

УДК 531.71; 531.74

Акустоелектронні перетворювачі з безконтактними чутливими елементами

Бітов М. В., ORCID [0000-0002-7095-9044](https://orcid.org/0000-0002-7095-9044)e-mail bitovmiroslav@gmail.comЖовнір М. Ф., к.т.н., с.н.с., ORCID [0000-0002-9443-527X](https://orcid.org/0000-0002-9443-527X)e-mail zhovnir101@gmail.comПисаренко Л. Д., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-7647-2755](https://orcid.org/0000-0002-7647-2755)e-mail l.pisarenko@kpi.uaПлешка Т. Є., ORCID [0000-0002-1196-0758](https://orcid.org/0000-0002-1196-0758)e-mail tatyapleshka@gmail.com

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” kpi.ua

Реферат—Запропоновані функціональні схеми та приведені результати оцінки метрологічних параметрів акустоелектронних перетворювачів фізичних величин на основі використання параметрів електричного поля, що виникає при поширенні поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) на п'єзоелектричних поверхнях.

Використання дисперсії фазової швидкості ПАХ, що виникає при збуренні мембраною електричного поля ПАХ, дозволяє створювати високочутливі перетворювачі мікропереміщення, тиску, прискорення, гідроакустичних сигналів на основі універсального вторинного акустоелектронного перетворювача, а конструкція первинного перетворювача (мембрани) визначається заданими коефіцієнтом перетворення та динамічним діапазоном вимірювальної фізичної величини.

Використання рухомого безконтактного зустрічно-штирового перетворювача в електричному полі ПАХ, що поширюється на п'єзоелектричній поверхні, дозволяє створювати високочутливі акустоелектронні перетворювачі лінійного та кутового переміщення, швидкості та прискорення в широкому діапазоні.

Бібл. 21, рис.3.

Ключові слова — поверхнева акустична хвиля (ПАХ); перетворювач мікропереміщення та тиску; перетворювач лінійних та кутових переміщень; п'єзоелектричний хвилевід; зустрічно-штировий перетворювач.

I. ВСТУП

В теперішній час приділяється велика увага акустоелектронним перетворювачам (АЕП) на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), які при відносно невисоких частотах (десятки – сотні мегагерц) забезпечують, завдяки малим довжинам хвиль, простоті їх збудження та приймання, високу чутливість перетворення інформаційних сигналів в широкому динамічному діапазоні при застосуванні частотних та фазових методів вимірювання. Такі перетворювачі можуть використовуватись для вимірювання сили та тиску, прискорення, лінійних, кутових переміщень та швидкості, вологості, температури та складу газового середовища, напруженостей електричного та магнітного полів тощо [1–11].

В останні роки пристрої на ПАХ впроваджуються також у безпроводні радіовимірювальні системи, які містять пристрій опитування і обробки інформації та дистанційно віддалені безпроводні перетворювачі на поверхневих акустичних хвилях і застосовуються для радіомоніторингу оточуючого середовища та контролю параметрів рухомих об'єктів, у тому числі вони можуть функціонувати в агресивному середовищі [12–19].

A. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Зазвичай, в акустоелектронних перетворювачах фізичних величин на ПАХ використовується чутливість спеціальних зрізів п'єзоелектричних матеріалів до напружень та деформацій. Недоліком перетворювачів, в яких здійснюється деформація звукопроводу, є низька надійність, внаслідок можливого руйнування мембрани через крихкість п'єзоелектричного звукопроводу при перевантаженнях та складність виготовлення мембран у звукопроводі, на основі якого виготовляється модуль на ПАХ для кожного заданого динамічного діапазону вимірювальної величини [1–3, 11–17].

Принцип дії перетворювачів температури, вологості, напруженостей електромагнітного поля базується на зміні фазової швидкості та акустичної довжини пристрою на ПАХ при дії навколишнього середовища на поверхню звукопроводу [1–2, 13, 16] або на зміні коефіцієнта відбиття ПАХ від зустрічно-штирових перетворювачів (ЗШП), що сполучені із зовнішніми чутливими елементами, на які діє фізична величина [18].



