

2. Мирских Г.А., Цыпкун Л.Г. Метод расширения динамического диаапазона широкополосных гетеродинных преобразователей частоты.// Техника средств связи. Серия – Радиоизмерительная техника. Вып. 5, 1985, с.25-29.

Мирских Г.А., Могильный С.Б. Алгоритмы управления широкополосными преобразователями частоты. Рассмотрены методы широкодиапазонного поиска и преобразования частоты непрерывных и импульсно-модулированных сигналов. Предложены алгоритмы управления узлами преобразователя, которые позволяют достичь однозначности результата при минимальных аппаратных затратах.	Mirskykh G.A., Mogylniy S.B. Algorithm of the tuning by the wideband transforms of the frequency Methods of the wideband search and transformation of the frequency continuous and pulse-modulated signals are described. It suggested algorithms tuning by circuits of the transforms, which allows reaching of the simple result with the minimum apparatus expenditures.
--	--

Надійшла до редакції 27 травня 2006 року

УДК 621.317

ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧА

*Мовчанюк А.В., Фесіч В.П., Кирпатенко І.М.,
Луговський О.Ф., Прилипко Ю.С.*

Наведена спрощена методика отримання параметрів еквівалентної схеми заміщення п'єзоперетворювача та аналіз похибки наведеної методики

Вступ

Апаратура з використанням потужних ультразвукових коливань отримала широке розповсюдження в різноманітних галузях науки і техніки. При цьому досягається інтенсифікація багатьох технологічних процесів, наприклад, розпилення рідин, гідроабразивна обробка, отримання металів та напівпровідників підвищеної чистоти, ультразвукова очистка і т.д. [1]. Як джерела ультразвукових коливань великої інтенсивності застосовуються електромеханічні перетворювачі з використанням ефекту магнітострикції (магнітострикційні перетворювачі) або електрострикції (п'єзоелектричні перетворювачі). Найбільший інтерес викликають п'єзоперетворювачі, оскільки вони мають більш високий к.к.д. та не вимагають примусового охолодження.

Огляд сучасного стану питання та постановка задачі

Ультразвукова технологічна установка складається з трьох основних частин – ультразвукового генератора, п'єзоперетворювача, узгодженого з технологічним середовищем, та кола узгодження п'єзоперетворювача і ге-

нератора. Для розрахунку ультразвукового генератора та кола узгодження необхідно знати еквівалентні параметри п'єзоперетворювача, приведені до електричних затискачів [2]. Розрахунок еквівалентних параметрів здійснюють, в більшості випадків, методом електромеханічних аналогій [3]. При цьому п'єзоперетворювач може розглядатись, за аналогією з електричними колами, як система з зосередженими параметрами [4] або як система з розподіленими параметрами [5]. Застосування моделі с розподіленими параметрами більш зручне при розрахунку резонансних розмірів п'єзоперетворювача та його узгодження з технологічним середовищем. При проектуванні генераторів та узгодженні їх з п'єзоперетворювачем частіше використовують модель з зосередженими параметрами [6].

Отримання параметрів схеми заміщення п'єзоперетворювача є першим етапом проектування ультразвукової апаратури. Часто обмежуються вимірюванням резонансної частоти та резонансного опору мостовим методом [7]. Інші методики, наприклад, імпедансні, достатньо складні та вимагають застосування спеціалізованої вимірювальної апаратури. Існує потреба в методиці отримання параметрів схеми заміщення простими методами без застосування спеціалізованої апаратури.

Обґрунтування методики вимірювань

Розглянемо еквівалентну схему заміщення п'єзоперетворювача, побудовану в системі з зосередженими параметрами [4, 6] (рис. 1) методом електромеханічних аналогій.

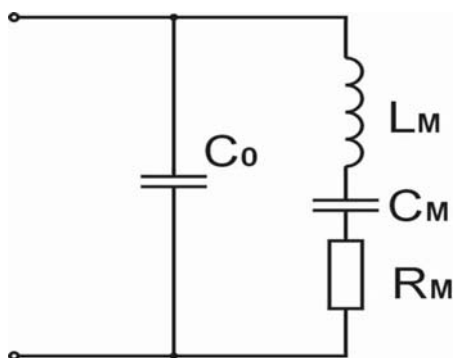


Рис 1. Еквівалентна схема п'єзоперетворювача (C_0 – статична ємність перетворювача, C_m – еквівалентна ємність механічної коливальної системи, L_m – еквівалентна індуктивність механічного коливального контуру, R_m – еквівалентний опір втрат механічного коливального контуру)

