

19. Országos Elektronikai Konstruktív Verseny pályamű

2016

1200W-os sztereo elektroncsöves
ellenütemű végerősítő, GU81M
pentódákkal.

Készítette: Juhász Gábor 1/14/A osztályos tanuló

Felkészítő tanár: Gubán Gábor

Iskola: Kecskeméti Szakképzési Centrum Kandó Kálmán
Szakközépiskola és Szakiskolája

Bevezetés és célkitűzések

A tavalyi 18. Konstruktív Versenyen szintén egy elektroncsöves ellenütemű végerősítővel készültünk, és azzal szép eredményt értünk el. Ez adta az ötletet az idei versenyhez, ahol ismét szeretnénk megméretetni magunkat. És egyúttal a házi/iskolai keretek között a maximális lehetőségeket kihozni az elektroncsöves technológiából. Ezúttal a külső megjelenés terén a mai modern RACK szekrényes kivitelre helyeztük a hangsúlyt.

Sikerült egy elég komoly végerősítőt építenünk, amelyben nagyon sok ötletes elektronikai újítás és áramköri rész került beépítésre, hogy mindez fokozza a készülék stabil működését és látványossá tegye az elkészült erősítőt. Az építés során az igen magas anódfeszültség (3500V) miatt fokozottan szem előtt tartottuk az érintésvédelmi előírásokat is. A különböző alkatrészek kiválasztása során fontos szempont volt az erősítő külső megjelenése mellett, hogy a belső áramköri megoldások a jelen kor technikai színvonalán kerüljenek megvalósításra. Többek között a nagyteljesítményű triakokból és optotriakokból felépített szilárdtest relék alkalmazása, a kisjelű fokozatok egyenfeszültségről való fűtése és ezen fűtőfeszültségek stabilizálása. A végerősítő csövek anódfeszültségének késleltetése, amely ezúttal az igazi különlegességnek számító graetz kapcsolásba kötött 4 db higanygőz egyenirányító csövek (5Q105) üzemszerű működtetését is biztosítja. Az erősítő transzformátorait is saját magunk készítettük el, értjük ez alatt a csévetestek NYÁK lapból való elkészítését, összerakását, festését és mind a primer, mind a szekunder tekercsek elkészítését és a különleges megoldású saválló tégelybe helyezett az igen magas anódfeszültség miatt műgyantával kiöntött toroid kimenő transzformátorokat is. Fontos szempont volt a kimenő transzformátorok megfelelő vaskeresztmetszete (24 cm²) a jó mélyhang átvitel érdekében.

Általános jellemzők

Fő paraméterek:

Hálózati feszültség:	230V 50Hz
Felvett teljesítmény*:	3000W
Névleges teljesítmény:	2 x 1200W
Érzékenység*:	0,2V (1000W kimeneti teljesítményre vonatkozóan)
Frekvencia tartomány*:	20Hz – 20000Hz
Torzítás 1kHz-en*:	1% (0,2V bemeneti szinten)
Bemeneti ellenállás:	75 kohm
Kimenő impedancia:	8 ohm
Végerősítő fokozat:	2 x GU81M
Meghajtó fokozat:	1 x 6S3P, 1 x 6N6P

* Tervezett értékek. A pontos értékek a mérések után lesznek feltüntetve.

Mechanikai felépítés

A készülék háza a külső megjelenés és az igen nehéz alkatrészek miatt egy 4 emeletes 2 mm anyagvastagságú 4 keréken gurítható RACK állványon kapott helyet. A legalsó szinten helyezkednek el a hálózati transzformátorok és a hálózati lágyindítást végző áramkorlátozó fojtótekercsek. Ezek súlya miatt (40 kg) a polcok anyagvastagsága indokoltá tette az 5mm anyagvastagságú alumínium polcok használatát. A hálózati trafók feletti szinten a 2 db A4-es méretű NYÁK lapra felépített tápegység áramköröket tartalmazó polc kapott helyet, amely a könnyű szerelhetőség végett egy gördülő tartószerkezetre lett felerősítve. Ezzel a tápegységek üzem közben vagy mérések alkalmával fiókszerűen kihúzhatók az előlap síkjából. A 3. emeleten kaptak helyet a meghajtó fokozat paneljai, az üzemi fojtótekercsek, a toroid kimenő transzformátorok és 2 db üzemi nagyfeszültségű olajpapír kondenzátor. A legfelső emeleten van elhelyezve a készülék automatizált bekapcsolását végző mikrokontroller panel amely egy ARDUINO MEGA fejlesztő panel köré lett felépítve. A látvány végett a végfokozat elektroncsövei és a higanygőz egyenirányító csövek a RACK állvány legfelső 2 mm-es ALU lemezből ferdén megtörve hajlított részén lettek elhelyezve. Itt kompromisszumra kényszerültünk a látvány, a helyszűke és

biztonságos működés között (itt arra gondolunk, hogy a csövek üzem közben több száz fokos üveg búrja érinthető). Mind a végpentódák, mind a higanygőz egyenirányítók felső anódkivezetéssel vannak ellátva. Itt üzem közben igen magas anódfeszültség van jelen, ezért a kivezetések hőálló DANAMID műanyag sisakokat kaptak, és ezek túldalán van az anódcsatlakozás kivezetve 50kV-os szigetelésű gépjármű gyújtáskábelrel. A készülékben mindenhol, ahol igen magas anódfeszültség van jelen, ott ezzel a típusú gyújtáskábelrel lett vezetékvezve.

A megbízható és kompakt csatlakoztatás érdekében NEUTRIK gyártmányú XLR, speakON és powerCON csatlakozók lettek beépítve. Ezen csatlakozófajtákat széles körben alkalmazzák színpad- és stúdiótechnikában. A túláram védő szerepét egy a készülék belsejébe felszerelt hálózati automata kismegszakító látja el.

A belső kialakításnál az egyes részegységek, a kis és nagyfeszültségű tápegységek és meghajtó fokozat az áttekinthetőség és a könnyebb szerelhetőség végett nyomtatott áramköri lemezekre lettek felépítve. A végfokozat elektroncsöveinek foglalatjai bekötővezetékekkel csatlakoznak a panelekhez.

Elektronikus felépítés

A tápegységek áramkörök 2 db A4-es méretű FR4 típusú nyomtatott áramköri lemezen, de önálló részegységenként vannak felépítve. Ezek a lemezek tartalmazzák a hálózati lágyindító áramköröket és az összes egyenfeszültségű részegységet: a meghajtó fokozat anódfeszültségeinek tápjait, a fűtőfeszültségek stabilizátorait valamint az előfeszültségeket előállító tápegységet. A magas végfokozati anódfeszültség miatt ennek tápegysége egy teljesen különálló egységet képez a másik A4-es NYÁK lemezen.

A továbbiakban az elektronikus felépítést részletezzük.

Az egyes áramköri elemek kapcsolási rajzai a 15. oldaltól találhatóak meg, alkatrész listák kíséretében.

