

Вимірювальна техніка та метрологія. — 2000. — № 57. — С. 90—97. 25. Івахів О.В. Інтелектуалізована вимірювальна система // *Вісн. Державного університету "Львівська політехніка"*. — 1999. — № 366. — С. 48—55. 26. Wach D., Ding X. *Measurement and Intelligent Analysis Techniques for Feature Classification in Surveillance Tasks of Nuclear Power Plants, Proceedings of the International Conference on Actual Problems of Measuring Technique, Kiev, Ukraine, 7—10 September, 1998.* — P. 246. 27. Ivakhiv O. *Intelligent Measurement System // Proc. of the International Conference on Actual Problems of Measurement Technique, Kyiv, Ukraine, 7—10 September, 1998,* P. 54—55. 28. O.Ivakhiv, A.Kowalczyk, R. Velgan. *Intelligent Programmable Measurement System. Proceed-ings of the XVI IMEKO World Congress (September 25-28, 2000, Vienna-Wien, Austria). Volume IX, topic 30 — Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Vienna, 2000.* P. 341—345. 29. Калашиников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. *Адаптивные системы сбора и передачи информации.* — М.: Энергия, 1975. — 240 с. 30. Орищенко В.И., Санников В.Г., Свириденко В.А. *Сжатие данных в системах сбора и передачи информации.* — М.: Радио и связь, 1985. 31. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. *Основы теории и расчета информационно-измерительных систем.* — М.: Машиностроение, 1991. 32. Szczepaniak P., Waszkiewich P. *Preliminary preparation of patterns for their compression // Third Conference "Neural Networks and Their Application" — Kule, October 14—18, 1997.* — P. 304—309. 33. Сиберт У.М. *Цени, сигнали, системи: В 2-х частях.* — Ч.1: *Перевод с англ.* — М.: Мир, 1988. — 336 с. 34. Сиберт У.М. *Цени, сигнали, системи: В 2-х частях.* Ч. 2: *Перевод с англ.* — М.: Мир, 1988. — 360 с. 35. O. Ivakhiv, A.Kowalczyk, R.Vibllii. *Intelligent Measuring System Simulation. Book of Abstracts. 16-th IMACS World Congress On Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation (Lausanne - Switzerland, August 21—25, 2000), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne.* — P. 460.

УДК 621.395.623.8

В. М. Якубенко

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ТТР

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЗВУКОВІДТВОРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

© Якубенко В. М., 2003

Запропоновано моделі електродинамічних гучномовців для використання в системах схемотехнічного моделювання радіоелектронних пристроїв.

In this paper we propose the models of electrical-dynamical loudspeakers for the use in circuit simulation systems of radio-electronic devices.

Відомі моделі електроакустичних пристроїв, таких як гучномовці, акустичні системи, звукові колонки, головні телефони тощо, які широко використовуються у звуковідтворювальній апаратурі, відображають лише акустичний бік цих пристроїв [1, 2]. Внаслідок цього вони не можуть бути застосовані у відомих програмних засобах

схемотехнічного моделювання. У результаті моделювання звуковідтворювальної апаратури зводиться лише до моделювання її електронних вузлів.

Для побудови моделей електроакустичних пристроїв, які можна було би використовувати у вищезгаданих програмних засобах, пропонується скористатись тим, що в діапазоні частот поршневої дії електроакустичні пристрої можна розглядати як лінійні чотирьохполюсники із зосередженими параметрами (рис. 1), які, з одного боку, характеризуються електричними величинами: напругою u та струмом i , а з іншого — акустичними: об'ємною коливальною швидкістю $v_{об}$ та звуковим тиском p [3, 4, 5].

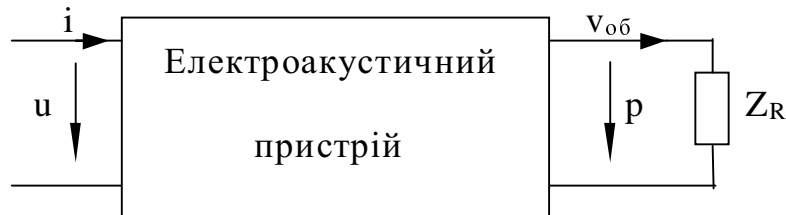


Рис. 1. Електроакустичний пристрій як чотирьохполюсник

Навантаженням таких чотирьохполюсників є опір випромінювання електроакустичного пристрою Z_R , який визначається активним опором випромінювання r_R та приєднаною масою повітря m_R , що співколивається з діафрагмою механічної коливальної системи ($Z_R = r_R + j\omega m_R$, де ω — кутова частота).

