

PROJEKTIRANJE AKUSTIČKIH FILTERA METODOM RASPODJELJENIH PARAMETARA

Siniša Fajt,

suradnik Akademije tehničkih znanosti Hrvatske,
Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu,
sinisa.fajt@fer.hr

Hrvoje Domitrović,

redoviti član Akademije tehničkih znanosti Hrvatske,
Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu,
hrvoje.domitrovic@fer.hr

Miljenko Krhen,

Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu,
miljenko.krhen@fer.hr

Sažetak: Prilikom projektiranja akustičkih filtera, velika je poteškoća proračun odgovarajuće frekventijske karakteristike. Metoda raspodijeljenih parametara uz elektro-akustičke analogije omogućuje dobivanje realnih frekventijskih karakteristika. Primjenom računala moguće je proračunati dimenzije i oblik akustičkog filtra odgovarajuće frekventijske karakteristike i odgovarajuće razine gušenja.

1. Uvod

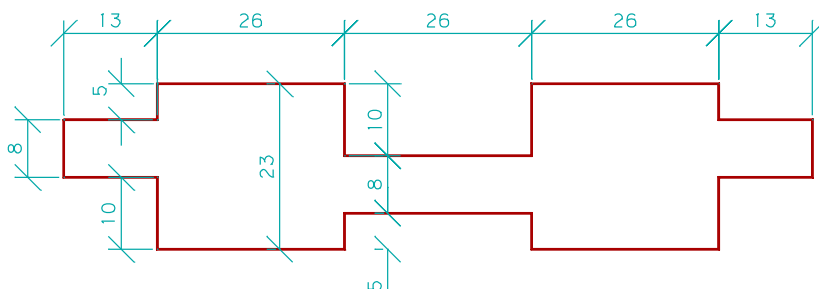
Prilikom proračuna akustičkih prigušivača koriste se elektro-akustičke analogije. Pri tome se može koristiti metoda koncentriranih i metoda raspodijeljenih parametara. Usporedba karakteristika izmjerenih na modelu akustičkog prigušivača i proračunatih pomoću elektroakustičkih analogija metodom koncentriranih parametara pokazala je da se koncentriranim parametrima ne može opisati takva akustička konstrukcija. Zbog toga se izvršila simulacija izrađenog modela na računalu metodom raspodijeljenih parametara.

Budući da su se na taj način dobiveni proračunski rezultati poklapali s eksperimentalno dobivenim rezultatima, riješen je konkretan akustički prigušivač ejektora pare, i to prema traženoj frekventijskoj karakteristici prigušenja.

2. Opis inovacije

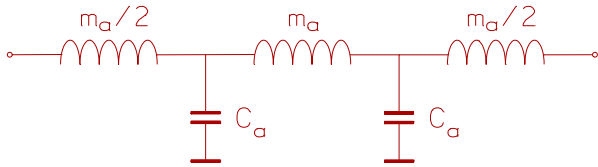
Za provjeru proračunatih karakteristika izražen je model akustičkog prigušivača čiji je izgled sa dimenzijama dan na sl. 1.

Ideja pri konstrukciji akustičkog prigušivača bila je da se diskontinuitetima akustičke impedancije postigne željeno gušenje signala. Željena frekventijska karakteristika dobiva se odgovarajućim dimenzijama, koje određuju akustički kapacitet i masu, kojima je određena frekventijska karakteristika.



Sl. 1 Dimenzije modela akustičkog prigušivača

Nadomjesna shema modela s koncentriranim parametrima dana je na sl. 2.



