

Thiele-Small (TS) parametri

Gotovo svi parametri zvučnika su bili definirani i prije Thiele i Small-a. Oni su te parametre sa još nekoliko novih „skupili“ zajedno i pokazali kako se oni mogu jednostavno odrediti iz impedancije zvučnika. Upravo su po njima i nazvani Thiele-Small parametri.

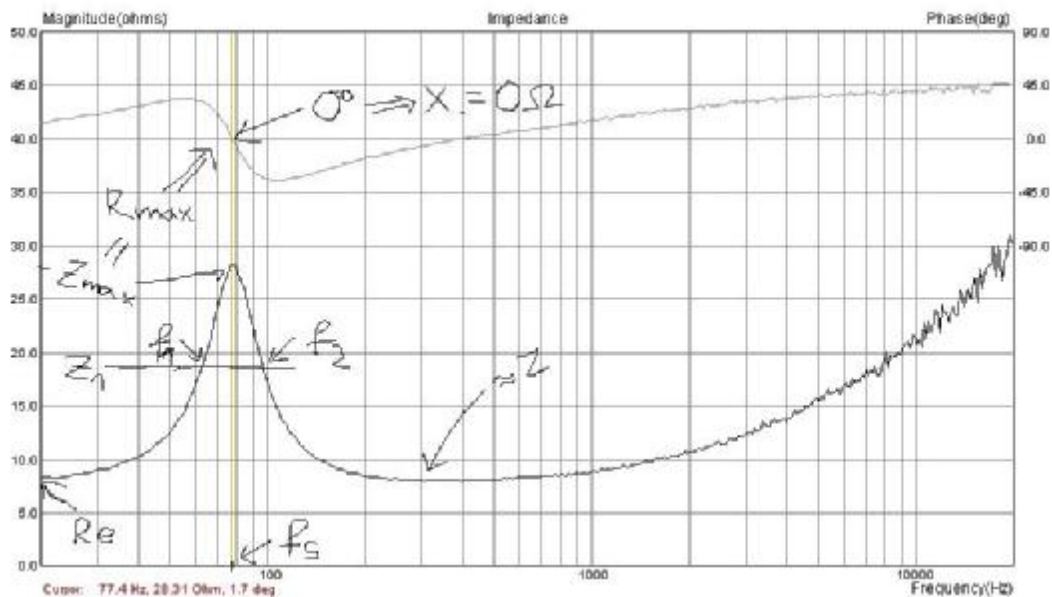
Veliki značaj TS parametara je u tome što se pomoću njih, kada se odrede, mogu vrlo točno izračunati frekvencijski odziv i osjetljivost zvučnika u zvučnickoj kutiji.

Sve osobine mehanickih elemenata zvučnika, membrane, zavojnice i elasticnosti se mogu opisati sa tri TS parametra svima dobro poznata: **f_s** , **V_{as}** , **Q_{ts}**

f_s – rezonantna frekvencija neugradjenog zvučnika

V_{as} – je volumen zraka koji ima istu akusticku elasticnost kao i ovjes zvučnika

Q_{ts} – mjera dobrote rezonancije neugradjenog zvučnika



Slika predstavlja modul impedancije zvučnika u tzv. free air-u.

Sliku promatrajte kroz sva ova objasnjenja kako bi imali uvid o napisanom.

fs – je frekvencija koja odgovara vrhu odnosno maksimalnoj vrijednosti modula impedancije i faznom kutu od nula stupnjeva u faznoj karakteristici zvučnika.

Rezonantnu frekvenciju **fs** određuje pokretna masa zvučnika **Mms** i elasticnost ovjesa **Cms**.

Pokretna masa zvučnika **Mms** se sastoji od mase cijelog titrajnog sistema koja uključuje masu membrane, masu zavojnice i njenog nosaca, zatim masu zraka koja se nalazi s obje strane membrane.

Manje koristen parametar je **Mmd**. To je pokretna masa zvučnika ali bez mase zraka (može se reći da odgovara **Mms**-u kada se zvučnik nalazi u vakuumu mada to nije prava definicija tog parametra). Osim ovih parametara postoji i **Mas**, a odnosi se na akusticnu masu kretnih dijelova zvučnika i zračnog opterećenja kao i kod **Mms**.

