

ZVUCNE KUTIJE

OSNOVNI POJMOVI

Dugo sam razmišljao da li da se uopšte upustam u pravljenje tutorijala na ovu temu, jer je materija izuzetno široka i kompleksna, a ja sebe ne smatram nekim posebnim stručnjakom za ovu oblast jer to i nisam. Ali, razmišljajući o broju mladih zaljubljenika u audio i samogradnju, ipak sam odlučio da pokušam da im koliko-toliko pomognem (u granicama moga znanja i iskustva) da barem stvore nekakvu grubu ali sto celovitiju sliku o "svetu" zvučnih kutija. Imajući na umu da je ovo namenjeno ljudima sa manje znanja i iskustva, trudicu se da i količinu informacija i stil pisanja i terminologiju držim na prikladno prilagodjenom nivou.

Mnogi bolji poznavaoци problematike zvučnih kutija ce se možda pobuniti na neke od postavki koje slede u daljem tekstu, ali ja jos jednom napominjem da se rukovodim logikom da su ovo uputstva za prve korake manje iskusnih pocetnika, kroz vrlo obiman i komplikovan svet zvučnih kutija, jer polazim od toga da ce vremenom kako budu vise saznavali i sticali prakticna iskustva, i sami shvatati mnogobrojne dodatne medjuzavisnosti i finese. Da bi se bas sve reklo i objasnilo, trebalo bi uraditi nesto po obimu nekoliko desetina ili stotina puta vece od ovog clanka, a i to bi trebalo da uradi neko ko mnogo vise zna o tome od mene.



Najveci deo gubitka kvaliteta, u modernim sistemima za reprodukciju zvuka, uglavnom je zasluga zvučnika, koji iz nekog pomalo cudnog razloga nisu istim tempom pratili razvoj ostalih komponenata sistema. Po mom misljenju, zvučnici su danas "usko grlo" audio sistema.

Na pocetku, moram da napomenem da sam pristalica **precizne** reprodukcije a ne HiFi-a. Postojalo je vreme kada su ove dve stvari bile sinonimi, ali je danas u mnogim aspektima HiFi postao neka vrsta religije u kojoj su verovanja i ubedjenja mnogo vaznija od istine, a znanje se uspesno zamenjuje entuzijazmom. Pravi "hramovi" HiFi-a su raznorazni (najcesce) fantasticno skupi sistemi, a "vrhovni sveštenici" su neki novinari u HiFi magazinima, koji upravo genijalno pronalaze razloge i pseudo-naucna objasnjenja kao dusevnu satisfakciju za one koji su na takve sisteme potrosili prava mala bogatstva pa im ovo dobro dodje da , onako... u sebi, imaju kompletno i argumentovano opravdanje za takav potez i trosak. Zakoni fizike "upetljani" u sisteme za reprodukciju zvuka, odavno su vrlo dobro poznati i ustanovljeni, a ipak se vrlo cesto dovode u pitanje ili cak i ignorisu od strane tih istih novinara cije "mentalne i retoricke" onanije uglavnom sluze da dignu pritisak pravim poznavaoциma i istrazivaoциma.

Jednostavno je nemoguće napraviti bilo kakav napredak (izuzev slucajno ili na sreću) bez jasne slike o tome sta je sve "u igri" i koji su to

Generalno gledajući, ono što čini jednu zvučnu kutiju moglo bi se grubo podeliti u četiri oblasti: drajveri (zvučnici), sama kutija, skretnica i ispunjena materijalom za prigušenje. Imajte uvek na umu da je JEDINA PRAVA ISTINA da su SVE te oblasti **PODJEDNAKO VAŽNE!** "Promasaj" u bilo kom smislu i u bilo kojoj od tih oblasti vodi sigurno do lošeg krajnjeg rezultata u ovom ili onom smislu. Kupite najfinije drajvere za 2000Eura ali... pogresite li sa skretnicom ili loše dimenzionisanom ili izradjenom kutijom, ili pak pogresite sa ispunjenom kutijom i dobićete po zvuku i kvalitetu nešto što ste možda mogli već gotovo da pazarite kao "second-hand" za 100Eura. Pogledajmo ukratko osobine i faktore koji su vezani za ove oblasti.

DRAJVERI

Drajveri, ili kako ih obično zovemo - zvučnici, su najčešće prvi na spisku za razmišljanje kada se odlučujemo za dizajn i pravljenje zvučne kutije. Na samom početku treba odabrati šta je odlučujući faktor: drajveri koje imamo (ili možemo da nabavimo) pa će oni svojim osobinama diktirati tip i dimenzije kutije, ili ste se već čvrsto odlučili za određeni tip i veličinu kutije pa će to diktirati kakve drajvere morate nabaviti. Nisu retki ni oni koji svesno (ili još češće nesvesno tj. zbog neznanja) "siluju" fiziku i akustiku i ugrađuju to što imaju u kutiju kakvu žele bez obzira da li to dvoje odgovaraju jedno-drugom ili ne, pa kad dožive razočarenje očajnim zvukom proglašavaju da ti drajveri nisu nizašta ili da taj tip kutije ništa ne valja. Prava istina je nešto sasvim drugo ali oni to ili ne shvataju ili neće da vide.

Veoma je važno napomenuti da je za pravilno projektovanje bilo koje zvučne kutije neophodno da poznamo osnovne parametre drajvera koje planiramo da koristimo. Ti parametri koji su nam potrebni se najčešće zovu "Thiele-Small parametri" ili skraćeno "TS parametri" i naziv potiče od dva Australijanaca - Nevil Thiele i Richard Small koji su krajem 60'-tih i početkom 70'-tih ustanovili zavisnosti i formule za približno određivanje toga kako će neki woofer zvučati u nekoj kutiji a pre nego što to stvarno i napravimo. Uglavnom se ovi parametri odnose na woofere tj zvučnike za duboke tonove budući da se zvučna kutija u sustini i dizajnira prema njima i njihovim osobinama. Za woofere renomiranih proizvođača ćete te parametre ili već dobiti sa drajverom ili ih dosta lako pronaći na mnogo mesta na Internetu, ali ako koristite "neki" woofer nepoznatog porekla moraćete da barem neke najvažnije TS parametre izmerite sami. To uopšte nije teško i nije potrebna nikakva specijalna mera oprema. Više instrukcija o tome kako da to uradite možete naći u mom tutorijalu ["Pojednostavljen metod za određivanje nekih od Thiele-Small parametara"](#) koji se time ba vi. Skup tipičnih TS parametara za jedan woofer mogao bi da izgleda ovako:

Qts:	0.31	Qms:	3.66
Vas:	167.0 l	Qes:	0.34
Fs:	24.53 Hz	SPL:	90.00 dB
Re:	5.20 ohm	Pe:	200.0 W
Le:	2.40	BL:	16.05
Xmax:	0.007 m	dia:	0.305 m
Z:	8.00 ohm	Sd:	0.000 m ²