В теорії радіотехнічних кіл подібна резонансна схема носить назву коливального контуру третього роду. Контур має дві резонансні частоти –

частоту резонансу f_R і частоту антирезонансу f_A , які можуть бути розраховані за параметрами схеми заміщення:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_M C_M}}, \quad f_A = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_M \frac{C_O C_M}{C_O + C_M}}}. \quad (1)$$

Якщо звести до квадрату обидва вирази та розділити перший отриманий вираз на другий, отримаємо

$$\frac{f_R^2}{f_A^2} = \frac{C_O}{C_O + C_M}.$$

Після перетворення та зведення подібних є можливість розрахувати значення ємності механічної гілки:

$$C_M = C_O \left(\frac{f_A^2}{f_R^2} - 1 \right). \quad (2)$$

Підставляємо отриманий вираз в (1), та розраховуємо значення індуктивності механічної гілки:

$$L_M = \frac{1}{(2\pi f_R)^2 C_O \left(\frac{f_A^2}{f_R^2} - 1 \right)}. \quad (3)$$

Якщо ширину смуги вимірювати за рівнем -3 дБ в околиці послідовного резонансу, можемо розрахувати значення еквівалентного опору механічних втрат:

$$R_M = \frac{\Pi_{0.707}}{f_R} \sqrt{\frac{L_M}{C_M}}. \quad (4)$$

Для вимірювання частот резонансу та антирезонансу можна скористатися властивостями коливального контуру третього роду. Частоті антирезонансу буде відповідати максимум вхідного опору. Частота резонансу практично буде співпадати з мінімумом вхідного опору при виконанні умови

$$\frac{1}{\omega C_O} \gg R_M, \quad (5)$$

що на практиці завжди виконується.

Вимірювальна установка (рис. 2) складається з генератора G синусоїдальних коливань, що працює в діапазоні ультразвукових частот, та послідовно з'єднаних п'єзоперетворювача та баластного резистора R_B . Значення баластного резистора повинно бути зіставно з еквівалентним резонанс-

ним опором п'єзоперетворювача на частоті антирезонансу. Значення частот резонансу та антирезонансу знаходиться за допомогою частотоміра, вони відповідають мінімуму та максимуму напруги на п'єзоперетворювачі та баластному резисторі. Максимум напруги на затискачах п'єзоперетворювача буде відповідати частоті антирезонансу, а максимум напруги на баластному резисторі - частоті резонансу.

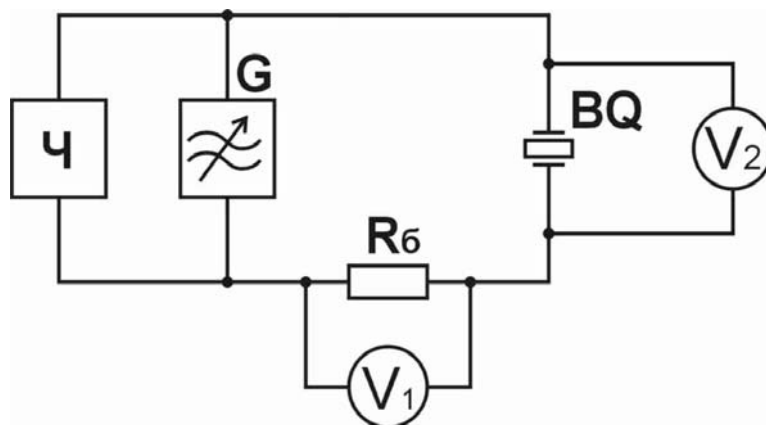


Рис. 2. Схема експериментальної установки (Ч - частотомір, G – генератор, Rб - баластний резистор, V1, V2 - вольтметри, BQ – п'єзоперетворювач)

Експериментальна перевірка методики

С метою перевірки адекватності запропонованої методики були визначені характеристики двох перетворювачів різних акустичних схем: хвильового (рис. 3а) та напівхвильового (рис. 3б). Вимірювання проводилися при значенні опору баластного резистора 1 кОм. Значення частот резонансу та антирезонансу становили:

для хвильового

$$f_R = 22955 \text{ Гц}, f_A = 26333 \text{ Гц}, P_{0,707} = 56 \text{ Гц}, C_O = 10 \text{ нФ}.$$