З теоретичних основ електроакустики відомо, що найпростіші електроакустичні пристрої, а саме гучномовці без акустичного оформлення, виходячи з фізичних принципів їх функціонування, описують як лінійні чотирьохполюсники системою рівнянь:

$$\begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{v}_{об} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де Z_{11} — власний електричний опір гучномовця; Z_{12} — параметр, який відображає зв'язок між його електричною та акустичною сторонами; Z_{21} — параметр, який відображає зворотний зв'язок між акустичною та електричною сторонами; Z_{22} — власний акустичний опір гучномовця, який визначається механічним опором Z_M та ефективною площею S_D діафрагми механічної коливальної системи ($Z_{22} = -Z_M/S_D^2$). Механічний опір Z_M в свою чергу визначається масою m_M , податливістю c_M та тертям r_M механічної коливальної системи ($Z_M = r_M + j\omega m_M + 1/j\omega c_M$), а ефективна площа S_D вибирається в межах 50...60% від загальної площі діафрагми. Зауважимо, що всі ці параметри суттєво залежать від типу електроакустичного перетворювача та акустичного оформлення гучномовця. Так, для електродинамічного гучномовця без акустичного оформлення:

$$Y_{11} = K_L + \omega D_L j \quad Y_{12} = I_D \cdot B_B j \quad Y_{21} = I_D \cdot B_B j \quad Y_{22} = -(k_B + \omega \omega_B + 1 \cdot \omega c_B) \cdot S_D^2 \quad (2)$$

де R_K, L_K — резистивний опір та відповідно індуктивність звукової котушки; B — магнітна індукція в зазорі магнітної системи гучномовця; l — довжина дроту, яким намотана звукова котушка. Еквівалентна електрична схема гучномовця, складена на підставі системи рівнянь (1) з врахуванням параметрів (2) матиме вигляд, поданий на рис. 2.

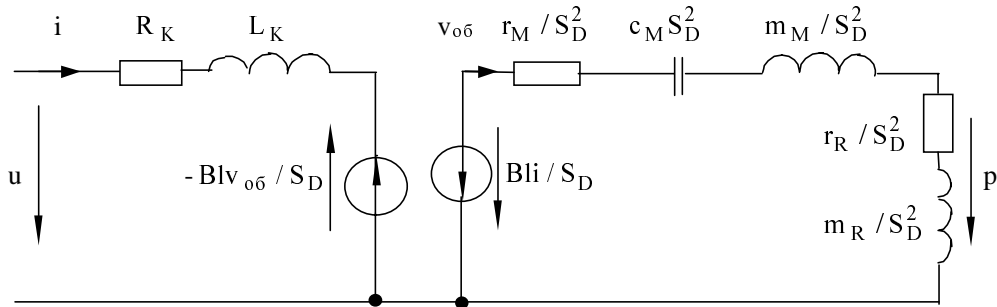


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема електродинамічного гучномовця без акустичного оформлення

Для закритого акустичного оформлення гучномовця в еквівалентній схемі слід врахувати акустичну податливість об'єму повітря c_V , зосередженому в цьому оформленні. На підставі методу електроакустичних аналогій її необхідно включити послідовно з елементами, які відображають акустичний бік гучномовця (рис. 3).

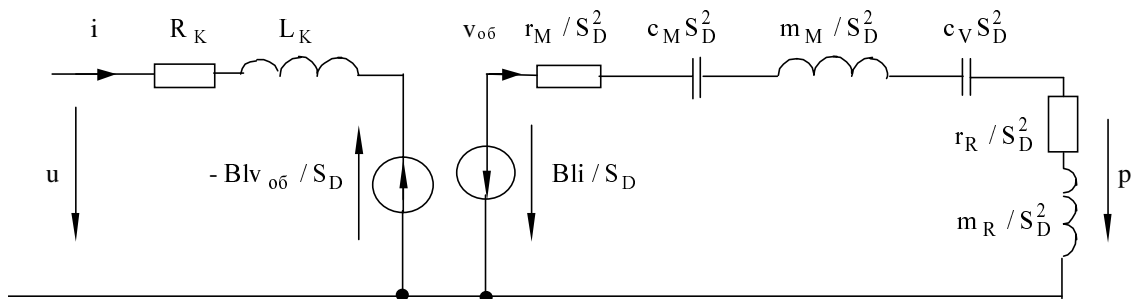


Рис. 3. Еквівалентна електрична схема електродинамічного гучномовця в закритому акустичному оформленні