Az erősítő részegységei

Tápegységek

Hálózati kapcsoló és lágyindító áramkör

A hálózati feszültség a bemeneti powerCON csatlakozóról az F1 jelű B20-as kismegszakító után a TR4 és TR6 jelzésű triakkokkal és a hozzájuk tartozó MOC 3063-as optotriakkokkal felépített szilárdtest relékre kapcsolódik. Ezen relék biztosítják a hálózati transzformátorok bekapcsolását. Azért van rájuk szükség, mert a három nagyteljesítményű hálózati transzformátort csak tekintélyes méretű hálózati kapcsolóval lehetne üzembiztosan bekapcsolni, de mi szerettük volna a hálózati kapcsoló méretét a külső megjelenés miatt kicsi és kompakt méretben tartani. ezen kívül a feszültségek és a fokozatok bekapcsolásának késleltetése végett nem is lehet egyszerre kapcsolni a 3 transzformátort így mindenképpen elektronikus kapcsolókra volt szükség. Ennek érdekében került alkalmazásra a TR4-as NYÁK transzformátor által táplált segédáramkör. A K1-es főkapcsoló zárásakor a TR4-as transzformátor 6V-os szekunder feszültsége egy 1A-es graetz hídon, majd egy 1000uF-os puffer kondenzátoron, végül egy 7805-ös feszültség stabilizátoron keresztül áll elő az ARDUINO 5V-os stabilizált tápfeszültsége. A mikrokontroller a 32-es digitális kimeneti lábán keresztül 2 másodperc késleltetéssel kapcsolja be az SSR 3 számmal ellátott MOC 3063-as null átmenet detektorral ellátott optotriakokat. Ez gyújtja a TR6-os főtriakot, amely az L2-es fojtótekerccsen keresztül kapcsolja a feszültséget a 2 db párhuzamba kapcsolt TR2 és TR3 hálózati transzformátor primer tekercseire. 3 másodperccel később az SSR4 gyújtja a TR7 triakot, amely söntöli az L2-es fojtótekerccset így a TR2 és TR3 immár maximális primer feszültséggel dolgozik. Megkezdődik a TR2 és TR3-as transzformátoron keresztül a csövek fűtése. 60 másodperc letelte után a mikrokontroller a 34-es kimeneti lábán keresztül begyújtja a TR1 triakot amely a végcsövekre kapcsolja az előfeszültséget. Ezután 3 másodperccel az ARDUINO a 36-os lábán gyújtóimpulzust ad a TR3 triaknak, ami bekapcsolja az előfokozat anódfeszültségét. Erre rá 3 másodpercre a vezérlő a 30-as lábán gyújtóimpulzust ad a TR4-es triaknak amely bekapcsolja a 3kW-os főanód toroid transzformátort az L1-es fojtón keresztül. további 3 másodperc múlva a kontroller 31-es lábán át megjelenő gyújtóimpulzus kapcsolja be a TR5-ös triakot amely söntöli az L1-es fojtót. Legvégül a kontroller a 35-ös lábán keresztül bekapcsolásra kerül a TR2 triak amely a legutolsó bekapcsolási folyamatot és ezzel tulajdonképpen az egész végfokozat üzembe kapcsolását végzi a végfokozati csövek segédrács feszültségének bekapcsolásával.

A hálózati transzformátorok felépítése

Mivel a transzformátor vasak adottak voltak és az erősítő áramfelvétele nagyobb, mint egy darab transzformátor maximális teljesítménye ezért három darab nagyteljesítményű transzformátor került beépítésre. Ebből 2 darab hagyományos EI vasalású, a harmadik pedig toroid felépítésű. A végcsövek fűtését, segédrács feszültségét, a meghajtó fokozatok anódáram ellátását, valamint a végcsövek előfeszültségét a TR2-es 700VA-es trafó biztosítja. A meghajtó fokozat csöveinek fűtését, (oldalanként külön 8V-os tekerccsel), a higanygőz diódák fűtését (a graetz kapcsolás miatt 4 különálló, a nagyon magas anódfeszültség miatt nagyon jól kiszigetelt) 5V-os tekerccsel, valamint az egyéb utólag beépíthető elektronikák táplálását két 12V-os tekerccsel a TR3-as 350VA-es trafó végzi. A magas végfokozati anódfeszültség miatt a 3kW-os toroid transzformátor műgyanta kiöntéssel lett ellátva és 10kV-os átütési szilárdsággal rendelkező teflon szigetelésű alacsony ellenállású rézezüst huzallal lett megtekerve 2600V AC feszültségre.

Mivel a GU81-es pentódák nagyon magas anódfeszültségről járnak és nagy teljesítményt adnak le ezért az anód tápegységnek az elektroncsöves technikában viszonylag nagy áramot is gond nélkül tudnia kell szolgáltatni (kivezérlelési csúcsokban akár 1A is lehet az anódáram). A nagy terhelhetőség miatt az anódtekerccs 0,7 mm átmérőjű rézezüst huzalból készült. A nagyfeszültségű szekunder tekercs rézellenállása mindössze 48 ohm.

A fűtés tápegység

A szakirodalmakban sokszor találkozhatunk azzal a megoldással, hogy a HIFI végfokozatok egyes kisjelű fokozataiban lévő csöveket egyenfeszültséggel fűtik. Ennek elsősorban a hálózat felől érkező zavarok kivédésében van fontos szerepe és mivel a beépített foglalatok egymáshoz és a panelekhez vezetékkel csatlakoznak, elkerülhetőek a káros csatlakozások (gerjedés, brumm). A tápegység nyáklemezén 2 db független, azonos felépítésű fűtő tápáramkör lett kialakítva. Ezek a TR1 és TR2 hálózati transzformátorok 6,3V-os fűtőtekerccseinek AC feszültségéből állítanak elő a terheléstől független stabil 6,3V-os DC fűtőfeszültséget a 6s3p, 6n6p csövek számára. Az áramkörökhöz az LM350T típusú szabályozható precíziós stabilizátor áramkör lett felhasználva. A TR1 és TR2 váltakozófeszültsége a D1-D4 SR504-es Schottky diódákból álló graetz hídra csatlakozik. A híd kimenetén lévő lüktető DC egyenfeszültséget C1 10000uF-os nagykapacitású elektrolit kondenzátor simítja. A C2 100nF-os fóliakondenzátor a C1 kondenzátor nagyfrekvenciás hidegítésére szolgál. A simított körülbelül 9V-os DC feszültség az LM338T stabilizátor 3-as bemeneti (IN) lábára jut. A 2-es (OUT) kimeneti láb a nyitóirányban előfeszített D5-ös Schottky diódán keresztül a bemenetre van kötve. Ez a kimeneti fordított polaritású feszültséggel szemben védi az áramkört. Az IC 1-es (ADJ) lába az R1 ellenállás és P1 potenciométer alkotta feszültségosztó közös pontjára csatlakozik. Ez a kimenetről visszaosztott szabályozható feszültség vezérli az IC kimeneti feszültségét úgy, hogy a kimeneten a terheléstől függetlenül mindig állandó legyen a P1 segítségével beállított feszültség. Ezt a feszültséget hasonlítja össze az IC a belső 1,25V-os referencia feszültséggel és a belső áteresztő tranzisztort pedig ennek megfelelően vezérli. A C3-as 10uF-os elektrolit kondenzátor az IC 1-es lábán lévő feszültséget, C4-es 100uF-os kondenzátor pedig a kimeneti feszültséget szűri. A D6-os Schottky dióda a tápegység feszültség állíthatóságának gyorsaságát javítja a C3-as kondenzátor kisütésével. Végezetül a fűtőfeszültségek meglétét mindkettő fűtés tápegységben egy-egy kék színű 3mm-es LED jelzi, amely egy 270 Ohmos előtét ellenállással kapcsolódik a 6,3V-os kimeneti feszültségre.