Da se vratimo na **fs**. Rezonantni vrh se može mijenjati u ovisnosti o samoj ugradnji zvučnika. To se odnosi na vrijednost impedancije, frekvenciju, širinu vrha.

Vrijednost otpora rezonantnog vrha iznosi **Rmax=Re+Res**.

Re je istosmjerni otpor zavojnice, a **Res** je reflektirani otpor mehanicko-akustickog sustava. Pri rezonantnoj frekvenciji **Rmax** je jednak, točnije približno jednak **Zmax**.

Biti će jasnije ako pogledamo formulu za impedanciju:

$$\mathbf{Z_{max}=R_{max}+jX=R_{max}}$$

jer je **jX** zbog faznog kuta od 0° tj. paralelne rezonancije, gdje se reaktivne komponente poništavaju, jednak nuli pa je modul

$$|\mathbf{Z_{max}}|=\sqrt{R_{max}^2}$$

Ovo je bilo čisto improvizacijski da se stekne dojam o čemu se radi. Za točnije relacije oko vrijednosti kretnog sustava treba promotriti vrijednosti impedancije zavojnice zvučnika pri statickim i dinamicnim uvjetima. Mislim da je nepotrebno da sad tražim i prepisujem formule iz literature i dodatno kompliciram stvari. Ako nekog bas zanima, ja ću mu napisati o čemu se točno radi.

Promatranje modula impedancije po područjima:

Na početku samog modula impedancije se nalazi vrijednost R_e koji odgovara istosmjernom otporu zavojnice. To znači da se R_e nalazi na 0Hz odnosno približna vrijednost R_e je ona pri 1Hz na krivulji modula impedancije

Ispod rezonantne frekvencije zvučnik se ponasa kao kapacitivno opterećenje. To područje ispod rezonantne frekvencije nazivamo područjem rada zvučnika upravljano krutoscu jer je inercija mase u pokretu tada vrlo mala odnosno dominira utjecaj elasticnosti ovjesenja.

Iznad rezonantne frekvencije zvučnikom upravlja masa, a zvučnik se ponasa kao induktivno opterećenje. Efekt inercije se povećava, a impedancija elasticnosti ovjesenja se smanjuje,

Daljnjim porastom frekvencije iznad rezonantne, tipično područje između 100-500Hz, dolazimo do minimuma modula impedancije pri kojem dominira R_e kojem treba dodati još reflektirani otpor mehanicko-akustickog sustava **Res**.

$$Res = (Bl)^2 / Rms$$

Do minimalne vrijednosti impedancije dolazi zbog serijske rezonancije (drugi prolaz kroz nulu u faznoj karakteristici) pri kojoj se poništavaju reflektirane reaktancije (pozitivna i negativna su istih iznosa). Vrijednost te minimalne impedancije obično odgovara nominalnoj impedanciji na koju se prilagođavaju pojačala. Znači ako želite izmjeriti najveću snagu pojačala onda to treba raditi tamo gdje je postignuto prilagođenje (u zvučniku se snaga ne reflektira natrag prema pojačalu), a to je kada su izlazna impedancija pojačala i ulazna impedancija zvučnika jednake. To je uglavnom na cca 400Hz.

Iznad te rezonancije prevladava induktivna reaktancija zavojnice pa impedancija porastom frekvencije raste iako sam induktivitet zavojnice pada porastom frekvencije. Uzrok porasta zapravo leži u vrtložnim strujama generiranim u polovima prolaskom izmjenične struje kroz zavojnicu. Objasnjenje je malo više komplicirano i nepotrebno za razumijevanje bitnih stvari, pa mi vjerujte na riječ da je tako. Ako nekog bas zanima neka se javi na PM pa ću objasniti.

Sada kada smo upoznati sa modulom impedancije mozemo dalje o ostalim TS parametrima.

