



Király Tibor

kiraaly.tibor@gmail.com

+36-30-908-7733

Tanácsok végfok építéséhez

2007-03-16-án átdolgozva

Ne feledjük: Az elektronok mindig jobban ismerik a fizikát!

Az átviteli lánc egyik érdekes láncszeme a végerősítő, az amatőrök egyik kedvelt célpontja. Talán azért, mert viszonylag egyszerű, talán mert tisztán elektronika, és talán mert nics pénz egy gyárira. Valójában egyszerű is, csak kell egy kis idő amíg az ember átlátja a problémakört. Viszont nem tudom nem idézni egyik kedvenc mondásomat, minden nagyon egyszerű, amíg nem értünk hozzá. Több éves fejlesztést követően, a kiváló hangminőséget egyrészt egy egyedi konstrukciójú FET-es végfokban találtam meg, másrészt a saját fejlesztésű több vezetékes földelési elvben.

Kezdetben nem gondoltam, hogy a végerősítő ilyen mértékben befolyásolja a hangot. A szakirodalom szerint a hangfal nagyságrendekkel nagyobb mértékben torzítja azt, de nem így van. Persze nem tagadható, hogy van jobb/rosszabb, olcsóbb/drágább ketyere.

Mielőtt a végre a konkrétumokat elővennénk mártózzunk meg kissé a számmisztikának tűnő kérdéskörben. Ez azért fontos, hogy megértsük, milyen nagy feladat valójában az eredeti jel reprodukciója, és miért is jelent nagy kihívást ennek mérés technikája, miért is hagyatkozunk gyakran inkább a fülünkre. Szeretnék elnézést kérni azoktól akik jól ismerik a témakört, a céloim csupán az ismertetés, ezért jelentősen egyszerűsíték. Mondjuk induljunk ki egy asztali CD lejátszóból. A CD-n digitálisan vannak tárolva a hangok. Számítógépes előélettel én azt mondanám erre, hogy a digitális információt vehetjük etalonnak (tudom, hogy a valóságban talán mégsem). Ezt egy digitál/analog átalakító és mindenféle digitális szűrésnek, túl mintavételezésének nevezett mágiák segítségével alakítják vissza analóg jellé. (Szóval már itt agyon lehet csapni az élményt.) Mi maradjunk meg csupán a számoknál, anélkül, hogy mintavételezési és egyéb elméletekkel mélyebb ismeretséget kötnénk. A kimentí jelet biztosító AD 16 bites. Ez azt jelenti, 2^{16} szintet, azaz 65536 különböző feszültség szintet tud produkálni a kimenetén. Valaha mérés órán egy mutatós műszerről mondjuk 0-100-as skáláról tudtuk leolvasni a mért értéket. Mondjuk gyakorolnunk kellett két osztás között a tizedesek leolvasását. Mondanánk, hogy ott van a digit multiméterem, az 3,5 sőt van 4,5 digit pontosan is leolvasható. Ha pontosabban megnézzük ezeket a ketyeréket, fogunk találni olyan feliratot, ami elárulja, hogy a kijelzés ellenére az eszköz 1%, jobb esetben 0.5% pontos. Igaz ez a hétköznapi példányokra vonatkozik, legyünk annak boldog ismeretében, hogy van valahol egy olyan vállalat aki gyárt egészen pontos eszközöket. (Főiskolán mérés technika órán megemlítették,