U najvećem broju slučajeva, drajver za najdublje tonove tzv. "woofer" je glavni determinisajući faktor. To ne znači da srednjetonac (midranger) i visokotonac (tweeter) nisu važni i od uticaja, ali se sama zvučna kutija i radi uglavnom zbog woofera i prema njegovim parametrima. Za srednjetonac i visokotonac čak nije ni neophodno da budu u toj kutiji. Za kvalitetnu reprodukciju najnižih tonova woofer-drajver bi trebalo da je srednje osetljivosti, sa ravnom i konusno oblikovanom membranom izradjenom od nekog termoplastičnog ili kompozitnog materijala ili od aluminijuma. Membrana bi trebalo da je srednje do velike mase i većeg prečnika (10" = 10 inča = 250 mm pa navise). Visoka efikasnost je moguća samo sa velikom membranom a uz to velike membrane uvek imaju mnogo manja izobličenja od malih membrana. Vesanje bi trebalo da je polukružnog oblika i od gume ili poliuretanske pene. Kao što vidite, sve su to mehanički parametri i to je zbog toga što su glavna ograničenja dinamičkih zvučnika skoro isključivo u oblasti njihove mehanike a ne električnih i magnetnih svojstava (što svakako ne znači da su ta svojstva potpuno nebitna!!!). Za konstruisanje kutije za taj neki woofer koji imate ili ste planirali da ga nabavite, morali bi da znate neke njegove osnovne parametre. Čest je slučaj da ste nabavili drajvere za koje nemate nikakvih parametara pa vam ostaju samo dve mogućnosti. Ili će te naći način da izmerite barem osnovne potrebne parametre za šta bi moglo da vam bude od koristi moje uputstvo za određivanje Thiele-Small parametara koje možete naći u odeljku "Tutorijali", ili će te uraditi kutiju onako "od oka puta koren iz Pi" pa se posle natezati sa njom ne bi li izvukli kakav-takav zvuk što najčešće ne uspeva. Verovali ili ne, ima i takvih pristupa i nisu sasvim retki.

Srednjetonski i visokotonski drajveri obično postavljaju manje problema pred graditelja, ali to svakako ne znači da možete da ih "pljesnete" bas bilo gde i u bilo kom odnosu. Uglavnom se sreću dva tipa srednjetonskih drajvera i to klasični, sa konusnom membranom, koji po svom izgledu podsećaju na woofere samo su mnogo manji i takozvani "kalotni" srednjetonci ili "dome-midrange" koje će te prepoznati po tome što su spređeni četvrtastog ili okruglog oblika a u sredini imaju jedno poluloptasto ispupčenje prosečno veličine polovine teniske lopte mada ima i većih. Kuciste tog tipa je obično sa zadnje strane gde je magnet, potpuno zatvoreno tako da njegova membrana nema nikakvu komunikaciju sa unutrašnjosti zvučne kutije ako je ovaj drajver postavljen na njenu prednju ploču. Sa onim prvim tipom koji podseća na smanjeni woofer je situacija obično drugačija. Njihova "korpa" tj. metalni okvir na kome je postavljena membrana a i magnet, ima više otvora pa se membrana može videti ako gledate sa zadnje strane. Ako se srednjetonac takve konstrukcije postavi na prednju ploču kutije za woofer (kako se to obično i radi) tada će pokreti vazduha unutar kutije nastali od pomeranja membrane woofera uticati i na njegovu membranu što će praviti velika izobličenja ili dovesti do probijanja njegove membrane usled pritiska vazduha iznutra. Da bi se sve to sprečilo, uvek se unutar wooferske kutije pravi još jedna dosta manja za srednjetonac koju zovu "komora" i kod nje je jedino važna zapremina dok je oblik sa stanovista zvuka nebitan. Renomirani proizvođači takvih drajvera najčešće navode potrebnu zapreminu komore a mnogi proizvode i odgovarajuće gotove komore od vrlo tvrde plastike oblika poluloptasto zarubljene kupe. Ne sme se zaboraviti da se u slučaju kada se za srednjetonac koristi komora unutar kutije woofera, njena zapremina doda na izračunatu zapreminu kutije za woofer! Teško je reći koji tip

srednjetonaca je bolji jer kod obe vrste postoje apsolutno izvanredni drajveri. Ja licno (mozda i neopravdano) ipak za nijansu vise volim kalotne srednjetonce, ali napominjem da je to verovatno vise stvar nekog licnog ukusa i ugla gledanja nego realnih prednosti i mana drajvera.

Visokotonci ili "tweeter"-i se takodje pojavljuju u vise varijanti, ali verujem da cete se najvise sretati sa tri tipa. Najcesce je to kalotni tip ili "dome tweeter" koji postoji opet u vise varijanti u zavisnosti od materijala kalotne membrane, onda trakasti ili "ribbon tweeter" i danas vec redje korisceni klasicni visokotonci sa konusnom membranom koji po dimenzijama i izgledu najvise podsecaju na male zvucnike iz starijih prenosnih tranzistorskih radio-aparata. Tweeteri u sustini ne zahtevaju da budu ugradjeni niukakvu kutiju da bi ispravno funkcionisali, ali opsta zvucna slika moze dosta da varira u zavisnosti od toga gde i kako ste ih postavili, odnosno kakav je njihov polozaj prema ostalim drajverima i prema celoj kutiji i njenim ivicama. U principu, preporucljivo je montirati ih tako da su razlicito udaljeni od svih ivica kutije barem za pola precnika svog kucista, a isto tako i od ostalih drajvera. Svakako, ovo nije apsolutno obavezno ali je bolje, mada ce te naci dosta kutija (cak i boljih) kod kojih to nije tako.

Mnogi ce primetiti da nisam pomenuo "piezo-horne" a to je zbog toga sto taj tip visokotonaca niukom slucaju ne dolazi u obzir za kutije koje treba da sluze za HiFi reprodukciju.

Do sada sam sve vreme govorio o sistemima kod kojih je reprodukcija celog audio opsega podeljena na dva, tri ili vise specijalizovanih drajvera. Nije neophodno da to bude tako jer postoji jos jedan tip drajvera koji je tako dizajniran da je sposoban da sam prenese tj. reprodukuje veci deo audio opsega. Ti su drajveri bolje poznati kao sirokopojasni ili "broadband" ili "full-range" drajveri i postoje takodje u vise varijanti prema tehnologiji koriscenoj u njihovoj izradi. Izraz "full range" tj. pun opseg nije bas tacan jer prakticno ni jedan od tih drajvera nije sposoban da podjednako kvalitetno prenese pun audio opseg. Najkvalitetniji primerci te grupe su drajveri "Lowther", "Manger" kao i QUAD-ovi elektrostaticki zvucnici. Jedna od glavnih prednosti ovih drajvera je to da kod njihove upotrebe otpada potreba za skretnicom i svim problemima i manjkavostima koje ona nosi. Ovakvi drajveri (osim elektrostatickih) se najcesce ugradjuju u kutije tipa TL tj. "Transmission Line" ili "Transmissioni vod", a jedan od razloga za to je da vecina nije bas velike snage pa je potrebna kutija koja ce podici efikasnost sistema. Ipak, za pokrivanje bas celokupnog audio opsega je najcesce potrebno kombinovati takav sistem sa jos jednim dodatnim wooferom koji pokriva najdublje tonove. Neki od ovih drajvera to ne traze jer su i sami relativno dobri i u tom najnižem delu opsega ali im tada obicno treba dodati tweeter jer ne idu dovoljno visoko.

