

АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ

ACOUSTOELECTRONIC SENSORS

PACS: 43.60.Vx, 68.60.Bs

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.3.339800>РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ПЕРЕНАЛАГОДЖУВАННЯ ЧАСТОТИ
ПРИСТРОЇВ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХЯ. І. Леніх, <https://orcid.org/0000-0001-6769-835X>

Науково-дослідний інститут фізики
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
вул. Змієнка Всеволода, 2, м. Одеса, 65082, Україна
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Анотація. У статті описано спосіб розширення діапазону переналагоджування робочої частоти пристрою на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). У пристрої на ПАХ із звукопроводом з монокристалічного п'єзоелектрика і діелектричною пластиною зі двома зустрічно-штирьовими перетворювачами (ЗШП) на основі кутової залежності фазової швидкості поширення від зміни взаємного кутового положення по відношенню до кристалографічної осі основних елементів пристрою значно розширюється діапазон переналагоджування його робочої частоти шляхом введення додатково ще однієї системи ЗШП, оптоелектронної пари і комутуючої шторки.

Використання запропонованого способу дозволяє суттєво (в ~ 2 рази) збільшити діапазон переналагоджування частоти пристроїв на ПАХ в порівнянні з аналогами, що дуже важливо, зокрема, для радарів.

Ключові слова: поверхневі акустичні хвилі, переналагоджування частоти, п'єзозвукопровід, оптоелектронна пара

Вступ

Збільшення діапазону переналагоджування робочої частоти пристроїв, що використовуються в радіотехніці і приладобудуванні є актуальною задачею [1-4]. Існують різні способи переналагоджування частоти і їх конструктивно-технологічна реалізація, яка базується на різних фізичних принципах. Підвищені вимоги до технічних характеристик і в першу чергу по розширенню діапазону переналагоджування робочої частоти стимулюють пошук нових функціональних матеріалів, перспективних фізичних принципів і ефективних конструк-

тивно-технологічних рішень. Саме такий підхід до вирішення проблеми застосований нами в даній роботі на базі опто-акустоелектронного принципу роботи пристрою з переналагоджуваною робочою частотою.

Аналіз сучасних рішень

Відомий спосіб переналагоджування робочої частоти, який використовується у пристрої на ПАХ [5], що містить п'єзоелектричний звукопровід з нанесеними на нього одним вхідним, двома вихідними зустрічно-штирьовими перетворювачами (ЗШП) і багатосмуговий

спрямовуючий розгалужувач, розташований між вхідним і вихідними ЗШП, по обох сторонах якого нанесені електроди, а переналагоджування частоти здійснюється зміною постійної електричної напруги на електродах, що керують частотою. Недоліком даного способу є малий діапазон переналагоджування, необхідність додаткового джерела високої напруги, складність конструкції в цілому.

В іншому пристрої на ПАХ, що переналагоджується [6], є п'єзоелектрична підкладка з розташованими на її поверхні в одному акустичному каналі основним і додатковими вхідними та одним вихідним ЗШП, основними і додатковими відбиваючими структурами зі змінним періодом розташування складових їх неоднорідностей і фотопровідним шаром, а керування частотою здійснюється розташуванням над ними джерелом освітлення і системою керування джерелом освітлення.

Недоліком даного способу переналагоджування частоти у пристрої на ПАХ є незначний, що становить соту частку відсотка, діапазон переналагоджування робочої частоти, а також складність технології реалізації, громіздкість конструкції і певні енергетичні втрати.

Найбільш ефективним з відомих технічних рішень за результатом, що досягається, є спосіб [7], застосований у пристрої на ПАХ з переналагоджуваною частотою, який полягає у тому, що переналагоджування здійснюється шляхом зміни орієнтації площини зрізу п'єзоелектричного звукопровода (пластини) з монокристалічного матеріалу шляхом повороту його відносно осі системи ЗШП, нанесених на діелектричну пластину (підкладку). При цьому зміна робочої частоти відбувається внаслідок залежності швидкості поширення ПАХ від кута між віссю системи ЗШП і кристалографічною віссю монокристалічного п'єзоелектричного звукопровода.

Однак, хоча даний спосіб переналагоджування має переваги перед вище вказаними, він має незначно збільшений діапазон переналагоджування робочої частоти, що знаходиться в межах десятка відсотків, оскільки при переналагоджуванні використовується лише одна по-

ловина характеристики залежності швидкості поширення ПАХ від кута повороту (рис. 1, ліва частина характеристики – Л).