В той же час не приділялась належна увага побудові класу вимірювальних перетворювачів фізичних величин на основі використання параметрів електричного поля, що виникає при поширенні ПАХ на п'єзоелектричних поверхнях. Такі перетворювачі можуть бути використані як у стаціонарних, так і в радіовимірювальних безпроводних системах:

- перший підклас базується на використанні дисперсії фазової швидкості ПАХ, що виникає при збуренні мембраною електричного поля ПАХ, і дозволяє створення високочутливих перетворювачів мікропереміщення, тиску, прискорення, гідроакустичних сигналів на основі універсального вторинного акустoeлектронного перетворювача, а конструкція первинного перетворювача (мембрани) визначається заданим коефіцієнтом перетворення та динамічним діапазоном вимірювальної фізичної величини [5, 6, 19];
- другий підклас базується на використанні рухомого безконтактного зустрічно-штирового перетворювача в електричному полі ПАХ, що поширюється на п'єзоелектричній поверхні, і дозволяє створювати високочутливі акустoeлектронні перетворювачі лінійного та кутового переміщення, швидкості та прискорення в широкому діапазоні [7–10].

В. Мета і завдання дослідження

В даній роботі приведені функціональні схеми та результати оцінки потенційних метрологічних параметрів акустoeлектронних перетворювачів з безконтактними чутливими елементами для радіовимірювальних безпроводних систем.

II. АКУСТОЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МІКРОПЕРЕМІЩЕНЬ ТА ТИСКУ НА ОСНОВІ ЗБУРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПАХ

Акустoeлектронний перетворювач мікропереміщень та тиску з використанням дисперсії фазової поверхневої акустичної хвилі при збуренні мембраною електричного поля ПАХ (рис. 1) містить п'єзоелектричний звукопровід 1, на поверхні якого розташований з'єднаний з антеною 2 вхідний/вихідний зустрічно-штировий перетворювач ПАХ 3, дві відбивні решітки (відбивачі) 4 та 6. Усі ці елементи утворюють дисперсійну лінію затримки на відбивачах, час затримки якої залежить від значення фізичної величини, що діє на первинний чутливий елемент (мембрану). Елементи розташовані у корпусі 8, який герметично закритий кришкою 9 з мембраною 7, що виконана з пружного матеріалу (наприклад, бронза, сталь тощо) та розташована над зоною взаємодії 5 на відстані від поверхні звукопроводу, сумірній з довжиною ПАХ. Таке розташування мембрани обумовлене тим, що для ефективного її впливу на параметри хвилі, яка поширюється по звукопроводу, необхідно забезпечити переміщення мембрани в електричному полі ПАХ, електричний потенціал якого зменшується при віддаленні від поверхні звукопроводу за експоненціальним законом.

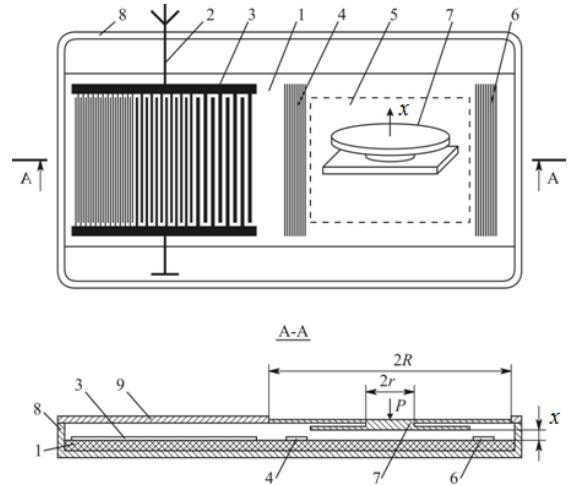


Рис. 29 Безпроводний перетворювач мікропереміщень та тиску на ПАХ

Вхідний/вихідний перетворювач містить електроди, апертюра та період розміщення яких може змінюватися у відповідності з необхідною характеристикою в частотній області. Просторове положення, період слідування та апертюра першої та другої групи відбивних елементів повинні бути узгоджені з просторовим положенням та періодом електродів вхідного/вихідного перетворювача.