Jedan od parametara pri izboru drajvera koji je mnogima na prvom mestu (a nebi trebao da bude) je snaga drajvera. Tu treba imati na umu da je oko 60-tak posto snage zvuka pri prosecnom "normalnom" slusanju muzike sadržan u frekvencama do nekih 500-600Hz a njih ce najvećim delom prenositi woofer. Zato se u praksi sa dovoljnom sigurnoscu moze uzeti da je za proseчну trosistemsku zvucnu kutiju reda 100-tinak vati dovoljan woofer snage oko 80W, srednjetonac snage oko 40W i visokotonac

oko 20-tak vati. Ovo se odnosi na ono sto JA podrazumevam pod "normalnim" slusanjem HiFi sistema. Za "moderno" slusanje tehno-muzike ili turbo-folka po sistemu "da gruva" sve ovo naravno pada u vodu, ali po meni to i nije HiFi, bar ne u osnovnom smislu tog pojma. Svakako, niko od vas nije obavezan da se slaze samnom po tom pitanju!

KUTIJE

Sledeca, nista manje obimna i kompleksna oblast je pitanje zvucnih kutija. Postoji puno tipova kutija i svaki tip ima svojih prednosti i mana, tako da izbor zavisi od mnogo faktora i nije nimalo jednostavan. Treba uvek biti svestan cinjenice da nema vrhunskog zvuka iz male kutije sa malim drajverima. To nije nicija izmislijotina ili ubedjenje vec to proizlazi iz prirode i zakona fizike i tako je svidjalo nam se to ili ne. Da ne bude zabune, nisam rekao da nema dobrog zvuka iz male kutije, vec da nema "vrhunskog zvuka". Sa time se potpuno slaze najveći deo vrhunskih svetskih strucnjaka za zvucne kutije.

Da bi napravili sto pravilniji izbor, navescu samo neke od vaznijih parametara koje bi po meni trebalo uzeti u obzir i koji vaze za bilo koji tip kutije. To su: osobine drajvera sa kojima raspolazete, finansije koje su vam na raspolaganju, raspolozivi prostor u sobi u kojoj slusate muziku, vrstu muzike koju pretežno slusate, osobine ostatka sistema kao sto je kvalitet i snaga pojačala, prihvatljivost njihovog izgleda i velicine za ostale clanove porodice kao i vase licne opste preference po pitanju reprodukcije zvuka. Kao sto ce te vec kod prve takve odluke i sami videti, izbor je UVEK neka vrsta kompromisa i na to je bolje da budete spremni vec u startu.

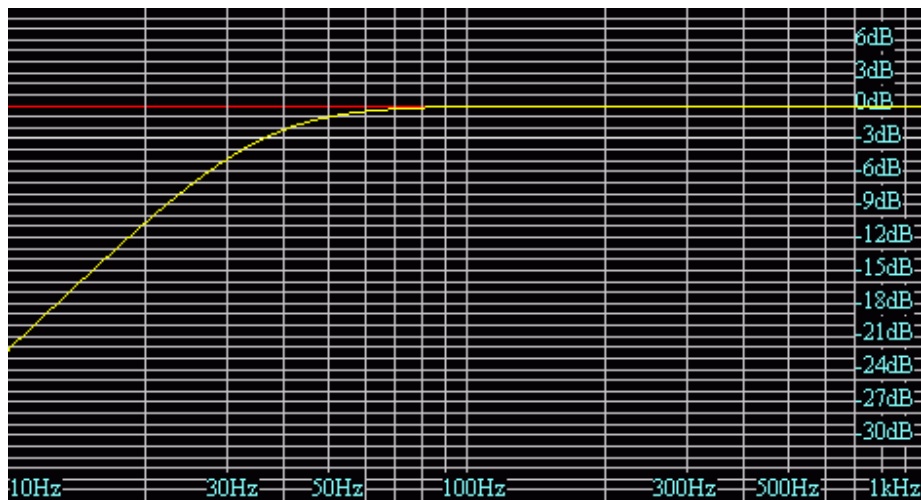
Da bi ovaj tutorijal odrzao jednostavnim, namerno sam izostavio bilo kakve formule za proracune raznih tipova kutija. Drugi razlog za izostavljanje je sto verujem da ce vecina biti dovoljno razumna da sa Interneta "skine" program ["WinISD"](#) koji je izvrstan i apsolutno BESPLATAN, a sadrzi sve moguće proracune koje za vas obavlja automatski. Takodje sadrzi i dosta dobru bazu podataka za prilican broj drajvera a omogucava vam da u bazu unesete i podatke svojih drajvera ako ih on nema. Racuna pasivne i aktivne skretnice i L-pad atenuatore, a ima i dobar signal-generator od 10Hz do 10KHz. Svakako da ima i boljih i mocnijih programa ali za pocetak (pa i mnogo vise od toga) WinISD je dovoljan!

KOMPRESIONE KUTIJE



Najjednostavniji i verovatno najstariji tip zvucnih kutija su potpuno zatvorene ili "kompresione" zvucne kutije (u daljem tekstu "KP" kutije) i kod njih je drajver montiran na jednu od stranica kutije koja je hermeticki

zatvorena. Ovaj tip zvučnih kutija je u zadnje vreme pomalo potisnut u stranu mada nepravедno jer je po meni to najbolji tip kutija za prve pokusaje samogradnje. Imaju one i drugih interesantnih osobina po kojima nadmasuju neke druge mnogo popularnije tipove. Drajveri u KP kutijama mnogo bolje podnose snagu na niskim frekvencama, ove kutije odlikuje odlična linearnost i tranzijentni odziv, i sto je za manje iskusne veoma vazno, ovaj tip kutija je najmanje od svih osetljiv na greske u proračunu i izradi a da pri tom krajnji rezultat jos uvek bude prihvatljiv. Istina, imaju i mana i najizrazenije su da im je tacka pocetka pada frekventne karakteristike visa nego kod drugih tipova i da generalno uzevsi imaju manju osetljivost tj. traze nesto jace pojačalo za postizanje istog nivoa zvuka u poredjenju sa drugim kutijama. Kompresione kutije su zbog svoje odlične linearnosti i tranzijentnog odziva vrlo cest izbor vrhunskih majstora zvučnih kutija, kada grade subwoofer. Na sledecoj slici je data tipicna frekventna karakteristika jedne kompresione kutije:



Uglavnom se razlikuju dva tipa KP kutija: takozvani tip sa "beskonacnom plocom" i tip sa "akustickom suspenzijom". Izraz "beskonacna ploca" nije bas najtacniji i tu se u stvari misli na relativno veliku kutiju (sa relativno velikom prednjom plocom) kod koje je komplijansa (najpriblizniji nas izraz bi bio "stisljivost", "elasticnost") vazduha u kutiji veca od komplijanse "vesanja" drajvera koji se koristi. KP kutije tipa "akusticke suspenzije" su generalno gledano, manje velicine i kod njih je komplijansa vazduha u kutiji barem 3-4 puta (ili vise) manja od komplijanse drajvera. Za KP kutiju cemo se odluciti na osnovu karakteristika drajvera koji posedujemo i to ce biti u slucaju kada nam drajver ima relativno visok "Vas", nizi ukupni Q faktor dakle oko 0,2-0,5, tvrdje tj. manje elasticno vesanje (mali hod membrane), relativno malu visinu zavojnice i nasto nizu ukupnu masu membrane. Takvom drajveru bi najbolje odgovarala veca kompresiona kutija (mada bi mu odgovarala i Bas-refleks kutija). Sa druge strane, drajveru sa velikim hodom membrane tj. velikom elasticnoscu vesanja, sa vecom ukupnom masom membrane, sa ukupnim Q faktorom vecim od oko 0,4 i sa nizom vrednoscu "Vas" i niskom rezonantnom frekvencom ce vise odgovarati mala KP kutija. Iz ovoga se lepo vide dve stvari koje univerzalno vaze: za odluku i projektovanje bilo koje zvučne kutije je neophodno u startu znati neke od parametara drajvera

(nisu svi parametri uvek bitni za sve vrste kutija), i drugo, da granice upotrebljivosti drajvera u odnosu na tip kutije nisu ostre. Ima mnogo drajvera koji ce sasvim lepo raditi u razlicitim tipovima kutija ali su kao i uvek prisutni izvesni kompromisi. Praksa je pokazala da se kao gruba smernica za izbor tipa kutije moze uzeti odnos drajverovih parametara F_s/Q_{es} . U koliko je taj odnos manji od oko 0,55 verovatno je da ce tom drajveru bolje odgovarati kompresiona kutija, a ako je veci od tog broja vise ce mu odgovarati Bas-refleks kutija. Kao sto sam rekao, ta granica uopste nije striktna i ostra pa ce vecina drajvera kojima je odnos F_s/Q_{es} izmedju 0,4 i 0,6 verovatno dosta lepo raditi u oba tipa kutije.

Kod izrade KP kutije nije dovoljno da ona nama samo vizuelno bude "zatvorena", vec je stvarno neophodno da bukvalno bude hermeticki zatvorena. Kod potpuno završene KP kutije sa montiranim zvucnikom, trebalo bi da vazduh ni na koji nacin ne moze na bilo kom mestu ni izaci ni uci u kutiju. Dok to nije postignuto, kutija nije dobra. Kao i kod svake kutije i kod KP kutija se sam proračun moze obaviti "peske" tj. uz papir, olovku i kalkulator i koriscenjem formula, ali je to danas vec postalo izlisno jer postoji dosta kompjuterskih programa da vam to obave a mnogi su vise nego dovoljno tacni i dobri za prve godine sticanja iskustva u gradnji zvucnih kutija a pri tome su potpuno besplatni. Kao sto sam vec ranije napomenuo, jedan od boljih te vrste, koji ce za vecinu biti sasvim dovoljan je "WinISD" koji je napravio Finac Juha Hartikainen.

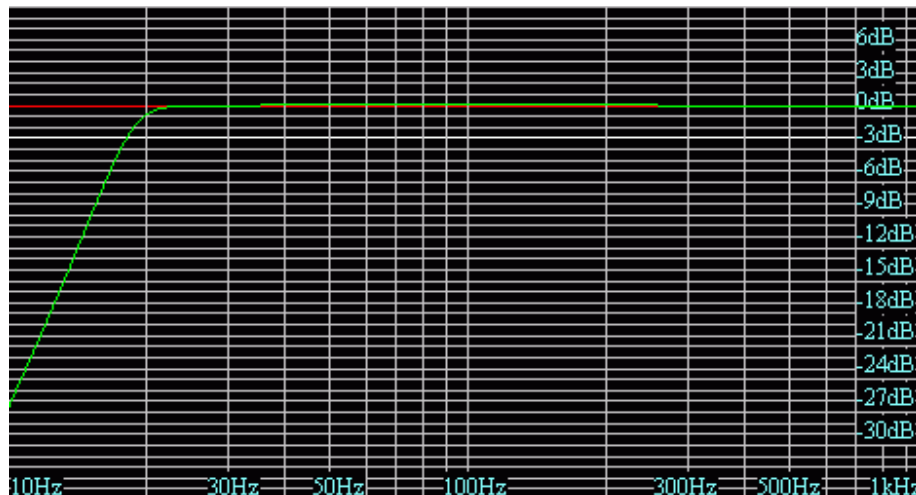
BAS-REFLEKS KUTIJE



Drugi tip zvucnih kutija, u zadnje vreme mnogo vise koriscen nego KP kutije je "Bas-refleks" tip (u daljem tekstu BR). Ovaj tip radi na drugacijem principu jer na površini kutije ima jedan ili vise otvora od koga se ka unutrašnjosti kutije proteze tunel ili "port" kako to zovu u svetu, a koji na niskim frekvencama znacajno doprinosi zvuku kutije. Pri koriscenju istog drajvera u BR kutiji ce imati manje izoblicenja, moci ce da podnese vise snage i imace nizu prelomnu frekvencu nego da je isti ugradjen u KP kutiju. Ali, ispod te prelomne frekvence drajver postaje "neopterecen" i izoblicenja rapidno rastu, a i tranzijentni odziv BR kutija je dosta losiji nego kod KP kutija. BR kutije su mnogo osetljivije na greske u proračunu i tokom izrade zbog mnogobrojnih interakcija izmedju razlicitih parametara pa stvarno nisu preporucljive za pocetnike. Ovom tipu kutija bi najvise odgovarali wooferi sa Q_{ts} izmedju 0,2 i 0,45 a za one sa $Q_{ts} = 0,4$ ili vise, vec vredi ozbiljnije razmisliti o ugradnji u manju KP kutiju umesto u BR, ili ako se radi o dizajnu za subwoofer, mozda u band-pass kutiju sa jednim portom. Kod koriscenja BR kutije je preporucljivo obezbediti da pojačalo ne moze da proizvede nikakvu znacajniju snagu na frekvencama ispod prelomne frekvence kutije jer, kako je malocas receno, drajver ispod te frekvence postaje "neopterecen" tj izostaje "potpora" elasticnosti vazduha

u kutiji pa membrana može pri većim signalima da se mnogo više pomera u oba pravca što osim velikih izobličenja može dovesti i do trajnog mehaničkog oštećenja zavojnice-namota ja.