Значення c_V розраховують за формулою:

$$c_V = \frac{V}{\rho_0 c_0^2 S_D^2}, \quad (3)$$

де V — внутрішній об'єм закритого акустичного оформлення; ρ_0 — густина повітря ($\rho_0=1,3$ кг/м³) c_0 — швидкість поширення звукових хвиль у повітрі (при кімнатній температурі $c_0=343$ м/с).

При моделюванні закритого акустичного оформлення гучномовця з фазоінвертором в еквівалентній схемі додатково необхідно врахувати масу повітря m_Φ , зосередженого в трубці фазоінвертора, а також опір випромінювання трубки $Z_{R\Phi}$, який визначається активним опором випромінювання $r_{R\Phi}$ та приєднаною масою повітря $m_{R\Phi}$, яка співколивається з масою повітря в трубці ($Z_{R\Phi}=r_{R\Phi}+j\omega m_{R\Phi}$). На підставі методу електроакустичних аналогій ці елементи слід включити паралельно до елемента податливості c_V (рис. 4). Значення параметрів цих елементів розраховують за формулами:

$$\begin{aligned} m_\Phi &= \rho_0 l_\Phi S; \\ r_{R\Phi} &= \frac{\rho_0}{4\pi c_0} \omega^2 S^2; \\ m_{R\Phi} &= 2\rho_0 a^3, \end{aligned} \quad (4)$$

де S — площа отвору фазоінвертора; l_Φ — довжина трубки фазоінвертора; ω — кутова частота звукових коливань; a — радіус поперечного перетину фазоінвертора.

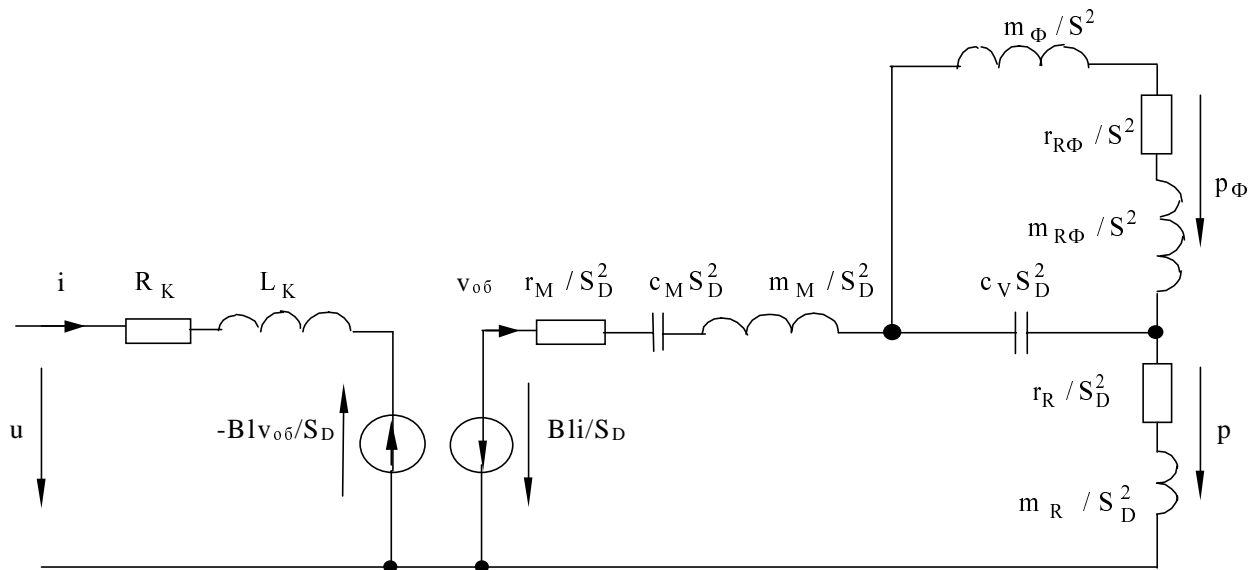


Рис.4. Еквівалентна електрична схема електродинамічного гучномовця в закритому акустичному оформленні з фазоінвертором