hogy a HP 5 digites feszültségmérőjéhez való ellenállás osztó kifejlesztése mintegy 10 évet vett igénybe. Másik adalék, hogy nekem a kereskedelemben amit sikerült beszerezni, a legpontosabb ellenállás 0,1%-os volt). De nézzük tovább, az eredeti jel mintavételezése, tehát mérése 44,1 kHz frekvenciával történik. Ez azt jelenti, hogy a felvétel során a bejövő jelet másodpercenként 44100x mérjük meg, és ezeket az értékeket tárolják le digitálisan a lemezre. Nyilván a visszaalakítás is ilyen tempóban történik. Felvethetnénk, hogy van oszcilloszkópunk, mérjük meg azzal. A méréstechnikába járatlanok számára el kell mondjam, hogy az analóg oszcilloszkóp leolvasásánál kb. 2-3%-os pontosságról beszélhetünk, és kb. 5% körüli torzítású a jel, ami már szembeszökő. Aztán felmerül az a probléma is, hogy az erősítők szépen dolgoznak, amíg egy sinus jellel vezéreljük, de hajlamosak megbokrosodni, ha összetett jelet, különböző nagyságú, különböző frekvenciájú sinus-os csomagokat adagolunk a bemenetére (más jel alakokról azért nem beszéltem, mert Fourier szerint azokat felbonthatjuk sinus-os jelek összegére). És hát valljuk meg egymás között, a műélvezetet nem szoktuk addig fokozni, hogy órákig elhallgatnánk egy 0dB-s 1kHz-es szinuszos jelet, pedig az milyen pompásan mérhető:).

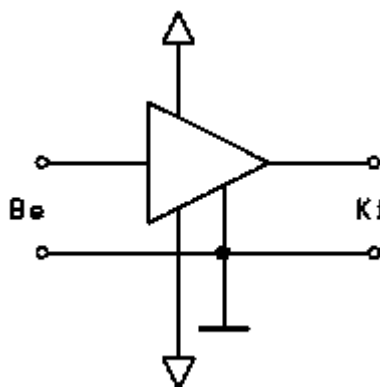
Gondolom aki nem foglalkozik elektronikával, annak a fenti adatok nem mondtak túl sokat. De vájkáljunk egy kicsit tovább a mennyi, mekkora kérdések között. Gyakori kérdés, hány Ohm-os a hangfalunk, hány Wattos az erősítőnk, mennyit visz át? Hangtechnikában a bemenetek és a kimenetek (két egység között) általában 0dB szintűek, ami számszerűleg 0,775V szinuszos feszültséget jelent (aminek a csúcserője 1V). Ezt kell a kívánt feszültségre felerősíteni. Én azt mondom, hogy egy normál szobában, normális érzékenyséű hangfalakat feltételezve 2x5-10W teljesítményt lehet elviselni. Ezt az értéket úgy saccoltam, hogy zenehallgatás közben oszcilloszkópon is néztem a kimenő jelet, ami nem érte el a 10V-ot. Mondjuk nem volt fájoan hangos a zene, de ha mondani akartam valamit másnak, hát ki kellett eresztenem a hangom. Persze nyilván jó, ha az erősítőnk rendelkezik tartalékkal, vagyis ha akaránk, szólhatna még hangosabban. Ehhez szorosan kapcsolódik az a kérdés, hogy hány wattos a hangfalunk? Szakközép iskolában azt tanultam, hogy a hangfal legalább kétszer akkora teljesítményű legyen, mint amekkora az erősítőnk kimeneti teljesítménye, és azt is mondták, ha Hi-Fi-zni akarunk, akkor inkább legyen háromszoros. Pedig a Hi-Fi-nek még kevesebb kikötése volt a minőséggel szemben. Én úgy emlékszem, hogy a berendezés torzítása legyen kisebb mint 1%, az átvitele pedig 40Hz-16kHz között legyen +/-3dB-en belül (ez ugye 40-16000 rezgést jelent másodpercenként). Ez a tartomány hozzávetőlegesen az emberi hallást fedi le. Anno, anyagismeret órán egy hangszóróra hanggenerátort kötve, kipróbáltuk az osztályban, ki meddig hall el. Nekem akkor kb 17kHz-ig vitt el a fülem, és ez az osztályban elég jó érték volt, csak pár osztálytársam halott még magasabb hangot is. Lefelé csalós, mert a hangszórók hajlamosak rezonálni, és lehet, hogy azt halljuk. Higgyük el, hogy amit hallani kell, az ott van ebben a sávban. A másik bűv szám, amivel gyakran találkozhatunk a 3dB. Ez az erősítés nagysága. Anélkül, hogy belemélyednénk, a -3dB azt jelenti, hogy a kimeneti feszültség 0,7-re csökkent, a +3dB pedig azt, hogy 1,4-szeresére nőtt. Ez kimenő teljesítményt szempontjából 0,5, illetve 2x-es értéket jelent. Ezek elég tág határok, de azért látszottak célszerűnek, mivel a hallásunk is logaritmikus. (Na csak leírom, úgy számítható a dB érték, hogy $A \text{ dB} = 20 \times \log(A_u)$.) Régi városi legenda, hogy amikor BNV-n a Mech.Labor által kiállított stúdió magnetofonnál megkérdezte valaki, hogy mennyi az átvitele, azt válaszolták, hogy 40Hz-16kHz. Jól lefitymálta,

