

Електронні системи

УДК 531.77

Акустoeлектронний перетворювач кутової швидкості

Жовнір М. Ф., к.т.н., с.н.с., ORCID [0000-0002-9443-527X](https://orcid.org/0000-0002-9443-527X)e-mail zhovnir101@gmail.com

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського” kpi.ua

Реферат—Запропонований і теоретично обґрунтований метод вимірювання кутової швидкості об’єкта з використанням ефекту Доплера при поширенні в кільцевому п’єзоелектричному хвилеводі поверхневих акустичних хвиль (ПАХ), що приймаються рухомим в електричному полі ПАХ – приймачем.

Приведені функціональна схема та оцінка потенційних метрологічних параметрів акустoeлектронного перетворювача кутової швидкості, яка показує його переваги у порівнянні з традиційними перетворювачами (тахогенераторами, магнітоелектричними, електромагнітними та фотоелектричними перетворювачами, волоконно-оптичними перетворювачами на основі ефекту Саньяка, перетворювачами на основі ефекту Холла).

При частоті задавального генератора 30 МГц та радіусі кільцевого п’єзоелектричного хвилеводу 10 мм потенційна роздільна здатність акустoeлектронного перетворювача швидкості менше 1 об/хв. в динамічному діапазоні до 30000 об/хв. і більше.

Теоретичні співвідношення та результати чисельних розрахунків дозволяють обґрунтовувати конструктивні та електричні параметри в залежності від заданих метрологічних характеристик перетворювача кутової швидкості.

Бібл. 24, рис.4.

Ключові слова: поверхнева акустична хвиля (ПАХ); перетворювач кутової швидкості; п’єзоелектричний хвилевод; ефект Доплера; зустрічно-штировий перетворювач.

I. ВСТУП

Технічні параметри вимірювальних систем фізичних величин (ФВ) на основі традиційних первинних перетворювачів (ПП) (резистивних, ємнісних, магнітоелектричних, електромагнітних, гальваноманітних, фотоелектричних, акустооптичних та інших) практично досягли своїх граничних можливостей і подальше їх удосконалення можливо шляхом створення ПП з використанням нових фізичних явищ. Особливо зросла роль ПП при створенні сучасних інформаційно-вимірювальних і навігаційних комплексів, до яких висуваються жорсткі умови до метрологічних параметрів, маси і габаритів, розширення динамічного діапазону, що призводить також до значного збільшення об’єму інформації, який необхідно виміряти, обробити та відобразити [1–3].

Проведенні дослідження можливості розробки нових високочутливих методів та схемо-технічних принципів побудови ПП на основі використання надвисокочастотних електромагнітних хвиль, поверхневих магнітостатичних хвиль, випромінювання оптичного діапазону, поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) показали, що акустoeлектронні перетворювачі (АЕП) з використанням пристроїв на ПАХ та системи на їх основі мають ряд переваг: мала довжина хвиль при відносно невисоких частотах, можливість розподіленого приймання сигналу при мікроелектронному

виконанні перетворювача, наявність ефективних методів збудження та приймання сигналів в пристроях акустoeлектроніки, можливість використання сучасної мікроелектронної технології, що сумісна з технологією виготовлення інтегральних мікросхем. Тому пристрої на ПАХ активно впроваджуються при створенні активних та пасивних ПП: температури, вологості, сили і тиску, складу газового середовища, переміщення, швидкості та прискорення, крутного моменту, напруженостей електричного та магнітного полів [4–23].

II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для вимірювання кутової швидкості на практиці широко застосовують тахометричні перетворювачі (ТП): тахогенератори постійного або змінного струму, перетворювачі фотоелектричні, волоконно-оптичні на основі ефекту Саньяка, магнітоелектричні та електромагнітні, перетворювачі на основі ефекту Холла [1–3].

У теперішній час за допомогою будь-якого одного тахометра неможливо з високою точністю виконувати вимірювання в усіх діапазонах можливої зміни кутових швидкостей. Тому тахометри створюються як спеціалізовані технічні засоби, призначені для перекриття тільки певних ділянок діапазону.



Тахогенератори застосовують для вимірювання частоти обертання вала в діапазоні 0...10000 об/хв. [3]. Однак вихідна характеристика тахогенератора має зону нечутливості, що зумовлено впливом опору щіткового контакту. Реальна вихідна характеристика є нелінійною внаслідок наявності магніторушійної сили реакції якоря, що послаблює потік збудження. Відхилення від лінійності через розмагнічувальну дію якоря визначає одну із складових похибок тахогенератора. Інша складова похибки обумовлена наявністю перехідного контакту між колектором і щітками.

Частотні тахометричні перетворювачі здійснюють перетворення в послідовність імпульсів, частота яких пропорційна вимірюваній швидкості. Частотні ТП поєднують простоту і універсальність, властиву аналоговим пристроям, з точністю і завадостійкістю, що характерні для перетворювачам з кодовим виходом. До частотних ТП відносяться фотоелектричні, оптико-електронні, магнітоелектричні та електромагнітні перетворювачі [3]. Серед частотних ТП можна виділити растровий перетворювач, який має високу роздільну здатність (1000 – 250000 імпульсів за один оберт) [3].

