

## БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЗВУКУ З БЕЗДРОТОВИМ КЕРУВАННЯМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

У даній роботі запропоновано концепцію системи високоякісного звуковідтворення з можливістю масштабування та бездротовим керуванням.

**Ключові слова:** трансмісійна лінія, хвилевід, Hornresp, звук, Bluetooth, фізіологія бінаурального слуху.

### Abstract

The concept of high-quality sound reproduction system with possibility of scaling and wireless control is offered.

**Keywords:** transmission line, waveguide, Hornresp, sound, Bluetooth, physiology of binaural hearing.

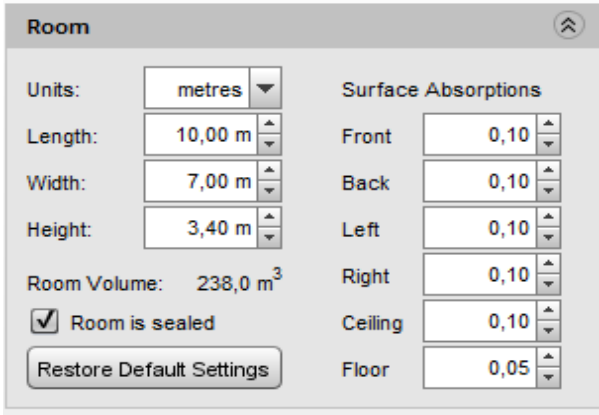
### Вступ

В наш час музика стала невід'ємною складовою нашого життя, вона лунає звідусіль починаючи від малопотужних вакуумних навушників і до потужних лінійних масивів на концертах. В більшості з нас в побуті мають місце малогабаритні системи з принципом розподілення 2.1 котре пом'якшує вимоги до гучномовців та дозволяє підвищити якість відтворення. Системи подібного типу отримали життя через бінауральні властивості нашого слухового апарату котрі вказують на те, що ми перестаємо відчувати стереоефект на частотах до 150 Гц [1-4].

Метою роботи є розробка концепту високоєфективної системи тракту звуковідтворення складових музичного сигналу в повному діапазоні звукових частот зі збереженням високої якості відтворення.

### Результати дослідження

В даному випадку розглядаємо систему, яка може якісно озвучити приміщення площею 70 м<sup>2</sup> та об'ємом близько 240 м<sup>3</sup>. Для моделювання використаємо програму REW [5], в котру введемо початкові дані (рис. 1).



Room	
Units:	metres
Length:	10,00 m
Width:	7,00 m
Height:	3,40 m
Room Volume:	238,0 m <sup>3</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> Room is sealed	
Restore Default Settings	
Surface Absorptions	
Front	0,10
Back	0,10
Left	0,10
Right	0,10
Ceiling	0,10
Floor	0,05

Рис. 1. Вікно введення параметрів приміщення

Sources	LF -3dB (Hz)	Enclosure	Invert	From Main	Time Align	Delay (ms)	Gain (dB)
<input checked="" type="checkbox"/> Sub1	20	Ported	<input type="checkbox"/>	5,94 m, 17,3 ms	0,9 ms	30	3
<input checked="" type="checkbox"/> Sub2	20	Ported	<input type="checkbox"/>	6,00 m, 17,5 ms	0,0 ms	30	3
<input type="checkbox"/> Sub3							
<input type="checkbox"/> Sub4							
<input checked="" type="checkbox"/> Left	120	Sealed		5,77 m, 16,8 ms	1,3 ms	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Right	120	Sealed		5,83 m, 17,0 ms	1,1 ms	0	0