A másik fűtéstáp áramkör ezzel azonos felépítésű és működésű.

A végfokozat anódfeszültség tápegysége

A hálózati transzformátor 2600V-os nagyfeszültségű tekercséről érkező vezetékek a C1-es 100nF 10kV-os olajpapír kondenzátorhoz vannak kapcsolva. Ez végzi a végfokozat anódfeszültségének nagyfrekvenciás zavaroktól való megszüntetését. Ez után következik a graetz kapcsolásba kötött 4 db 5Q105-ös higanygőz egyenirányító dióda. Ezt követi egy 100mH-s fojtótekerccs, amely a 65uF-os eredő kapacitású pufferbank töltési csúcsáramát korlátozza az 5Q105-ösök maximális áramterhelhetősége alá. A pufferbank összesen 24 db 390 uF 400V-os ELKO-ból áll. 12-12 sorosan, majd azok párhuzamosan. A sorosan kötött kondenzátorokkal egyenként párhuzamosan 1-1 330kOhmos ellenállás van kapcsolva. Ennek két szerepe van. Egyrészt, hogy a feszültséget mintegy ellenállás osztó kiegyenlítsse a kondenzátorokon, másrészt, pedig, hogy kikapcsolás után a 3500V-ra töltött ELKO-kat kb. fél perc alatt kisüsse. Ez utóbbi biztonságtechnikai szempontból is nagyon fontos a magas anódfeszültség miatt. Mint már említettük az

egész erősítő bekapcsolásától számítva körülbelül 70 másodperccel később kerül feszültség alá a tápegység. Ennek két szerepe is van.

Az egyik az, hogy meghosszabbítsuk a végfokozat csöveinek az élettartamát, a másik pedig, hogy a higanygőz diódáknak is legyen ideje felfűteni és a higanynak elpárolognia, amely majd az áramot fogja vezetni. A végfokozat csöveinek körülbelül 10 másodpercre van szüksége, hogy a teljes elektron emissziós képessége kialakuljon, magyurul teljesen üzem melegre felfűtsön. Ez a rövid idő a direktfűtésű katódnak köszönhető. A higanygőz diódákra 30 másodperc előmelegítési időt ad meg a gyártói ajánlás. Miután a TR4 és TR5 triakok begyújtottak, az 2600V-os váltakozó feszültség a négy graetzbe kötött higanygőz diódák bemenetére jut, majd a közös pontra kötött katódjukon megjelenik a 3500V-os DC feszültség. A higanygőz diódák nem szeretik közvetlenül a túlzottan nagy kapacitást (adattáblájukon 10-20 uF-ot engednek meg a katódra kötve). Emiatt született az a döntés, hogy az áramkörbe beépítésre kerüljön egy az egyenirányító csövek katódjaira közvetlenül csatlakozó 100mH-s fojtótekerecs (L1), ami a 65uF eredő kapacitású (24 db 390uF-ból álló) pufferbank indulási töltőáramát korlátozza a csövek által megengedett szint alá. Így a higanygőz diódák védve vannak a nagy áramlökések ellen. A pufferbank után vehetjük le a tápegység kimeneti feszültségét. Ez a feszültség az 50kV-os gyújtókábelen kerül elvezetésre a két toroid kimenő transzformátor középpont megcsapolására, majd onnan a primer tekerceken keresztül az oldalankénti két végcső anódjára. A négy darab 5Q105-ös diódán összesen a teljes terhelés hatására 40V feszültség esik. Ez a 3500V-hoz képest elhanyagolható.

Az előerősítő, meghajtó fokozat tápegységei

A TR2-es hálózati transzformátor 290V-os tekercsének kivezetései a GR1 4 db HER 608-as diódából felépített egyenirányító szilíciumdiódákra érkeznek. A diódák anódjain a váltakozó feszültséget 1 db 4,7nF-os MKP kondenzátor hidegíti, az esetleges modulációs brumot minél alacsonyabb értéken tartva. D2-D3-as közös katódján jelenik meg a nyers lüktető 400V-os egyenfeszültség. Ezt a lüktető feszültséget a C3-L1-C4 pi szűrő puffereli és simítja. L1 induktivitása 2 H. Ez az induktivitás az előfokozat néhányszor 10mA-es áramát figyelembe véve bőven elegendő szűrést végez. A hullámosság mindössze 5mV a teljes 400V hoz viszonyítva. C2-C4-es 100nF-os kondenzátor az elektrolit kondenzátorokat hidegíti. Az itt megjelenő 400V-os szűrt simított DC feszültség két irányba ágazik el. Mindkét ágban egy-egy MOSFET-es soros áteresztő stabilizátor állítja elő a 350V-os stabil kimeneti feszültséget. Mindkét FET Gate elektródája egy közös zener diódás elemi stabilizátorhoz kapcsolódik. Itt 4 db sorosan kapcsolt zener diódán áll elő a referencia feszültség. Ezt a referencia feszültséget 2 db IRFBC 40-es MOSFET Gate-je tapogatja le, majd továbbítja a Source kimenetre. D5-D6- a FET-ek GS védődiódája. A Source lábakon megjelenő 350V-os immár terhelhető feszültséget 1-1 47uF-os ELKO C7-C9 simítja végül 1-1 100nF-os MKP kondenzátor C8-C10 hidegíti.

Az előfeszültség tápegysége

Az előfeszültség tápegység feladata a végfokozat csöveinek munkapont beállító negatív rácsfeszültségének előállítása. Mivel a végfokozatban nagyfeszültségű pentódák dolgoznak, ezért itt "magas" -250V-os feszültséget kell használni arra, hogy a csöveket teljesen le tudjuk zárni. Az áramkör részletes működése a következő:

A TR2 hálózati transzformátor 226V-os anódtekercséről érkező váltakozó feszültség a GR1 (HER608G) nagyfeszültségű diódákra jut. Ezek egyenirányítják. Az egyenirányított lüktető DC feszültséget a C3-R1-C4 pi szűrőtag puffereli és simítja. A -320V csúcsfeszültségű simított DC feszültség egy stabilizátor áramkör (T1, MTP2P50E PNP MOSFET) áteresztő tranzistorának drain lábára jut. Ugyanerre a pontra csatlakozik egy 10kOhmos zener előtét ellenállás is. Ez az ellenállás a stabilizátor referencia feszültségét előállító zener lánc ZD1, ZD2, ZD3-as diódáinak előtét ellenállása. A zener diódák által szolgáltatott referencia feszültség 305V. Az áteresztő FET Source követőként működik, tehát a Gate elektródájára adott 305V-os referencia feszültség (mínusz a nyitófeszültsége, ami kb. 4V) megjelenik a Source kivezetésen. Így áll elő az immár stabilizált -300V-os DC feszültség. Erre a feszültségre 4 teljesen egyforma osztólánc csatlakozik. A továbbiakban csak az egyik működését fogjuk részletezni, mivel egymással teljesen ekvivalensek.

