

## РОЗРАХУНОК АКТИВНИХ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ФІЛЬТРІВ НА ОСНОВІ БАЗОВОГО НАБОРУ ПРОСТИХ ЛАНОК

*У статті розглядаються нові принципи та підходи до розробки систем з використанням високо-вибіркових частотних фільтрів в приладобудуванні. При проектуванні і розробці систем зв'язку, радіозв'язку, радіолокації, систем телеметрії, автоматичного контролю і управління, а також в приладобудуванні пропонується використання високо-вибіркових частотних фільтрів зі стабільними характеристиками. найкращим технічним рішенням у таких випадках є реалізація аналогічних пристроїв на базі активних п'єзоелектричних фільтрів. Так, наприклад, існує проблема використання мініатюрних резонаторів камертонового типу. Високе значення їх динамічної індуктивності не дозволяє застосовувати останніх в пасивних схемах. Для побудови складних фільтрів, пропонується застосовувати каскадно-розв'язане включення ланок активних п'єзоелектричних фільтрів.*

*Ключові слова: активні п'єзоелектричні фільтри, п'єзоелектричний резонатор, інформаційно-вимірвальна система, передаюча функція*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** При проектуванні і розробці систем зв'язку, радіозв'язку, радіолокації, систем телеметрії, автоматичного контролю і управління, а також в приладобудуванні актуальним завданням є синтез високо-вибіркових частотних фільтрів зі стабільними характеристиками. І найбільш вдалим технічним рішенням у таких випадках є реалізація подібних пристроїв на базі активних п'єзоелектричних фільтрів [1, 2, 3], оскільки вони дозволяють не тільки значно поліпшити масо габаритні і інші техніко-економічні характеристики пристроїв, але і спростити технологію їх виготовлення, вирішити питання узгодження, а також поєднують в собі функції селекції і посилення. Використання активних схем п'єзоелектричних фільтрів дозволяє розширити номенклатуру використовуваних резонаторів, наприклад, мініатюрних резонаторів камертонового типу, високе значення динамічної індуктивності яких не дозволяє застосовувати їх в пасивних схемах [2, 12, 13].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш поширеним підходом при побудові схем активних п'єзоелектричних фільтрів є застосування активних аналогів мостових схем, побудованих на базі операційних підсилювачів [2, 3], оскільки в порівнянні з іншими варіантами вони дозволяють забезпечити найбільш високу стабільність параметрів, зокрема коефіцієнта посилення, і простіше вирішити питання узгодження [2, 14, 15].

**Метою роботи** є проведення аналізу способів розрахунків активних п'єзоелектричних фільтрів на основі базового набору простих ланок.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови активних еквівалентів по передавальній функції  $T(p)$  ( $p=j\omega$ ) пасивної мостової схеми широко використовується модель, заснована на її розкладанні на суму двох позитивних дійсних функцій. У цьому випадку схема ланки фільтра являє собою два чотириполіусника, входи яких з'єднані паралельно, а виходи підключені до суматору (схемою віднімання), реалізованому на операційному підсилювачі [2, 3], при цьому для простоти розрахунку і настройки кожна секція (чотириполіусник), який реалізує дійсні позитивні функції містить не більше одного п'єзоелектричного резонатора. Деякі з варіантів таких схем наведені на рис. 1. [10, 11].

Для побудови складних фільтрів, при такому підході, будемо застосовувати каскадно-розв'язане включення ланок, а передавальна функція такого фільтру представляється у вигляді:

$$T(p) = \prod_{i=1}^q T_i(p), \quad (1)$$

де  $T_i(p)$  – передаточна функція  $i$ -ї ланки,  $q$  – кількість ланок, що визначається технічними вимогами до характеристик фільтра.