Qes je elektricni faktor dobrote u rezonanciji zvucnika f_s . Pri tome se u obzir kao gubici uzimaju samo oni u elektricnom otporu R_e

$$Q_{es} = \frac{R_e}{(Bl)^2} \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}}$$

Ako malo bolje pogledate ovu formulu mozete zakljuciti da veci magnet ili zavojnica znaci i vece elektricno prigusenje. Isto tako veci R_e smanjuje struju kroz zavojnicu i povecava Q_{es} tj. smanjuje prigusenje. Dakle veci presjek zice smanjuje R_e i povecava prigusenje. To znaci veka i teza zavojnica, veci magnetski procjep i veci magnet sto se jako odrazava na cijenu zvucnika. Najbolje prigusenje se moze postici ako se nakon prestanka pobudne sile kratko spoje stezaljke zvucnika. Bilo bi dobro da imamo malog crnca koji ce biti u kutiji i raditi to za nas **J** ili da spojimo zvucnik na pojacalo sa jako malim unutrasnjim otporom koji bi glumio kratki spoj. Napravite mali eksperiment kako bi se uvjerali. Ako imate veliki zvucnik 30cm ili veci postavite zvucnik izvan kutije u gurnite membranu rukom sto ne bi trebao biti problem. Nakon toga kratko spojite stezaljke i pokusajte ponovno. Trebali bi osjetiti puno veci otpor prilikom pritiska membrane nego prije.

Mali Q_{es} znaci velike zahtjeve za pojacalom zbog potrebne vece negativne vrsne struje.

Q_{es} se obicno racuna iz Q_{ms} preko formule:

$$Q_{es} = Q_{ms} / (r_0 - 1)$$

Qms je mehanicki faktor dobrote. Q_{ms} ovisi o pokretnoj masi M_{ms} , elasticnosti ovjesa C_{ms} i mehanickom otporu ovjesa R_{ms} . Sto je Q_{ms} veci to je R_{ms} manji i obratno.

Q_{ms} se odreduje iz impedancije zvucnika prema relaciji

$$Q_{ms} = \frac{f_s}{f_2 - f_1} \sqrt{\frac{r_0^2 - r_1^2}{r_1^2 - 1}}$$

Odredjivanje Q_{ms} iz impedancije zvučnika:

Kao prvo vazno je reci kako je rezonantni vrh na logaritamskoj skali potpuno simetrican. Na taj nacin mozemo provjeriti tocnost o položaju f_s zvučnika. Izaberite bilo koju impedanciju Z' na rezonanciji koja je manja od Z_{max} . Za tu impedanciju postoje dvije frekvencije f_1 i f_2 na grafu.

Tada vrijedi da je

$$f_s = \sqrt{f_1 * f_2} [Hz]$$

Sada odredite $r_0 = \frac{Z_{max}}{R_e}$ te,

$r_1 = \frac{Z_1}{R_e}$ gdje je Z_1 bilo koja impedancija manja od Z_{max} . Mozete uzeti

vrijednost iz provjere f_s -a Z' . R_e u oba slucaja je istosmjerni otpor zavojnice.

Zapisite frekvencije f_1 i f_2 koje odgovaraju impedanciji Z_1 .

Sada imamo sve potrebne podatke za odredjivanje mehanickog faktora dobrote Q_{ms} prema gornjoj relaciji.

Isto tako odredjivanjem Q_{ms} sada mozemo odrediti i Q_{es} prema:

$$Q_{es} = Q_{ms} / (r_0 - 1)$$

Q_{ts} (ukupni faktor dobrote) je paralelna kombinacija Q_{es} i Q_{ms} i racuna se prema:

$$Q_{ts} = \frac{Q_{es} * Q_{ms}}{Q_{es} + Q_{ms}}$$

Iz ovoga slijedi ako gledamo brojke da je Q_{ts} uvijek najmanji, a obicno je Q_{es} nesto veci i Q_{ms} najveći.