Sl. 2 Nadomjesna shema modela s koncentriranim parametrima

Rezonantna frekvencija:

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{m_a \cdot C_a}} \quad (1)$$

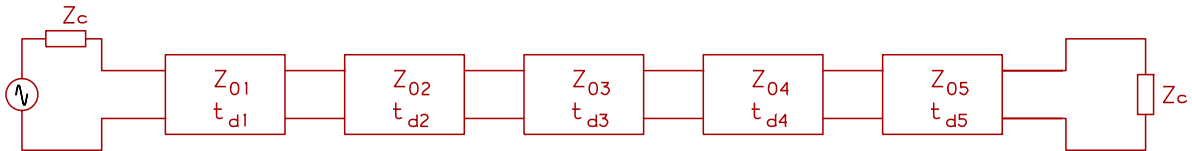
Akustička masa i kapacitet dobiveni su prema sljedećim izrazima:

$$m_a = \rho \cdot \frac{l_m}{S_m} \quad C_a = \frac{V_c}{\rho \cdot c^2} \quad (2)$$

gdje je $\rho = 1.21574 \text{ kg/m}^3$ (specifična masa).

Simulacijom na osobnom računalu korištenjem programa za analizu električnih krugova dobije se frekventijska karakteristika prikazana na sl. 4.

Iskustveno je odmah jasno da realna karakteristika ne odgovara simuliranoj. Zbog toga je analiza akustičkog prigušivača izvršena uporabom elektroakustičkih analogija s raspodijeljenim parametrima prema nadomjesnoj shemi na sl. 3.

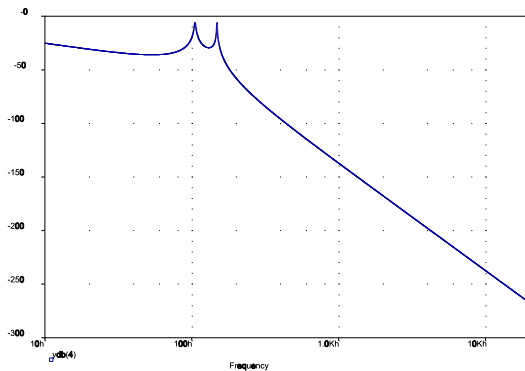


Sl. 3 Nadomjesna shema akustičkog prigušivača s raspodijeljenim parametrima

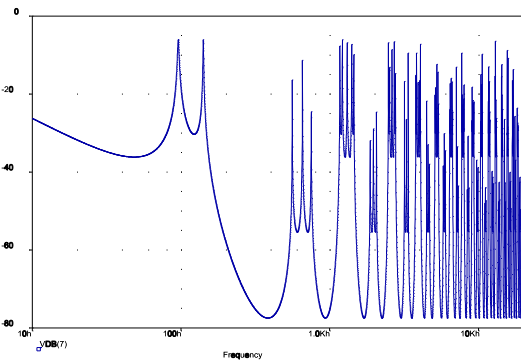
Specifična impedancija i kašnjenje dobiva se prema sljedećim izrazima:

$$Z_{01} = Z_{05} = \sqrt{\frac{m_{l/2}}{C_{l/2}}}, \quad Z_{02} = Z_{03} = Z_{04} = \sqrt{\frac{m_l}{C_l}}, \quad t_{d1} = t_{d5} = \frac{l/2}{c}, \quad t_{d2} = t_{d3} = t_{d4} = \frac{l}{c} \quad (3)$$

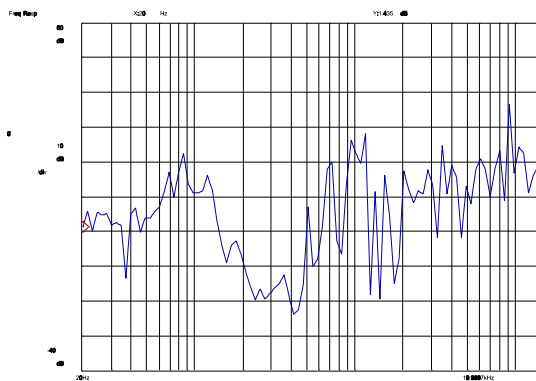
Nakon simulacije akustičkog prigušivača izmjerena je frekventijska karakteristika izrađenog modela pomoću frekventijskog analizatora HP35665A. Rezultat mjerenja dan je na sl. 6.