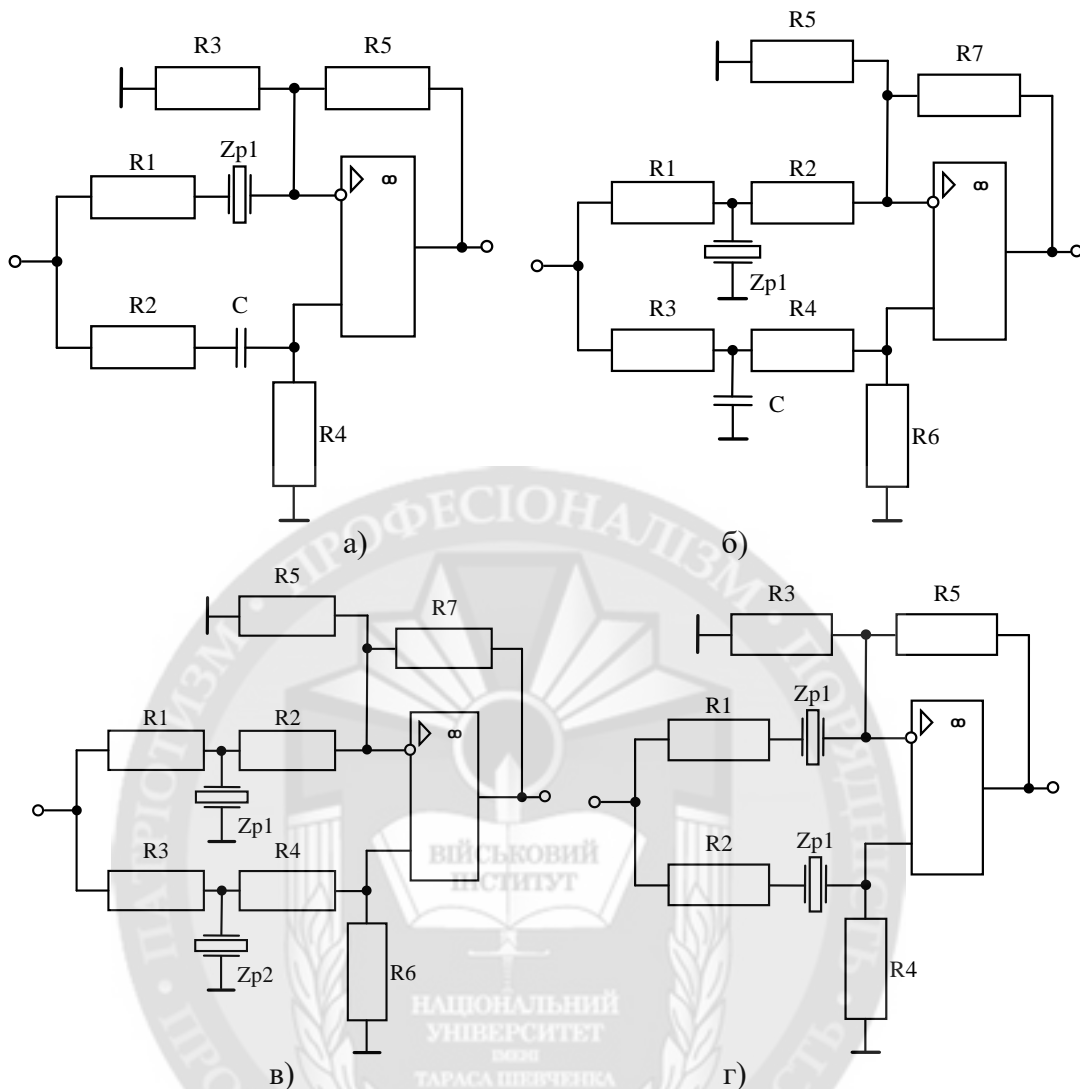


Рис. 1. Схеми для реалізації узкополосних активних пьезоелектрических фільтрів

Зазначений набір ланок може бути використаний в якості базового набору схемних рішень при створенні системи автоматичного проектування (САПР) вузькосмугових активних п'єзоелектричний фільтрів. Перший етап процедури синтезу: рішення задачі апроксимації характеристик фільтра, тобто конструювання передавальної функції виду (1) із застосуванням методів оптимізації розглядалося в [4, 14, 15].

