

Акустические приборы и системы

УДК 534.3

О.В. Коржик, д.-р.тех.наук, **О.М. Петрищев**, д.-р.тех.наук, **Н.В. Богданова**, канд. техн. наук
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
 вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

Приём звука сферичным электропружным перетворювачем з розрізними електродами (частина 3)

На основі результатів розв'язання наскрізної задачі про прийом звуку сферичним електропружним перетворювачем з розрізними електродами, який представлено у вигляді суцільної тонкої п'єзокерамічної оболонки, та отриманих виразів для відшукування невідомих коефіцієнтів центрально-симетричних та вісесиметричних складових повного розв'язку задачі - показано напрямки адитивної обробки вихідних електричних сигналів для отримання певної просторової вибірковості.

Електродування подано парою симетричних напівсферичних електродів, які розділено по екватору сфери та навантажено на окремі незалежні електричні опори. Бібл. 7, рис. 2.

Ключові слова: прийом звукових хвиль; сферична оболонка; п'єзокерамічний перетворювач; наскрізна задача; розрізні електроди; електричні опори; чутливість; характеристика направленості.

Вступ

Дана стаття є продовженням робіт [3;4] в частині реалізації певного електричного включення електродів в зовнішніх електричних колах.

В роботах [1,5,6] проілюстрована можливість формування вихідного електричного сигналу в прийомному тракті, який отримано з урахуванням мод, що вищі за нульову.

Отже, певний спосіб електродування поверхонь прийомного перетворювача та комутації пристроїв електричного навантаження і адитивної обробки сигналів, очевидно (як це відомо з робіт [1;6] для циліндрів) та [7] для сфери, приводить до домінування або виключення певних модових складових коливань електропружного приймача.

Таким чином, ціллю цієї роботи є визначення можливості використання запропонованого типу електродування у сполученні з елементарними способами адитивної обробки вихідних сигналів електропружного прийомного перетворювача з розрізними електродами.

Залучені у якості вихідних виразів та позначень співвідношення джерел [3;4] згадані з нумерацією вказаних робіт. Подальше їх використання відбивається з наскрізною нумерацією цієї роботи.

Основна частина

За результатами робіт [3,4] були отримані вирази (34), (35) для визначення електричних зарядів, $Q_{S_e}^I$, $Q_{S_e}^{II}$ що доставляються на зовнішні електродовані поверхні сфери S_e^I та S_e^{II} вільними носіями електрики в колі навантажень Z_H^I групи електродів I і Z_H^{II} групи електродів II відповідно. Використовуючи наскрізну нумерацію цієї роботи, запишемо:

$$Q_{S_e^I}^I = \int_{S_e^I} D_r^I dS_e^I = \tag{1}$$

$$= (R_0 + h_0)^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} D_r^I(\varphi, \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta d\varphi;$$

$$= (R_0 + h_0)^2 \int_0^{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} D_r^{II}(\varphi, \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta d\varphi. \tag{2}$$

де D_r^{nI} та D_r^{nII} - радіальні компоненти вектору електричної індукції в матеріалі п'єзокерамічної оболонки в межах відповідних електродних поверхонь.

Після інтегрування (1),(2) по $d\varphi$ ($\varphi \in [0;2\pi]$), застосовуючи форму запису щодо центрально симетричних та вісесиметричних компонент розкладень полів, для зарядів $Q_{S_e^I}^I$, $Q_{S_e^{II}}^{II}$ на відповідних електродних поверхнях S_e^I та S_e^{II} , отримаємо:

$$Q'_{S_e} = 2\pi(R_0 + h_0)^2 D_r^{0I} + 2\pi(R_0 + h_0)^2 \times \sum_{n=1}^{\infty} D_r^{nI} \int_0^{\pi/2} P_n(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta, \quad (3)$$

$$Q''_{S_e} = 2\pi(R_0 + h_0)^2 D_r^{0II} + 2\pi(R_0 + h_0)^2 \times \sum_{n=1}^{\infty} D_r^{nII} \int_{\pi/2}^{\pi} P_n(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta, \quad (4)$$

Після інтегрування, враховуючі межі інтегрування по полярному куту ϑ $\vartheta \in \left[0; \frac{\pi}{2}\right]$ для (3) та

$\vartheta \in \left[\frac{\pi}{2}; \pi\right]$ для (4), вказані рівняння набудуть вигляду:

$$Q' = 2\pi(R_0 + \alpha)^2 D_r^{0I} + 2\pi(R_0 + \alpha)^2 \sum_{n=0}^{\infty} D_r^{2p+1} q_n; \quad Q'' = 2\pi(R_0 + \alpha)^2 D_r^{0II} - 2\pi(R_0 + \alpha)^2 \sum_{n=0}^{\infty} D_r^{2p+1} q_n, \quad (5)$$

де $q_n = (-1)^n \frac{(2n)!(4n+4)}{2^{2n+3} (n+1)^2 (n!)^2}$ для умов:

$$\int_0^{\pi/2} P_n(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta = \begin{cases} 0 \forall n=2p, p=1,2,3,\dots \\ q_n \forall n=2p+1, p=0,1,2,\dots \end{cases} \quad (6)$$

$$\int_{\pi/2}^{\pi} P_n(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta = \begin{cases} 0 \forall n=2p, p=1,2,3,\dots \\ -q_n \forall n=2p+1, p=0,1,2,\dots \end{cases} \quad (7)$$

що витікає з Формули (38) роботи [3] та джерела [7].

