

УДК 534.232.4

В. М. Шарапов, д. т. н., проф.; Р. В. Трембовецька**П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН З П'ЄЗОЕЛЕМЕНТАМИ В СХЕМАХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ФІЛЬТРІВ**

Описано п'єзоелектричні перетворювачі механічних величин з п'єзоелементами в схемах фільтрів режекторних, нижніх та верхніх частот. Отримано передавальну функцію та АЧХ таких перетворювачів.

П'єзоелектричні перетворювачі широко використовуються для вимірювання механічних величин (сили, тиску, маси, кутової швидкості, моменту, деформації тощо) [1, 2].

Метою роботи є дослідження можливості створення перетворювачів механічних величин з п'єзоелементами, що включені в схеми електричних фільтрів (нижніх, верхніх частот, режекторні).

Авторами запропоновані схеми, які дозволяють отримати перетворювачі з амплітудно-частотною характеристикою тих фільтрів, що використовуються як основа [3–7].

Якщо в стандартну схему фільтра замість ємнісних елементів підключити п'єзоелектричні елементи, то в деяких випадках можна отримати перетворювач механічних величин з амплітудно-частотною характеристикою відповідного фільтра.

З'являється можливість розширити смугу робочих частот та зменшити нелінійність АЧХ (для фільтра нижніх частот, режекторного), зменшити частоту зрізу та збільшити смугу пропускання в сторону нижніх частот (для фільтра верхніх частот).

Перетворювач механічних величин з п'єзоелементами в схемі фільтра нижніх частот зображений на рис. 1 [8, 9].

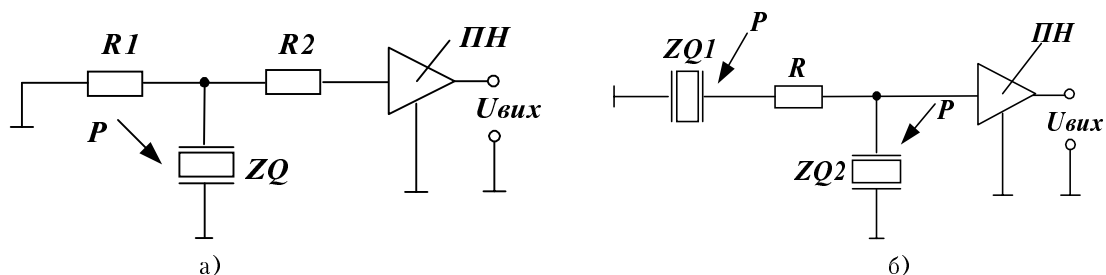


Рис. 1. Перетворювач механічних величин з п'єзоелементами в схемі фільтра нижніх частот: а) Т-подібна схема з'єднання; б) Г-подібна схема з'єднання

Частотна передавальна функція для перетворювача зображеного на рис. 1а має вигляд [10]:

$$W(p) = \frac{a_0 + \frac{p}{\omega_p} a_1 + \frac{p^2}{\omega_p^2} a_2}{b_0 + \frac{p}{\omega_p} b_1 + \frac{p^2}{\omega_p^2} b_2 + \frac{p^3}{\omega_p^3} b_3}, \quad (1)$$

де $a_0, a_1, a_2; b_0, b_1, \dots, b_3$ — коефіцієнти полінома чотириполюсника, які залежать від конструктивних параметрів перетворювача та схеми підключення, мають вигляд

$$a_0 = Z_{\Pi}; \quad a_1 = Z_{\Pi} \omega_p R_M C_M; \quad a_2 = Z_{\Pi} \omega_p^2 C_M L_M;$$

$$\begin{aligned}
 b_0 &= Z_H + R1 + R2; \\
 b_1 &= \omega_p (R_M C_M Z_H + R1 C_M Z_H + R_M C_e Z_H + R1 R_M C_M + R2 R_M C_M + R1 R2 C_e); \\
 b_2 &= \omega_p^2 (C_M L_M Z_H + R1 R_M C_M C_e Z_H + C_M L_M R1 + C_M L_M R2 + R1 R2 R_M C_e C_M); \\
 b_3 &= \omega_p^3 (R1 L_M C_e C_M + R1 R2 L_M C_e C_M).
 \end{aligned}$$

В схемі даного перетворювача використовувався біморфний п'єзоелектричний елемент із п'єзокераміки ЦТС-19 діаметром 27 мм, товщиною 0,2 мм, з металевою пластиною діаметром 30 мм, товщиною 0,2 мм із сталі 40 X, резистори R1 = R2 = 100 Ом, опір навантаження Z_H = 1 МОм. Результати розрахунку АЧХ перетворювача в схемі фільтра нижніх частот рис. 1а показані на рис. 2а.