Побудова кінцевої схеми фільтра і розрахунок її елементів пов'язаний зі структурою передавальної функції ланок, які закладаються в певний базовий набір використовуваних схемних рішень.

Наприклад, для ланок рис.1, а, б з передаточною функцією у вигляді:

$$T(p) = \frac{p(x_4 - x_1)(p^2 + \omega_0^2)}{(p^3 x_4 + p^2 + p x_3 + x_2)(p x_1 + 1)}$$

елементи схеми пов'язані з коефіцієнтами  $T(p)$  наступними співвідношеннями:

параметри еквівалентної схеми заміщення резонатору [4, 14, 15]:

динамічна ємність  $C_s = 1/L_s x_2$  (динамічна індуктивність  $L_s$  задається, виходячи з властивостей п'єзоматеріалу),

статична ємність  $C_p = x_2 x_4 C_s / (x_3 - x_2 x_4)$ ,  $C = x_1 / R_H$ , где  $R_H = x_4 / C_p$ .

Для схеми рис. 1, а:  $R1 = R_H$ ,  $R2 + R4 = R_H$ ,  $R5 = R_H$ ,  $R3 = R5 R4 / (R5 - R4)$ .

Для схеми рис.1,б:  $R1 = R2 = 2R_H$ ,  $R3 = R4 + R6 = 2R_H$ ,  $R7 = 4R_H$ ,  $R5 = R7 R6 / (R7 - R6)$ .

Для ланок с двома резонаторами рис. 1, в, г, передаточна функція котрих має вигляд:

$$T(p) = \frac{p(x_6 - x_3)(p^2 + \omega_{\infty 1}^2)(p^2 + \omega_{\infty 2}^2)}{(p^3 x_6 + p^2 + p x_5 + x_4)(p^3 x_3 + p^2 + p x_2 + x_1)}$$

елементи схеми розраховуються по співвідношенням:

– параметри першого резонатора:

$$C_{s1} = 1 / L_{s1} x_1,$$

де  $L_{s1}$  задається,

$$C_{p1} = x_1 x_3 C_{s1} / (x_3 - x_1 x_3), R_H = x_3 / C_{p1};$$

– параметри другого резонатора:

$$C_{p2} = x_6 / R_H, C_{s2} = x_5 C_{p2} / x_6 x_4 - C_{p2}, L_{s2} = 1 / C_{s2}.$$

Резистивні елементи для ланок рис.1, в, г розраховуються так само, як і для елементів ланок рис. 1, а, б, відповідно.

Метод конструювання передавальної функції виду (1) з [4] і наведені вище схеми базового набору, а також співвідношення для розрахунку їх елементів можуть бути основою для розробки САПР вузько смугових активних п'єзоелектричний фільтрів, аналогічної описаної в [5] для розрахунку активних RC- фільтрів.