hogy az otthoni magnó deck 20Hz-20kHz-et tud. Próbálták felvilágosítani a srácot, hogy ráírni azt lehet sok mindent, de ha megnézi ott lesz mindenképpen, hogy +/-3dB. A stúdió magnóra igaz, hogy 40Hz-16kHz-et adnak meg, de azt 0,1dB-en belül tudja. Szóval az nagyon lineáris. Mondjuk ez volt anno a különbség a Hi-Fi, meg a professzionális kategória között. Aztán nézzük mi van ma. A Lucas Film létrehozta a THX specifikációt, amiről most nem is jut túl sok az eszembe, csak annyi, hogy 10Hz-100kHz átvitelét írja elő. Aztán vannak a kommersz dolgok. Körberakhatjuk magunkat kis szappantartókkal, amikbe kapcsoló üzemű végfokok pumpálják a teljesítményt. El kell ismerni, van amelyik egészen tűrhetően szól, de a többség elég siralmas. Csak annyira ez veszi mindenhol körül az embert, meg a számítógéphez kapcsol szappantartók MP3-mal, hogy az ember lassan azt hiszi, ez a minőség (el kell ismernem, 192kHz feletti bitrate felett, egy 24bit-es hangkarival füllel már nehéz megkülönböztetni az eredeti CD-től). Ami ettől jobb, arra az audiofil jelzőt próbálják elsütöni. Aztán mindenféle hitvitákba keveredhetünk, elmegyünk meghallgatni, aztán vagy halljuk, vagy nem. Annyi igaz, hogy ezek a berendezések a kisebb számú, igényesebb közönségnek készülnek, kis sorozatban, és ebből kifolyólag magasabb áron, mint amellyel gyártható volna, vagy amilyen plusz minőséget kapunk érte cserébe.

Itt szakítsuk meg a TIT előadásomat, és lépünk konkrétan az elektronika területére, bár még mindig csak elméleti tέρre.

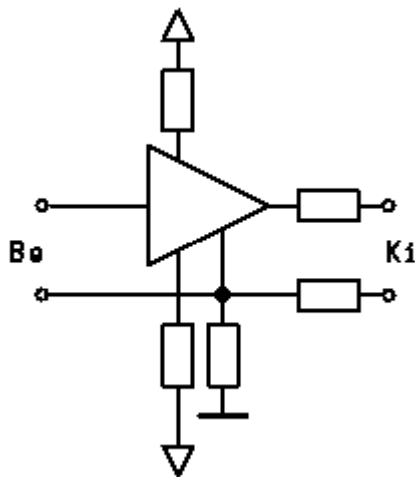
Végfokozat topológiája:

Azt mutatom be, hogy magától a konkrét kapcsolástól függetlenül hogy néz ki egy átlagos, és valójában hibás konstrukció, illetve mitől lesz egy konstrukció jó, és akár egy átlagos kapcsolással is hogyan érhetünk el tűrhető hangminőséget? Vegyük először is egy jó erősítő kapcsolását. Ez egy elméleti erősítő. Lehet, hogy egy végfok IC-t használtunk, lehet hogy tranzisztorokból, FET-ekből vagy csövekből építettük meg a kapcsolást, a sematikus vázlatja így néz ki:



A kapcsolatban a legegyszerűbb alkatrésznek a vezeték tűnik. Tudjuk, hogy nem tökéletes, az ellenállása nem nulla. Ezért minél nagyobb áramot akarunk vezetni, annál vastagabb vezetékre van szükségünk. Általában ezzel le is zárul a drótok irányába megnyilvánuló érdeklődésünk. De mekkora lehet egy tápvezeték ellenállása (plusz a forrasztások, csavaros kötések)? Mondjuk 0.01 Ohm? A vezetékünk helyére máris berajzolhatunk egy ellenállást, ha még olyan kicsit is. A táp

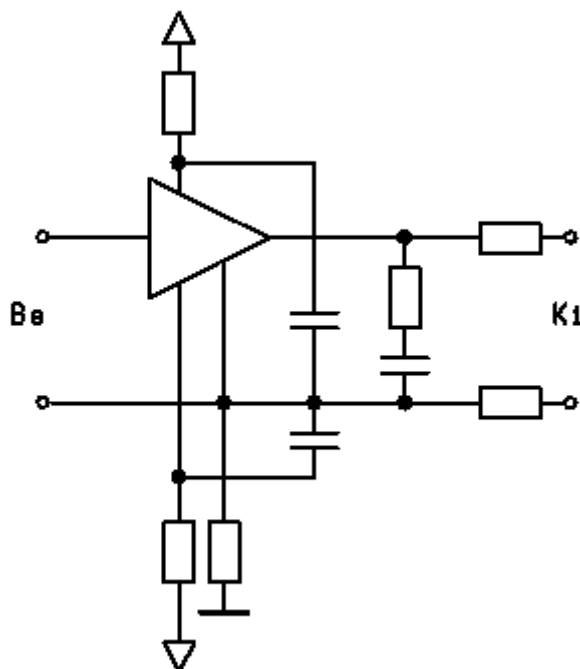
vezetékekre és a földelő vezetékre rajzoltam rá az ellenállásukat, mert látni fogjuk ezeken alakul ki zavarjel visszahatás. Azoknak a vezetéknek nem hanyagolhatjuk el az ellenállását, amelyeken jelentősebb áram folyik. A jel vezetéknek majdnem közömbös az ellenállása, mivel igen kis áram folyik rajtuk, így nem esik rajtuk számottevő feszültség. A kimeneti vezeték ellenállása is közömbös a bemenetre visszaható zavarjel szempontjából.



A végfokozatban nagy áramok folynak, és impulzus szerűen még nagyobb áramok folyhatnak. 8 Ohm-os rezisztív terhelést feltételezve (amihez a valóságos hangfal egyáltalán nem közelít) 8V-os csúcshőfeszültség esetén 1A áram folyik. 50W-os teljesítményhez hozzávetőleg 30V-os kimenő fesz tartozik, közel 4A-es áram csúccsal. Már 1A-es áram a 0.01 Ohm ellenálláson 0.01V, azaz 10 mV feszültséget ejt, vagyis a vezeték darabkánk máris átalakulnak zavarfeszültség generátorrá. De kit érdekel, hogy a kimenet eltolódik egy kicsit? Az még nem lenne zavaró, de nézzük meg alaposabban. A kimeneti vezetékeken és a tápfesz vezetékeken eső feszültség nem befolyásolja számottevően a jelet, igaz soros ellenállásként kapcsolódnak a kimenetre, és csökkentik a hangszóróra jutó kimenő teljesítményt. Ez annál számottevőbb, minél kisebb impedanciájú hangszórókat használunk (autókban használnak 1-2 Ohm-os hangszórókat is). Talán lakásban is célszerűbb 4 helyett 8 Ohm-os hangfalakat választanunk. A legproblémátikusabb a földelési hozzávezetés ellenállása. Az a fenti 10mV a fázistól függően kivonódik/hozzáadódik a bemeneti jelhez (0dB - 750mV - 1,3%)! Számunkra ezért legfontosabb a földelés hozzávezetési ellenállása. A gyakorlatban nem is olyan könnyű 0,01 Ohm hozzávezetést csinálni. Egyébként a tápfesz hozzávezetések annyiból érdekesek, hogy általában a panelekre csak egy-egy vezetékkel vezeti oda a tápáramot, és ugyan azt a tápfeszt kapja meg a bemeneti illesztő, illetve feszültség erősítő fokozat is, mint amit a teljesítmény fokozat. Ismert például analóg műveleti erősítő IC-kre megadják a tápfeszültség zaj elnyomást, ami 50Hz esetén egy szép érték, de nagyobb frekvencián már nem. Azt akarom ebből kihámozni, hogy a táp ágban megjelenő nagyobb frekis komponensek bizony megzavarhatják a bemenő fokozatot.

