

ТЕНДЕНЦІЇ КОНСТРУЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОКАНАЛЬНИХ НАВУШНИКІВ

Сенніков І.С.

e-mail: illia.sennikov@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

This work is devoted to review new tendencies in the construction of in-ear headphones and in-ear monitors in particular. The in-ear headphones and in-ear monitors developers and constructors combines and applies various electromechanical and electronic solutions to design a sound reproducing device that handles both sound quality and compactness. One major tendency that becomes more prominent in the present days is the transition of some in-ear monitors construction solutions, such as the use of untraditional drivers and hybridization, to the in-ear headphones constructions. A multiphysics simulations takes place in the process of development of such devices in recent years.

Зі стрімким прогресом у розвитку мультимедійних пристроїв навушники стають все більш важливими засобами звуковідтворення, так як надають якість звуку в комбінації з портативністю та економічною доступністю. Внутрішньоканальна конструкція навушників дозволяє досягти повного спектру звуковідтворення та компактності, що прагне до максимально можливої, а також надає певний рівень пасивної звукоізоляції.

Головною характеристикою звуковідтворюючої апаратури, яка визначає якість звучання, є амплітудно-частотна характеристика (далі АЧХ). За результатами досліджень було встановлено, що для більшості людей найприємнішою є АЧХ типу цільової кривої Хармана (рис. 1) [4]. Стандартним вибором електроакустичного звуковідтворюючого приладу є динамічний перетворювач (далі динамік) який використовує силу Лоренца, що діє на струмопровідну котушку, для переміщення в магнітному полі котушки і прикріпленої до неї діафрагми, що створює акустичні хвилі [2]. Недоліком такого приладу є те, що при розмірах, що необхідні для внутрішньоканальних навушників, складно досягти повного спектру звуковідтворення без значних нерівностей АЧХ. Якісна ширококутність є викликом навіть для великих динаміків акустичних систем. Тому в сьогоденні все більшого розповсюдження набуває гібридна конструкція внутрішньоканальних навушників, в якій застосовуються звуковідтворюючі прилади різних типів з різними перевагами та недоліками, що дозволяє поєднувати переваги та зменшувати недоліки [1]. Найрозповсюдженішим нестандартним звуковідтворюючим приладом серед внутрішньоканальних навушників є перетворювач із збалансованим якорем (далі арматурний драйвер, рис. 2а), де рух якоря викликається напруженою Максвелла, що існує між намагніченими тілами [2]. Арматурні драйвери мають розмір значно

менший за динаміки та мають перевагу у відтворенні верхніх частот, коли динаміки мають перевагу у відтворенні нижніх частот. Поєднання динаміку та арматурного драйвера в одній камері гібридного навушника (рис. 2б) дозволяє досягти повного спектру звуковідтворення, наближеного до цільової кривої Хармана (рис. 3) [1].

Останні часи при розробці внутрішньоканальних навушників знаходить своє застосування мультифізичне моделювання розповсюдження акустичних хвиль у відповідних акустичних моделях камер навушника (рис. 4б) та звуковідтворюючих приладів (рис. 4а) [2, 3].

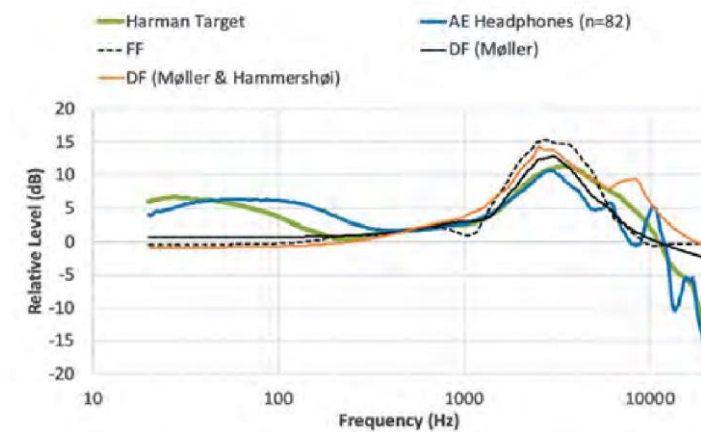


Рисунок 1 – Цільові криві для навушників, нормалізовані на частоті 500 Гц: цільова крива Хармана (зелена), дві цільові криві дифузного поля (помаранчева і чорна) і вільного поля (пунктирна), а також середня частотна характеристика (синя) 82 різних моделей навушників-вкладишів