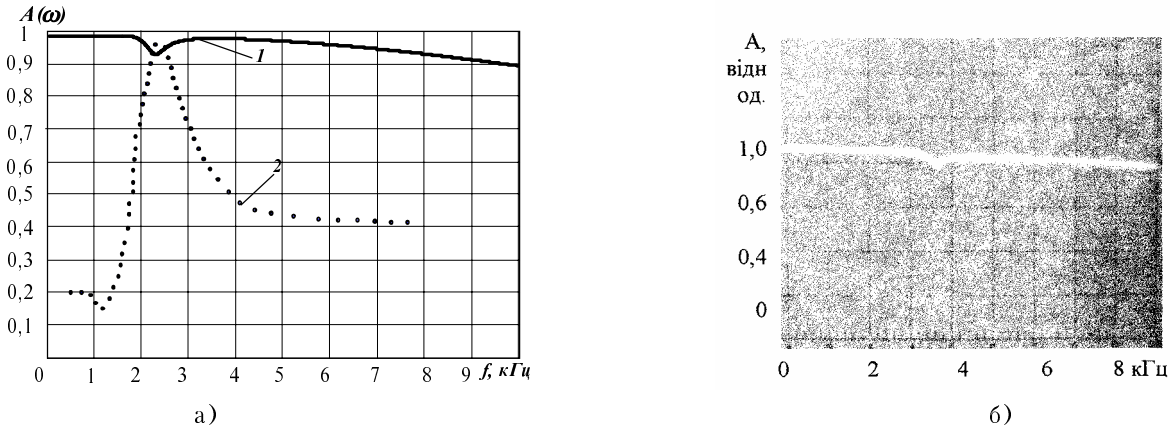


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика: а): 1 – крива запропонованого перетворювача, 2 – крива п'єзоелектричного перетворювача (комп'ютерне моделювання в пакеті MathCAD 2001); б) експериментально отримана АЧХ

Як видно з рис. 2а, б, АЧХ перетворювача в схемі фільтра нижніх частот практично лінійна в достатньо широкому частотному діапазоні.

П'єзоелектричний перетворювач з п'єзоелементами в схемах фільтрів верхніх частот зображений на рис. 3 [11, 12].

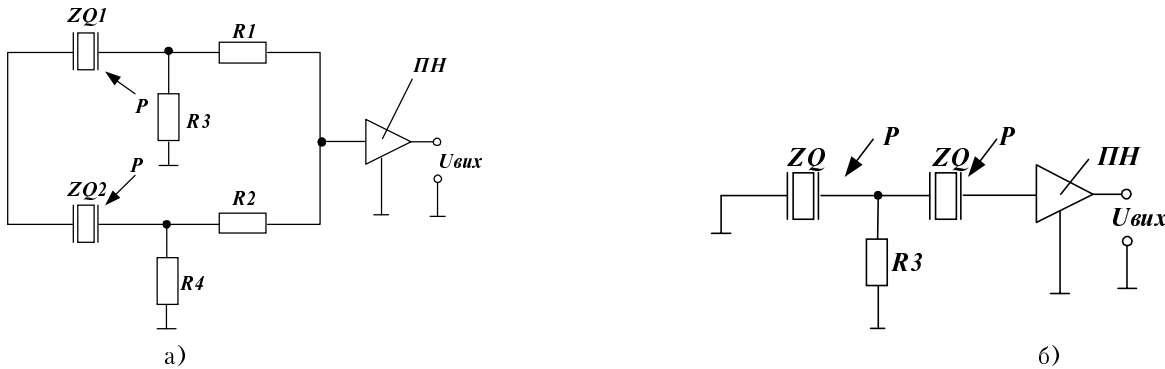


Рис. 3. Перетворювач механічних величин з п'єзоелементами в схемі фільтра верхніх частот: а) подвійна Т-подібна мостова схема з'єднання; б) Т-подібна схема з'єднання

Частотна передавальна функція для перетворювача зображеного на рис. 3а має вигляд:

$$W(p) = \frac{a_0 + \frac{p}{\omega_p} a_1 + \frac{p^2}{\omega_p^2} a_2 + \frac{p^3}{\omega_p^3} a_3}{b_0 + \frac{p}{\omega_p} b_1 + \frac{p^2}{\omega_p^2} b_2 + \frac{p^3}{\omega_p^3} b_3}, \tag{2}$$

