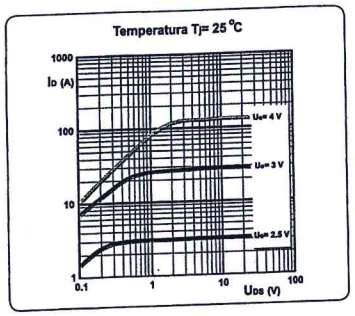
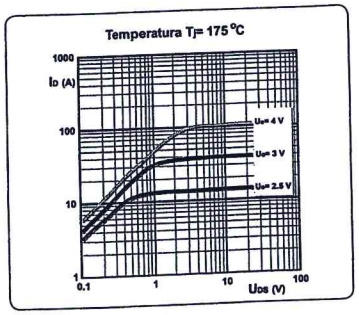
Ohmov, moči 10 W. To ustreza vhodne zahteve, mi pa smo se odločili, da bomo kot izhodno močnostno komponento uporabili MOSFET tranzistor, kateremu bomo krmilno napetost vrat pripravili z operacijskim ojačevalnikom TL071. Glede na vhodno napetost se bomo odločili za stopnjo ojačenja A, ki ne sme biti prevelika. Če na vhodu priključimo sinusen signal velikosti 0,775 Vpp, moramo na izhodu dobiti čim večji nepopačen izhodni signal, s katerim bomo napajali zvočnike. Če napetost razpolovimo, nam ostane po 6 V za posamezen polval signala, ki pa ga žal ne moremo izkoristiti v celoti zaradi nelinearne karakteristike polprevodnikov in padca napetosti na tranzistorju, spet zaradi lastnosti polprevodnikov, da prevajajo, kadar je potencialna razlika na P-N spoju večja od 0,7 V. Krmilna napetost na vratih MOSFET tranzistorja bo enosmerno določena na polovico napajalne napetosti. Te napetosti bomo »prištevali« pozitivne polperiode ojačenega izmeničnega sinusnega signala in »odštevali« negativni del. S tem bomo vplivali na tok skozi upor, na katerem se bo zaradi tega spreminjal tudi padec napetosti, ki bo prek izhodnega kondenzatorja poganjal (izmenični) tok skozi zvočnik. Tako lahko z gotovostjo trdimo, da bo v končni stopnji nepopačeno ojačen le takšen sinusni signal, čigar amplituda ne bo presegala 4,5 V v plus in enako v minus. To je skupaj 9,0 Vpp. Zdaj uporabimo še enačbo ojačenja A, ki smo jo spoznali že pri operacijskih ojačevalnikih.




*Sliki 5 in 6: Odvisnost toka ponora (drain) od temperature Tj (junction, kristal polprevodnika) pri enaki napetosti na vratih*

$$A = \frac{U_{izh}}{U_{vh}} = \frac{9\,V}{0{,}775\,V} = 11{,}6$$

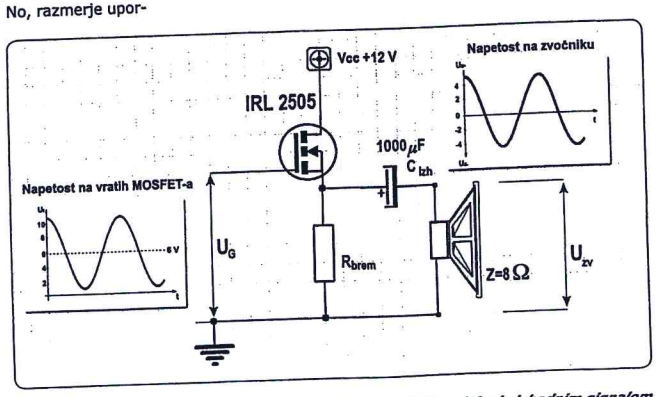
*Formula 1: Izračun potrebnega ojačenja*

Izračunali smo, da mora biti ojačenje pred-stopnje 11,6. Dovolj je tudi že 11, saj bomo z 11-kratnim ojačenjem vhodnega signala na izhodu dobili napetost 8,50 Vpp. No, razmerje upornosti med povratnim in vhodnim uporom pri operacijskem ojačevalniku bo torej 11:1.

