

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗВУКОВОГО ТИСКУ, СТВОРЮВАНОГО МОНОМОРФНИМИ ДИСКОВИМИ П'ЄЗОЕЛЕМЕНТАМИ

Робота присвячена вдосконаленню п'єзоелектричних перетворювачів. Особливе місце п'єзоелектричні перетворювачі займають в електро- і гідроакустиці, де вони використовуються для випромінювання і прийому акустичних коливань в повітряному або водному середовищі. Загальним завданням при вдосконаленні п'єзоелектричних випромінювачів є збільшення дальності їх дії. Для виготовлення електроакустичних перетворювачів використовуються мономорфні і біморфні елементи. Описано спосіб збудження коливань згину в дискових мономорфних п'єзоелементах. Для посилення цих коливань в п'єзоелементі запропоновано створити два контури, один з яких створюється таким чином, щоб вектор електричного поля напруги збудження утворював кут з вектором поляризації, а вектор електричного поля іншого контуру був паралельний вектору поляризації п'єзоелемента. Це дозволило підвищити рівень звукового тиску.

Ключові слова: п'єзоелектричний перетворювач, випромінювач, коливання згину, коливальний контур.

ZH.V. SOTULA

Cherkasy State Technological University

THE SOUND PRESSURE INCREASING CREATED BY MONOMORPHIC DISK PIEZOELEMENTS

Abstract – The work is devoted to perfection of piezoelectric transducers. A special place is occupied by piezoelectric transducers in electrical and underwater acoustics, where they are intended for radiation and reception of acoustic vibrations in the air or the aquatic environment. The overall objective in improving the piezoelectric transducers is to increase their range of action. For the transducers manufacture are used monomorph and bimorph elements. The method of generation of bending vibrations in monomorph disk piezoelectric elements is described. To enhance the bending vibrations in the piezoelectric element proposed to create two oscillating circuits, one of which is created so that the electric field vector of the stimulating voltage makes an angle with the polarization vector and the electric field vector of the second circuit is parallel to polarization vector of the piezoelectric element. This allowed to increase the sound pressure level.

Key words: piezoelectric transducer, projector, bending vibrations, oscillatory circuit.

Вступ

П'єзоелектричні перетворювачі широко застосовуються в електроакустиці, гідроакустиці, вимірній техніці, неруйнівному контролі, в п'єзодвигунах, в сканерах наномікроскопів, інших областях науки і техніки [1-4].

Особливе місце п'єзоелектричні перетворювачі займають в електро- і гідроакустиці, де вони призначені для випромінювання і прийому акустичних коливань в повітряному або водному середовищі [3, 4].

П'єзоелектричні перетворювачі, що використовуються в гідроакустиці, діляться на два великі класи:

- перетворювачі-приймачі акустичного сигналу (датчики, сенсори);
- перетворювачі-випромінювачі акустичного сигналу.

Загальною задачею при вдосконаленні випромінювачів є збільшення дальності дії, що можливо досягти шляхом:

- зниження робочої (резонансної) частоти й (або)
- збільшення потужності випромінювання (підвищення рівня звукового тиску).

Відомо, що низькочастотний звук поширюється у воді практично без згасання на відстані до декількох тисяч кілометрів завдяки формуванню у верхньому шарі океану підводного звукового каналу – акустичного хвильоводу рефракційного типу. Саме завдяки цьому низькочастотна акустика має очевидні переваги у вирішенні широкого кола задач [7, 8].

Для виготовлення електроакустичних перетворювачів використовуються мономорфні п'єзоелементи, які складаються з одного п'єзоелемента, а також біморфні елементи, які складаються з двох п'єзоелементів або п'єзоелемента і металевої пластини, з'єднаних за допомогою клею або припою [2, 4].

Найбільш часто в електро- і гідроакустиці використовуються асиметричні біморфні п'єзоелементи (БПЕ), які мають порівняно низьку резонансну частоту і високий рівень створюваного звукового тиску, однак вони складніше мономорфних і, крім того, містять клейове з'єднання, яке зменшує механічну міцність БПЕ [1-4].

Мономорфні п'єзоелементи (МПЕ) мають порівняно високу резонансну частоту, що в ряді випадків (зокрема, в гідроакустиці) є недоліком. Наприклад, для п'єзоелемента Ø66x3 мм з п'єзокераміки ЦТС-19 основна резонансна частота радіальних коливань складає ~34 кГц. Для зменшення робочої (резонансної) частоти в МПЕ необхідно створювати коливання згину.