Результуючий звуковий тиск закритої акустичної системи з фазоінвертором визначають на підставі еквівалентної схеми як суму звукових тисків p і p_Φ , створених гучномовцем та, відповідно, фазоінвертором:

$$p_\Sigma = p + p_\Phi. \quad (5)$$

Опір випромінювання r_R та приєднана маса повітря m_R гучномовця залежать від типу його акустичного оформлення. Їх значення можна наближено визначити на підставі формул, виведених для ідеального поршня, який здійснює коливальний рух без акустичного оформлення, та поршня, закритого з тильного боку звуконепроникним кожухом [5]. Для випадку, коли хвильові розміри поршня значно менші від довжини звукової хвилі, ці формули подані у табл. 1.

Таблиця 1

Формули для наближеного розрахунку опору випромінювання гучномовця

| Z_R | Гучномовець без акустичного оформлення | Закрите акустичне оформлення гучномовця |
|-------|---|--|
| r_R | $r_R = \frac{8\rho_0}{27\pi^4 c_0^3} \omega^4 S_D^3$ | $r_R = \frac{\rho_0}{4\pi c_0} \omega^2 S_D^2$ |
| m_R | $m_R = \frac{4}{3} \rho_0 \left(\frac{S_D}{\pi} \right)^{3/2}$ | $m_R = 2\rho_0 \left(\frac{S_D}{\pi} \right)^{3/2}$ |

Запропоновані еквівалентні схеми гучномовців можуть бути використані як макромоделі (макроси) у відомих комп'ютерних системах схемотехнічного моделювання, зокрема в таких, як MicroCap, DesignLab, Orcad тощо. Як приклад, на рис. 5 наведені результати моделювання (частотні характеристики) низькочастотного гучномовця 25ГДН-1 в закритому акустичному оформленні, отримані з допомогою системи схемотехнічного моделювання MicroCap-VII з використанням еквівалентної схеми, поданої на рис. 3. Параметри гучномовця, які використовувались при моделюванні, подані в табл. 2.

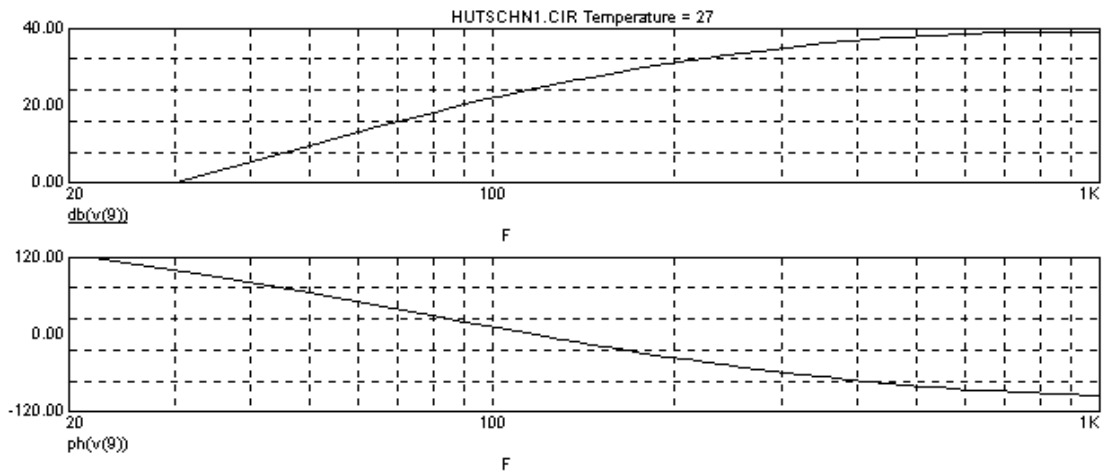


Рис. 5. Результати моделювання закритого акустичного оформлення гучномовця 25ГДН-1
(а — амплітудно-частотна характеристика звукового тиску;
б — фазочастотна характеристика)