для напівхвильового

$$f_R = 43653 \text{ Гц}, f_A = 46459 \text{ Гц}, P_{0,707} = 174 \text{ Гц}, C_O = 4.7 \text{ нФ}.$$

Розрахунок із залученням (2) – (4) дає

для хвильового перетворювача

$$C_M = 0.295 \text{ нФ}, L_M = 162.9 \text{ мГн}, R_M = 5.3 \text{ Ом},$$

для напівхвильового перетворювача

$$C_M = 0.642 \text{ нФ}, L_M = 440.4 \text{ мГн}, R_M = 33.6 \text{ Ом}.$$



Рис.3. Зразки п'єзоперетворювачів

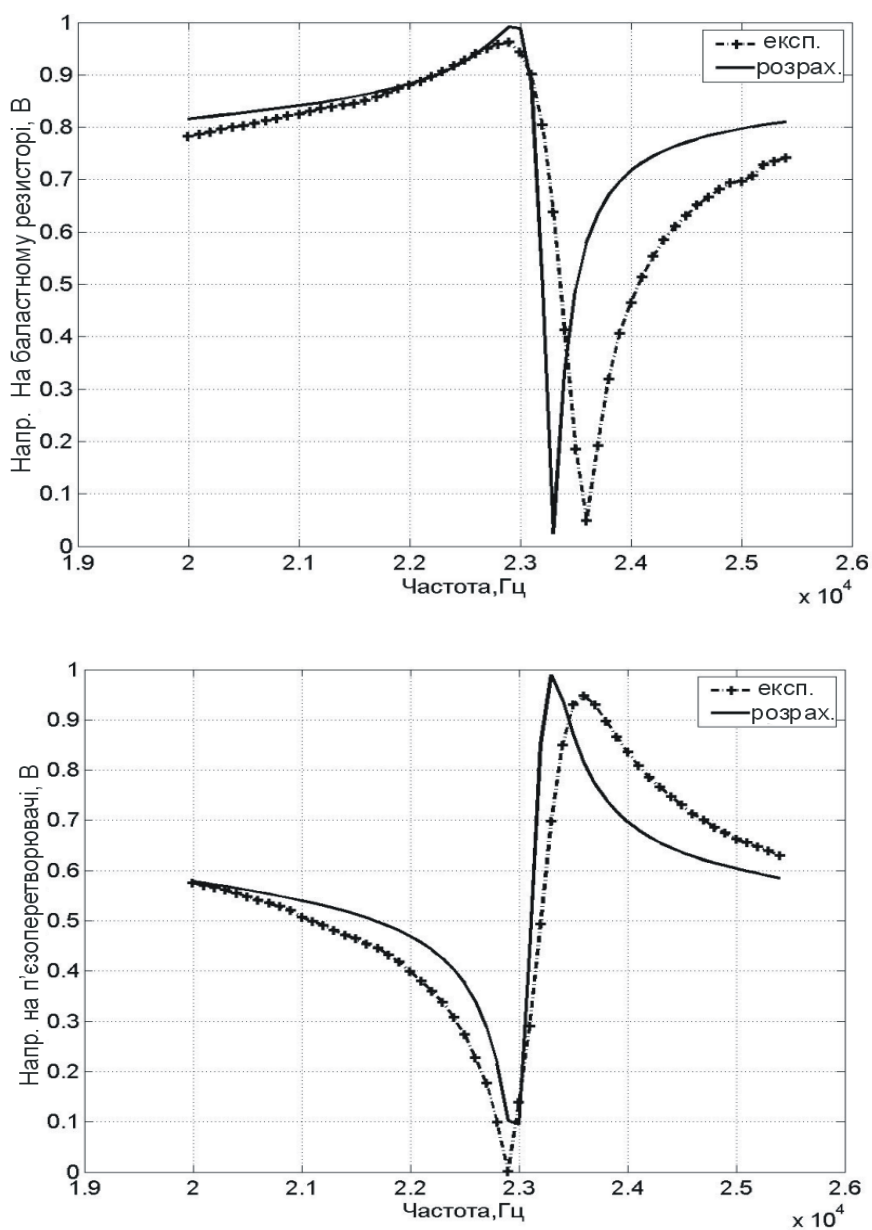


Рис.4. Напряга на баластному резисторі та на перетворювачі з резонансною частотою 22 кГц