Отже, метою даної роботи є підвищення рівня звукового тиску, створюваного коливаннями згину дискового мономорфного п'єзоелемента.

Основна частина

Традиційно вважається, що в вільно розташованих мономорфних п'єзоелементах у вигляді пластин,

брусків, дисків коливання згину (низькочастотні) не виникають [8]. Між тим, авторами виявлений ефект виникнення таких коливань в мономорфних п'єзоелементах, проте рівень звукового тиску, створюваний цими п'єзоелементами, дуже малий [5, 6].

Для збільшення рівня коливань згину в роботах [5, 6] запропоновано в МПЕ створювати електричне поле таким чином, щоб вектор E цього поля перебував під кутом α до вектора поляризації P , причому $\alpha \rightarrow 90^\circ$.

Для експериментів використовувався дисковий п'єзоелемент $\varnothing 50 \times 1,2$ мм з п'єзокераміки ЦТБС-3, що найбільш часто використовується в електроакустиці. Для цього електроди на п'єзоелементі були розділені на кільця ($1, 1'$) і диски ($2, 2'$), як це показано на рис. 1.

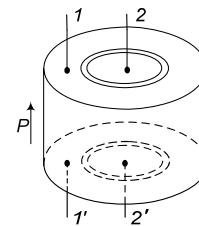


Рис. 1. Дисковий п'єзоелемент

Метою цих експериментів було визначення звукового тиску залежно від схеми підключення до генератора. Одночасно вимірювалася ємність між відповідними електродами C_{ij} і опір r_0 на резонансній частоті коливань згину 3,07 кГц (внутрішнє тертя).

Результати вимірювань наведені в табл. 1.

Таблиця 1

№	Схема	C_{ij} , нФ	r_0 , кОм	$P_{зв}$, дБ
1		22,5	2,444	70
2		7,1	7,311	77
3		30,6	1,811	72
4		0,76	27,5	79,5
5		0,74	24,44	79,5

З табл. 1 випливає:

1. При підключенні генератора до дискового електроду рівень створюваного звукового тиску вище, ніж при підключенні до кільцевого електроду.

2. При паралельному підключенні дискового і кільцевого електродів рівень звукового тиску практично не зростає, хоча сумарна ємність між електродами C_{Σ} зросла, а опір r_0 зменшився.

3. При підключенні генератора до електродів п'єзоелемента таким чином, щоб кут α між електричним полем і вектором поляризації наближався до 90° , звуковий тиск зріс, незважаючи на те, що ємність зменшилася, а r_0 збільшився.

Для подальшого збільшення звукового тиску на вході п'єзоелемента був створений коливальний контур з додаткової індуктивності $L_{доп}$ і міжелектродної ємності п'єзоелемента $C_{ел}$ (схеми 1-5, табл. 2).

В схемах 6-8 (табл. 2) збудження п'єзоелемента відбувається по двох каналах, при цьому використовуються дві індуктивності. У схемі 6 використовується традиційне підключення частин п'єзоелемента ($\alpha = 0^\circ$). В схемах 7 і 8 використовується одночасно як традиційне підключення, коли $\alpha = 0^\circ$ (електроди 2-2', схема 7; електроди 1-1', схема 8), так і при $\alpha \approx 90^\circ$ (електроди 1-2', схема 7; електроди 2-1', схема 8).

З табл. 2 випливає:

1. В цьому випадку, як і для випадку без додаткової індуктивності, звуковий тиск вище при підключенні генератора до дискового електроду (схеми 1-3).

2. Для схем з кутом $\alpha \approx 90^\circ$ (схеми 4, 5) звуковий тиск на 5-15 дБ вище, ніж для схем з традиційним підключенням.

3. Перетворювач за традиційною схемою з однією індуктивністю (схема 3) створює меншу звуковий тиск, ніж перетворювач за традиційною схемою з двома індуктивностями (схема 6).