Робота безпроводного пасивного перетворювача на ПАХ для вимірювання мікропереміщення та тиску пояснюється наступним чином. Сигнал радіозапити від пристрою опитування та обробки інформації поступає на вхід антени 2. В якості сигналу радіозапити може бути використаний частотно-кодований сигнал з тривалістю t_{∞} та кількістю дискретних частот N . Вхідний/вихідний перетворювач 3 за рахунок зворотного п'єзоєфекту збуджує у звукопроводі 1 поверхневі акустичні хвилі, при цьому виконуючи стиснення вхідного сигналу.

Частина енергії ПАХ відбившись від першого відбивача 4, повертається на перетворювач 3 і за рахунок прямого п'єзоєфекту перетворюється в електричний сигнал, що випромінюється в простір антеною 2. Таким чином, відбувається формування опорного сигналу радіовідгуку.

Частина енергії акустичного потоку ПАХ, що пройшла перший відбивач 4, пройшовши активну зону 5 (зона взаємодії), відбивається від відбивача 6, знову пройшовши активну зону 5, поступає на перетворювач 3. За рахунок прямого п'єзоєфекту відбувається перетворення енергії ПАХ в електричний сигнал, що випромінюється антеною 2. Таким чином, формується вимірювальний сигнал радіовідгуку.

Пристрій опитування та обробки інформації, що через радіоканал зв'язаний з перетворювачем на ПАХ для вимірювання мікропереміщень та тиску, після надходження на нього опорного та вимірювального сигналів проводить обробку вимірювальної інформації (кореляційний аналіз та вимірювання часу затримки між сигналами). Необхідність формування двох

сигналів зумовлена необхідністю виключення впливу відстані між пристроєм опитування та перетворювачем на час затримки, оскільки, час поширення радіосигналу для опорного та вимірювального сигналів однаковий.

Час затримки приходу вимірювального сигналу відносно опорного визначається відстанню між відбивачами 4 та 6, швидкістю поширення ПАХ у звукопроводі та умовами поширення ПАХ в зоні взаємодії 5. Робота перетворювача на ПАХ для вимірювання мікропереміщення та тиску заснована на зміні умов поширення ПАХ в зоні взаємодії, що призводить до зміни часу затримки між опорним та контрольним вимірювальними сигналами.

Проведемо аналіз перетворювача на ПАХ.

А. Опорна лінія затримки

Час затримки опорної лінії затримки визначається виразом:

$$t_{L1} = 2L_1/V_0, \quad (1)$$

де L_1 – відстань між центрами вхідного/вихідного перетворювача та першого відбивача; V_0 – фазова швидкість ПАХ на вільній поверхні п'єзоелектричного звукопроводу.

Час затримки опорного сигналу відносно сигналу радіозапиту:

$$t_{оп} = 2t_{рк} + L_1/V_0, \quad (2)$$

де $t_{рк}$ – час розповсюдження сигналу по радіоканалу від пристрою опитування та обробки інформації до перетворювача на ПАХ.

В. Вимірювальна лінія затримки

Час затримки вимірювальної лінії затримки визначається виразом:

$$t_{L2} = \frac{2L_2}{V_0} + T_x, \quad (3)$$

де $L_2 = L_1 + W$ – відстань між центрами вхідного/вихідного перетворювача та другого відбивача; T_x – приріст часу затримки в результаті збурення мембраною електричного поля ПАХ на ділянці п'єзоелектричного звукопроводу з довжиною W .

Приріст часу затримки при переміщенні мембрани в електричному полі ПАХ з урахуванням експоненціального убавання потенціалу електричного поля ПАХ $\varphi = \varphi_0 \exp(-2\pi\rho)$ [20], де φ_0 – потенціал електричного поля на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу; $\rho = x/\lambda_0$ – нормоване переміщення мембрани; x – відстань між поверхнею звукопроводу та мембраною; λ_0 – довжина ПАХ на вільній поверхні звукопроводу.

Приріст часу затримки T_x визначається співвідношенням [6]:

$$T_x = kW \exp(-2\pi\rho)/V_0, \quad (4)$$

де $k = -2(V_M - V_0)/V_0$ – коефіцієнт електромеханічного зв'язку; V_M – фазова швидкість ПАХ при наявності тонкої металевої плівки на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу.