Lehet ezt még fokozni? Hát persze! A következő ábrán láthatók azok a megoldások, melyeket a legtöbb erősítőben alkalmaznak. Gyakran használnak a nagy áramú igénybevitelnek kitett vezetékeket, a táp-hozzávezetések átmenő ellenállásának kompenzálására kondenzátorokat. Ezen az ábrán rögtön szembeszökik, hogy a tápfeszültség tüskéket és brummot ezekkel egyenesen belevezetjük a földelő ágba, a kis zavarjel generátorunkba. Ezeket a kondikat általában rátervezik

egyből a végfok panelra. Másik gyakran alkalmazott megoldás a kapcsolásokban a kimenetre kapcsolt $n \times 1\text{ohm}$ ellenállásból és $n \times 100\text{nF}$ kondenzátorból álló szűrőtag, amely eredetileg az erősítő gerjedékenységet, és a nagyfrekvenciás torzítását van hivatva csökkenteni. Látható, hogy a kimenet nagyfrekvenciás zavarait belevezetjük a föld ágba, és így hozzáadjuk a bementi jelhez. Ki tudja mi lesz ebből?

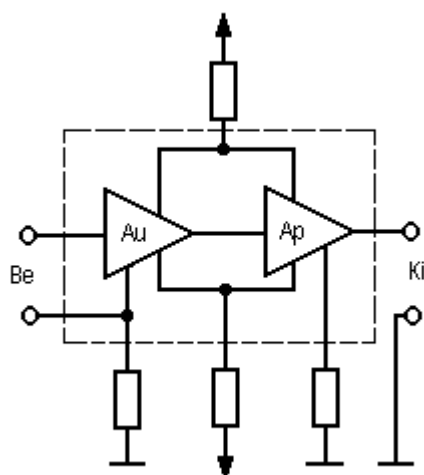


A fenti problémák hatására jelennek meg az ujjnyi vastagságú ezüstözött vezetékek, utalások a helyes földelésre, zavarászó mágneses kavicsok, és bambusz szigetelésű kondenzátorok.

Csőves vs. félvezetős technika:

Érdekes megvizsgálnunk a különbségeket a sokak által eszményített csöves és félvezetős technika között. A szakirodalomban olvashatjuk, hogy a csöves végfokozatok valójában nagyobb torzítással rendelkeznek, mint a tranzistorosok, de az olyan, amely fül számára nem bántó. Ha komolyan vesszük magunkat, elmerülhetünk a jó kimenőtrafó előállításában is. De nézzük meg részletesebben a csöves kapcsolástechnikát. Miért is kell kimenő trafó? Két okból. A csövekből nincs P/N polaritású mint a félvezetőkből. Másrészt a csövek nagyobb anódfeszültségről járnak, viszont kisebb áramot képesek vezérelni mint a félvezetők (és tudom, hogy nagy teljesítményű rádió/TV/mikrohullámú adókat igazából csak csövekkel lehet megvalósítani, tehát beszéljünk átlagos csövekről). Általában huzalozott technikával készültek, vagyis még az előforduló kisebb áramokat is vastagabb vezetékeken vezették, panelek nyomtatott rézcsíkjai (a panelen lévő rézfólia 40um vastag). Nagy áram csak a kimeneti trafóból jön ki. Idősebb kollégák visszaemlékeztek, hogy a csöveknél előforduló gerjedékenységen, zavarokon is sokat segített a csillagpontos kapcsolás, az egyes fokozatok (csövek) alkatrészeit az adott csőfoglalatra forrasztották. Én még ugyan megtanultam a csövek gyártástechnológiáját, de nem túl sokat értek hozzájuk, viszonylag csak az