Q_{ts} nam govori o vise stvari. Npr zapremnini kutije. Sto je Q_{ts} veci to je i potrebna veka zapremnina kutije. Q_{ts} govori o vrsti kutije u koju cemo ugradjivati zvučnik pa tako vrijednosti do 0.4 govore da zvučnik treba ugraditi u kutiju sa ventilirajucim otvorom. Vrijednosti iznad govore o mogucnosti ugradnje u zatvorenu kutiju.

Niski Q_{ms} pa tako i Q_{ts} govori o jako prigusenom zvučniku. Odziv je jako zategnut i neistitravajuci, pomalo mutan i nezivahan. Veci Q_{ms}

govori o velikom izlazu i nekako otvorenom zvuku koji ima primjese kao da zvoni. Kod vrhunskih zvučnika (odnosi se na 13 i 16cm jedinice) obično je Qms jako veliki (preko 4, često i preko 5). Primjer zvučnika vrhunske izrade sa jako malim Qms-om su nove jedinice Seas kao npr Seas WT 171. To rezultira vrlo zategnutim odzivom, frekventijska karakteristika izgleda jako dobro i ima blagi pad od srednjih prema nizim frekvencijama. Takav zvuk je obično mutan, nekako bez živosti. Dakle SQ fanovi birajte zvučnike sa većim Qms faktorom, a da pri tome frekventijska karakteristika izgleda pristojno. Primjer jednog best buy zvučnika koji ispunjava gotovo sve zahtjeve pa tako i veliki Qms je Monacor SPH-165Kep, TangBand W6-1108SA, te vrhunske i višestruko skuplje Scan Speak jedinice.

Ono što također treba biti jako kod vrhunskih zvučnika je magnet. Jakost magneta se izražava magnetskom indukcijom B no kako je vrlo teško izmjeriti magnetsko polje jer povlači skidanje membrane i postavljanje sonde, obično Hallova sonda, onda se jakost izražava Bl faktorom kojeg je lakše mjeriti

Bl faktor predstavlja umnožak magnetske indukcije B i dužine zavojnice l u magnetskom polju. Zvučnik treba imati točno proračunat Bl faktor. Ako je taj faktor veći nego bi trebao biti onda se to manifestira kao izdignuta frekventijska karakteristika na visim frekvencijama, a ako je manji onda je pak ona nagnuta tako da je na najnižim frekvencijama najviše osjetljivost i pada s porastom frekvencije. Ovaj slučaj kada je Bl manji nego bi trebao biti se može ciljano tražiti kod zvučnika tako da kasnije ne moramo raditi baffle step kompenzaciju. To je bio slučaj kod mojih GTL-a. Bl faktor se može izračunati prema formuli:

$$Bl = 2,51 \sqrt{\frac{f_s R_E M_{MS}}{Q_{ES}}} [N / A]$$

ili izmjeriti tako da se na zvučnik pusti istosmjerna struja poznatog iznosa tako da pomakne membranu prema naprijed. Treba izmjeriti taj pomak i onda pomoću određene mase vratiti membranu u početni položaj.

Tada Bl jednostavno mozemo izracunati prema relaciji:

$$Bl=mg/I, \text{ gdje je}$$

g gravitacijska konstanta 9.80665m/s^2 ,

m masa utega i

I narinuta istosmjerna struja (mjeri se uglavnom sa cca. 100mA)

Jedan od bitnijih TS parametara koje bi trebalo izracunati je efikasnost i oznacava se sa simbolom h_0 . Ovaj parametar nam govori koliko akusticke snage i zvučnog tlaka zvučnik moze proizvesti iz pojedinog vata ulazne snage. Vrlo je koristan kod visestaznih zvučnika kada je potrebno uskladiti osjetljivosti niskotonaca, srednjetonca i visokotonca. Racuna se prema formuli:

$$h_0 = \frac{4p^2 f_s^3 V_{AS}}{c^3 Q_{ES}} * 100\%$$

Dakle h_0 je efikasnost zvučnika i govori koliko zvučnik proizvede akusticke snage iz ulazne snage. Ta akusticka snaga nema veze sa onom snagom koja se obicno ispisuje na ambalazi kao puno veca vrijednost nego W_{rms} .