Рис. 2. Вікно введення параметрів акустичних систем комплексу

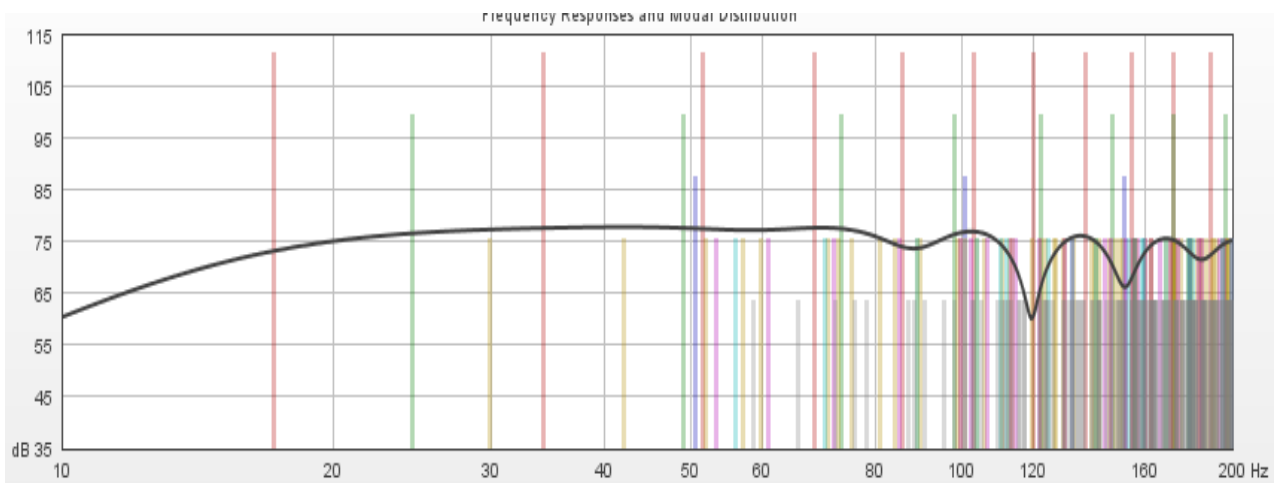


Рис. 3. Результуюча ідеалізована АЧХ в точці прослуховування ( по центру кімнати)

З рис. 3 випливає, що дане розташування елементів звуковідтворення є оптимальним для отримання лінійної амплітудно-частотної характеристики. Але для забезпечення ідеалізованої АЧХ на низьких частотах необхідно й щоб сама система мала частотний відгук близький до ідеального, тому в якості експериментального зразку було обрано вид акустичного оформлення (АО) типу трансмісійна лінія [6], який є мало розповсюдженим, суть його роботи полягає в тому, що на відміну від фазоінверторних чи систем типу закритий ящик оформлень де отримуємо дві системи з певними жорсткостями та поєднаними масами на виході маємо хвилевід на одній стороні якого збуджувач, а на іншій вихід у вигляді порту, тобто в даному випадку збуджувач замість того щоб розріджувати та зріджувати повітря - “розкачує хвилю”. Спрощена математична модель має наступний вигляд [7]:

$$S_0 = \frac{\rho c S_d^2 D_Z D_R R_e}{B^2 l^2} \quad (1)$$

Після ознайомлення з теорією та розумінням процесів які відбуваються в хвилеводі, використаємо програму HornResp [8], ввівши початкові дані збуджувача, тобто параметри Тіля-Смола [9-12] та геометричні розміри хвилеводу, отримаємо наступні показники:

Ang	0,5 x Pi	Eg	2,83	Rg	0,00	Fta	0,43
S1	1200,00	S2	1412,00	Con	220,00	F12	0,00
S2	0,00	S3	0,00	L23	0,00	F23	0,00
S3	0,00	S4	0,00	L34	0,00	F34	0,00
S4	0,00	S5	0,00	L45	0,00	F45	0,00

---

Sd	880,00	Cms	2,00E-04	Mmd	56,80	Re	6,70
Bl	23,00	Rms	0,86	Le	1,00	Nd	1
Vrc	0,00	Fr	0,00	Vtc	0,00		
Lrc	0,00	Tal	0,00	Atc	0,00		