Таблиця 2

Параметри низькочастотного електродинамічного гучномовця 25ГДН-1

| Параметр | Значення | Параметр | Значення |
|--|-----------------------|--|-------------------------------------|
| Резонансна частота f_0 | 60 Гц | Маса механічної коливальної системи m_M | $9,4 \cdot 10^{-3}$ кг |
| Повна добротність Q_n | 0,35 | Податливість механічної коливальної системи c_M | $0,75 \cdot 10^{-3}$ м/Н |
| Еквівалентний об'єм V_e | 6 л | Коефіцієнт тертя γ_M | 0,65 Н·с/м |
| Коефіцієнт електромеханічного зв'язку Bl | 5,84 Т·м | Внутрішній об'єм закритого акустичного оформлення V | 4,8 л |
| Резистивний опір звукової котушки R_k | 3,5 Ом | Податливість повітря в середині закритого акустичного оформлення c_v | $0,6 \cdot 10^{-3}$ м/Н |
| Індуктивність звукової котушки L_k | 0,0008 Гн | Активний опір випромінювання γ_R | $6,7 \cdot 10^{-7} \cdot f^2$ Н·с/м |
| Ефективна площа дифузора S_D | 0,0075 м ² | Приєднана маса повітря m_R | $0,3 \cdot 10^{-3}$ кг |
| Рівень характеристичної чутливості | 84 дБ/Вт/м | | |

Примітка: f — частота, Гц

Порівняння отриманих результатів з результатами моделювання закритого акустичного оформлення гучномовців з використанням відомих програмних засобів проектування акустичних систем, таких як JBL Speaker Shop, Speaker Workshop, WinISD

свідчить про те, що запропоновані моделі дають точніші результати моделювання гучномовців в смузі нижніх частот, що особливо важливо для процесу проектування їх акустичного оформлення. Застосування запропонованих моделей гучномовців в системах схемотехнічного моделювання дозволить проводити аналіз електронної звуковідтворювальної апаратури загалом.

1.Алдошина И. А., Войшвилло А. Г. *Высококачественные акустические системы и излучатели.* — М.: Радио и связь, 1985. 2.Алдошина И. А. *Электродинамические громкоговорители.* — М.: Радио и связь, 1989. 3.Сапожков М. А. *Электроакустика: Учебник для вузов.* — М.: Связь, 1978. 4.Римский-Корсаков А. В. *Электроакустика.* — М.: Связь, 1973. 5.Вахитов Я. Ш. *Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура: Учебное пособие для вузов.* — М.: Искусство, 1982.

УДК 621.396.67

Є.І. Яковенко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра РЕПС

ДО ПИТАНЬ ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОСМУЖКОВИХ БАГАТОЛАНКОВИХ НАПРЯМЛЕНИХ ВІДГАЛУЖУВАЧІВ

© Яковенко Є.І., 2003

Розроблений алгоритм та програма для проектування мікросмужкових багатоланкових напрямлених відгалужувачів з розподіленим електромагнітним зв'язком.

The alorythm and the programm for microstrip multisectional directional couplers design were elaborated.

Напрявлені відгалужувачі (НВ) — це чотириплечі взаємні пристрої, що призначені для напрямленого відводу частини НВЧ потужності з одного (основного 1—3) каналу в інший (допоміжний 2—4) (рис. 1). Чотириплечий пристрій має властивість напрямленості, якщо при збудженні одного плеча, наприклад 1, одне з решти трьох, наприклад 4, залишається незбудженим.

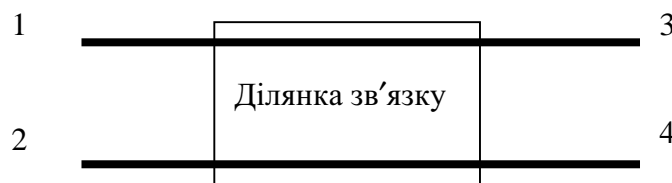


Рис.1. Структура напрямленого відгалужувача

Основними характеристиками таких 4-плечих пристроїв є: робоче загасання, перехідне послаблення С, напрямленість та розв'язання плечей. Крім цих параметрів, в технічному завданні на напрямлені відгалужувачі зазвичай вказуються: нерівномірність