A -300V-os stabil DC feszültség a P1-R4 ellenállásosztóra jut. Ennek az osztásaránya úgy van beállítva, hogy az egy-egy végcsőre adható negatív előfeszültség a maximális -300 és -200V között állítható. Ezzel a megoldással elkerülhető, hogy az esetlegesen kontakthibás potenciométer esetén sem kerül -200V-nál magasabb feszültség a csövek rácsára, így nem fognak túlterhelődni, mert rajtuk egy adott áramnál nagyobb nem folyhat. P1-R4-es által leosztott feszültséget C7-es 100nF-os MKP kondenzátor hidegíti a

GND pontra. Eztán a feszültség az R8 2k Ω -os soros ellenálláson át a T2 PNP áteresztő emitter követőre jut. Ez a tranzisztor lehetővé teszi, hogy az egyes egymás utáni osztólánckok által beállított előfeszültségek egymástól teljesen függetlenek legyenek. Tehát a csövek vezérlőrácsán keresztül ne tudják egymást modulálni. a T2-es tranzisztor emitterén megjelenő -U_{g1} feszültséget a C13-as 100nF-os MKP kondenzátor hidegíti a GND-re. Innen a feszültséget, a meghajtó fokozat áramkörében helyet kapott 220k Ω -os áramkorlátozó ellenállásokon át vezetjük a végcsövek rácsaira.

Helyet kapott még egy védelmi mechanizmus is az áramkörben. TR2 226V-os tekercsére az előfeszültség tápegységgel párhuzamosan kapcsolódik egy kis NYÁK trafó. Ennek a 6V-os szekunder feszültsége egy egyenirányításon és szűrően keresztül egy stabilizátorra kerül. Ez 5V-os feszültséget állít elő. Ez az 5V az ARDUINO egyik bemeneti lábára van kötve, amely figyelni ennek a feszültségnek a meglétét. Az indítási ciklusban, mikor a controller bekapcsolja a TR2-es 226V-os tekercsét rá 2 másodpercre megvizsgálja, hogy megjelent-e az 5V a bemeneti lábon. Ha rendben van a feszültség szint, akkor folytatódik az indítási ciklus. Ha nincs meg a feszültség, akkor leáll az indítás és az ARDUINO „ELŐFESZÜLTÉS HIBA” üzenetet ír ki a kijelzőre. A védelem másik mechanizmusa pedig az, hogy ha már a bekapcsolás után, üzemkés állapotban valamilyen okból az ARDUINO bemenetén megszűnik az 5V-akkor leállítja az egész erősítőt. Ez a védelem egyszerű, ámde nagyon megbízhatóan védi a végfokozat csöveit a megfűtéstől és emellett az többi áramköri részt is a túlterheléstől.

Hangfrekvenciás fokozatok

Előerősítő és meghajtó fokozat működése

A hangfrekvenciás erősítési lánc három fő egységre osztható fel: előerősítő, fázisfordító és meghajtó fokozat valamint a kimenetet meghajtó végerősítő fokozat. Az egyes fokozatok között csak váltóáramú csatolást valósítottunk meg. Az első két fokozat feszültséget erősít, míg a végfokozat a pentódákra jellemző nagy erősítés miatt feszültség és teljesítményerősítést is végez. A jó minőség és üzembiztonság érdekében WIMA gyártmányú 1000V-os 470nF-os MKP10 kondenzátorokat alkalmaztunk csatolóelemként.

Az előerősítő fokozat feladata a bemenő jel fogadása, feszültségerősítése valamint az azt követő fázisfordító és meghajtó elektroncső vezérlése. Ezt a feladatot egy orosz gyártmányú 6S3P elektroncső végzi anódkövető kapcsolásban. Ennek a csőnek az európai közeli megfelelője az EC86-os trióda. Adatlapja a 33. számú oldalon található. A fokozat a bemenő jelen fázisfordítást végez. Az erősítő bemeneti XLR csatlakozóiról a hangfrekvenciás feszültség a 470nF-os kondenzátorra kerül. Ennek szerepe a műsorforrás felől érkező esetleges DC feszültségek leválasztása, melyek veszélyeztetnék az előerősítő fokozat munkaponti stabilitását. A 75 kiloohmos ellenállás a 6S3P cső rácslevezető ellenállása. Mivel az elektroncső rácsárama elhanyagolható, így ez az ellenállás határozza meg a fokozat bemeneti ellenállását is. A 68pF-os kondenzátor feladata a műsorforrás felől esetlegesen beérkező nagyfrekvenciás zajok további fokozatokba való bejutásának megakadályozása.

A katódelLENállás határozza meg a cső egyenáramú munkapontját. A rajta átfolyó áram hatására kialakuló feszültségesés elemeli a cső katódját a földpotenciáltól. Mivel az elektroncső rácsán áram nem folyik, így a 75k Ω -os levezető ellenállás földpotenciálon tartja a rácsot és ennek következtében a katódot körülvevő rácsspirál a katódhoz képest negatív feszültségszintre kerül. Az így kialakuló tértöltés gátat szab a katódból az anód felé kilépő elektronoknak és ezzel korlátozza az elektroncsövön átfolyó áram erősségét. Minél nagyobb áram folyik keresztül az elektroncsövön, annál nagyobb feszültség esik az 1,5k Ω -os ellenálláson és így a rács egyre negatívabb feszültségre kerül, ami az átfolyó áram változása ellen hat. Lesz egy olyan pillanat, amikor ez a negatív feszültség és az átfolyó áram egyensúlyba kerül. Ezt nevezzük az elektroncső statikus munkapontjának. Látható, hogy a rácsra kerülő bármilyen egyenáramszint felborítja ezt az egyensúlyt.

A fokozat dinamikus működése a következő. Az elektroncső anódjára kapcsolódó 68k Ω -os ellenállás a munkaellenállás. Ezen az ellenálláson az előzőekben leírt nyugalmi áram hatására szintén feszültség esik. Így az elektroncső anódján a tápfeszültségtől kisebb feszültség jelenik meg. A rácsra érkező váltakozó áramú zenei jel időlegesen felborítja a statikus állapotot. Pozitív fél hullám esetében az elektroncső rácsának tértöltését a földpotenciálhoz közelíti. Ennek hatására az elektroncsövön nagyobb áram kezd el folyni. Ez az áram a 68k Ω -os ellenálláson nagyobb feszültséget ejt és így az elektroncső anódja közelebb kerül a földpotenciálhoz. Negatív fél hullám esetén a jelenség fordítottja játszódik le. A negatív tértöltés hatására a cső kisebb áramot enged át, így csökken a munkaellenálláson eső feszültség és a cső anódja

közelebb kerül a tápfeszültséghez. Ha a cső anódjáról ezt a változó feszültséget tovább vezetjük, akkor a bemenő jelhez képest invertált polaritású és a munkaponti beállítástól függően erősített váltakozó feszültségű jelet kapunk.

Az erősítési lánc középső tagja a 6N6P kettőstriódából (adatlap az 29. számú oldalon) felépített lebegő parafázisú (floating paraphase) fázisfordító és meghajtó fokozat. Az első csőfél fogadja a 6S3P által erősített jelet. Itt az előerősítő fokozathoz hasonlóan anódkövető kapcsolásban újabb feszültség erősítés és fázisfordítás is történik. A cső katódenállását megosztottuk és erre az osztópontra vezettük vissza a kimeneti transzformátorról érkező negatív visszacsatoló jelet. Az anódról az újabb fázisfordítás következtében az erősítő bemenő jelével megegyező fázisú, erősített jelet vehetünk le. Innen egy csatolókondenzátoron keresztül az egyik GU81 végcső rácsára kerül a jel, valamint egy ellenállásosztón keresztül a másik csőfél rácsára vezetjük vissza, megfelelően leosztva. A pontos beállítást egy 470 kiloohmos trimmer teszi lehetővé. A másik csőfél szintén anódkövető kapcsolásban dolgozik, az első csőfélével megegyező paraméterek mellett. Mivel ez a csőfél a váltakozó áramú jel szempontjából sorosan kapcsolódik az első csőféllel, így a negatív visszacsatolási hurokban benne van, nem szükséges a katódenállás megosztása. Ismételten fázisfordítás történik, így megfelelő beállítások mellett a cső anódján az erősítő bemeneti jeléhez képest 180 fokban eltolt feszültség jelenik meg. Ez a feszültség vezérli a másik GU81 végerősítő csövet.