Рис. 4. Вікно введення початкових значень необхідних для розрахунку

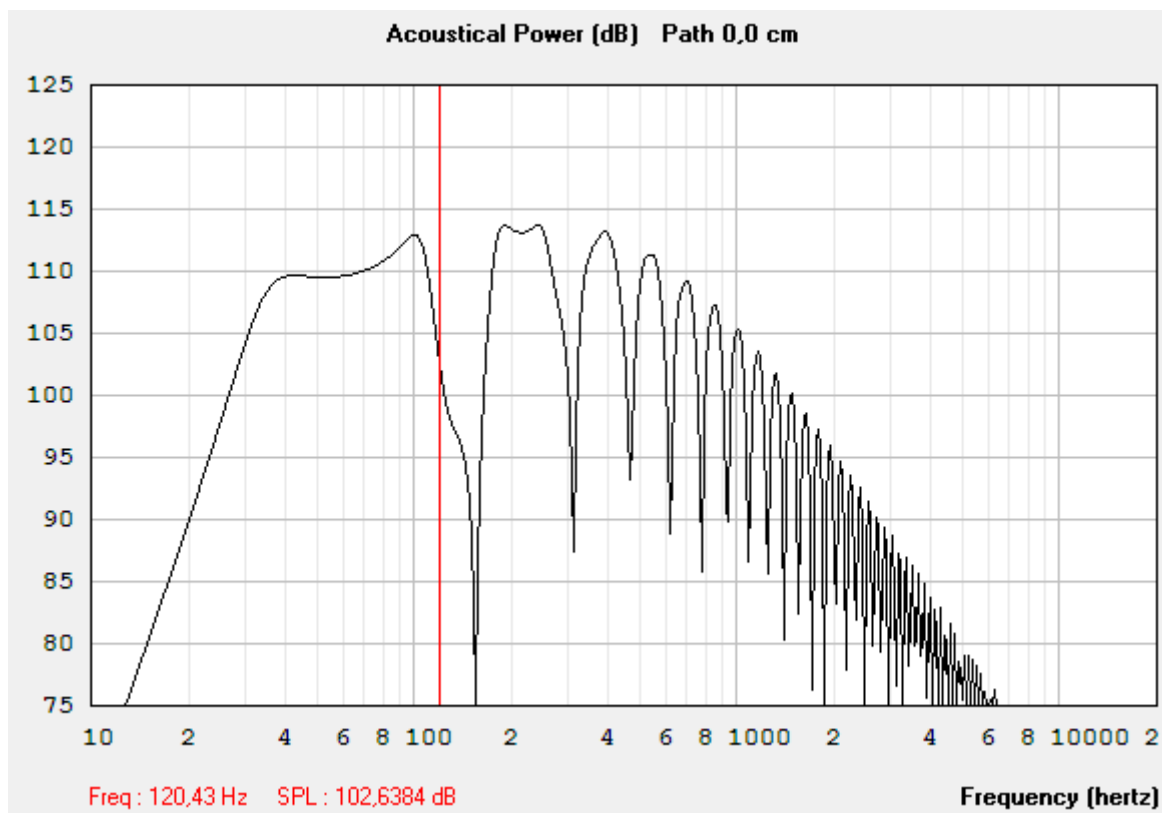


Рис. 5. АЧХ рівня тиску хвилеводу при подачі потужності в 1 Вт

На рис. 5 представлена АЧХ хвилеводу та граничні частоти відтворення з рівнем 105 Дб / 1 Вт (2.83 В/8 Ом).