anódfeszültséget tudom gyorsan kitapintani:) Azt gondolom, hogy ez az igazi különbség a csöves és a félvezetős technika között. A zavarjel csökkentését nyilván kisebb hozzávezetési ellenállással lehet elérni, amit úgy lehet elérni, hogy vastagabb és rövidebb vezetékeket használunk. Van más megoldás is persze. Azt hiszem közismert a négyvezetékes ellenállásmérés. Kis ellenállások mérésénél külön vezetéken vezetik az ellenállásra a mérőáramot, és külön vezetéken mérik a rajta eső feszültséget. Ha a végfokot két részre osztjuk, kis és nagy áramúra, és a két fokozat földjét (esetleg a tápáramát is külön vezetjük a kapcsoláshoz) több nagyságrendnyi javulást érhetünk el, mint az az ábrán látható. A feszültségerősítő fokozat föld vezetékében így csak néhány mA áram folyik, ami legalább három nagyságrenddel kisebb hibát okoz.



Persze még úgy is ki lehetne bővíteni a kapcsolástechnikát, hogy a hangszóró két sarkát külön végfok modul hajtaná meg, és a hang szóró sarkáról egy-egy figyelő vezetékkel visszacsatolnánk a rajta lévő feszültséget, így kiküszöbölhetnénk a hang szóró kábel hibáját. Mondjuk nem mai gondolat ez, és valójában egy régi kollégám vetette fel. A totális visszacsatolás pedig az lehetne, ha rögtön a hangszóró membránját figyelnénk. Nem is, a levegő rezgését kellene mérnünk ... :)

FET-es vs tranzistoros technika:

A FET-ek is és a tranzisztorok is félvezetők. Ma már történelmi érdekesség, hogy míg a FET-eket elméletileg már a II. Világháború előtt kigondolták, megvalósításukra, a megfelelő anyagok hiánya miatt csak a tranzisztor feltalálása után került sor. Jelentős különbség, hogy a tranzisztor vezérléséhez áramra van szükség, addig a FET vezérléséhez csak feszültségre. Ez azt is jelenti, hogy mivel 0 bemenő áramra van szüksége, így a teljesítmény erősítése végtelen. Másrészt mivel nem szükséges bemenő áram, minimalizálható a meghajtó fokozat. A teljesítmény FET-ekkel gyorsabb áramkörök építhetők mint a tranzisztorokkal. A FET-eknek kimeneti ellenállásuk van (néhány tizedtől néhány század Ohm körül), míg a tranzisztoroknál általában egy maradék (szaturációs) feszültséggel számolhatunk. Nagyobb áramoknál a tranzisztoron marad/esik kisebb feszültség:(. A valóságban azért szükség van egy bizonyos nagyságú áramra, mert a teljesítmény FET-ek rendelkeznek egy nem elhanyagolható Gate-Drain kapacitással (kb 1nF), amit főleg

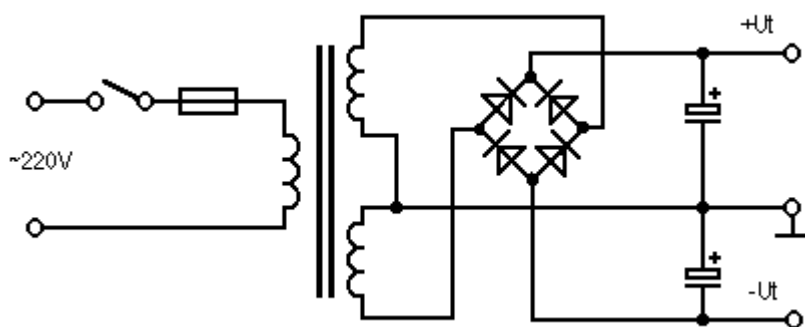
nagyfrekvenciás vezérlésnél számba kell venni. Mindennek ellenére, a csekély vezérlő teljesítményre tekintettel megvalósítható vele, a teljesítmény fokozat és a meghajtó fokozat szétválasztása (mint azt a fentiekben írtam). Kezdetben próbáltam párbaválogatott FET-eket venni, de aranyárban mérték őket. Tanulmányoztam a katalógusokat is, miket ajánlanak hangfrekis teljesítmény fokozatokba. Ha belemélyed az ember, azt is láthatja, a komplementer pár sorszámozással gyártott N és P típusok paramétereit között nemhogy kétszeres, de még háromszoros különbség is előfordul. Döntött a zsebem, olcsóbb típusokat vettem, inkább a kapcsolástechnikát csiszolgattam, de ez már egy másik fejezet.