Tipična frekventna karakteristika jedne Bas-refleks kutije:



Najkarakterističniji deo BR kutije je takozvani "port" tj. ona refleksna cev (jedna ili više njih) čiji se otvor nalazi na površini kutije. Namerno sam rekao samo "na površini" a ne na prednjoj ploči kutije jer se port može nalaziti gotovo bilo gde na kutiji i uopšte ne mora biti na prednjoj ploči. Za sam rad kutije i funkcionisanje porta je to potpuno nevažno ali može imati uticaja na zvuk takve kutije u zavisnosti od položaja otvora i položaja kutija u prostorji. Port najčešće vodi od otvora na površini ka unutrašnjosti kutije ali ni to nije obavezno jer će isto tako funkcionisati i ako je ceo port spolja, van kutije. Istina, to vizuelno izgleda pomalo idiotski i tesko da će te naći na takve kutije ali nije na odmet da znate da je i to moguće. Ono što na funkcionisanje porta može da ima uticaja je blizina okolnih formacija bilo kom otvoru porta. Zato je preporučljivo da se spoljasnji otvor nalazi barem za prečnik porta dalje od ivice obima bilo kog drajvera ili ivice kutije. Isto važi i za drugi-unutrašnji otvor i njegov odnos sa strukturama u unutrašnjosti kutije (unutrašnje površine zidova, pregrade, pojačanja, skretnice, korpe i magneti drajvera). Za njega je još isto tako važno da se ni materijal za ispun kutije nikada ne nađe bliže od tog rastojanja i da se obezbedi da vremenom u toku rada i vibracija, ispun ne može da se "slegne" i približi ili zatvori unutrašnji otvor porta. Pokušajte da uvek ako je moguće, koristite što veći port jer to smanjuje efekat kompresije snage i sumove koji u portu mogu nastati usled brzog kretanja vazduha. Jedna od čestih gresaka kada je port u BR kutiji u pitanju je pogrešna dužina kod dupliranja porta. Konkretni primer iz prakse: ako za neku određenu prelomnu-rezonantnu frekvenciju imate po proračunu samo jedan port prečnika 10cm i dužine 14cm i želite da umesto jednog stavite dva ista takva porta prečnika 10cm, svaki će sada biti po 35cm dužine da zadržite istu rezonantnu frekvenciju!

Ako radite subwoofer kutiju BR tipa za automobil, uzmite u obzir da kabina auta po prirodi izdize duboke tonove u opsegu ispod nekih 60-80Hz

cak i do 12dB po oktavi. Zbog toga vam se moze dogoditi da tacno po proracunu uradjen "sub" kod kuce u sobi zvuci izvrsno i ujednaceno a u autu "bubnji". U tom slucaju probajte da namerno "nastelujete" prelomnu frekvencu nize nego sto se dobija proracunom.

TRANSMISSION LINE (TL) ili LAVIRINT KUTIJE



TL kutije su sasvim poseban tip zvucnih kutija relativno novijeg datuma (pocetci oko 1960 god.) koje su nastale u procesu traganja za povecanjem efikasnosti i linearnosti odziva, smanjenjem "koloracije" zvuka i boljom ekstenzijom prenosnog opsega ispod rezonanse drajvera. **Mislim da je bitno na samom pocetku upozoriti manje iskusne da (po mom misljenju) ovo nikako nije tip kutija za "prve korake" u oblasti zvucnih kutija, jer su veoma zahtevne i kompleksne po mnogim pitanjima i predstavljaju vrlo "krupan zalogaj" i za vrlo iskusne graditelje.**

U sustini TL kutije rade na principu "talasovoda" koji okrece fazu zvucnog talasa nastalog sa zadnje strane woferove membrane pojacavajući na taj nacin zvuk nastao na prednjoj strani membrane. Za razliku od ostalih tipova, kutije TL tipa bi teoretski trebalo da su nerezonantne omogucavajući da se dobije cist i "neobojen" bas, naravno, ako su dobro uradjene. Dobre TL kutije je tesko napraviti a da budu male zbog neophodne duzine "talasovoda" koja bi trebala biti 1/4 ili 1/2 ili 3/4 talasne duzine na rezonantnoj frekvenci drajvera. U praksi, te duzine na nizim frekvencama postaju prilicne pa recimo talasovod duzine 1/4 talasa na 30Hz iznosi 2,84m! Zbog toga se talasovod nikada ne radi kao prava cev vec se vise puta savija u kutiji da bi zauzimao manje prostora. Da bi se talasovod fizicki skratio pribegava se i njegovom delimicnom ili potpunom punjenju materijalima za ispun zvucnih kutija. Buduci da zvuk kroz takve akusticke apsorptivne materijala putuje sporije, talasovod izgleda za zvuk kao da je duzi nego sto su mu fizicke dimenzije. Ali, iako je korisno iz ugla smanjenja ukupnih dimenzija, ovo resenje sa skracenim i jos i ispunjenim 1/4 talasovodom je i najkriticnije za uspesnu gradnju i podesavanje jer u tom slucaju pocinje sve od svega da zavisi.

Izbor drajvera za TL kutije nije bas uvek lak, jer se pokazalo da relativno manji broj drajvera stvarno dobro rade u TL sistemu. Generalno, odgovarajuci drajver bi trebalo da ima prilicno niske Qes i Qts od oko 0,3 do 0,4 i relativno visok Qms od oko 3 do 6. U cilju drzanja gabarita cele konstrukcije u razumnim granicama, najcesce se koriste drajveri velicine od 10" (inca) ili manji. Velicina drajvera ce odredjivati i velicinu pocetnog dela talasovoda koja je najcesce 1,2 do 2 puta precnik drajvera. Talasovod se na svom putu ka izlaznom otvoru na drugom kraju polako suzava.

Razliciti dizajneri navode vrlo razlicite koeficijente suzenja sto ce te videti iz sledece tabele.

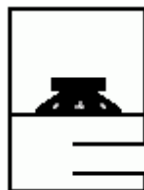
AUTOR	Otvor na pocetku TL voda	Otvor na kraju TL voda
Atkinson	1,4	0,6
Bailey	1,35	0,6
Dickanson	1.25-2.5	1
Radford	1,66	0,75
Rogers	1,5	0,68
Sanders	1,25	1
Seaford	1,1-1,5	1
Weems	1,5-2	1

Kojem ce te se vi "carstvu privoleti" ostaje na vama odlucite. Sudeci po vrlo raznolikim odnosima suzavanja, cini se da to i nije posebno presudan faktor buduci da TL kutije svih ovih autora veoma dobro zvuce prema izvestajima sa testova. Izgleda da su dosta kritичniji faktori: izbor drajvera i nacin i gustina ispunjavanja talasovoda damping materijalom kao i vrsta samog materijala. Tu takodje postoje znacajna razmimoilazenja medju autorima, pa eksperimentisanje izgleda ostaje neminovnost za postizanje dobrih rezultata.