**Висновки.** Метод конструювання передавальної функції виду (1) з [4] і наведені вище схеми базового набору, а також співвідношення для розрахунку їх елементів можуть бути основою для розробки САПР вузько смугових активних п'єзоелектричний фільтрів, аналогічної описаної в [5] для розрахунку активних RC- фільтрів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тюменцев А, Современные частотные фильтры / И. Ясинский, А. Яковлев // Современная электроника. – 2011. – № 8. – С. 26-27.
2. Зазерин А. И. Активные фильтры на тонкопленочных пьезоэлектрических резонаторах: Автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.27.01/ А.И. Зазерин ; КПИ. – Киев, 2016. – 20 с.
3. Ергиев Г.Н. Узкополосный двухзвенный активный пьезоэлектрический RC-фильтр / Г. Н. Ергиев, А.М. Иваницкий // Электросвязь. – 1986. – № 6. – С. 57-59.
4. Ергиев Г.Н. Синтез активных RC-фильтров с пьезоэлектрическими резонаторами [Текст] // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2016. – №2(9). – С. 31-35. – ISSN 2412-5288.
5. Златин И. Синтез аналоговых активных и пассивных фильтров в Micro-Cap 8 / И. Златин // Компоненты и технологии. – 2006. – № 1. – С. 120-124.
6. Ергиев Г.Н., Расчет активных пьезоэлектрических фильтров для систем автоматического контроля и управления / Ергиев Г.Н., Лещенко О.И. // II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», Криворізький національний університет. Кривий Ріг 2017. – С. 57 – 289.
7. Zazerin A. Filter realization technique based on gyrator-resonator circuit replacement / A. Zazerin, A. Orlov, O. Bogdan // Proceedings of the 2016 IEEE 36 th International Scientific Conference "Electronics and nanotechnology" (ELNANO-2016). – Kyiv: IEEE, pp 358-361.
8. Multivectorial differential transformers of vibration of the informative measuring system / Leshchenko O.I., Banzak O.V., Zborovska I.A., Sadkovska I.I. Collection of scientific works OSATRQ 2(5). Odessa. 2014. P. 84 - 88.
9. E. Pritulyak "Features of definition parameters of vibration" KONFERENCJA STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH Pionu Hutniczego Materiały konferencyjne Kraków, 11.05.2017, -288, 293

10. Величко О.М, Коломієць Л.В, Гордієнко Т.Б. Оцінювання результатів вимірювань; основи і нормативне забезпечення; Підручник, Одеса, ВМВ, 2010.
11. Грановский В.А; Сирая Т.С. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л., Энергоатом издат, 1990.
12. Sansen W. Distortion in elementary transistor circuits. // IEEE Trans, on circuit and systems. 1999.-v.46., №3.-P.315-325.
13. Smith D., Koen M. and Witulski A.F. Evolution of high-speed operational architectures. //IEEE J. of Solid-State Circuits. 1996. - v.31., №1. - P.1 166-1179.
14. Wambacq P., Gielen G.G.E., Kinget P.R., Sansen W. High-frequency distortion analysis of analog integrated circuits. // IEEE Trans, on circuits and systems. 1999. -v.46., №3. - P.335-345.231
15. Малахов В.П., Схемотехніка аналогових пристроїв. Підручник. Одеса: Астропринт, 2000. – 212 с.