A végerősítő fokozat

A végerősítést csatornánként két darab GU81M típusú, orosz gyártmányú pentóda végzi ellenütemű kapcsolásban. Adatlapja a 29. számú oldalon látható. A fázisfordító fokozatot követően két darab 470nF-os kondenzátoron és egy-egy 10k Ω -os ellenálláson keresztül érkezik a hangfrekvenciás jel a végcsövek rácsaira. A kondenzátor és az ellenállás közös pontjára kapcsolódik a negatív előfeszültség csövenként külön-külön egy-egy 220k Ω -os áramkorlátozó ellenálláson keresztül. A csövek katódja egy-egy 10 Ω -os ellenálláson keresztül kapcsolódik a földre. Ezeknek az ellenállásoknak az a szerepe, hogy a végcsövek áramát mérni lehessen a rajtuk eső 10 mV/mA nagyságrendű feszültség segítségével. Továbbá egy minimális szintű lokális visszacsatolást is jelentenek.

A végcsövek anódja közvetlenül kapcsolódik a kimenő-transzformátor megfelelő A1 és A2 primer kapcsaira. A 3500V-os anódfeszültség, a kimeneti transzformátor primer tekercsének középmegcsapolására érkezik. Ez illeszti a végfokozat csöveinek 1200W teljesítményét, ami 3460V feszültségnek felel meg 10k Ω impedancián, a hangszórók számára 8 Ω impedanciára ami 100V-os feszültségnek felel meg. Ezzel megvalósul a kimeneti impedancia illesztés.

Kezelő és csatlakozó szervek

Az erősítő időzítő és kapcsoló funkciói automatizáltak, így csak minimális kezelőszervvel rendelkezik. A készülékben beépítve a felső szinten bal oldalt helyezkedik el a B20-as kismegszakító, amely az erősítő főmegszakítója. Segítségével teljesen áramtalaníthatjuk az erősítőt. Mellette helyezkedik el a főkapcsoló. Ez egy kulcsos kapcsoló. Ez kapcsolja a TR4-es kis NYÁK transzformátor szekunder tekercsét az ARDUINO tápegység áramkörére, ezzel tulajdonképpen elindítva a bekapcsolási ciklust.

A kis és bemeneti csatlakozások a RACK állvány hátulján alul egy erre a célra felszerelt csatlakozó aljzat sínen vannak rögzítve. A jelmemeneti csatlakozások NEUTRIK XLR, még a kimeneti csatlakozások NEUTRIK SPEAKON aljzatokra vannak kivezetve. A hálózati csatlakozás a megbízható és könnyű csatlakoztatás miatt NEUTRIK POWERCON aljzatra van kivezetve.

A transzformátorok és fojtótekercek műszaki paramétere

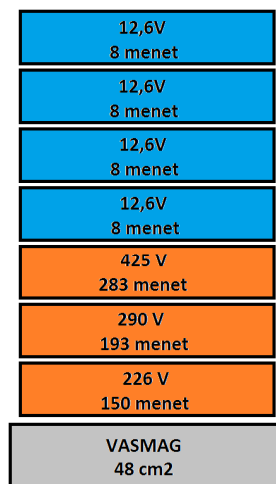
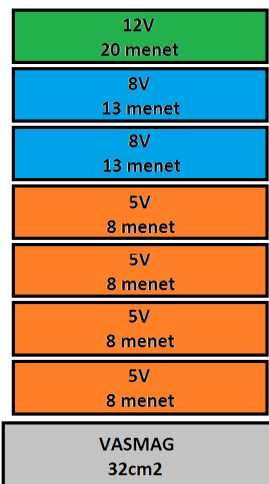
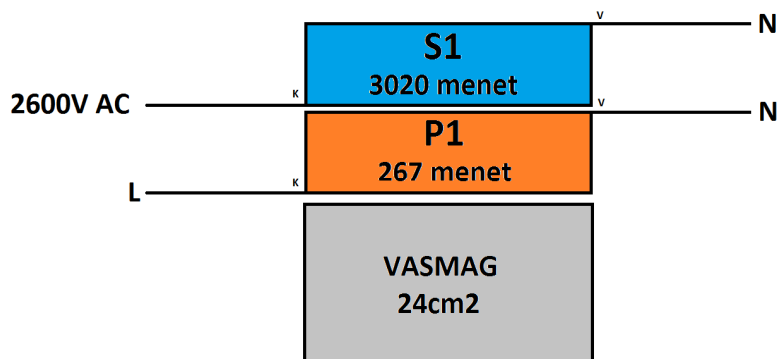
Hálózati transzformátorok

TR3 Hálózati transzformátor			
Jelölés	Feszültség	Menetszám	Huzalátmérő
Primer	230V	384	0,7 CuZ
S1	5V	8	2,5 mm CuZ
S2	5V	8	2,5 mm CuZ
S3	5V	8	2,5 mm CuZ
S4	5V	8	2,5 mm CuZ
S5	8V	13	1 mm CuZ
S6	8V	13	1 mm CuZ
S7	12V	20	0,7 mm CuZ
Összteljesítmény: 350VA			
Lemezmag típus: EI lemezelt			
Magkeresztmetszet: 32cm²			

TR2 Hálózati transzformátor			
Jelölés	Feszültség	Menetszám	Huzalátmérő
Primer	230V	150	1,5mm CuZ
S1	12,6V	8	2,5 CuZ
S2	12,6V	8	2,5 CuZ
S3	12,6V	8	2,5 CuZ
S4	12,6V	8	2,5 CuZ
S5	226V	150	0,4 Cuz
S6	290V	193	0,4 CuZ
S7	425V	283	0,4 Cuz
Összteljesítmény: 700VA			
Lemezmag típus: EI lemezelt			
Magkeresztmetszet: 48cm²			

TR1 Hálózati toroid transzformátor			
Jelölés	Feszültség	Menetszám	Huzalátmérő
Primer	230V	270	1,9 CuZ
S1	2600V	3020	0,7 CuAg
Összteljesítmény: 2800VA			
Lemezmag típus: Toroid			
Magkeresztmetszet: 24cm²			

A hálózati transzformátorok tekercselési rétegrajza:

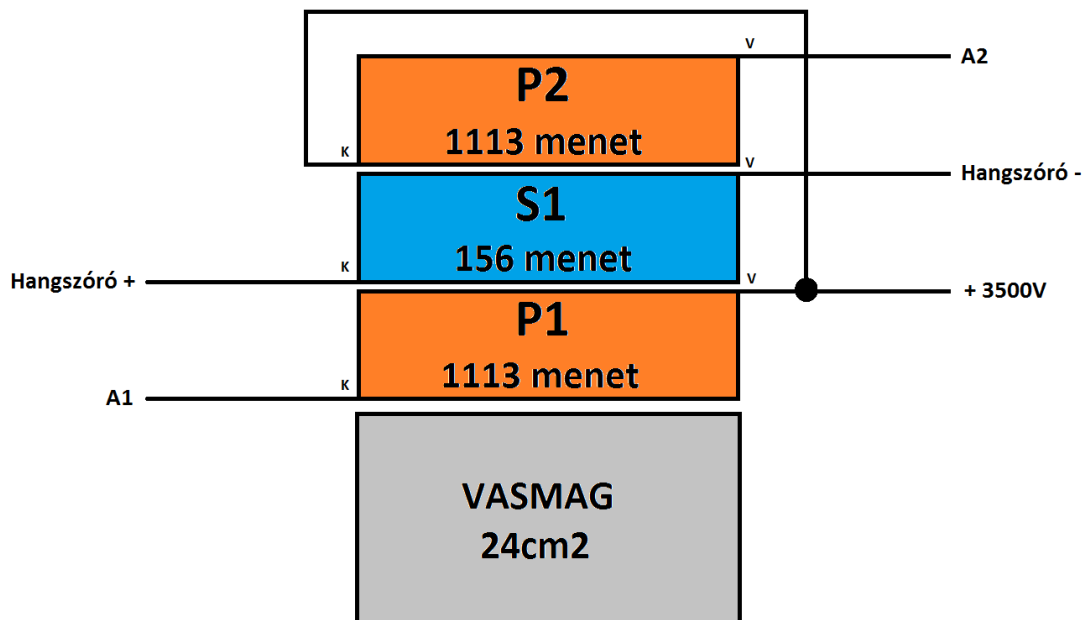


Kimenő transzformátorok

TR5 Kimenő transzformátor			
Jelölés	Feszültség	Menetszám	Huzalátmérő
P1	1730V	1113	0,5 CuAg
P2	1730V	1113	0,5 CuAg
S1	100V	156	2,5 CuZ
Összteljesítmény 2800VA			
Lemezmag típus Toroid			
Magkeresztmetszet 24cm ²			

*A TR6 jelű kimeneti transzformátor felépítése azonos a TR5-ével.

A kimenő transzformátorok tekercselési rétegrajza:

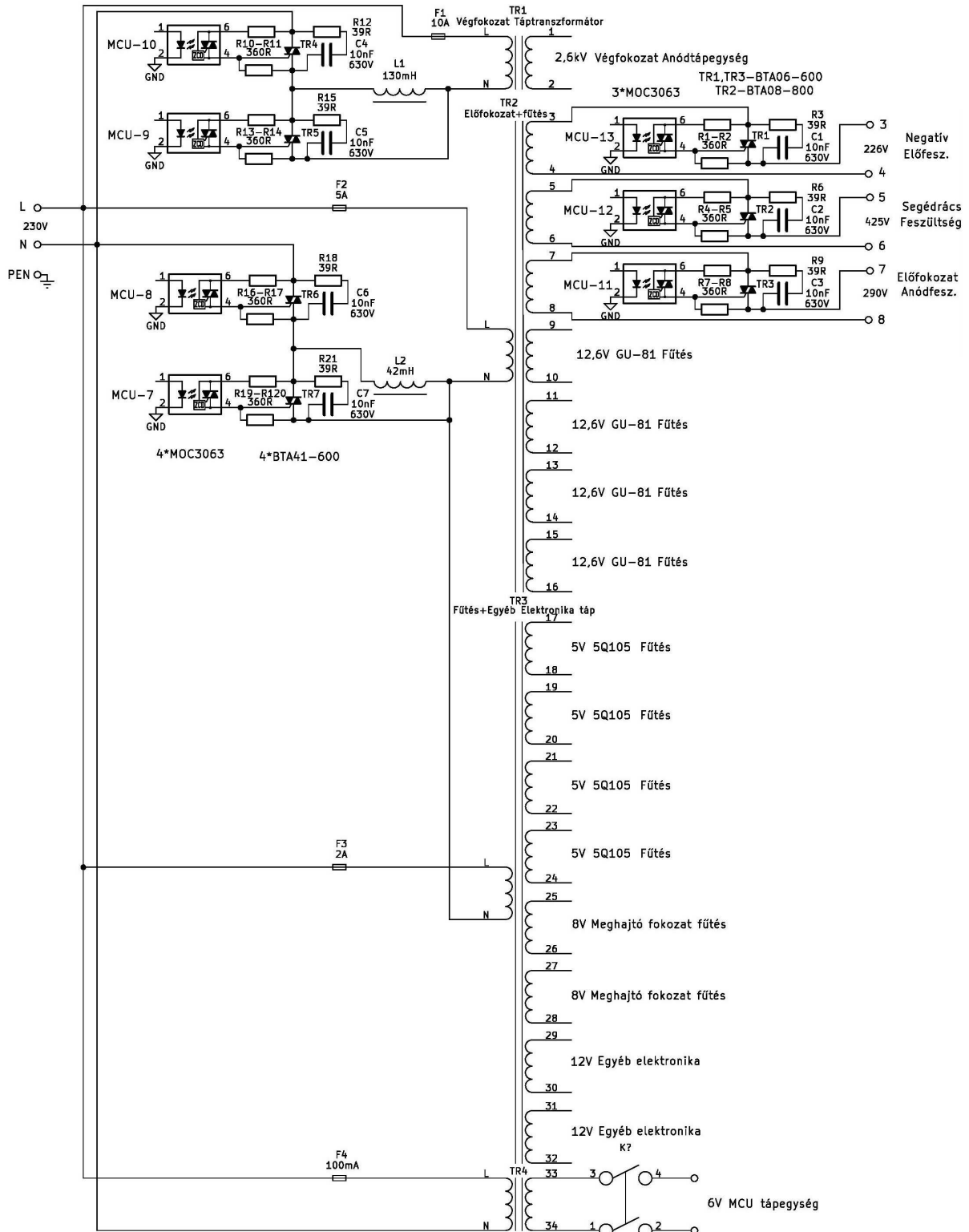


Fojtótekercek

Jelölés	Al érték	Induktivitás	Menetsz./huzalátm.
L1	1800 nH	130mH	270/1 CuZ
L2	1800 nH	42mH	153/0,7 CuZ
L3	1900 nH	100 mH	230/0,5 CuAg
L4	1800 nH	2 H	1055/0,5 CuZ
L5	1800 nH	2 H	1055/0,5 CuZ