Час затримки вимірювального сигналу відносно сигналу радіозапиту:

$$t_k = 2[t_{рк} + (L_1 + W)/V_0] + T_x, \quad (5)$$

З рівнянь (2), (4) та (5) отримаємо співвідношення для часу затримки вимірювального сигналу відносно опорного:

$$\Delta t_{сп} = W[2 + k \exp(-2\pi\rho)]/V_0, \quad (6)$$

Із співвідношення (4) випливає, що приріст часу затримки не залежить від відстані між пристроєм опитування та обробки інформації та перетворювачем на ПАХ, а визначається довжиною зони взаємодії та зміною фазової швидкості ПАХ, що викликана збуренням електричного поля ПАХ мембраною.

Чутливість вимірювання (коефіцієнт перетворення) таким пристроєм визначається:

$$S_x = \frac{dT_x}{dx} = [-2\pi kW \exp(-2\pi\rho)]/V_0 \lambda_0. \quad (7)$$

На рис. 2 зображена залежність (4) для звукопроводу із ніобат літію LiNbO₃ YZ-зрізу від нормованого переміщення мембрани при різних ділянках збурення електричного поля ПАХ.

Наприклад, для ніобат літію YZ-зрізу ($k = 0,045$; $V_0 = 3488$ м/с) при частоті $f_0 = 69,76$ МГц ($\lambda_0 = 50$ мкм) і $W = 30$ мм переміщення мембрани в діапазоні $\rho = 0,4 \dots 0,1$ викликає приріст часу затримки, що змінюється в інтервалі $T_x \approx 31 \dots 206$ нс, тобто середній коефіцієнт перетворення мікропереміщень складає $S_x \approx \Delta T_x / \Delta x \approx 11,7$ нс/мкм.

При роздільній здатності промислових вимірювачів частоти та часових інтервалів (наприклад, Dagatron UC-8030U, Pendulum CNT81R, Dagatron FC-8037) $\delta t = 200$ пс середня потенційна роздільна здатність перетворювача мікропереміщень складає $\delta x = \delta t / S_x \approx 0,017$ мкм.

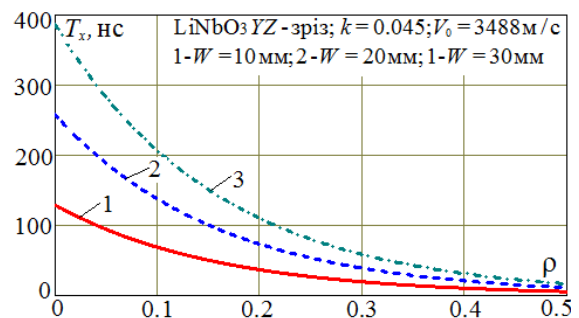


Рис. 30 Залежності приросту часу затримки від нормованого переміщення мембрани

При вимірюванні тиску прогинання мембрани x від тиску P залежить від типу мембрани та її конструктивних параметрів. У випадку мембрани з жорстким центром величина прогинання визначається співвідношенням [21]:

$$x = AR^4P/Eh^3, \quad (8)$$

де $A_p = 3(1-\mu^2)(c^4 - 1 - 4c^2 \ln c) / 16c^4$, $c = R/r$, R та r – робочий радіус мембрани та радіус її жорсткого центру; μ і E – відповідно коефіцієнт Пуассона та модуль пружності матеріалу мембрани; h – товщина мембрани.

Із розрахунку для мембрани із сталі ($\mu = 0,28$; $E = 2,2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $r = 15 \cdot 10^{-3}$ м; $h = 10^{-3}$ м; $R = 30 \cdot 10^{-3}$ м) випливає, що її переміщення в інтервалі $\rho = 0,4 \dots 0,1$ буде здійснюватися під тиском в діапазоні $P \approx 0 \dots 746$ мм.рт.ст. При цьому середній коефіцієнт перетворення тиску складає $S_p \approx \Delta T_x / \Delta P \approx 0,23$ нс/мм.рт.ст., а середня потенційна здатність $\delta P = \delta t / S_p \approx 0,87$ мм.рт.ст.