Таким чином, амплітудні значення різниці електричних потенціалів на електричному боці пар електродів перетворювача U_B визначатимуться за формулою

$$j\omega 4\pi C_1^0 Z_H^I = U_H^{0I} = -\frac{C_1^0}{\chi_{11}^* R_1^2} \pm C_2^0 + \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* c_{11}^* E} p_{\Sigma}^0(kR_1) + \frac{2}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^0(kR_1) \right) h_0, \quad (9)$$

$$j\omega 2\pi C_1^n q_n Z_H^I = U_H^{nI} = -\frac{C_1^n}{\chi_{11}^* R_1^2} q_n \pm C_2^n + \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* c_{11}^* E} p_{\Sigma}^n(kR_1) + (2 - n(n+1)) \frac{1}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^n(kR_1) \right) h_0, \quad (10)$$

$$\text{та } j\omega 4\pi C_1^0 Z_H^{II} = U_H^{0II} = -\frac{C_1^0}{\chi_{11}^* R_1^2} \pm C_2^0 + \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* c_{11}^* E} p_{\Sigma}^0(kR_1) + \frac{2}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^0(kR_1) \right) h_0, \quad (11)$$

$$j\omega 2\pi C_1^n q_n Z_H^{II} = U_H^{nII} = -\frac{C_1^n}{\chi_{11}^* R_1^2} q_n \pm C_2^n - \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* c_{11}^* E} p_{\Sigma}^n(kR_1) + (2 - n(n+1)) \frac{1}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^n(kR_1) \right) h_0. \quad (12)$$

Далі, формально, застосуємо систему розв'язаних по входу попередніх підсилювачів та суматорів – рис.1, рис.2.

$$U_B = U_{H\Sigma}^{nI} + U_{H\Sigma}^{nII} = \underbrace{U_H^{0I} + U_H^{nI}}_{U_{H\Sigma}^{nI}} + \underbrace{U_H^{0II} + U_H^{nII}}_{U_{H\Sigma}^{nII}} = \\ = \underbrace{U_H^{0I}}_{U_{H\Sigma}^{nI}} + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{U_H^{nI}}_{U_{H\Sigma}^{nI}} + \underbrace{U_H^{0II}}_{U_{H\Sigma}^{nII}} + \sum_{n=1}^{\infty} \underbrace{U_H^{nII}}_{U_{H\Sigma}^{nII}}, \quad (8)$$

де $U_{H\Sigma}^{nI} = U_H^{0I} + \sum_{n=1}^{\infty} U_H^{nI}$ - повний розв'язок для

електричної напруги на навантаженні Z_H^I електроду I; $U_{H\Sigma}^{nII} = U_H^{0II} + \sum_{n=1}^{\infty} U_H^{nII}$ повний розв'язок для електричної напруги на навантаженні Z_H^{II} електроду II.

Залучаючи з роботи [4] вирази (9) і (31) для напруг U_H^{0II} ; U_H^{nII} та U_H^{0I} ; U_H^{nI} відповідно маємо в поточній наскрізній нумерації:

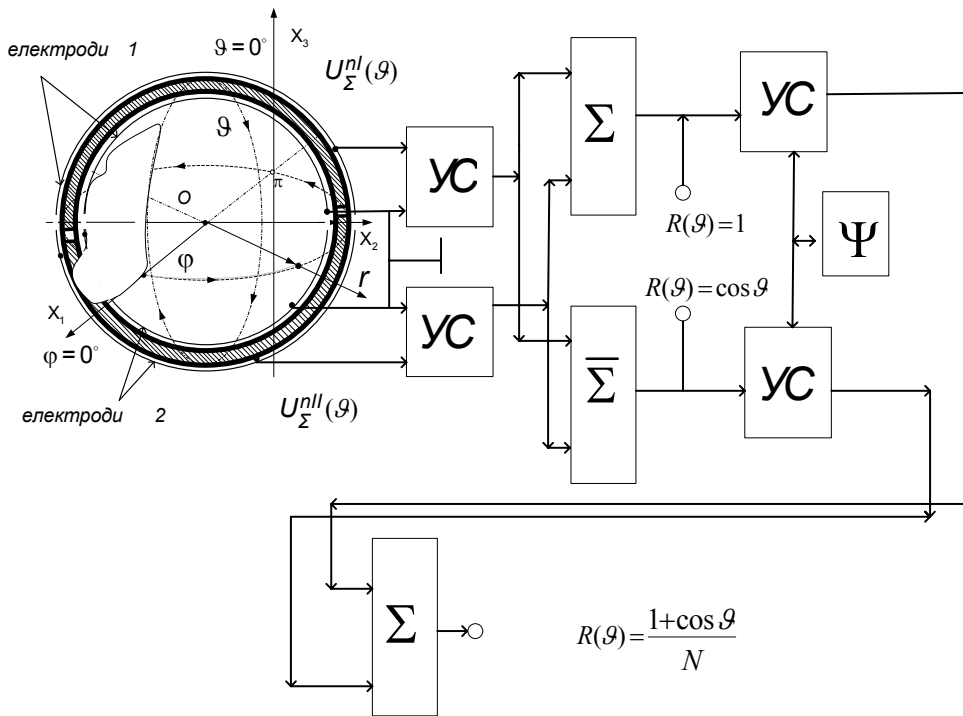


Рис. 1. Схема сферичног перетворювача з парою розрізних електродів

Використання синфазного додавання (рис.1) призводить до виникнення електричного сигналу $U_B = U_{BSPH}$, що визначатиметься лише нульовою модою. Ця ситуація еквівалентна узго-

дженому електричному підключенню груп електродів I II, або нанесенню суцільного електродування на повну поверхню самого перетворювача. При цьому сума (8)-(12) дає

$$U_{BSPH} = \omega 2\pi C_1^0 (Z_H^I + Z_H^{II}) = - \left(\frac{C_1^0}{\chi_{11}^* R_1^2} \pm C_2^0 \right) + \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* C_{11}^E} p_\Sigma^0(kR_1) + \frac{2}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^0(kR_1) \right) h_0, \quad (13)$$

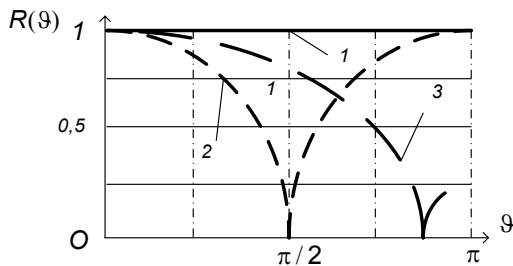


Рис. 2. Гафіки характеристик направленості електродуваної сфери

Зрозуміло, що подібна комутація призведе до отримання ненаправленої характеристики щодо просторової вибіркової $R(\theta) = 1$ (крива 1, рис.2)

Використання асинфазного додавання (рис. 1) призводить до виникнення електричного сигналу $U_B = U_{BASP}$, що визначатиметься сукупністю першої моди та непарних мод вищих порядків. Ця ситуація еквівалентна електричному зустрічному підключенню груп електродів I та II.

При цьому сума (8)-(12) дає

$$U_{BASP} = \sum_{n=1}^{\infty} \omega 2\pi C_1^0 (Z_H^I - Z_H^{II}) q_n = \sum_{n=1}^{\infty} \left[-2 \times \left(\frac{C_1^n}{\chi_{11}^* R_1^2} q_n \right) + 2 \left(\frac{e_{11}}{\chi_{11}^* C_{11}^E} p_\Sigma^n(kR_1) + \frac{(2-n(n+1))}{\chi_{11}^* R_1} e_{12}^* u_r^n(kR_1) \right) \right] h_0, \quad (14)$$

Зрозуміло, що подібна комутація призведе до отримання направленої характеристики, яка, в основному, визначатиметься першою модою.

Отже, матиме вигляд $R(\theta) = \cos \theta$ (крива 2, рис.2).

Регулювання амплітуд $U_{H\Sigma}^{nI}$ та $U_{H\Sigma}^{nII}$ шляхом підсилення або ослаблення сигналів, а також внесення штучних фазових зсувів дозволить урізноманітнити кількість характеристик направленості. Так, скажімо, подальше додавання виду $U_B = U_{BSPH} + U_{BASPH}$ призведе до отримання однонаправленої характеристики виду “кардіоїда” $R(\vartheta) = \frac{1+\cos\vartheta}{2}$ (крива 3, рис. 1).

Висновки

В наскрізній постановці для сферичного п'єзокерамічного перетворювача з парою розрізних електродів показано напрямки адитивної обробки вихідних електричних сигналів з метою отримання певної просторової вибірковості (в тому числі характеристик $R(\vartheta) = 1$ $R(\vartheta) = \cos\vartheta$, $R(\vartheta) = \frac{1+\cos\vartheta}{2}$).