Таблиця 2

№	Схема	C , нФ	L , Гн	r_0 , кОм	P_{36} , дБ
1		$C_{1-1'} = 22,5$	$L_1 = 0,109$	$r_0 = 0,115$	93
2		$C_{2-2'} = 7,1$	$L_1 = 0,36$	$r_0 = 0,316$	103
3		$C_{\Sigma} = 30,6$	$L_1 = 0,082$	$r_0 = 0,088$	95
4		$C_{1-2'} = 0,76$	$L = 3,34$	$r_0 = 2,75$	108
5		$C_{2-1'} = 0,74$	$L = 3,41$	$r_0 = 2,839$	108
6		$C_{1-1'} = 22,5$ $C_{2-2'} = 7,1$	$L_2 = 0,352$ $L_1 = 0,111$	$r_0 = 0,2$	109
7		$C_{2-2'} = 7,1$ $C_{1-2'} = 0,76$	$L_1 = 3,50$ $L_2 = 0,56$	$r_0 = 0,463$	111
8		$C_{1-1'} = 22,5$ $C_{2-1'} = 0,74$	$L_1 = 0,141$ $L_2 = 3,41$	$r_0 = 0,244$	114

Висновки

1. Описано спосіб збудження коливань згину в дискових мономорфних п'єзоелементах.
2. Для посилення коливань згину в п'єзоелементі запропоновано створити два збуджуючих контура, один з яких створюється таким чином, щоб вектор електричного поля E_2 напруги збудження становив кут α з вектором поляризації P , а вектор електричного поля E_1 іншого контура був паралельний вектору поляризації P п'єзоелемента.
3. Створення двох збуджуючих контурів у схемі п'єзоелемента дозволило підвищити рівень звукового тиску в порівнянні з п'єзоелементом з одним збуджуючим контуром.

Література

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2011. 498 p.
2. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
3. Sharapov V., Sotula Zh., Kunitskaya L. Piezoelectric electroacoustic transducers. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013, 240 p.
4. Шарапов В.М. Электроакустические преобразователи / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, Ж.В. Сотула, Л.Г. Куницкая. – М.: Техносфера, 2013. – 280 с.
5. Шарапов В.М. Методы повышения звукового давления мономорфных акустических пьезоэлементов / В.М. Шарапов, О.Н. Петрищев, А.М. Прохоренков, К.В. Базило, Ж.В. Сотула. // Известия вузов – Приборостроение, Санкт-Петербург, Россия. – 2014. – № 5. – С. 47–50.
6. Шарапов В.М. Повышение уровня звукового давления низкочастотных колебаний преобразователей на основе дисковых мономорфных пьезоэлементов / В.М. Шарапов, К.В. Базило, Ж.В. Сотула // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2011. – № 4. – С. 71–73.
7. Институт прикладной физики. – Режим доступа: www.ipfran.ru
8. Подводные электроакустические преобразователи: Справочник / Под ред. В.В. Богородского // Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.

References

1. Sharapov V. Piezoceramic sensors. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2011, 498 p.
2. Sharapov V.M., Musienko M.P., Sharapova E.V. P'ezoe'lektricheskie datchiki. Moscow, Texnosfera, 2006, 632 p. [in Russian]
3. Sharapov V., Sotula Zh., Kunitskaya L. Piezoelectric electroacoustic transducers. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2013, 240 p.
4. Sharapov V.M., Minaev I.G., Sotula Zh.V., Kunitskaya L.G. E'lektroakusticheskie preobrazovateli. Moscow: Texnosfera, 2013, 280 p. [in Russian]
5. Sharapov V.M., Petrishchev O.N., Prohorenkov A.M., Bazilo K.V., Sotula Zh.V. Metody' povыsheniya zvukovogo davleniya monomorfny'x akusticheskix p'ezoe'lementov // *Izvestiya vuzov – Priborostroenie*, St. Petersburg, 2014. No. 5, pp. 47–50. [in Russian]
6. Sharapov V.M., Bazilo K.V., Sotula Zh.V. Povyshenie urovnya zvukovogo davleniya nizkochastotny'x kolebaniy preobrazovatelej na osnove diskovy'x monomorfny'x p'ezoe'lementov // *Visnyk Cherkaskogo Derzhavnogo Tehnologichnogo Universytetu, Technical sciences*, 2011, No. 4, pp. 71–73. [in Russian]
7. Institut prikladnoj fiziki. – Rezhim dostupa: www.ipfran.ru
8. Podvodny'e e'lektroakusticheskie preobrazovateli: Spravochnik / Pod red. V.V. Bogorodskogo // Leningrad: Sudostroenie, 1983, 248 p. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 19.9.2014 р.

Надрукована/Printed : 1.10.2014 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.М. Шарапов