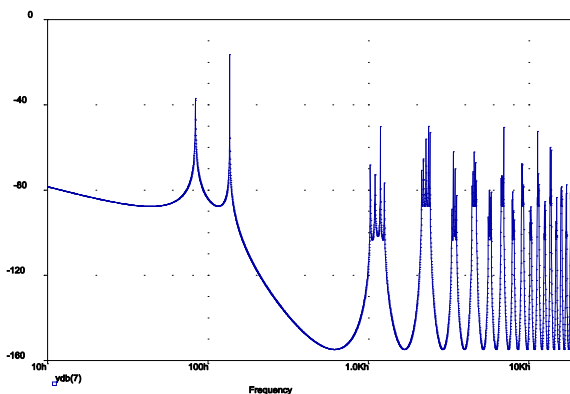
Sl. 4 Frekventijska karakteristika prigušivača dobivena s koncentriranim parametrima



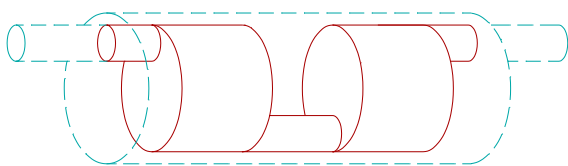
Sl. 5 Frekventijska karakteristika prigušivača dobivena s raspodijeljenim parametrima



Sl. 6 Izmjerena frekvencijska karakteristika akustičkog prigušivača



Sl. 7 Frekvencijska karakteristika prigušivača ejektora pare



Sl. 8 Izgled prigušivača ejektora pare

Budući da se pokazalo slaganje eksperimentalnih i proračunatih rezultata dobivenih na modelu, proveden je proračun parametara prigušivača ejektora pare prema izmjerenim razinama buke.

Tab. 1: Izmjerene razine buke: a) razina buke izmjerena linearno, dB; b) razina buke dobivena korekcijom obzirom na A krivulju, dBA

f, Hz	31.5	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
L, dB	82	89	76	71	72	79	80	78	75
L,dBA		63	60	62	69	79	81	79	74

Iz dobivenih vrijednosti vidljivo je da se većina akustičke energije nalazi u gornjem dijelu spektra. Zbog toga je odlučeno da se prigušivač izradi kao akustički nisko propusni filter, gornje granične frekvencije 300 Hz. Uz to, zbog poboljšanja karakteristika prigušivača spojevi moraju biti nepropusni da ne bi došlo do neželjenog prolaza buke i prodora medija u vanjsku ispunu. Radi dodatnog prigušenja unutarnje stjenke dodatno su premazane termostabilnim, nehigroskopičnim, akustičko apsorpcijskim premazom. Unutarnji dijelovi prigušivača smješteni su u vanjski zaštitni omotač. Međuprostor je ispunjen mineralnom vunom velike gustoće, radi prigušenja eventualnih vibracija i prolaska buke kroz stjenke.

3. Zaključak

Za projektiranje akustičkih filtera koriste se elektro-akustičke analogije s koncentriranim ili raspodijeljenim parametrima. Istraživanja simulacijom na računaru na izvedenim primjerima akustičkog prigušivača pokazala su da elektro-akustičke analogije s raspodijeljenim parametrima daju rezultate koji odgovaraju realnim uvjetima. Svaki akustički prigušivač (filter) moguće je na odgovarajući način opisati elektro-akustičkim analogijama s raspodijeljenim parametrima i simulacijom na računaru dobiti njegovu frekvencijsku karakteristiku. Na taj način moguće je na temelju izmjerene frekvencijske karakteristike buke provesti proračun akustičkog filtra i prema tom proračunu izraditi odgovarajuću konstrukciju.

Literatura:

- [1] H.F. Olson: Elements of Acoustical Engineering, D.Van Nostrand Company, Inc., New York 1947.
- [2] L.L. Beranek: Acoustics, McGraw Hill Book Company, New York 1954.