Ovo je jedan od tipova kutija za koje ne mozete koristiti WinISD jer ih on ne moze da racuna!

Imajuci u vidu namenu ovog tutorijala iznesenu na samom pocetku, samo cu pomenuti i vrlo sazeto opisati nacin funkcionisanja jos nekih tipova zvcnih kutija.

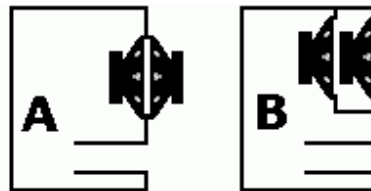
REFLEKSNA BAND-PASS KUTIJA



Ovo je prilicno specijalizovan tip kutije koji (za razliku od ostalih tipova) omogucava da vi odredjujete i donju i gornju prelomnu frekvencu sistema. **Ovaj tip kutija se smatra jednim od najtezih za uspesnu izradu i svakako nije za manje iskusne.** U osnovi se sastoji od dve komore od kojih je jedna uvek po bas-refleks principu i najcesce se zove prednja komora. Ona je zajedno sa portom koji sadrzi "zaduzena" za gornju granicnu frekvencu. Druga komora u kojoj se nalazi sam drajver, moze biti bilo potpuno zatvorena, dakle kompresionog tipa ali i bas-refleks tipa tj. kao i

prednja komora i određuje donju granicnu frekvencu. Ovaj tip kutije se uglavnom koristi za subwoofere i glavne prednosti su mu relativno manja izoblicenja jer je reprodukcija i sa gornje strane karakteristike ogranicena i mogucnost koriscenja drajvera sa visim Q faktorom (a to znaci sa manjim magnetom tj. jeftinijih).

IZOBARICNA KUTIJA



Takodje prilicno specijalizovan tip kutija koji ima nekih veoma lepih ali i nekih bas nezgodnih osobina. Glavne prednosti izobaricne kutije su mnogo manje dimenzije kutije i kod izvedbe u "A" varijanti mnogo manja izoblicenja nego za standardnu konfiguraciju sa jednim drajverom. Nazalost tu od prilike i prestaju pozitivne strane ovog tipa kutije i pocinju one negativne (uslovno receno). Na toj negativnoj strani su: neophodnost da se koriste dva ista drajvera (dakle duplo skuplje), drugi drajver se mora montirati spolja (slika "A") pa ce trebati mnogo ljubavi prema toj konstrukciji da bi je smatrali lepom, osetljivost je duplo manja pa treba dosta snaznije pojacalo za postizanje istog zvcnog pritiska, iz ove konfiguracije se ne moze dobiti gotovo nista od mid-bas spektra pa je neophodno da se radi posebna kutija za mid-bas.

U osnovi, ovaj tip kutija radi po principu sinhronog pokretanja dve membrane koje se sada ponasaju kao jedna. Sami drajveri se povezuju anti-paralelno tj. **paralelno ali u protivfazi** (plus jednog na minus drugog i obrnuto) tako da kada se membrana jednog pomera unapred, membrana drugog ide unazad i obrnuto. Membrane drajvera su i mehanicki "spregnute" potpuno hermeticki zatvorenom malom vazdusnom komorom koju cini prostor izmedju dve membrane. Na taj nacin membrane "pomazu" jedna drugoj i stvarno se ponasaju kao jedan veliki drajver ali sa upola manjim "Vas". Stvarno ruzan izgled varijante "A" se moze izbesci postavljanjem drajvera kao u varijanti "B" tako da se spolja gledano unutrasnji drajver ne moze videti pa kutija izgleda kao standardna BR kutija. U slucaju ove konstrukcije, drajveri se elektricki i dalje vezuju **paralelno ali sada u fazi** (plus na plus a minus na minus). Za tu konstrukciju je vazno da komora u kojoj je prednji drajver stvarno bude sto manja, idealno hermeticki zatvorena i da membrana zadnjeg drajvera nikada ne moze da dodirne magnet prednjeg drajvera koliko god da krene unapred. Vecina onih koji ne znaju da se radi o izobaricnoj konfiguraciji, ce biti verovatno fascinirana time koliko dobrog basa se dobija iz tako male kutije. Jos jedna pozitivna strana montaze po varijanti "B" je da se za razliku od "A" moze ocekivati dosta vise mid-basa pa verovatno nece biti neophodno da se radi dodatna kutija sa mid-bas drajverom. Ali da stvari ne bi bile samo pozitivne treba napomenuti da kod duze primene vece snage postoji problem hladjenja magneta i kalema prednjeg drajvera koji ce biti mnogo topliji nego kod zadnjeg jer se nalaze u maloj hermetickoj komori pa se tesko hlade. Pri znacajnom zagrevanju magneta i kalema dolazi do promena

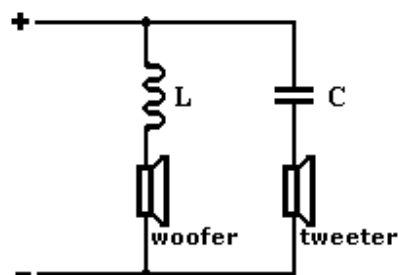
karakteristika drajvera pa se tada vise ne radi o dva potpuno indenticna drajvera sto je i bio uslov izobaricne konfiguracije.

Postoji jos tipova zvucnih kutija ali ih ja ovde necu obradivati jer po meni spadaju u takve tipove koji traze mnogo vise znanja, vestine i iskustva da bi se dobro uradile. One koji tek ulaze u ove "vode" prijateljski savetujem da se prvih godina zadrze na kompresionim ili bas-refleks kutijama i uz to da dosta citaju kako bi svoje znanje doveli dotle da mogu da pokusaju da se upuste u gradnje slozenijih i zahtevnijih sistema.

SKRETNICE

Sa izuzetkom sirokopojasnih drajvera, svi ostali drajveri su konstruisani i predvidjeni da prenose samo jedan deo audio opsega. Van tog opsega oni uglavnom proizvode dosta izoblicen zvuk i uz to vrlo smanjenog intenziteta. U koliko im se dovede znacajni nivo audio signala van njihovog predvidjenog optimalnog opsega velike su sanse da ih ozbiljno osetite pa cesto cak i momentalno unistite, i to se prvenstveno odnosi na tweetere i jednim delom i na srednjetonске drajvere. Zbog toga se izmedju drajvera i pojacala mora nalaziti frekventna skretnica koja ce slikovito receno "odvojiti" tj. "filtrirati" i na svaki drajver propustiti onaj deo opsega za koji je on predvidjen i u kome se ponasa najbolje i najefikasnije.