Змінюючи довжину зони взаємодії W та застосовуючи сильні п'єзоелектрики (ніобат літію, германат вісмуту, оксид цинку, нітрид алюмінію та ін.), можливо забезпечити необхідний коефіцієнт перетворення. Розглянутий перетворювач може бути застосований для дистанційного вимірювання мікропереміщень, прискорення, сили та тиску.

III. АКУСТОЕЛЕКТРОННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПЕРЕМІЩЕНЬ З БЕЗКОНТАКТНИМ ПАХ-ПРИЙМАЧЕМ

Перетворювач переміщень на базі керованої лінії затримки на ПАХ (рис. 3) містить п'єзоелектричний звукопровід 1, на поверхні якого розташований з'єднаний з антеною 2 вхідний/вихідний ЗШП ПАХ 3, відбивна решітка 4. В електричному полі ПАХ, що поширюється по поверхні п'єзоелектричного звукопроводу, переміщується відбивна решітка 5, сформована на діелектричній підкладці.

Приріст часу затримки при переміщенні відбивної решітки визначається співвідношенням:

$$T_z = 2Z/V_0, \quad (9)$$

де Z – переміщення відбивної решітки 5; V_0 – фазова швидкість ПАХ.

При цьому коефіцієнт перетворення:

$$S_z = dT_z/dZ = 2/V_0. \quad (10)$$

При використанні звукопроводу із ніобат літію YZ -зрізу коефіцієнт перетворення $S_z = 5,7 \cdot 10^{-4}$ мкс/мкм, потенційна роздільна здатність перетворювача лінійних переміщень $\delta Z = \delta t / S_z \approx 0,35$ мкм. Динамічний діапазон вимірювання переміщень практично не обмежений, а визначається розмірами п'єзоелектричного звукопроводу.

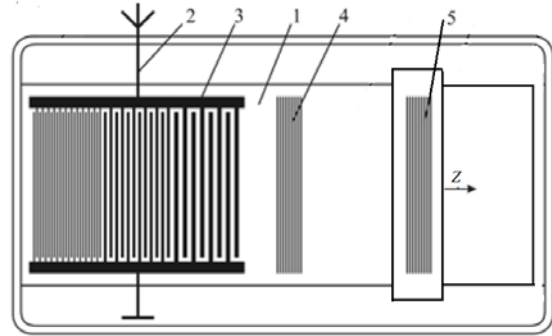


Рис. 31 Перетворювач переміщень на ПАХ

При переміщенні відбивної решітки над кільцевим п'єзоелектричним хвилеводом з радіусом R отримаємо співвідношення для радіовимірювальної безпровідної системи кутових переміщень:

$$T_\varphi = \frac{4\pi R\varphi}{360 \cdot 3600 \cdot V_0}, \quad (11)$$

де φ [кут. сек.] – кутове переміщення решітки над п'єзоелектричним хвилеводом.

Коефіцієнт перетворення кутового переміщення:

$$S_\varphi = dT_\varphi/d\varphi = 4\pi R / 360 \cdot 3600 V_0. \quad (12)$$

При кільцевому п'єзоелектричному хвилеводу на базі структури ZnO-SiO₂ $V_0 \approx 3350$ м/с [8] з радіусом $R = 20$ мм коефіцієнт перетворення кутових переміщень буде становити $S_\varphi = dT_\varphi/d\varphi = 57,8$ пс/кут.сек., а потенційна роздільна здатність кутових переміщень $\delta\varphi = \delta t / S_\varphi \approx 3,46$ кут.сек.

ВИСНОВКИ

Використання параметрів електричного поля ПАХ, що поширюються на поверхні п'єзоелектричних структур, дозволяє створювати наступні перетворювачі фізичних величин:

- 1) Акустоелектронний перетворювач на базі збурення мембраною електричного поля ПАХ для вимірювання мікропереміщень, тиску, прискорення, гідроакустичних сигналів. Перевага таких перетворювачів – можливість використання універсального модуля на ПАХ, що знаходиться в герметичному корпусі, а конструкція первинного перетворювача (мембрани) визначається заданим коефіцієнтом перетворення та динамічним діапазоном вимірювальної фізичної величини.
- 2) Акустоелектронний перетворювач переміщень з безконтактним ПАХ-приймачем, що переміщується над п'єзоелектричним звукопроводом (хвилеводом), дозволяє вимірювати лінійні та кутові переміщення в широкому діапазоні. Запропоновані перетворювачі можуть бути використані як в стаціонарних, так і радіовимірювальних безпровідних системах.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] P. F. Polyakov; V. A. Horunzhiy; V. P. Polyakov, Akustoelektronika. Fiziko-tehnologicheskie osnovy i primeneniye: Sprav. posobie: V 2 t. 1 [Acoustoelectronics. Physical and technological basis and application: Ref. Allowance: 2 t.], vol. 1, t. 1, Kharkiv: "SMIT company" ltd, 2007.
- [2] M. F. Zhovnir; M. G. Chernyak; D. V. Chernenko; L. M. Sheremet, «Vimlriuvani peretvoriuvachi flzychnykh velichyn na poverkhnevyykh akustychnykh khvyliakh [Measuring transducers of physical quantities on surface acoustic waves],» *Electronics and Communications*, no. 16, № 1 (60), pp. 153-157, 2011.
- [3] Y. I. Lepih, «Datchik davleniya s tenzochuvstvitelnym preobrazovatelem na poverhnostnykh akusticheskikh volnah [Pressure sensor with strain-sensitive transducer on surface acoustic waves],» *Tekhnolohyya y konstruyrovanye v elektronnoy aparature*, no. 3, pp. 53-54, 2004.
- [4] O. Bogdan; A. Orlov; O. Petrishev; V. Ulianova, "ZnO Nanostructures as Sensing Element of Acoustic Wave Sensor," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 6/12 (60), pp. 16-22, 2010. URL: <http://journals.uran.ua/ejeet/article/view/6021/5417>
- [5] M. F. Zhovnir; O. O. Oliynyk; L. D. Pisarenko, «Matematychni modeli sensoriv peremishchen ta tysku na osnovi zburennia elektrychnogo polia poverhnevyykh akustychnykh khvyl [Mathematical models of displacement and pressure sensors based on the perturbation of the electric field of surface acoustic waves],» *Journal of Nano-and Electronic Physics*, vol. VIII, no. 1, pp. 01024-01025, 2016. DOI: [10.21272/jnep.8\(1\).01024](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01024)
- [6] M. F. Zhovnir; M. V. Bltov; L. D. Pisarenko, «Vymlriuvani peretvoriuvachi mlkroperemishchen ta tysku na poverkhnevyykh akustychnykh khvyliakh [Measuring transducers of micro-displacements and pressure on surface acoustic waves],» *Electronics and Communications*, vol. 21, no. 4 (93), pp. 49-57, 2016. DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.4.81907](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.4.81907)
- [7] M. F. Zhovnir, «Matematychna model pervynnoho peretvoriuvacha liniinykh peremishchen z ruhomym priimachem poverhnevyykh akustychnykh khvyl [Mathematical model of the primary transducer of linear displacements with a mobile receiver of surface acoustic waves],» *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: «Mekhaniko-tehnolohichni systemy ta komplekсы»*, no. 7 (119), pp. 48-57, 2016.