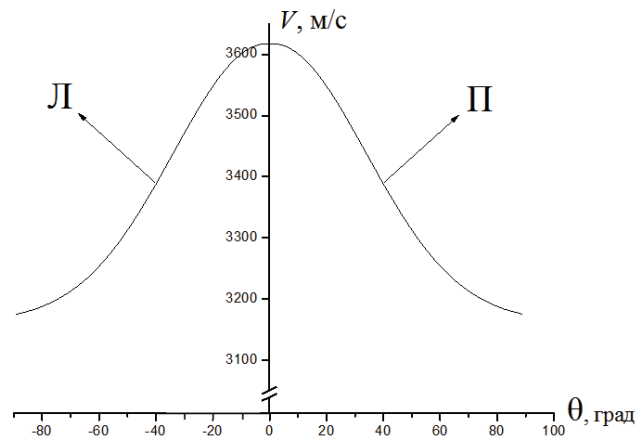


Рис. 1. Графік залежності фазової швидкості ПАХ Релея від кута між хвильовим вектором і кристалографічною віссю для SiO_2 ST-зрізу.

Нами запропоновано і досліджено спосіб переналагоджування частоти в суттєво збільшеному діапазоні, що базується на оптико-акустоелектронному принципі.

У пристрої на ПАХ (рис. 2), який містить звукопровід 4 з монокристалічного п'єзоелектрика і діелектричну пластину 1 з двома ЗШП 2,3 здійснюється використанням повної характеристики кутової залежності швидкості поширення ПАХ у монокристалічному звукопроводі лівої і правої частини кривої (рис. 1 Л+П) і шляхом зміни взаємного положення (повороту) основних елементів пристрою і додаткового введення ще однієї системи ЗШП, оптикоелектронної пари (світлодіод – фотодіод 6) і комутуючої шторки 5 зі світлонепроникного матеріалу закріпленого на п'єзозвукопроводі, які забезпечують плавний перехід з лівої частини амплітудно-частотної характеристики на праву.

Оптикоелектронна пара встановлюється на тій же основі, що і діелектрична пластину з системами ЗШП таким чином, що оптичний центр оптикоелектронної пари знаходиться на центральній осі другої системи ЗШП, а шторка закріплена на п'єзозвукопроводі таким чином, що край шторки співпадає з кристалографічною віссю п'єзозвукопровода.

На рис. 2 схематично показана конструкція пристрою, яким реалізується запропонований спосіб, через зміну взаємного розташування (повороту) звукопроводу і діелектричної пластини з системою ЗШП у процесі переналагоджування робочої частоти пристрою [8].

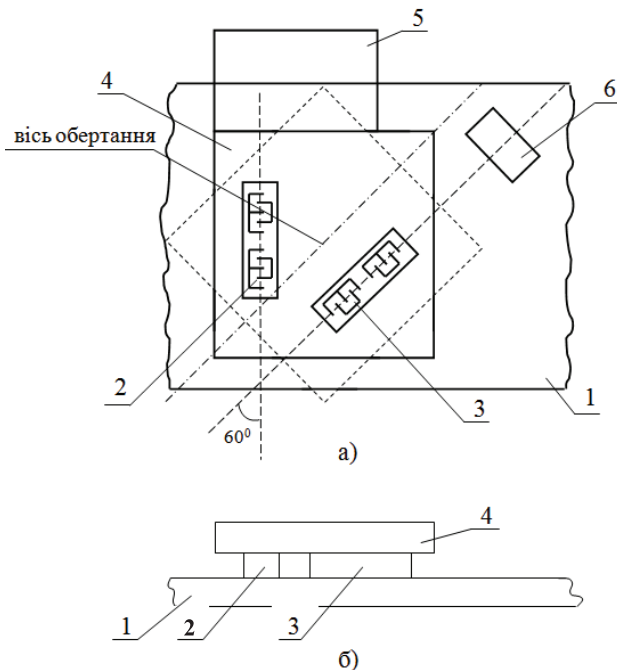


Рис. 2. Схематична конструкція пристрою.

1 – плата; 2 – ЗШП1; 3 – ЗШП2;

4 – п'єзозвуковод; 5 – шторка; 6 – оптопара.

Пристрій працює наступним чином. При подачі на вхідний ЗШП змінного електричного сигналу на ньому утвориться змінне електричне поле, яке через повітряний зазор між ЗШП і звуководом збуджує поверхневу акустичну хвилю в звуководі, яка поширюється в ньому і досягає вихідного ЗШП. Внаслідок зворотнього п'єзоефекту ПАХ перетворюється вихідним ЗШП в електричний сигнал.

При повороті п'єзозвукопровода резонансна частота ЗШП 1 змінюється від $f_{\min 1}$ до $f_{\max 1}$, а при куті повороту, що співпадає з центральною віссю ЗШП 2, змінюється резонансна частота ЗШП від $f_{\min 2}$ до $f_{\max 2}$.