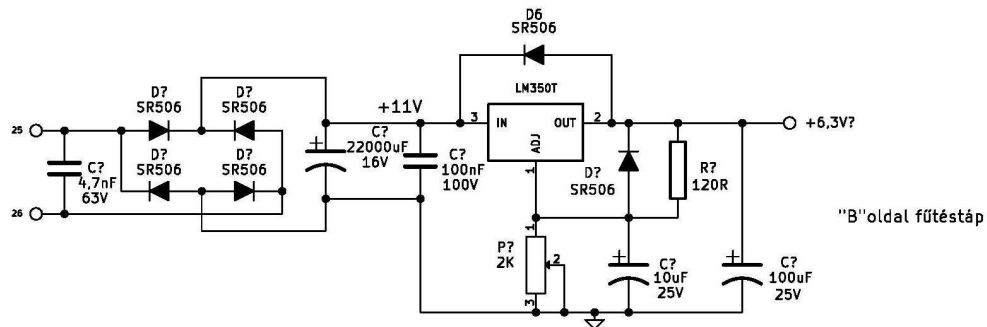
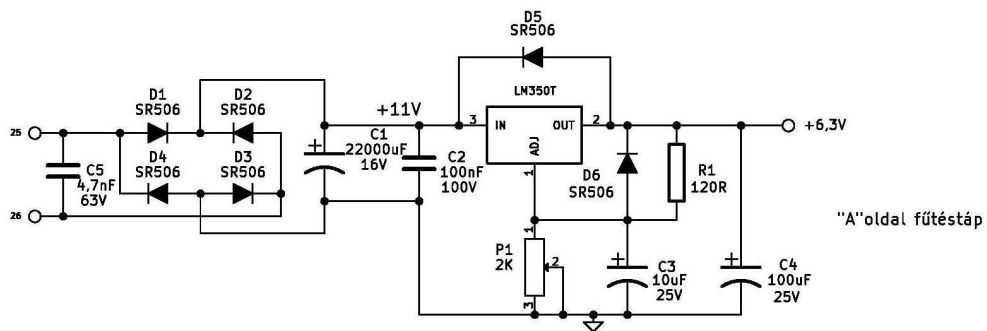
Kapcsolási rajzok

A hálózati tápáramkör rajza

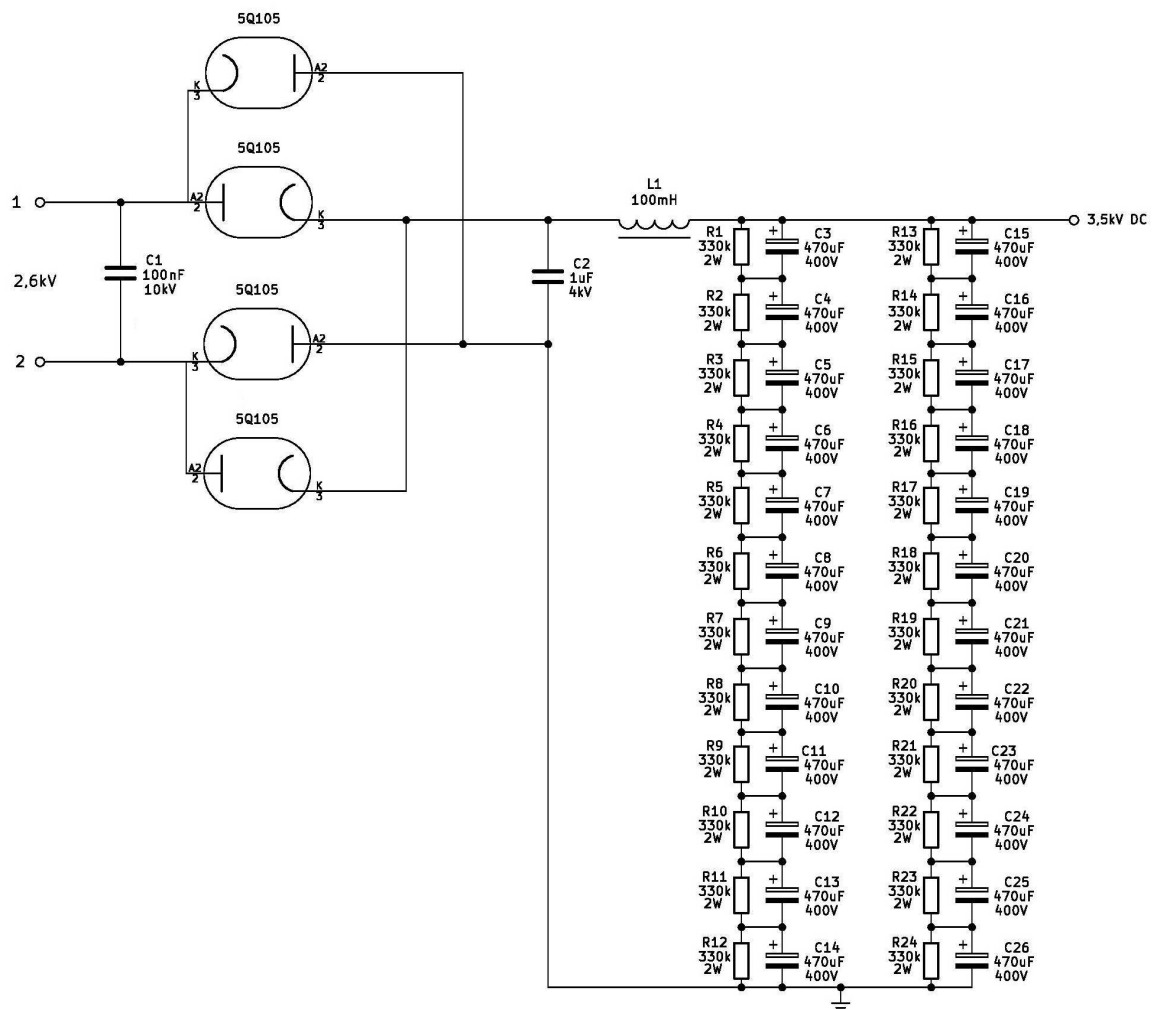


A fűtés tápáramkörök rajza

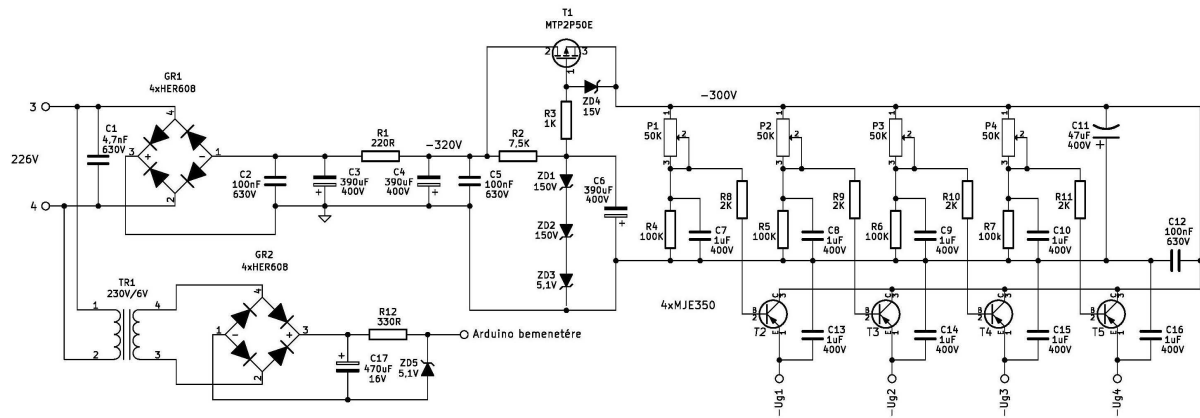
A két fűtőáramkör azonosan épül fel.