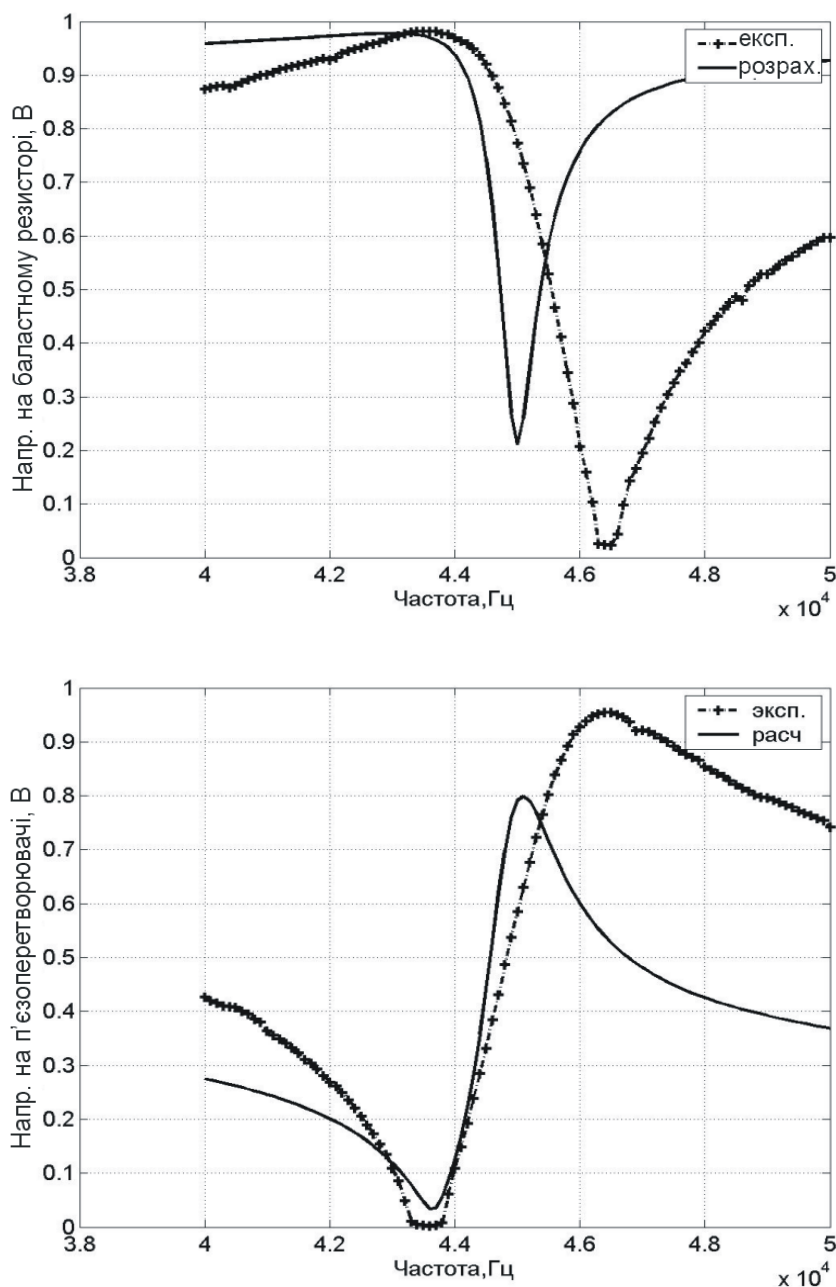


Рис.5. Напряга на баластному резисторі та на перетворювачі з резонансною частотою 44 кГц

Результати вимірювань та розрахунки значень напруг на п'єзоперетворювачі та баластному резисторі для частот 22 та 44 кГц наведені на рис. 4, 5. Як видно, збіг експериментальних та розрахункових значень цілком задовільне. При цьому відносна похибка отриманих результатів для розрахованих та виміряних частот резонансу та антирезонансу не перевищила 3%.

Обговорення результатів

Розбіжність експериментальних та розрахункових значень можна пояснити тим, що вираз (1) для розрахунку резонансних частот еквівалентної схеми, в разі наявності в коливальному контурі втрат, є наближеним, а також має місце не повне виконання умови (5).