Postoji vise nacina da se to postigne, a najklasicniji i u praksi jos uvek daleko najvise koriscen nacin je takozvana "pasivna zvucnicka skretnica". To je elektronski sklop sastavljen od induktiviteta, kondenzatora i otpornika u razlicitim konfiguracijama. U osnovi to su pasivni filteri propusnici niskih ili visokih frekvenci ili njihova kombinacija da se dobije propusnik odredjenog opsega frekvenci. U najjednostavnijem obliku, skretnica ima samo dva elementa: jedan kalem-induktivitet i jedan kondenzator. To je takozvana "skretnica prvog reda". Takva skretnica se koristi u zvucnim kutijama sa dva drajvera od kojih obicno jedan pokriva opseg od najnizih frekvenci a zahvata i deo srednjih frekvenci, odakle nastavlja drugi koji reprodukuje ostatak audio opsega do najvisih frekvenci. Jedan takav jednostavan sistem je dat na donjoj slici:



Polazim od pretpostavke da koliko god da je neko pocetnik trebalo bi da zna makar osnovne karakteristike elektronskih komponenata. Ako je to tako, onda znate da se uopsteno govoreci, induktivnost i kapacitivnost u kolu naizmenicne struje (audio signal koji stize iz pojacala je naizmenicna

struja) ponasaju kao veci ili manji otpor prolasku te struje. Taj otpor se ne meri obicnim univerzalnim instrumentom vec je to takozvani "prividni" otpor tj. reaktansa i moze biti induktivna reaktansa (X_L) i kapacitivna reaktansa (X_C) i jako su zavisne od frekvence, odnosno menjaju se sa frekvencom. Sa snizavanjem frekvence induktivitet ce se ponasati kao sve manji i manji otpor dok ce se kondenzator ponasati kao sve veci otpor, i obrnuto. U toku projektovanja zvucne kutije, a znajuci karakteristike drajvera koje koristimo, moramo se u jednom momentu odluciti do koje frekvence cemo signal propustati na dubokotonski zvucnik a preko te frekvence treba da ga saljemo visokotonskom zvucniku. Ta se frekvencija zove prelomna frekvencija skretnice i da bih pokazao kako to sve izgleda na prakticnom primeru uzecu da je prelomna frekvencija 1900Hz tj. 1,9KHz.

Prividna otpornost nekog induktiviteta tj. njegova induktivna reaktansa " X_L " se racuna na sledeci nacin:

$$X_L = 2\pi \times F \times L \quad (X_L - \text{u omima; } F - \text{u hercima; } L - \text{u henrijima)}$$

dok se kapacitivna reaktansa " X_C " racuna kao:

$$X_C = 1/2\pi \times F \times C \quad (X_C - \text{u omima; } F - \text{u hercima; } C - \text{u faradima)}$$

Kod ovog tipa skretnice, na prelomnoj frekvenci i kalem i kondenzator treba da imaju prividnu otpornost (reaktansu) jednaku impedansi drajvera na koji su vezani. Uzecemo da i woofer i tweeter imaju impedanse po 8 oma pa dakle treba proracunati vrednosti induktiviteta kalema i kapaciteta kondenzatora koje na 1900Hz takodje predstavljaju otpornost od 8 oma. Gornje formule se lako transformisu u pogodan oblik tako da se sa leve strane znaka jednakosti nadju L i C.

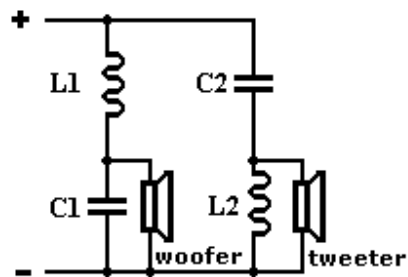
$$L = X_L / 2\pi \times F = 8 / 6,28 \times 1900 = 0,00067H = 0,67mH \quad (\text{za } mH \text{ pomerate zarez 3 mesta u desno})$$

$$C = 1 / 2\pi \times F \times X_C = 1 / 6,28 \times 1900 \times 8 = 0,00001F = 10\mu F \quad (\text{za } \mu F \text{ pomerate zarez 6 mesta u desno})$$

Kalem je vezan u seriju sa namotajem drajvera i izracunali smo ga tako da na frekvenci od 1900Hz ima otpornost-reaktansu od 8 oma, dakle isto toliko kao i otpornost drajvera. Posto ta dva elementa mozemo uprosceno posmatrati kao dva seriski vezana otpornika od po 8 oma, oni ce ulazni napon koji stize iz pojacala na prikljucke + i - podeliti tacno na pola pa ce na zvucniku biti samo polovina tog napona. Ako nivo signala izrazimo u decibelima (dB) kako je uobicajeno, reci cemo da je signal koji stize na drajver oslabljen za 6dB. Kalem ce zadržati tu svoju osobinu slabljenja kako frekvencija ulaznog signala bude rasla, i za svako udvostrucenje frekvence, dakle za svaku "oktavu", ce oslabljivati signal za dodatnih 6dB. Zbog toga se za ovaj tip skretnice kaze da im je slabljenje "6dB/oktavi". Na 3800Hz ce nivo signala na wooferu biti 12dB nizi, na 7600Hz ce biti 18dB nizi, itd. itd.

Isto tako, samo u obrnutom smeru, ce se ponasati i tweeter i njegov kondenzator od 10 μ F. Na 1900Hz ce nivo na tweeteru biti 6dB nizi nego ulazni nivo na + i - prikljuccima, i sa opadanjem frekvence ce takodje dodatno slabiti signal koji stize na tweeter za 6dB/oktavi. Dakle, jednu oktavu nize, na 800Hz ce nivo na tweeteru biti 12dB nizi, na 400Hz ce biti 18dB nizi, itd. itd.