Tuning

Meglévő erősítőnk is megpróbálhatjuk módosítani a fentiek szerint. A paneljéről távolítsuk el a 'zavarszűrő' kondikat, és a kimeneti zavarszűrő tagot (elneőrizzük nem gerjed-e?), a földpontokat külön vezetékkel kössük a puffer kondira. Ez már sokat javít a minőségén. A két fokozat földjét általában nem tudjuk különválasztani, mert a panel rajzolata nem teszi lehetővé. Az alkalmazott vezetékek lehetőleg vastagok legyenek (hangfal kábel).

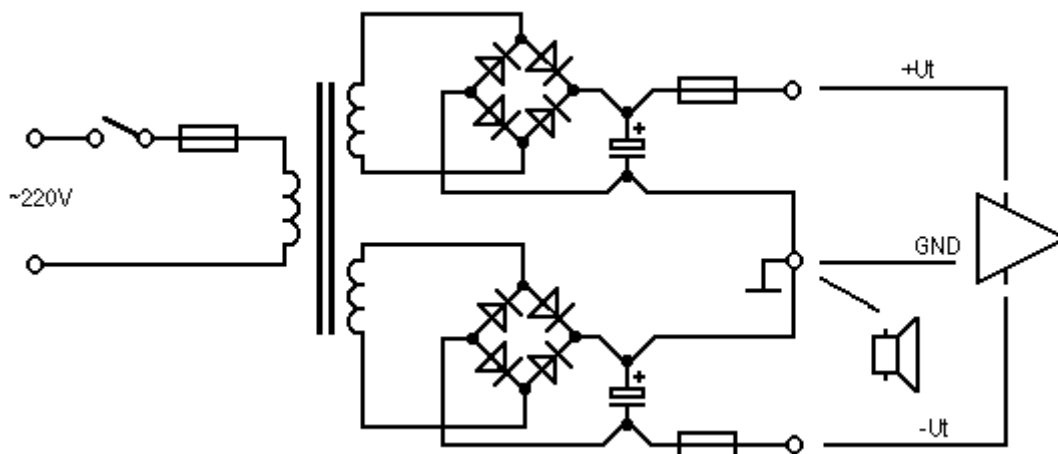
Tápellátás

Ez egy elvileg jó kapcsolás, de hibás!



Ez egy általánosan használt kapcsolás amit tanítanak is, hogy hogyan spórolhatunk meg egy Graetz hidat, esetünkben 100-300Ft-ot. Persze volt amikor nem árultak minden utcasarkon Graetz hidakat, nehéz volt nagy teljesítményű germánium diódákhoz jutni, sőt még olyan is volt, hogy a szelén az egyenirányítót jelentette és nem a fénymásoló egyik hengerére asszociáltak az emberek. Sajnos viszont beviszünk vele a rendszerbe egy 100Hz-es zavaró négyzög jelet. Nézzük csak meg alaposabban. A trafó szimmetrikus dupla szekunderéről jövő áramot egy Graetz hiddal egyenirányítjuk, a pulzáló egyenfeszültséget két kondenzátorral szűrjük. Érdekes, hogy kondenzátorok töltése nem folyamatos, hanem impulzus szerű. A töltő áram feszültsége, mint