- [8] M. F. Zhovnir, «Matematychna model pervynnoho peretvoriuvacha kutovykh peremishchen z kiltsevym pezelektrychnym khvylevodom poverkhnevyykh akustychnykh khvyl [Mathematical model of the primary transducer of angular displacements with piezoelectric waveguide surface acoustic waves],» *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: «Mekhaniko-tehnolohichni systemy ta komplekсы»*, no. 49 (1221), pp. 42-51, 2016.
- [9] M. F. Zhovnir, «eretvoriuvach peremishchen z vykorystanniam fazovykh nabihan elektrychnoho polia poverkhnevyykh akustychnykh khvyl [Transducer of displacements using phase surges of the electric field of surface acoustic waves],» *Electronics and Communications*, vol. 22, no. 1 (96), pp. 58-68, 2017. DOI: [10.20535/2312-1807.2017.22.1.90513](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.1.90513)
- [10] Y. I. Lepih, «Datchik ugla povorota generatornogo tipa s elementom na poverhnostnykh akusticheskikh volnah [Sensor of generator-type rotation angle with element on surface acoustic waves],» *Technology and design in electronic equipment*, no. 3, pp. 24-25, 2009.
- [11] A. Zbrutsky; N. Chernyak; G. Skripkovsky, "Creation of low cost linear accelerometers for navigation and control systems," in *Symposium Gyro Technology*, 2005.
- [12] O. M. Bondarenko; O. V. Kaznadiy, «Hyroskopichni efekty v pasyvnnykh mikroelektronnykh datchykakh kutovoi shvydkosti [Gyroscopic effects in passive microelectronic angular velocity sensors],» *Datchyky y systemy*, no. 6, pp. 58-65, 2001.
- [13] V. Kalinin; R. Lohr; A. Leigh, "Development of a calibration procedure for contactless torque and temperature sensors based on SAW resonators," in *IEEE Ultrasonics Symposium*, 2008. DOI: [10.1109/ultsym.2008.0459](https://doi.org/10.1109/ultsym.2008.0459)
- [14] M. F. Hribsek; D. V. Tosic; M. R. Radosavljevic, "Surface Acoustic Wave Sensors in Mechanical Engineering," *FME Transactions*, no. 38, pp. 11-18, 2010.
- [15] R. Matsuzaki; A. Todoroki, "Wireless Monitoring of Automobile Tires for Intelligent Tires," *MDPI – Sensors*, no. 8, p. 8123, 2008. DOI: [10.3390/s8128123](https://doi.org/10.3390/s8128123)
- [16] R. Fachberger; A. Erlacher, "Monitoring of the temperature inside a lining of a metallurgical vessel using a SAW temperature sensor," *Procedia Chemistry*, no. 1 (1), pp. 1239-1242, 2009. DOI: [10.1016/j.proche.2009.07.309](https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.309)
- [17] L. Reindl, "Wireless Passive Sensors: Basic Principles and Performances," in *IEEE SENSORS*, 2008. DOI: [10.1109/icsens.2008.4716758](https://doi.org/10.1109/icsens.2008.4716758)
- [18] M. F. Zhovnir; O. M. Kuzmenko; S. I. Pokutnyi, "Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement," *Journal of Applied Chemistry*, no. 3 (1), pp. 7-13, 2015.
- [19] D. Chernenko; M. Zhovnir; O. Oliynyk; B. Tsyganok, «Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures,» в *35th International Spring Seminar on Electronics Technology*, 2012. DOI: [10.1109/isse.2012.6273174](https://doi.org/10.1109/isse.2012.6273174)
- [20] D. Morgan, *Ustroystva obrabotki signalov na poverhnostnykh akusticheskikh volnah [Signal processing devices on surface acoustic waves]*, Moscow: Radio and Communications, 1990, p. 416.
- [21] S. D. Ponomarev; L. E. Andreeva, *Raschet uprugih elementov mashin i priborov [Calculation of elastic elements of machines and devices]*, Moscow: Mashynostroenye, 1980, p. 326.