Efikasnost je vrlo mala kod SQ zvučnika i iznosi dosta manje od 1%. Ako pogledate formulu primjetit cete najupecatljiviji faktor koji doprinosi ili odmaze efikasnosti. To je upravo f_s zvučnika. Povecanjem f_s na duplu vrijednost se povecava i efikasnost za osam puta. Visokotonci su dakle najefikasniji zvučnici. Wooferi su pak najmanje efikasni. Nesto vece efikasnosti se mogu naci kod razglasnih sustava gdje je osjetljivost oko 100dB.

Osjetljivost zvučnika S_p se racuna prema formuli:

$$S_p = 112,2 + 10\log(h_0) \text{dB SPL} / 1W / 1m$$

Kod danasnjih, modernijih, zvučnika je usvojeno da su oni pokretani naponskim izvorima niskog unutarnjeg otpora pa je veliku primjenu steklo specificiranje naponske osjetljivosti dB/SPL/2.83V/1m. Ovdje 2.83V predstavlja napon koji ce proizvesti jedan vat disipativne snage na otporu od 8ohma

Osjetljivost se racuna prema:

$$S_0 = 20 \log \left(\frac{Bl * S_D}{R_E M_{MS}} \right) + 88,5 \text{ dB} \text{ [SPL / 2,83V / 1m]}$$

Rezultat se blago razlikuje od dobivene vrijednosti iz formule za Sp jer je R_E nesto manji od 8Ω .

Rezonanciju zvučnika određuje na početku spomenuta pokretna masa M_{ms} . Cine ju masa membrane, masa zavojnice skupa sa nosacem, elasticnost ovjesa te masa zraka oko membrane. Mozemo ju odrediti tako da na zvučnik stavimo uteg mase m i tada odredimo novu rezonantnu frekvenciju fs_2 . Tada ju izracunamo prema formuli

$$M_{ms} = \frac{m}{\left(\frac{fs}{fs_2} \right)^2 - 1} \text{ [kg]}$$

Elasticnost ovjesa se izrazava parametrom C_{ms} . Ovaj parametar je vrlo vazan jer omogućava određivanje ekvivalentne zapremnine zraka koja ima istu elasticnost kao i elasticnost ovjesa C_{ms} . C_{ms} mozemo izracunati iz poznate pokretne mase zvučnika M_{ms} preko relacije:

$$C_{ms} = \frac{1}{4p^2 fs^2 M_{ms}} \text{ [m / N]}$$

Volumen zraka, koji ima istu elasticnost kao elasticnost ovjesa C_{ms} , se oznacava sa V_{as} i racuna prema:

$$V_{as} = rc^2 C_{ms} S_D^2 \text{ [l]}$$

gdje je S_D površina efektivne projicirane membrane, r gustoca zraka ($1,18 \text{ kg/m}^3$ pri 20°C na razini mora) i c brzina zvuka ($344,5 \text{ m/s}$ pri 20°C na razini mora).

Brzina zvuka se racuna ugrubo (jer inace ovisi o mnogim parametrima) prema formuli: $c = 331 + 0,6t \text{ [m/s]}$ gdje je t temperatura u $^\circ\text{C}$

Koeficijent rc^2 se promijeni oko 0.4% kada temperatura padne sa 20°C na 0°C tako da mozemo racunati uvijek da je iznosa 1.4×10^{-5}

V_{AS} je parametar koji nam moze pomoci kod odredjivanja volumena kutije. Npr za zatvorenu kutiju mozemo proracunati V_B (neto volumen kutije) ako znamo Q_{TS} zvučnika, zeljeni Q_{TSZ} kutije i V_{AS} zvučnika.