#### REFERENCES:

1. Tyumentsev A, Modern frequency filters / I. Yasinsky, A. Yakovlev // Modern electronics. – 2011. – № 8. – P. 26-27.
2. Zazerin A. I. Active filters on thin-film piezoelectric resonators: Author's abstract. dis. ... cand. those. science: 05.27.01/ A.I. Zazerin; KPI. – Kiev, 2016. – 20 p.
3. Ergiev G.N. Narrow-band active two-link piezoelectric RC filter / G.N. Ergiev, A.M. Ivanitsky // Telecommunications. – 1986. – № 6. – P. 57-59.
- 4 Ergiev G.N. Synthesis of active RC filters with piezoelectric resonators [Text] // Collection of scientific works OSATRO. Odessa. – 2016. – №2(9). – P. 31-35. – ISSN 2412-5288.
5. Zlatin I. Synthesis of analog active and passive filters in Micro-Cap 8 / I. Zlatin // Components and technologies. – 2006. – № 1. – P. 120-124.
6. Ergiev G.N. Calculation of active piezoelectric filters for automatic control and control systems / Ergiev GN, Leshchenko OI // II International scientific and technical Internet conference « Innovative development of the mining industry», Krivoy Rog National University. Kriviy Rig 2017. – P. 57 – 289.
7. Zazerin A. Filter realization technique based on gyrator-resonator circuit replacement / A. Zazerin, A. Orlov, O. Bogdan // Proceedings of the 2016 IEEE 36 th International Scientific Conference “Electronics and nanotechnology” (ELNANO-2016). – Kyiv: IEEE, pp 358-361.
8. O. I. Leshchenko, Multivectorial differential transformers of vibration of the informative measuring system / Leshchenko O.I., Banzak O.V., Zborovska I.A., Sadkovska I.I. Collection of scientific works OSATRO. Odessa, 2014. P. 84 - 88.
9. E. Pritulyak "Features of definition parameters of vibration" KONFERENCJA STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH Pionu Hutniczego Materiały konferencyjne Kraków, 11.05.2017, -288, 293
10. Velihko O.M, Kolomiez L.V, Gordienko T.B. Ozinuvannya rezultativ vimiruvan; osnovi i normativne zabezpehennia; Pidruhnik, Odessa, BMV, 2010.
11. Granovskiy B.A; Siraya T.S. Metodi obrabotki eksperimentalnih dannih pri izmereniyah. L., Energoatom izdat, 1990.
12. Sansen W. Distortion in elementary transistor circuits. // IEEE Trans, on circuit and systems. 1999.-v.46., №3.-P.315-325.
13. Smith D., Koen M. and Witulski A.F. Evolution of high-speed operational architectures. //IEEE J. of Solid-State Circuits. 1996. - v.31., №1. - P.1 166-1179.
14. Wambacq P., Gielen G.G.E., Kinget P.R., Sansen W. High-frequency distortion analysis of analog integrated circuits. // IEEE Trans, on circuits and systems. 1999. -v.46., №3. - P.335-345.231
15. Malahov V.P., Schematics of analog devices. Textbook. Odessa: Astroprint, 2000. – 212 p.

**Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В.,** головний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., доц. Лещенко О.И., к.т.н., доц. Ергиев Г.Н., д.т.н., доц. Банзак О.В., Кудряшов В.А.  
**РАСЧЕТ АКТИВНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ  
БАЗОВОГО НАБОРА ПРОСТЫХ ЗВЕНЬЕВ**

*В статье рассматриваются новые принципы и подходы к разработке систем с использованием высокоизбирательных частотных фильтров в приборостроении. При проектировании и разработке систем связи, радиосвязи, радиолокации, систем телеметрии, автоматического контроля и управления, а также в приборостроении предлагается использование высокоизбирательных частотных фильтров со стабильными характеристиками. Лучшим техническим решением в таких случаях является реализация аналогичных устройств на базе активных пьезоэлектрических фильтров. Так, например, существует проблема использования миниатюрных резонаторов камертонного типа. Высокое значение их динамической индуктивности не позволяет применение последних в пассивных схемах. Для построения сложных фильтров, предлагается применять каскадно-развязанное включение звеньев активных пьезоэлектрических фильтров.*

*Ключевые слова: активные пьезоэлектрические фильтры, пьезоэлектрический резонатор, информационно-измерительная система, передаточная функция.*

Ph.D. Leshchenko O.I., Ph.D. Yergiev G.N., Sc. D, Banzak O.V., Kudryashov V.A.  
**CALCULATION OF ACTIVE PIEZOELECTRIC FILTERS BASED ON THE BASIC  
COLLECTION OF SIMPLE LIGHTS**

*The article considers new principles and approaches to the development of systems using highly selective frequency filters in instrument making. When designing and developing communication systems, radio communications, radar systems, telemetry systems, automatic monitoring and control, as well as in instrument making, it is proposed to use highly selective frequency filters with stable characteristics. The best technical solution in such cases is the implementation of similar devices based on active piezoelectric filters. For example, there is the problem of using tuning-type miniature resonators. The high value of their dynamic inductance prevents the use of the latter in passive circuits. To construct complex filters, it is proposed to use a cascade-unbundled inclusion of units of active piezoelectric filters.*

*Keywords: active piezoelectric filters, piezoelectric resonator, information measuring system, transfer function.*