Оптоелектронна пара і шторка служать для переключення сигналу, отриманого від ЗШП 1, на ЗШП 2 при досягненні положення системи, зорієнтованої по вісі п'єзозвуко-

провода таким чином, щоб забезпечити неперервність зміни частоти при переході з однієї – лівої (рис. 1Л) частини характеристики кутової залежності на другу – (рис. 1П), тим самим забезпечивши розширення діапазону переналагоджування пристрою на ПАХ приблизно у 2 рази.

Оскільки монокристалічні п'єзоелектрики мають анізотропію швидкості ПАХ, то при зміні орієнтації звукопроводу відносно поздовжньої осі діелектричної пластини 3 із системою ЗШП (відповідно – кристалографічної осі п'єзоелектрика) буде змінюватися і значення робочої частоти пристрою. Значення робочої частоти пристрою на ПАХ визначається за формулою:

$$f_p = v_i / \lambda = v_i / 2t,$$

де λ – довжина ПАХ;

$v_i = F(\alpha)$ – швидкість ПАХ, що залежить від кута α між поздовжньою віссю системи ЗШП і кристалографічною віссю певного зрізу монокристалічного звукопровода;

$t = \lambda/2$ – період розстановки штирів ЗШП.

При незмінному періоді розстановки на пластині штирів ЗШП t , f_p визначається значенням v_i .

Вибір п'єзоелектричного матеріалу визначається заданими вимогами на пристрій.

Нами досліджувався пристрій на ПАХ із переналагоджуваною частотою, на основі звукопроводу з п'єзокварцу Y – зрізу [4]. Діелектрична пластинка виконана з плавленого кварцу, а ЗШП із системи металів V-Cu-Ni. Діапазон переналагоджування робочої частоти даного пристрою склав більше 10%, що суттєво більше ніж у аналогів.

Висновки

Запропонований спосіб розширення діапазону переналагоджування робочої частоти на основі опто-акустоелектронного принципу має суттєві переваги перед аналогами, в першу чергу за діапазоном переналагоджування понад 10% від центральної частоти, а також відносно просте конструктивне рішення, в основі якого є стандартні технологічні операції.

Список використаної літератури

- [1]. Lepikh Ya. I., Hordiienko Yu. O., Dziadevych S. V., Druzhynyn A. O., Yevtukh A. A., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Romanov V. O. Stvorennia mikroelektronnykh datchykyv novoho pokolinnia dlia intelektualnykh system // Monohraf. za redakts. Ya. I. Lepikha. – Odesa. – Astroprint. ISBN 978-966-190-310-3. – 2010. – 289 s. [in Ukrainian].
- [2]. Y. I. Lepikh. Frequency dependences of signal insertion losses in devices on SAW with piezoelectric acoustic duct. 2016 8th International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS), Odessa, Ukraine, 2016, pp. 187-189, doi: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724184.
- [3]. Y. I. Lepikh. Devices on SAW with controlled characteristics. Sensor Electronics and Microsystem Technologies. 2019 – Vol. 16, No. 2.-pp. 43-52. DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2019.2.171238>
- [4]. V. V. Yanko, Y. I. Lepikh, V. I. Santoniy, L. M. Budianskaya. Method of expanding the dynamic range of measuring signals optical locators. Sensor Electronics and Microsystem Technologies. 2021 – Vol. 18, No. 3, pp. 64-75. DOI 10.18524/1815-7459.2021.3.241081.
- [5]. Avtorske svidotstvo SRSR No. 915225, kl.N 03 N 9/145. [in Ukrainian].
- [6]. Avtorske svidotstvo SRSR No. 875591, kl.N 03 N 9/94,1981. [in Ukrainian].
- [7]. Patent Ukrainy No. 95526, kl.N 03 N 9145, 2011. [in Ukrainian].
- [8]. Patent Ukrainy No. 129870, N 03N9/145, 2025, <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1872747/>. [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 11.09.2025 р.

PACS: 43.60.Vx, 68.60.Bs

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.3.339800>

EXPANDING THE FREQUENCY TUNING RANGE OF SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES

Ya. I. Lepikh, <https://orcid.org/0000-0001-6769-835X>

Research Institute of Physics of Odesa I. I. Mechnikov National University
2 Zmiiienka Vsevoloda St, Odesa, 65082, Ukraine
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Abstract. The article describes a method for expanding the operating frequency tuning range of a surface acoustic wave (SAW) device. In a SAW device with a sound guide made of a monocrystalline piezoelectric and a dielectric plate with two interdigital transducers, the tuning range of its operating frequency is significantly expanded. This is based on the angular dependence of the phase velocity of propagation on changes in the mutual angular position relative to the crystallographic axis of the main elements of the device. This is achieved by additionally introducing another IDT system, an optoelectronic pair, and a switching shutter.

The use of this proposed method allows for a significant (by ~2 times) increase in the frequency tuning range of SAW devices compared to analogues, which is very important, particularly for radars.

Keywords: surface acoustic waves, frequency tuning, piezosound guide, optoelectronic pair