Вхідний опір механічної гілки п'єзоперетворювача можна визначити як

$$Z_M = R_M + j\omega L_M + \frac{1}{j\omega C_M}.$$

Вхідну провідність п'єзоперетворювача представимо виразом

$$Y_{BX} = j\omega C_o + Y_M = j\omega C_o + \frac{R_M - j\left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)}{R_M^2 + \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)^2}.$$

Після перетворення, отримаємо

$$Y_{BX} = \frac{R_M}{R_M^2 + \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)^2} + j \frac{\omega C_o \left[R_M^2 - j\left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)^2 \right] - \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)}{R_M^2 + \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)^2}.$$

Електричне коло знаходиться в резонансі, якщо уявна частина вхідної провідності дорівнює нулю:

$$\omega C_o \left[R_M^2 - j\left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right)^2 \right] - \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M}\right) = 0.$$

Перетворення цього виразу дає рівняння

$$\omega C_o R_M^2 + \frac{1}{\omega C_M^2} (\omega^2 L_M C_M - 1) (\omega^2 C_o C_M L_M - C_o - C_M) = 0.$$

Виконавши відповідні перетворення, враховуючи (1), отримаємо

$$\frac{\omega^2 C_M}{\omega_A^2 L_M} R_M^2 - \left(\frac{\omega^2}{\omega_R^2} - 1\right) \left(\frac{\omega^2}{\omega_A^2} - 1\right) = 0.$$

Отриманий вираз показує, що, перший доданок буде вносити різницю між дійсним значенням резонансних частот, та частот, отриманих згідно виразу (1). Після перетворень отримаємо

$$\frac{\omega^2}{\omega_A^2} \frac{1}{Q_M} - \left(\frac{\omega^2}{\omega_R^2} - 1 \right) \left(\frac{\omega^2}{\omega_A^2} - 1 \right) = 0.$$

Значення коренів для точного розрахунку резонансних частот можуть бути записані, як

$$\omega_{1,2} = \sqrt{\frac{-C_O C_M \cdot \left[-2C_O L_M - L_M C_M + C_O C_M R_M \pm \sqrt{C_M (C_O^2 R_M^2 - 4L_M) + C_M L_M (L_M - 2C_O R_M^2)} \right]}{2(C_O C_M L_M)^2}}$$

Отриманий вираз є занадто громіздким для застосування в інженерній практиці, що підтверджує доцільність використання наближених формул.

Висновки.

Наведена спрощена методика вимірювання дозволяє отримати параметри схеми заміщення п'єзоперетворювачів з достатньою достовірністю і може бути рекомендована для використання в інженерній практиці.

Література

1. Основы физики и техники ультразвука: Учебное пособие для вузов. Б.А. Агранат, М.Н. Дубровин, Н.Н. Хавский и др.- М.: Высш. шк., 1987. - 352 с.
2. Редько В.В., Багинский Б.А., Источник питания ультразвуковой технологической установки. // Приборы и техника эксперимента. - 2000. - № 4. - С. 154-157
3. Ленк А. Электромеханические системы: Системы с распределенными параметрами. Пер. с нем. М.: Энергоиздат, 1982. - 472 с.
4. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства автоматики.-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. - 212 с.
5. Мовчанюк А.В. Повышение точности расчета ультразвуковых преобразователей для распыления жидких сред. // Технологія і техніка друкарства. - 2004. №4. - С. 49 - 55
6. Донской А.В., Келлер О.К., Кратиш Г.С. Ультразвуковые электротехнологические установки. // Л.: Энергоиздат, 1982. 208 с.
7. Богданов В.И. Исследование п'єзокерамических преобразователей. Медицинская техника. - 1980. - № 5. - С. 32 - 35.

<p>Мовчанюк А.В., Фесич В.П., Кирпатенко И.Н., Луговской А.Ф., Прилипко Ю.С. Инженерная методика определения параметров схемы замещения пьезопреобразователя Приведена упрощенная методика получения параметров эквивалентной схемы замещения пьезопреобразователя и анализ погрешности приведенной методики.</p>	<p>Movchanuk A.V., Fesich V.P., Kirpatenko I.M., Lugovskoy O.F., Prilipko U.S. Simplify method of equivalent scheme piezoelectric trasducer para-meters This article presents the simplify method of equivalent scheme piezoelectric transducer parameters finding and analyze accuracy of this method</p>
--	---

Надійшла до редакції 27 травня 2006 року