Izracunamo koeficijent

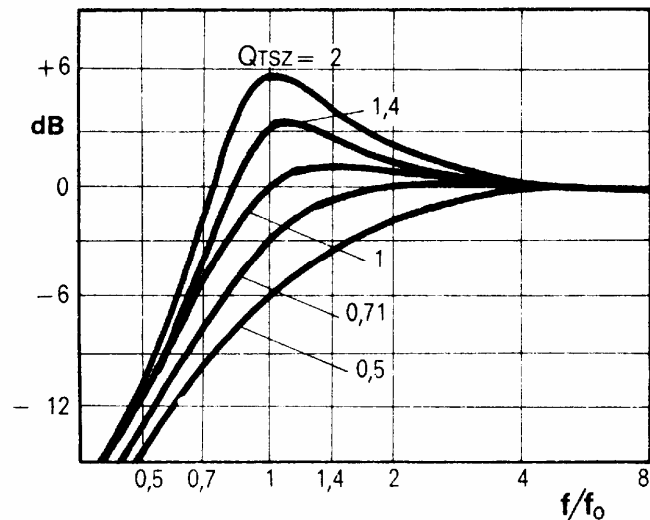
$$a_B = \frac{Q_{TSZ}^2}{Q_{TS}^2} - 1,$$

a iz toga volumen kutije:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{a_B} [l].$$

Iz toga proizlazi gornja tvrdnja da za sto manji Q_{TS} je potrebna i to manja kutija i obratno. Ako imamo driver sa vecim Q_{TS} onda je potrebna i veca kutija za jednaki, zadani Q faktor zvučnika.

Zeljeni Q faktor se odabire prema krivuljama:



Ovisno o izabranoj krivulji mjenja se frekvencijska karakteristika na niskim frekvencijama te tranzijentni odziv zvučnika.

L_e ili L_{vc} je induktivitet zavojnice. Jedan od parametara kojeg je teže izmjeriti jer nije konstantan. Alternativnom metodom L_e se može odrediti na frekvenciji f_0 koja odgovara drugom prolazu kroz nulu u faznoj karakteristici. Na prikazanoj slici to je 400Hz. To je frekvencija udaljena od f_s obično 10puta ili i više pa se uvjeti pri toj frekvenciji mogu smatrati kao serijska rezonancija koju čine kapacitet C_{MES} i induktivitet L_{vc} . Na rezonanciji su njihove reaktancije jednake. Iz te formule ako se na desnoj strani ostavi samo L_{vc} dobijemo formulu koja glasi:

$$L_{vc} = \frac{1}{4p^2 f_0^2 C_{MES}}$$

gdje je C_{MES} :
$$C_{MES} = \frac{M_{MS}}{(Bl)^2}$$

Xmax je određen visinom zavojnice i magnetskim procjepom. Računa se prema formuli:

$$X_{max} = (\text{Visina zavojnice} - \text{Visina procjepa}) / 2 \text{ [mm]}$$

X_{max} je područje u kojem se uvijek isti broj zavoja nalazi u jakom i homogenom magnetskom polju. Iznad tog pomaka prestaje linearnost elektromehaničkog sustava i pojačalo gubi kontrolu nad prigušenjem mehaničkog sustava zvučnika. Tada zvučnikom upravlja akusticko-mehanička rezonancija, a dobri zvučnici moraju biti sposobni i u tom području reproducirati sa jako malim izoblicenjima.

Što je X_{max} veći to je bolje. Ponekad se navode i $X_{max pp}$ koji je određen donjim centrom i gornjim ovjesom.

To su uglavnom svi važniji parametri. Nisam patio za ljepotom ukrašavanja teksta već sam se trudio što bolje objasniti pojedine pojmove pa mi nemojte zamjeriti ako vam je neuredno. Postoje i parametri vezani za fizičke veličine na zvučniku, parametri vezani uz projektiranje zvučnickih kutija, parametri vezani za mjerenje zvučnika itd. Mislim da njih nije potrebno svrstavati u isti kos sa ovim parametrima, a i nisu predmet rasprave u ovom slučaju. Mnogi parametri se na raznim mjestima drugacije označavaju pa ako razumijevanje nije u potpunosti molim da malo proučite ili mene pitate da budete sigurni o čemu se radi. Ja sam se trudio koristiti one koji su u nas najčešće vidjeni. Hvala svima koji su pročitali do kraja i nadam se da ste ponešto razumjeli i naučili.

G@RO, 01.03.2007