Наведені схеми формування просторової вибірковості сферичного перетворювача для обраного типу електродування.

Список використаних джерел

1. Аронов Б.С. Электромеханические преобразователи из пьезокерамической керамики/Б.С. Аронов, -Л.: Энергоатомиздат. 1990. 271 с.
2. Гобсон Е. Теория сферических и эллиптических функций.-М.: Изд. иностр. лит.. 1952. - 476 с.

3. Коржик О.В. Об особенностях электромеханических преобразований в приемных пьезокерамических преобразователях с разрезными электродами // Электроника и связь. – 2010. – №2. – С. 224-230.
4. Коржик О.В. Врахування типу електродування сферичного електропружного перетворювача в наскрізних задачах прийому звуку багатомодовими системами // Електроника и связь. – 2013. – №1. – С. 76-88.
5. Коржик А.В., Петрищев О.Н. Расчеты частотных характеристик сферического пьезокерамического гидрофона // Electronics and Communications. – 2014. – №3. – С. 77-97
6. Коржик О.В., Петрищев О.М. Прием звуку сферичним електропружним перетворювачем з розрізними електродами (частина 1) // Electronics and communications. – 2014. – Т.19, №6(83). – С. 94-109
7. Коржик О.В., Петрищев О.М., Богданова Н.В. Прием звуку сферичним електропружним перетворювачем з розрізними електродами (частина 2)//Electronics and communications. – 2015. – Т.20, № 1(84).–С. 57-64.

Поступила в редакцию 20 октября 2014 г.

УДК 534.3

А.В. Коржик, д.-р.тех.наук, **О.Н. Петрищев**, д.-р.тех.наук, **Н.В. Богданова**, канд. техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

Прием звука сферическим электропружным преобразователем с разрезными электродами (часть 3)

На основе выражений для отыскания неизвестных коэффициентов центральносимметричных и осесимметричных составляющих общего решения сквозной задачи про прием звука электропружной сферой с разрезными электродами показаны направления аддитивной обработки выходных электрических сигналов с целью получения пространственной избирательности сферы.

Электродирование представлено симметричной полусферической парой электродов, которые разделены по экватору сферы и нагружены на отдельные электрические сопротивления.
Библ.7, рис. 2

Ключевые слова: гидроэлектропружность; сферическая оболочка; гидроакустический пьезокерамический преобразователь; сквозная задача; прием звуковых волн; электродирование.

UDC 534.3

A.V. Korzhyk, Dr.Sc., **O.N. Petrishchev**, Dr.Sc., **N.V. Bogdanova**, Ph.D.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
st. Polytechnichna, 16, Kyiv, 03056, Ukraine.

The transducing of sound wave by electroelastics piezo- receiver with dissected electrical electrodes (part 3)

On a base of unknown coefficients for the results of solution "through acoustic task" for electroelastic hydroacoustic transducer-receiver, which representative by thin spherical piezoelectric shell with dissected electrical electrodes, the way to the building of directional characteristics our spherical transducer was showed.

The common solution was obtained at includes all particular solutions: central- and axis- symmetry spherical harmonics of main physical fields, which to take part in acousto- electric transformation. Reference 7, figures 2.

Keywords: *hydroelectroelastic; spherical shell; hydroacoustic piezoceramic transducer; receiving sound waves; dissected electrical electrodes.*

References

1. Aronov B.S. (1990), The piezoceramics electro-mechanics transducers. Energoatomizdat. P. 271.(Rus)
2. Gobson E. The theory of spherical and elliptical functions. Izd.inostr. lit.1952.-584 p. (Rus).
3. Korzhyk O.V. (2010), About the specific of electro-mechanics transducers- receivers with two group electrodes. Electronics and communication. No2, Pp. 224-230 (Ukr)
4. Korzhyk O.V. (2013), The accounting of electrodes type on spherical electroelastic audio transducer in "through acoustic receiving task" by multy-mode system. Electronics and communication. No1. Pp. 76-88 (Ukr).
5. Korzhyk O.V. Petrishchev O.M. (2014), To the determination of boundary conditions in "through acoustic receiving task" by spherical electroelastics piezo- receiver with dissected electrical electrodes. Electronics and communication. Vol.19, No3(80), Pp. 77-97 (Rus)
6. Korzhyk O.V., Petrishchev O.M. (2014), About one method of computation AFC of sensitivity spherical piezoelastics (part 1). Electronics and communications. Vol.19, №6(83), Pp. 94-109 (Ukr)
7. Korzhyk O.V., Petrishchev O.M., Bogdanova N.V. (2015), About one method of computation AFC of sensitivity spherical piezoelastics (part 2). Electronics and communications. Vol.20, №1(84), Pp. 57-64 (Ukr)