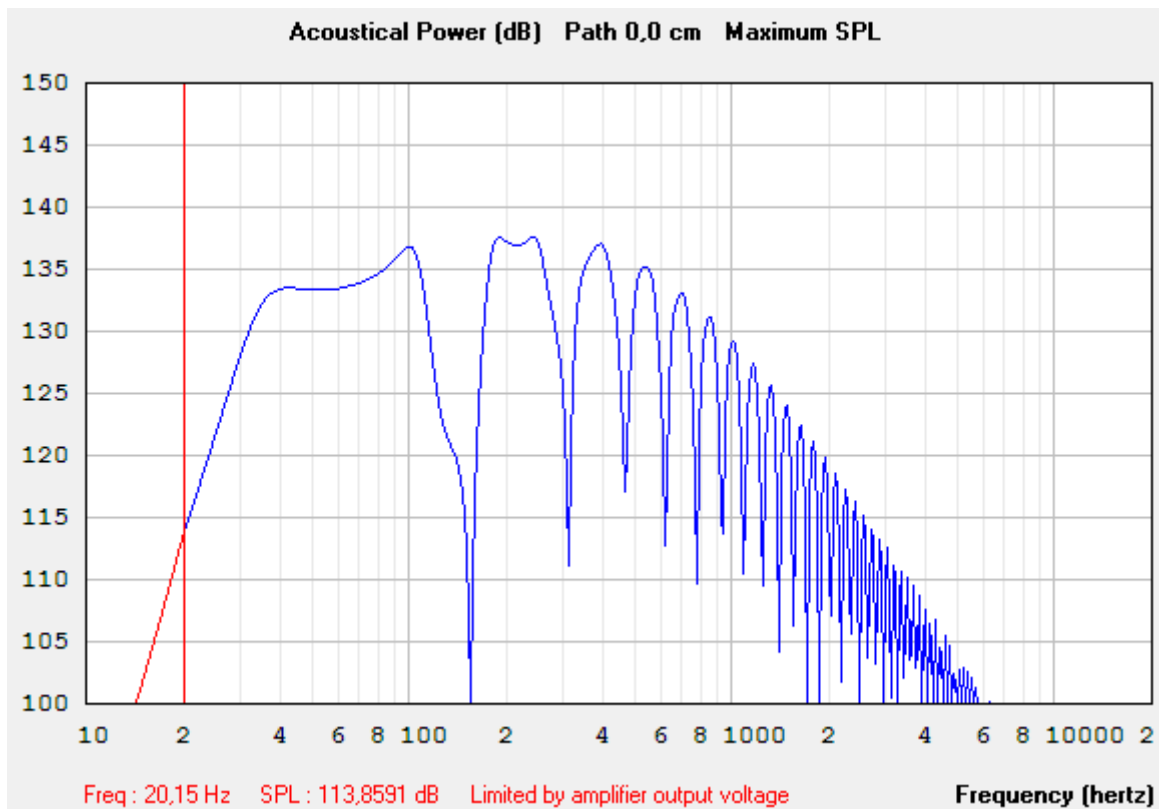


Рис. 6. АЧХ рівня тиску хвильоводу при подачі потужності 300 Вт

На рис. 6 представлено розраховану АЧХ хвильоводу на граничних частотах відтворення з рівнем акустичного тиску 115 Дб / 300 Вт (50 В/8 Ом) при роботі на номінальній потужності.