де a₀, a₁, ... a₃; b₀, b₁, ... b₃ – коефіцієнти полінома чотириполосника, які залежать від конструктивних параметрів перетворювача та схеми підключення, мають вигляд

$$a_0 = 0; a_1 = -Z_H R_4 \omega_p C_M - Z_H R_4 \omega_p C_e; a_2 = -Z_H R_4 \omega_p^2 C_M R_M C_e;$$

$$a_3 = -Z_H R_4 \omega_p^3 C_M L_M C_e;$$

$$b_0 = 2R_2 + 2R_4 - Z_H;$$

$$b_1 = (C_M + C_e) (2R_2 R_4 \omega_p - Z_H R_4 \omega_p) + 2R_M C_M \times \omega_p (R_2 + R_4) - Z_H R_M \omega_p C_M;$$

$$b_2 = 2\omega_p^2 C_M (R_2 R_4 R_M C_e + L_M \times (R_2 + R_4)) - \omega_p^2 C_M (R_2 R_4 C_e - L_M);$$

$$b_3 = \omega_p^3 C_M L_M C_e R_4 (2R_2 - Z_H).$$

В схемі даного перетворювача використовувався біморфний п'єзоелектричний елемент із п'єзокераміки ЦТС-19 діаметром 27 мм, товщиною 0,2 мм, з металевою пластиною діаметром 30 мм, товщиною 0,2 мм із сталі 40Х, резистори $R_1 = R_2 = 1$ кОм, $R_3 = R_4 = 1$ кОм, опір навантаження $Z_H = 1$ МОм. Результати розрахунку АЧХ перетворювача в схемі фільтра нижніх частот рис. За показані на рис. 4а.

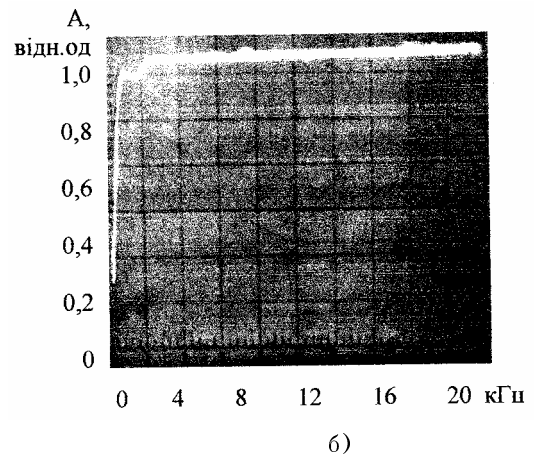
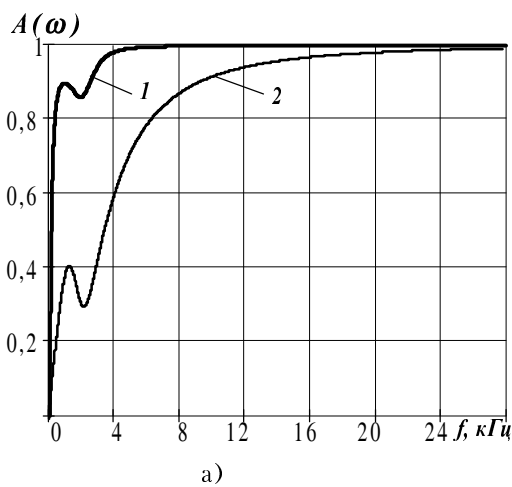


Рис. 4. Амплітудно-частотна характеристика: а) 1 – для $R = 10$ кОм, 2 – для $R = 1$ кОм (комп'ютерне моделювання в пакеті MathCAD 2001); б) експериментально отримана АЧХ

Як видно із рис. 4а, б, АЧХ перетворювача в схемі фільтра верхніх частот практично лінійна в достатньо широкому частотному діапазоні.

П'єзоелектричний перетворювач з п'єзоелементами в схемі режекторного фільтра зображений на рис. 5 [13].

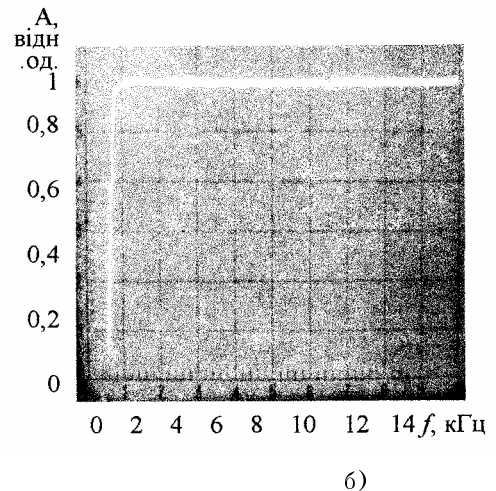
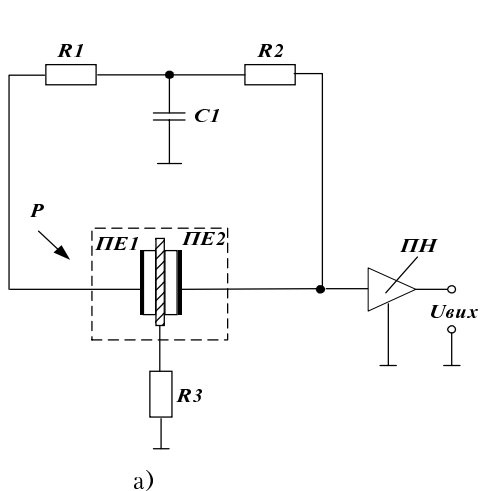