Nekada nije dovoljno oslabiti signale koji stizu na drajvere za samo 6dB. To je mnogo manje kriticno za woofere jer ih gotovo sigurno necete ni osetiti ni unistiti ako im dovedete cak i poprilican signal neke vise frekvence koju mozda i nisu sposobni da reprodukuju. Ali ako na srednjetonac ili jos gore, tweeter, dovedete veci nivo niskofrekventnog signala koji je ispod njihovog optimalnog frekventnog opsega, u najboljem slucaju ce te dobiti dosta veca izoblicenja, ali je i prilicno verovatno da ih mozete lako unistiti takvim signalom. Kod koriscenja skretnice sa karakteristikom od 6dB/oktavi, nivo signala je jos uvek relativno veliki cak i samo jednu-dve oktave nize a vecina tweetera ne mogu bez ostecenja podneti takve nivoe van svog propusnog opsega. Zbog toga je nekada potrebno mnogo "ostrije" filtrirati ulazni signal pa se za tu svrhu koristi drugaciji tip skretnice cija je karakteristika slabljenja po oktavi "strmija" i iznosi 12dB/oktavi i naci ce te ih takodje i pod nazivom "skretnice drugog reda". Na zalost, to zahteva jos dve komponente, tj. jos jedan kalem i kondenzator pa se sema malko komplikuje. U osnovnom obliku, sema i formule za izracunavanje vrednosti komponenata izgledaju ovako:



Dvosistemska skretnica drugog reda (12dB/oktavi)

$$L1 = \frac{Z_W}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot F_{LOW}} \cdot 1000 = \dots \text{ mH}$$

$$C1 = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot F_{LOW} \cdot Z_W} \cdot 1,000,000 = \dots \mu\text{F}$$

$$L2 = \frac{Z_T}{\pi \cdot 2\sqrt{2} \cdot F_{HIGH}} \cdot 1000 = \dots \text{ mH}$$

$$C2 = \frac{1}{\pi \cdot 2\sqrt{2} \cdot F_{HIGH} \cdot Z_T} \cdot 1,000,000 = \dots \mu\text{F}$$

Z_W — Impedansa woofera (u omima)

Z_T — Impedansa tweetera (u omima)

F_{LOW} — Granična frekvencija LOW-PASS filtera (u Hercima)

F_{HIGH} — Granična frekvencija HIGH-PASS filtera (u Hercima)

Svakako, postoje i skretnice viseg reda koje jos "ostrije" ogranicavaju opseg koji propustaju, kao i skretnice za vise drajvera (trosistemske, cetvorosistemske...) ali i jedne i druge po mom misljenju izlaze iz okvira tutorijala ovog nivoa, pa ih necu ovde ni obradivati. Njihovo savladavanje ostavljam svakome od vas kada budete savladali ove prve korake jer vam tada, uz malo literature i Interneta, ja vise i necu trebati. Nemojte svemu ovome prilaziti olako jer je konstruisanje i izrada dobre trosistemske kutije sa skretnicom viseg reda veoma veliki "zalogaj" i za vrloiskusne i znanjem potkovane graditelje. Ne zaboravite i da sve skretnice parnog reda, pocev od drugog reda pa navise, unose fazne pomake i kasnjenje signala, pa treba dosta znanja da se to konstrukcijom kutije i rasporedom drajvera ispravi ili ublazi.

Kod nekih skretnica ce te na tweeterima a ponekad i na srednjetoncima videti dodatne otpornike (obicno malo vece snage) koji sluze da oslabe nivo signala na ovim drajverima jer su i tweeteri i srednjetonci najcesce dosta osetljiviji i efikasniji od woofera. U koliko vam je woofer recimo sa SPL=89dB a tweeter sa SPL=94dB, moracete da izmedju izlaza za tweeter sa skretnice i samog tweetera dodate ovakav oslabljivac tj. atenuator da bi ceo sistem skladno i ujednaceno zvucao inace ce visoki biti prenaslagaseni. Takodje ce te ponekad naci dodatne sklopove u vidu serijski vezanih otpornika, kondenzatora i induktiviteta (mada nekada nisu koriscena sva tri elementa odjednom) i to su dodatci za razne

kompenzacije i "poravnavanje" propusne krive zbog nesavršenosti drajvera ili skretnica. Time se pokušava da ceo sistem (skretnica i drajveri) za pojačalo predstavljaju sto ravnomernije opterećenje preko celog audio opsega.

Pri izradi skretnica treba posebno voditi računa o kvalitetu komponenata koje se koriste. Kada su u pitanju kalemovi, za svakodnevnu upotrebu (u samogradnji) se najčešće koristi klasična lakirana bakarna zica za motanje transformatora, i trebalo bi da se koristi najdeblja moguća zica (normalno, u razumnim granicama!) jer će kvalitet kalema dosta od toga zavisiti. Treba težiti kad god je to moguće, da omska otpornost gotovog kalema (merena običnim OM-metrom) ne bude veća od 25% otpornosti namotaja drajvera, a najbolje bi bilo da pokušate da pravilnim izborom debljine zice, tu vrednost držite u granicama do 10%. Takođe je poželjno da kalemovi za zvučnicke skretnice budu takozvani "vazdusni" tj. bez ikakvog jezgra. Svakako, to se može izvesti do neke granice jer će za visoke vrednosti induktiviteta kalem biti ogromnih dimenzija i težine ako se po svaku cenu radi kao vazdusni. U tim slučajevima se koriste bilo gvozdene jezgre (kao za mrežne transformatore) ili feritna jezgra. Izbor kondenzatora je takođe važan, i uvek je bolje koristiti blok kondenzatore nego bilo koju vrstu elektrolitskih pa makar oni bili i posebno radjeni za zvučnicke skretnice. Za velike vrednosti kapaciteta će ipak često biti veoma tesko da se nađu odgovarajući blokovi, pa se do nekih (opet kažem razumnih!) granica koriste paralelne kombinacije više blok kondenzatora. Kada bas ne može drugačije, koristite takozvane "bipolarne" elektrolite koji su namenski pravljeni bas za zvučnicke skretnice.

I još nešto veoma važno kod dizajniranja skretnica! Prilikom proračuna skretnice **NE MOŽETE** koristiti podatak o impedansi drajvera onako kako je on obično dat u proizvodjačkoj specifikaciji. To je neka prosečna ili nominalna impedansa tog drajvera, ali to ne znači da će on imati tu impedansu na frekvenci koju hoćete da koristite kao prelomnu frekvenciju skretnice. Uzmite na primer, bilo koji woofer na svetu!!! kome je nominalna impedansa 8 oma, i garantujem vam da na onoj prelomnoj frekvenci od 1900Hz koju smo koristili u primeru, ni jedan sigurno neće imati impedansu od 8 oma! Za pravilan proračun skretnice **MORATE** koristiti stvarnu impedansu tog drajvera **BAS NA TOJ** prelomnoj frekvenci, a to će te morati da izmerite jer ona na toj frekvenci neće biti 8 oma. Kako da to uradite, naći će te u **TUTORIJALU** o određivanju Thiele/Small parametara drajvera. Za drajvere renomiranih proizvođača će te obično dobiti i grafikon impedanse u zavisnosti od frekvence pa nećete morati da merite već potražite vrednost koja vas zanima na grafiku. U koliko ipak sve ovo zanemarite i oslonite se na nominalnu impedansu, proračun će vam biti netacan pa dakle i vrednosti komponenata u skretnici, pa u tom slučaju nemojte ni očekivati da vam to sve zajedno dobro zvuči na kraju!!!

NIJE ZAVRŠENO!!! NASTAVAK SLEDI.....

Dr. Borivoje Jagodic