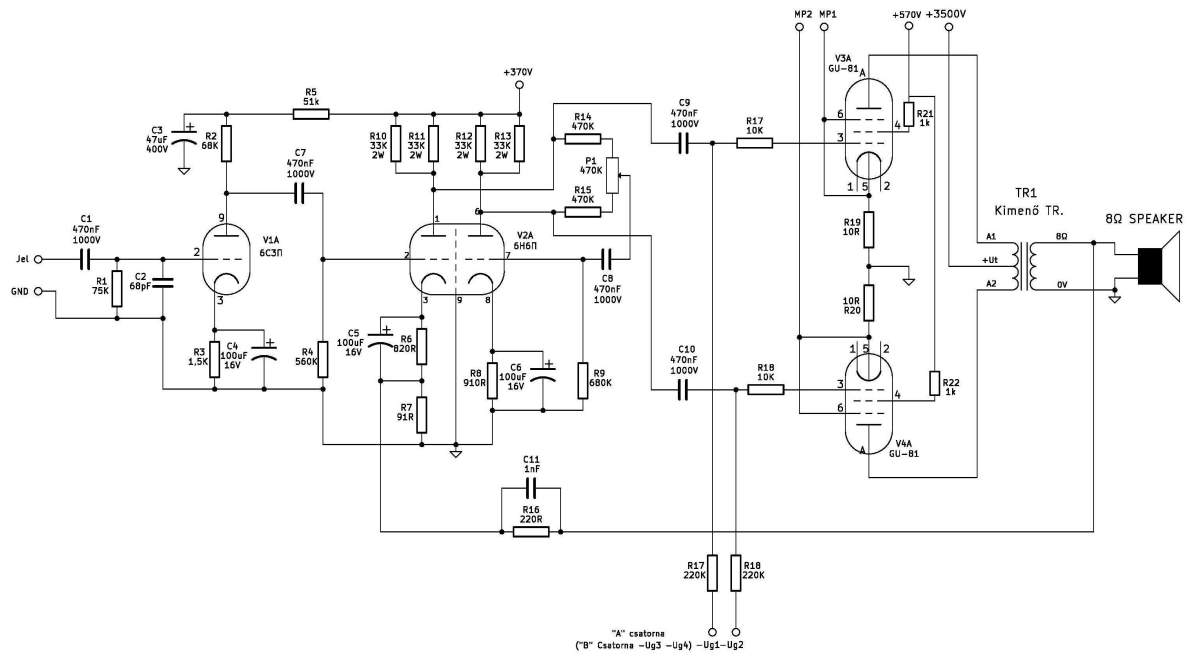
A nagyfeszültségű anódtáp áramkör



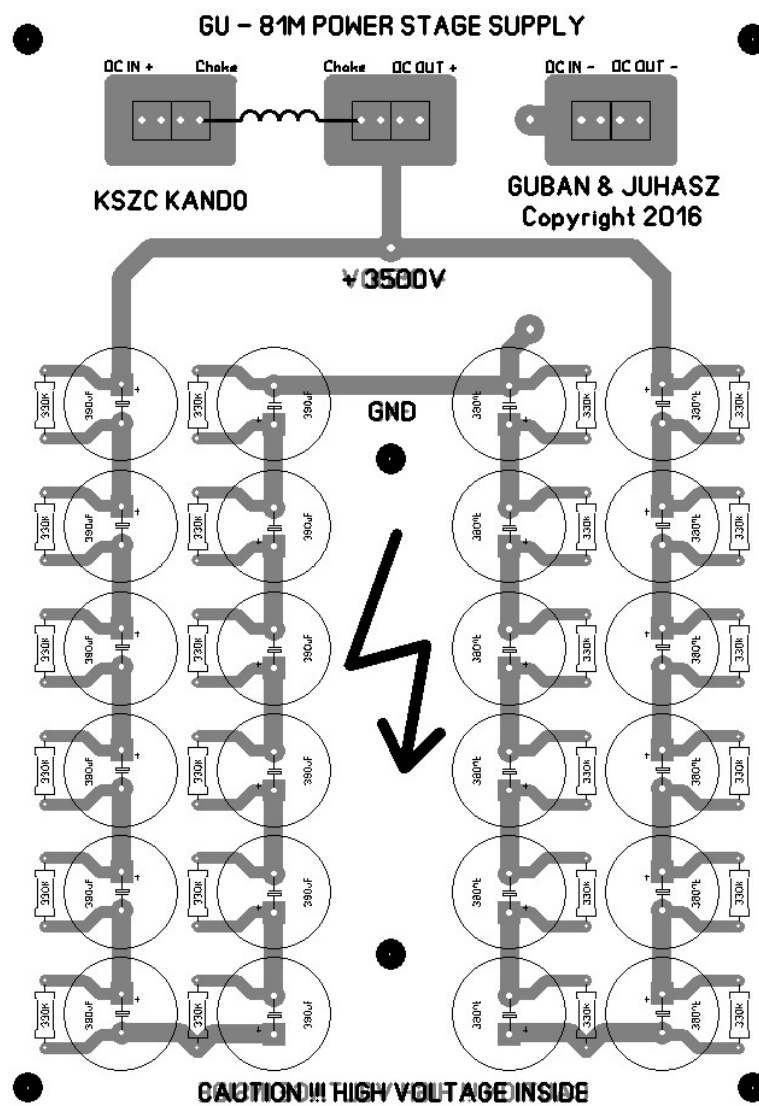
A negatív előfeszítés tápáramkör



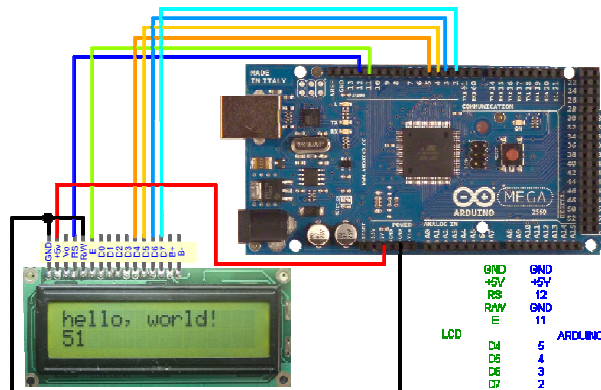
A végfokozat áramköre



Nagyfeszültségű tápegység



A kijelző bekötése az ARDUINO MEGA mikrokontrollerre



Mérések

Itt meg kell jegyeznünk, hogy sajnos az áramkörök nagyfokú összetettsége miatt az Április 8-ai dokumentáció leadási határidőig nem készült el az erősítő minden részegysége, így néhány mérést még az Április 11-ével kezdődő héten tudjuk elvégezni és utólag küldjük el/mutatjuk be, az építést bemutató néhány fotó keretében a tisztelt zsűrinek.

A meghajtó fokozat ki és bemeneti jelalakjait mértük meg a Rohde & Schwarz oszcilloszkópon rendre 20, 100, 1k, 10k, 20k és végül 30kHz-en.

A vizsgálva volt a szinusz a négyszög és a háromszög jelátvitel. A meghajtó fokozat mindkettő kimenete mérve lett, mind a bemenettel azonos, mind az ellenfázisú kimenet. Az utolsó képeken pedig a fokozat feszültségerősítését vizsgáltuk. A kimeneti pontokra kötött mérőkébel minden esetben 10-es osztó állásba volt kapcsolva. A fokozat kb 100V kimeneti feszültségnél kezdett el határozni.

Látható, hogy 125mV-os bemenő jelből a kimeneten 50V-ot kaptunk. Így az erősítés viszonyozama 400 szoros. ami logaritmusos számmal kifejezve: 52dB.