tudjuk pulzáló félszínusz alakú. Csak akkor folyik töltő áram a kondenzátorba, amikor a feszültség eléri a kondenzátor pillanatnyi töltöttségi szintjét. Márpedig azokat úgy méretezzük, hogy nagy terhelés mellett is csak néhány tized Volttal essen két periódus között. Vagyis rövid idő alatt nagy töltő áramimpulzusra számíthatunk, ami nem szinuszosos, hanem négyszög alakú. A töltés/kisütés idejét a folyási szöggel jellemezhetjük. Az egyszerűség, no meg az én kedvemért, mivel nem szeretem a bonyolultabb számításokat, tételezzük fel, hogy az erősítő átlagosan, folyamatosan 2A-t fogyaszt. A folyási szög legyen 1/5, vagyis egy egységnyi ideig töltődik, és 5 egységnyi ideig sül ki a kondenzátorunk. Ez azt jelenti, hogy a trafónak egy időegység alatt kell a kondit feltöltenie, vagyis 5x-es áramot kell produkálnia, plusz az áramkört is táplálja közben, ami 10A-es áramlövés. Periódusonként kétszer, másodpercenként százszor. Ezek az áramlövés a kondenzátorokhoz vezető vezetékeken is létrehozzák a maguk kis feszültségeséseit. A két kondenzátornak föld felé eső ágát nem tudjuk topológiailag szétválasztani, így az azokon megjelenő zavar feszültséget az áramkörünknek kell korrigálnia. Ha nagyobb szűrő kondit használunk, csökkentjük a folyási szöget, rövidebb, de nagyobb áramimpulzusokat kapunk. Ez figyelemre méltó, mert hiszen mindenütt azt olvashatjuk használjunk 2x, 3x, 10x nagyobb kapacitást, ami viszont egyre durvább áramimpulzusokat generál. Előfordul, hogy néhány tized voltos négyszög jelet mérhetünk a tápvezetékeken és képtelenek vagyunk a masszív brummogást kiszűrni a készülékből. A korábban a végfoknál ismertetett elv szerint, minimalizálni kellene a a töltőáram impulzusok hatását a kimeneti körre. Ezt megint elérhetjük vastagabb vezetékekkel, de elérhetjük a kondenzátorokat töltő vezetékek és a kimenő, kisütő vezetékek szétválasztásával is. A helyes megoldás a következő ábrán látható. Plusz egy Graetz híd beiktatásával, ami néhány száz forintot jelent csupán, hosszas kínlódástól kímélhetjük meg magunkat. Kedvezőbb az is, hogy így két kisebb teljesítményű Graetz is elég. Tápfesz puffer elkő méretezésénél, 50Hz-es feszültség és kétutas egyenirányítás mellett, amperenként számoljunk 1000uF kapacitással. A rajzon is próbáltam megjeleníteni, hogy fizikai megvalósításnál is külön vezetéken vezessük az elkőhoz a Graetz hídról lejövő pulzáló feszültséget, és onnan a végfokhoz az egyenfeszt. Ha csavaros az elkő, előbb a betáp oldal vezetékét, majd a panel tápvezetékét szereljük rá. Vezetéknek hangszóró vezetékét ajánlok, de csak a boltokban kapható normál vastagabbra gondolok, nem egy ezüst csodára. A készüléken belül jelöljük ki egy pontot földpontnak, és ide kössük össze az összes föld vezetékét csillagpontosan.



Zavarszűrés

További zavarforrás a végfok jelföld vezetéke. Erre rászórhat mágnesezen a trafó. Ha lehet használjunk toroidot, annak legkisebb a szórása. A jelföldet árnyékolt vezetéken keresztül vezessük a panelra. A következő ábrán bemutatom egy erősítő fokozat bemenetének célszerű kialakítását. Az R1-C1 tag szűri a bemenetre jutó RF zavart, C2 (1-2 uF)szűri az esetleg a bemenetre kerülő DC-t, és R2 adja a bementi ellenállást. R1 1-2 kohm, R2 tipikusan 47kohm. C2-nek nekem a Yaego mini elkók váltak be. C1 mindenképpen kerámia tárcsa kondi, néhány x 10 pF-os.

