hz—20 kHz-ig + 0... -1 dB-en belül egyenes. 30 Hz-en a teljes teljesítményt leadja. Zajszintje kisebb mint -70 dB. Az erősítő segéd-rácsfeszültség stabilizátor nélküli elkészítését nem ajánljuk.

OS 18/600; 807 és OS 1 elektroncsövek

Ebbe a csoportba tartozó elektroncsöveket általában az jellemzi, hogy eltérő az anód és segéd-rács feszültségük. Az OS 18/600 csővel azonos az EL 50, a 4654 és nagyon hasonló hozzá az EL 12 spec. Ezek a csőtípusok 60—70 wattig alkalmazhatók. 4 db segítségével könnyen építhető 100 wattos erősítő is (l. Kádár: Rádió és Televízió vevőkészülékek, 1958—59. Rafilim 100 wattos erősítő, 285 oldal).

A 807-es csövet az EAG használta 100 illetve 80 wattos erősítőiben rácsáramos meghajtással. Mi a cső rácsáram nélküli adatait gyűjtöttük össze. Ezek szerint 72 wattig (hatásfokot figyelembevéve 60 wattig) jól használható.

A csoport legértékesebb tagja az OS 1 cső, mely azonos a Philips PE 06/40 jelű csővel is. Ebből a csőből ellenütemben könnyen kivethető 90—100 watt és 4-ből 150 watt (l. u. a. Kádár könyv 282. old. Public 150 watt). Nagy teljesítménynél szinte azonos az EL 34-el. Érdekességként megemlíthetjük, hogy a már nem beszerezhető. RL 12 P 35 is majdnem azonos ezzel a csőtípussal.

Ezekből a csövekből erősítőt a 17. ábra szerint lehet építeni. A segéd-rácsfeszültséget oly módon lehet stabilizálni, hogy a tápegység kisértékű részét csúcsgyenirányítónak képezzük ki. Előnyösebb erre a célra külön tekercs alkalmazása a transzformátoron szilíciumdiódákkal. A csöveknek állandó negatív előfeszültséget kell biztosítani. Általában a kapcsolás méretezését 6. táblázatunk alapján lehet elvégezni.

40—50 wattig egy db AZ 4 elegendő az anód-feszültséghez, 80—100 watt-hoz egy PV 200/600-as vagy 2 db AZ 4-es szükséges. El készíthető a 12. ábránkon bemutatott 100 wattos erősítő hálózati tápegysége is. Különösen jó lehet ez a megoldás 600/300 voltos beállításokhoz.

Kapcsolási gyűjteményünket ezzel lezárjuk, abban a reményben, hogy amatőr barátainknak sok segítséget, értékes adatokat és ötleteket tudunk nyújtani. A megépített erősítők höz sok sikert és jó szomszédokat kívánunk, akik maguk is zenebarátok

és nem idegeskednek attól, hogy a hangnyomástól rezegnek a falak és lengenek a függönyök.

Megjegyzés: Felhívjuk olvasóink figyelmét, hogy a 300 Voltnál nagyobb anód-feszültséggel működő erősítők-nél fokozottabb gondot kell fordítani a szigetelési, átvezetési és életbiztonsági követelmények betartására. Éppen ezért különös gonddal kell elkészíteni a kimenőtranszformátort, és biztosítani kell, hogy terhelés-leszakadás működés közben ne forduljon elő.

Budapest területén:

33·33·33

telefonszámon

munkaszüneti napokon is!

Híradástechnikai
és háztartási
készülékek

szervizei

Vidéken:

járásai székhelyeken
és városokban