Рис. 5. Перетворювач механічних величин з триморфним п'єзоелементом в схемі режекторного фільтра: а) подвійна Т-подібна мостова схема з'єднання; б) експериментально отримана АЧХ

В даному перетворювачі використовувався триморфний п'єзоелектричний елемент із п'єзокераміки ЦТС – 19 діаметром 27 мм, товщиною 0,2 мм, з металевою пластиною ді-

метром 30 мм, товщиною 0,2 мм із сталі 40Х, резистори $R_1 = R_2 = R_3 = 100$ кОм, опір навантаження $Z_H = 1$ МОм.

Як видно з рис. 5б, АЧХ перетворювача в схемі режекторного фільтра практично лінійна в достатньо широкому частотному діапазоні.

Для експериментального дослідження використовувався електроакустичний перетворювач ЗП-19. Перетворювач (за схемою рис. 1а; рис. 3а; рис. 5а) встановлювався в акустичну камеру, в якій створювався звуковий тиск 10 Па (114 дБ) на частотах від 20 Гц до 20000 Гц.

Вимірювання АЧХ виконувалось за допомогою вимірювача АЧХ Х1-46, мілівольтметра В7-38 та частотоміра ЧЗ-57. Фотографування виконувалось цифровою камерою Canon Power Shot G2.

Висновки

1. Розроблені перетворювачі механічних величин з п'єзоелементами в схемах режекторних фільтрів, нижніх та верхніх частот.

2. Амплітудно-частотні характеристики перетворювачів лінійні в достатньо широкому частотному діапазоні, що дозволяє використовувати їх для вимірювання механічних величин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П. В. Новицкого. — Л.: Энергия, 1975. — 576 с.
2. Пьезоэлектрические преобразователи: Справочное пособие / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ю. Ю. Бондаренко, и др.; // Под ред. В. М.Шарапова. — Черкассы: ЧГТУ, 2004. — 435 с.
3. Пат. 2004093735 Україна. Фільтр нижніх частот / В. М.Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 20.09.04.
4. Пат. 2004093736 Україна. Фільтр нижніх частот / В. М.Шарапов, Р. В. Трембовецька, та ін. Заявл. 20.09.04.
5. Пат. 2004093912 Україна. Фільтр верхніх частот / В. М.Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 20.09.2004.
6. Пат. 2004093913 Україна. Фільтр верхніх частот / В. М.Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 20.09.2004.
7. Пат. 2004093713 Україна. Режекторний фільтр / В. М. Шарапов, Р. В. Трембовецька, Мусієнко М. П Заявл. 20.09.2004.
8. Пат. 2004094125 Україна. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин. / В. М. Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 27.09.2004.
9. Пат. 2004094126 Україна. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин. / В. М. Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 27.09.2004.
10. В. М.Шарапов, Р. В.Трембовецька, и др. Пьезоэлектрический преобразователь механических величин с пьезоэлементом в схеме фильтра нижних частот // Вісник Черкаського державного технологічного університету. — 2005. — №1.
11. Пат. 2004054135 Україна. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин. /В. М. Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 27.09.2004.
12. Пат. 2004054136 Україна. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин. / В. М. Шарапов, Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 27.09.2004.
13. Пат. 2004094125 Україна. П'єзоелектричний перетворювач механічних величин. / В. М. Шарапов, Мусієнко М. П., Р. В. Трембовецька та ін. Заявл. 27.09.2004.
14. Островский Л. А. Основы общей теории электроизмерительных устройств. — Л.: Энергия, 1971. — 544 с.
15. Басаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» — М.: Высш. шк., 1988. — 448 с.

Рекомендована кафедрою електроніки

Надійшла до редакції 17.03.05
Рекомендована до друку 17.04.05

Шарапов Валерій Михайлович — завідувач кафедри; **Трембовецька Руслана Володимирівна** — старший викладач.

Кафедра комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаський державний технологічний університет