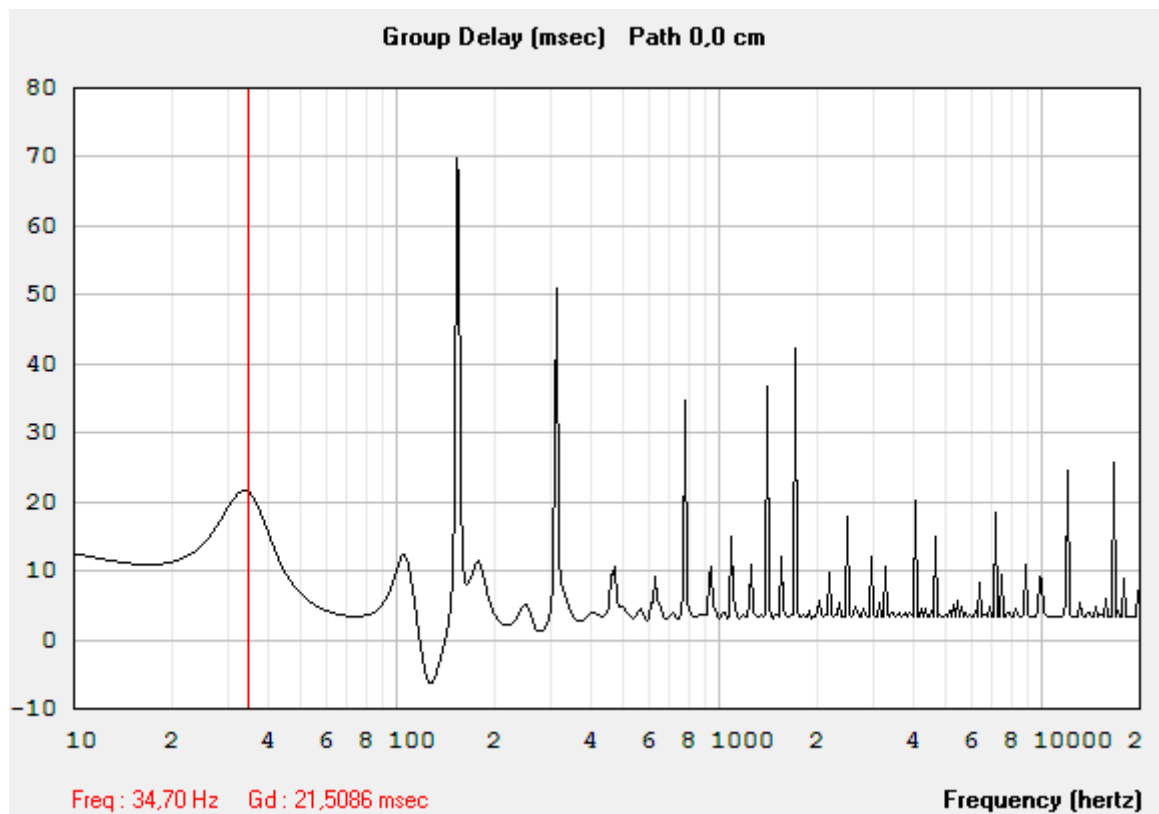


Рис. 7. Груповий час затримки для хвильоводу

## Висновки

Запропонований підхід дозволяє отримати звуковідтворювальний комплекс з високою ефективністю роботи та якістю звучання при максимальній простоті з урахуванням особливостей приміщення та потреб слухачів за відносно малих розмірів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. K. Maezawa, S. Fujino, T. Yamaoka, M. Mori, "Delta-sigma modulation microphone sensors using microwave cavity resonator," *Electronics Letters*, vol. 52, iss. 20, 2016, pp. 1651 - 1652, DOI: 10.1049/el.2016.2538.
2. Sarabjeet Singh, *Acoustic Performance Optimisation of Helmholtz Resonators: Cost Functions to Optimise Adaptive Helmholtz Resonators*, VDM Verlag Dr. Müller, 200 p., 2010, ISBN: 978-3639215144.
3. Marshall Long, *Architectural Acoustics*, 2nd ed., Academic Press, 984 p., 2014. ISBN: 978-0123982582.
4. Гаврілов Д.В., Кофанов В. Л., Осадчук О.В. Проекування цифрових пристроїв на основі САПР Quartus II: Практикум. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 164 с.
5. <https://www.roomeqwizard.com>
6. <https://baseacoustica.ru/akustika/4-materialy-korpusov/4-akusticheskoe-oformlenie.html>
7. <http://www.quarter-wave.com/>
8. <http://www.hornresp.net/>
9. Thiele, A.N., "Loudspeakers in Vented Boxes, Parts I and II", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 19, pp. 382–392 (May 1971); pp. 471–483 (June 1971).
10. Small, R.H., "Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, pp. 383–395 (June 1972).
11. Small, R.H., "Closed-Box Loudspeaker Systems", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, pp. 798–808 (Dec. 1972); vol. 21, pp. 11–18 (Jan./Feb. 1973).
12. Small, R.H., "Vented-Box Loudspeaker Systems", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 21, pp. 363–372 (June 1973); pp. 438–444 (July/Aug. 1973); pp. 549–554 (Sept. 1973); pp. 635–639 (Oct. 1973).

**Гаврілов Дмитро Володимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [havrilov@vntu.edu.ua](mailto:havrilov@vntu.edu.ua)

**Лістратенко Микола Олександрович** — студент групи РТ-17мс, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, email: [koly2011@meta.ua](mailto:koly2011@meta.ua)

**Havrilov Dmytro** — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Radio-Frequency Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [havrilov@vntu.edu.ua](mailto:havrilov@vntu.edu.ua)

**Listratenko Mykola** — student of the faculty of infocommunications, radioelectronics and nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: [koly2011@meta.ua](mailto:koly2011@meta.ua)