Povedati moramo, da nismo upoštevali nobenih temperaturnih premikov karakteristik MOSFET-a, do katerih prav gotovo prihaja, vendar jih mi pri našem osnovnem spoznavanju elektronike ne bomo upoštevali. Kako na naš MOSFET tranzistor vpliva temperatura, si lahko pogledamo na spodnjih dveh karakteristikah, slika 5 in 6.

Lepo je vidno, da tok od ponora do izvora pri različnih temperaturah tranzistorja nikakor ni enak, ampak nekajkrat naraste. Iz teh karakteristik lahko tudi razberemo, kako pomembno je, da polprevodnike pritrdimo na ustrezno hladilno telo, s katerim mu vzdržujemo neko konstantno delovno temperaturo. V razredu A, kjer so izkoristki resnično slabi, moramo pri 100 W glasbene moči računati še z »ogrevanjem« do 700 W in to ne glede na velikost vhodnega signala! Zelo dobro in hitro moramo odvajati tolikšno količino toplotne energije, da tranzistorjem ves čas zagotavljamo neko konstantno temperaturo delovanja! Primere izračunov za hladilna telesa lahko najdete na spletu. Z njimi izračunamo potrebno velikost hladilnika glede na količino toplotne energije, ki jo je potrebno odvesti z ohišja polprevodnika. Mimogrede – tudi naš izhodni tranzistor bi bilo dobro pritrditi na kakšno hladilno telo, saj se med delovanjem kar precej segreje! Pri izbiri hladilnika za naš ojačevalnik ne bomo pikolovski in razpredali celotne teorije, ampak bomo uporabili takšen hladilnik, ki ga imamo trenutno pri roki. Karkoli je bolje kot nič, uporabimo pa lahko karkoli aluminijastega, kotnike, ravne profile, pločevino ali celo stare karnise! Elektronikov domišljija ne omejuje! Prav gotovo boste lahko tudi med odsluženo računalniško »ropotijo« našli kaj primernega (napajalnik!).

Da bo delovanje ojačevalnika še malo bolj jasno, bomo to poskusili grafično ilustrirati na sliki 7. Za enkrat bomo obravnavali samo končno stopnjo ojačevalnika.




*Slika 7: Končna stopnja našega ojačevalnika z izrisanim vhodnim in izhodnim signalom*





Kadar ni vhodnega signala, je na vratih tranzistorja polovico napajalne napetosti, VCC/2 ali 6V v našem primeru. Ta napetost povzroči nek stalen tok skozi tranzistor, ki je omejen z uporom Rbrem, na katerem zaradi tega toka nastane padec napetosti, ki je tudi nekje blizu polovice napajalne napetosti. Ker na vhodu ni izmeničnega signala, tudi ni izmenične komponente napetosti in skozi serijsko vezan kondenzator in zvočnik ne steče nikakršen tok, s katerim bi ga krmilili.

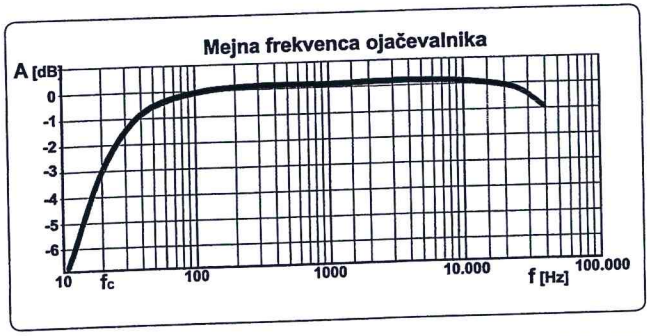
Ko na vhod priključimo izmenični signal ustrezne amplitude, bo velikost toka skozi upor odvisna od napetosti na vratih. Manjša napetost bo povzročila manjši tok. Manjši tok bo povzročil manjši padec napetosti na uporu in večji padec napetosti bo ostal na tranzistorju med priključkoma D in S, ki deluje kot spremenljiv upor (transfer-resistor). Ker napetost za krmiljenje zvočnikov jemljemo iz upora Rbrem ,je za nas ta padec napetosti seveda pomemben. Izmenična komponenta napetosti na tem uporu prek izhodnega kondenzatorja požene tok skozi tuljavico zvočnika, kjer se pretvori v nihanje membrane zvočnika. Če bi zvočnik povezali brez kondenzatorja, bi skozi tuljavico membrane ves čas tekel nek enosmerni tok (odvisno od impedance zvočnika - porabnika, njegove ohmske upornosti) ki bi povzročil, da bi bila membrana ves čas izven svojega ravnovesja. Ob dodatnem vzbujanju s tokom iste smeri bi se »hotela« odkloniti še bolj, vendar bi prišlo do fizične omejitve gibanja (ker bi bila že skoraj v skrajni legi), zato bi bil zvok popačen. Impedanca zvočnika bi kot breme za enosmerni tok nastopala le s svojo ohmsko upornostjo, ki je znatno nižja od nazivne impedance zvočnika. To bi povzročilo velik tok skozi tuljavico membrane, ki bi se zaradi tega začela prekomerno segrevati in bi se po določenem času tudi trajno mehansko deformirala. Vrednost izhodnega kondenzatorja je odvisno od impedance priključenega zvočnika in želene mejne frekvence, ki jo izračunamo po formuli:

$$f_C = \frac{1}{2 \times \pi \times C_{OUT} \times R_{LOAD}} \; ; \; C_{OUT} = \frac{1}{2 \times \pi \times f_C \times R_{LOAD}}$$

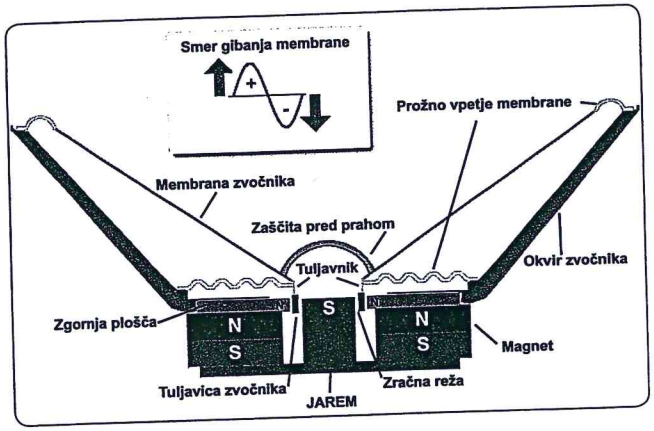
*Formula 2: Izračun mejne frekvence in izhodnega kondenzatorja*

Če vstavimo za kapacitivnost COUT =1000 µF in upornost RLOAD = 8 Ohm, bo mejna frekvenca (corner frequency) 19,90 Hz, kar je zelo dobro tudi kar se tiče najnižjih frekvenc. Pri RLOAD = 4 Ohm bo izračunana frekvenca 39,80 Hz, kar je dosti slabše in bi morali za enake rezultate vzeti kondenzator vrednosti 2000 µF.

V tej enačbi je fC mejna frekvenca (cut-off), kjer na nizkih frekvencah signal pade (oslabi, slabljenje) na -3 dB, kar je polovica tistega pri 0 dB. RLOAD je impedanca priključenega zvočnika, COUT pa kapacitivnost izhodnega kondenzatorja. Dovolj nizko postavljena mejna frekvenca je zelo pomembna za verno ojačenje vhodnega signala predvsem na nizkih frekvencah (basih), saj smo se že na začetku seznanili z dejstvom, da je slabljenje -3 dB pravzaprav polovico manjše močnostno ojačenje kot pri 0 dB.




*Slika 8: Krivulja slabljenja signala zaradi izhodnega kondenzatorja na 8 Ohmskem zvočniku*




*Slika 9: Prerez in delovanje zvočnika*

Tipična karakteristika ojačenja ojačevalnika v celotnem (slišnem, avdio) frekvenčnem območju je prikazana na sliki 8.

Ojačevalniki razreda A so znani po neprijetnem pojavu ob vklopu napajanja, ko se mora kondenzator v trenutku napolniti na polovično napajalno napetost. To povzroči neprijeten pok, ki pri večjih izhodnih močeh istočasno predstavlja tudi nevarnost za sluh in okvaro priključenih zvočnikov, zato se poskušamo pri konstrukciji temu izogniti na različne načine, na primer tudi z zakasnjenim vklopom zvočnikov.

Na sliki 9 je za boljše razumevanje delovanja celotnega ojačevalnika prikazan zvočnik v prerezu, s katerim bomo