Надійшла в редакцію 18 червня 2017 р.

УДК 531.71; 531.74

Акустоэлектронные преобразователи с бесконтактными чувствительными элементами



Битов М. В., ORCID [0000-0002-7095-9044](https://orcid.org/0000-0002-7095-9044)

e-mail bitovmiroslav@gmail.com

Жовнір Н. Ф., к.т.н., с.н.с., ORCID [0000-0002-9443-527X](https://orcid.org/0000-0002-9443-527X)

e-mail zhovnir101@gmail.com

Писаренко Л. Д., д.т.н., проф., ORCID [0000-0002-7647-2755](https://orcid.org/0000-0002-7647-2755)

e-mail l.pisarenko@kpi.ua

Плешка Т. Е., ORCID [0000-0002-1196-0758](https://orcid.org/0000-0002-1196-0758)

e-mail tatyapleshka@gmail.com

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского" kpi.ua

Реферат—Предложены функциональные схемы и приведены результаты оценки метрологических параметров акустоэлектронных преобразователей физических величин на основе использования параметров электрического поля, возникающего при распространении поверхностных акустических волн (ПАВ) на пьезоэлектрических поверхностях.

Использование дисперсии фазовой скорости ПАВ, что возникает при возмущении мембраной электрического поля ПАВ, позволяет создание высокочувствительных преобразователей микроперемещения, давления, ускорения, гидроакустических сигналов на основе универсального вторичного акустоэлектронного преобразователя, а конструкция первичного преобразователя (мембраны) определяется заданными коэффициентом преобразования и динамическим диапазоном измеряемой физической величины.

Использование подвижного бесконтактного встречно-штыревого преобразователя в электрическом поле ПАВ, что распространяется на пьезоэлектрической поверхности, позволяет создание высокочувствительных акустоэлектронных преобразователей линейного и углового перемещения, скорости и ускорения в широком диапазоне.

Библ. 21, рис.3.

Ключевые слова — *поверхностная акустическая волна (ПАВ); преобразователь микроперемещения и давления; преобразователь линейных и угловых перемещений; пьезоэлектрический волновод; встречно-штыревой преобразователь.*

UDC 531.71; 531.74

Acoustoelectronic transducers with contactless sensitive elements

M. V. Bitov, ORCID [0000-0002-7095-9044](https://orcid.org/0000-0002-7095-9044)

e-mail bitovmiroslav@gmail.com

M. F. Zhovnir, PhD, Senior Researcher, ORCID [0000-0002-9443-527X](https://orcid.org/0000-0002-9443-527X)

e-mail zhovnir101@gmail.com

L. D. Pysarenko, Dr.Sc.(Eng.), Prof., ORCID [0000-0002-7647-2755](https://orcid.org/0000-0002-7647-2755)

e-mail l.pisarenko@kpi.ua

T. Ie. Pleshka, ORCID [0000-0002-1196-0758](https://orcid.org/0000-0002-1196-0758)

e-mail tatyapleshka@gmail.com

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute" kpi.ua

Abstract—The classification of acousto-electronic transducers of physical quantities created using primary transducers of surface acoustic waves (SAW) is carried out. It is based on SAW phase velocity and acoustic length of the delay line (resonator) change as a result of beam or membrane acoustic line deformation; environmental impact on the surface of acoustic line (molecular weight and gas concentration, temperature, humidity); coefficient of SAW reflection from interdigital transducers connected with external sensing elements affected by temperature, humidity, electromagnetic radiation; SAW phase velocity at wave electric field perturbation by a membrane; acoustic length of the delay line while moving SAW receiver in the electric field that extends on the surface of piezoelectric acoustic line.

The proposed mathematical model of acousto-electronic transducer based on the use of phase velocity surface acoustic wave dispersion as a result of SAW electric field perturbation by a membrane allows to determine the requirements to the SAW-module structural and electric parameters depending on the set metrological parameters of the transducer. While using an acoustic line from niobium lithium YZ-cut at a frequency of 69.76 MHz experimentally obtained the conversion



factor of micro-displacements equal to 11.7 ns/ μm and pressure equal to 0.23 ns/mmHg. The proposed functional scheme allows to create highly sensitive transducers of micro-displacement, pressure, acceleration, hydro-acoustic signals on the basis of a universal secondary acousto-electronic transducer, while the construction of primary transducer (membrane) is determined by set conversion factor and dynamic range of the measured physical quantity.

The mathematical model of acousto-electronic transducer using the change of acoustic length of the delay line during the SAW receiver movement in the SAW electric field extended on the surface of piezoelectric acoustic line allows to determine the requirements to the SAW-module structural and electronic parameters depending on the metrological parameters of the transducer of liner displacement up to 200 mm and more, and angular displacement up to 360 degrees.

While using an acoustic line from niobium lithium YZ-cut at a frequency of 70 MHz experimentally obtained the conversion factor of linear displacement equal to 570 ns/ μm and factor of angular displacement at a 20 mm radius of circular piezoelectric waveguide based on the structure zinc oxide-fused quartz equal to 57.8 ps/arcsec.

The proposed transducers using SAW electric field extended to piezoelectric structures can be applied both at stationary and radiometric wireless systems.

Ref. 21, fig.3.

Key words — surface acoustic wave (SAW); transducer of micromovement and pressure; linear and angular displacement transducer; the piezoelectric waveguide; interdigital transducer.