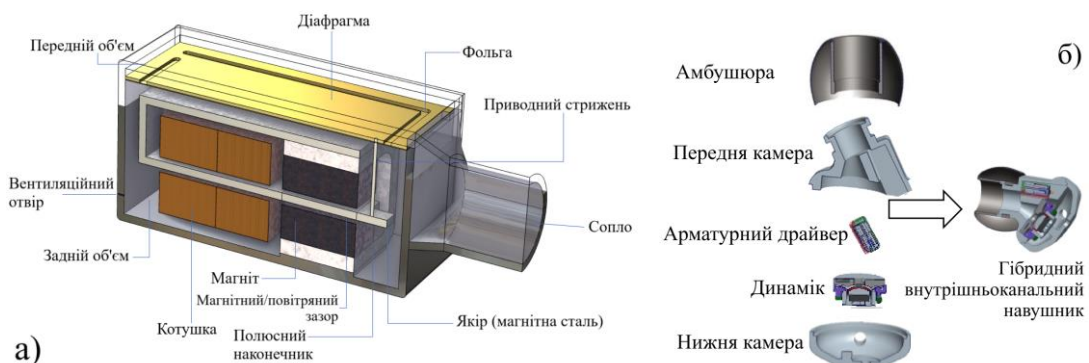


Рисунок 2 – Арматурний драйвер (а) та конструкція гібридного внутрішньоканального навушника (б)

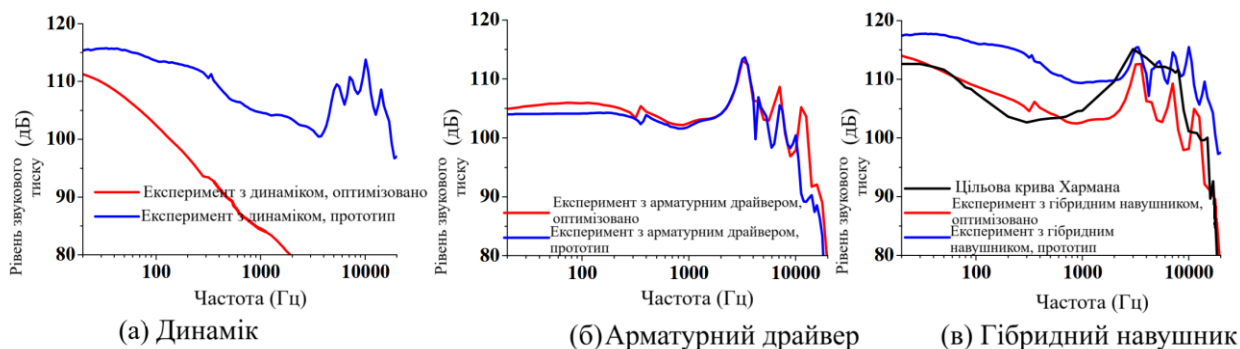


Рисунок 3 – АЧХ камери внутрішньоканального навушника з динаміком (а), арматурним драйвером (б) та камери гібридного внутрішньоканального навушника (в)

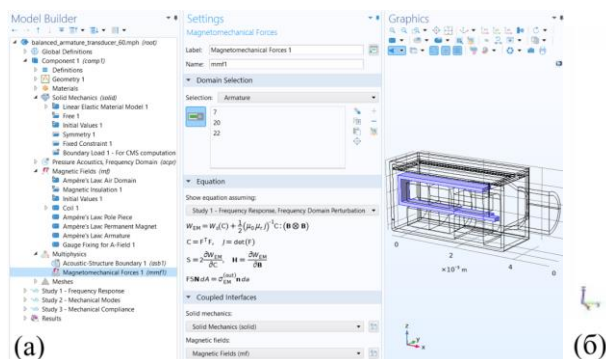


Рисунок 4 – Мультифізичне моделювання арматурного драйвера у Comsol Multiphysics (а) та камери внутрішньоканального навушника (б)

Список використаних джерел:

1. Analysis and Development of Hybrid Earphone Combining Balanced-Armature and Dynamic Receivers / Y.-W. Jiang et al. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, no. 23. P. 5047. URL: <https://doi.org/10.3390/app9235047> (date of access: 05.03.2025).
2. Huang J. Modeling Speaker Drivers: Which Coupling Feature to Use. *COMSOL*. URL: <https://www.comsol.com/blogs/modeling-speaker-drivers-which-coupling-feature-to-use> (date of access: 05.03.2025).
3. Lewis L. J., Avis M. R. Principles of headphone design: A tutorial review. *Audio at Home : AES 21st UK Conference*, 9 January 2013. URL: <https://ru.scribd.com/document/539186910/Principles-of-Headphone-design-AES-paper-v0-5a>.
4. Olive S. E. The Perception and Measurement of Headphone Sound Quality: What Do Listeners Prefer?. *Acoustics Today*. 2021. Vol. 18, no. 1. P. 58. URL: <https://doi.org/10.1121/at.2022.18.1.58> (date of access: 05.03.2025).