Іншим ефективним частотним ТП для вимірювання низьких частот обертання в діапазоні 10-3 – 1 об/хв. є волоконно-оптичні перетворювачі на основі ефекту Саньяка. До переваг слід віднести високу точність не більше 0,5 %, роздільну здатність 105 – 106 імпульсів за оберт, здатність вимірювати в важкодоступних місцях, в умовах підвищеної радіації, високих температур тощо [3].

Точність ТП частотно-часового перетворення визначається точністю виготовлення модулятора, кількістю розрядів, похибкою монтажу джерела та приймача випромінювання. Швидкодія перетворювача визначається часом перетворення його аналого-цифрового перетворювача.

Широке застосування мають також ТП на основі ефекту Холла. Такі перетворювачі мають просту конструкцію, забезпечують похибку 0,5 – 1 % в діапазоні вимірювання до 10000 об/хв. Недоліками є низька надійність, чутливість до перешкод і впливу навколишнього середовища [3].

Один з найбільш точних і прямих методів вимірювання положення вала заснований на використанні тахометричних перетворювачів просторового кодування, в яких інформацію про кутову швидкість отримують шляхом диференціювання коду кутового переміщення в часі. Кутове переміщення визначають за допомогою кодувальної маски, оснащеної зчитувальним пристроєм. Для побудови ТП просторового кодування використовують накопичувальні кодові перетворювачі кута і перетворювачі зчитування, а для кожного кодового розряду необхідно мати пристрій зчитування. Точність ТП просторового кодування визначається розрядністю кодового диска, точністю виготовлення кодової маски, точністю зчитування інформації і точністю виконання операції цифрового диференціювання [2, 3]. Основною похибкою є похи-

бка диференціювання. Крім того, операція диференціювання знижує швидкодію ТП, а роздільна здатність змінюється зі зміною швидкістю. Тому такі ТП мають обмеження по верхній межі вимірювання кутової швидкості, приблизно, на рівні 3000 об/хв.

Акустoeлектронні перетворювачі фізичних величин створюються з використанням первинних перетворювачів (ПП) на поверхневих акустичних хвилях на основі зміни:

- фазової швидкості ПАХ та акустичної довжини лінії затримки (резонатора) внаслідок деформації звукопроводу балочного або мембранного типу [4–12];
- фазової швидкості ПАХ та акустичної довжини лінії затримки (резонатора) при дії навколишнього середовища на поверхню звукопроводу (молекулярної ваги та концентрації газу, температури, вологості, випромінювання тощо) [4, 5, 13–15];
- коефіцієнта відбиття ПАХ від зустрічно-штирових перетворювачів, що сполучені із зовнішніми чутливими елементами, на які діють температура, вологість, електромагнітне випромінювання тощо [16];
- фазової швидкості ПАХ при переміщенні мембрани (зонда) в електричному полі хвилі [17–19];
- акустичної довжини лінії затримки при переміщенні ПАХ-приймача над поверхнею п'єзоелектричного звукопроводу [4, 5, 20–23].

III. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.

В даній роботі приведені результати оцінки потенційних метрологічних параметрів акустoeлектронного перетворювача (АЕП) кутової швидкості з використанням ефекту Доплера при поширенні ПАХ в кільцевому п'єзоелектричному хвилеводі.

IV. ОСНОВНА ЧАСТИНА

На рис. 1 зображено функціональну схему перетворювача кутової швидкості [23]. На підкладці 1 розміщений ПАХ-хвилевід 2 з рупорними концентраторами та поглиначами ПАХ 3, на концентраторах сформовано вхідний 4 та контрольний 5 зустрічно-штирові перетворювачі ПАХ, кільцевий п'єзоелектричний хвилевід 6 з радіусом R розміщений на відстані $d \ll \lambda_0$, де λ_0 – довжина ПАХ у хвилеводі, відносно хвилеводу 2. Над кільцевим хвилеводом на відстані X , що сумірна довжині ПАХ λ_0 , обертається кільцевий ПАХ-приймач 7 у вигляді кільцевої зустрічно-штирової решітки 8 з радіусом R , яка розміщена на діелектричній пластині 9, що жорстко пов'язана із валом 10 об'єкта, що обертається з кутовою швидкістю Ω . Шини зустрічно-штирової решітки 8 з'єднані із кільцевими електродами 11 та 12. Період розміщення електродів W решітки 8 може змінюватись по колу решітки в залежності від заданого динамічного діапазону вимірювання кутової швидкості.

Над рухомим ПАХ-приймачем розміщено ємнісний знімач вихідного сигналу 13 з нерухомою діелектричною пластиною 14 та кільцевими електродами 15 і 16, які відповідно з електродами 11 і 12 і створюють ємнісний знімач вихідного сигналу ПАХ-приймача. Електрод 16 заземлено, а електрод 15 з'єднаний із входом височастотного підсилювача 17, вихід якого сполучено із першим входом змішувача сигналів 18, другий вхід якого з'єднано із виходом височастотного генератора 19, який також сполучений із вхідним ЗШП 4.

Вихід змішувача 18 з'єднано з фільтром низьких частот 20, вихідний сигнал з якого поступає в електронний блок 21, в якому здійснюється вимірювання проміжної частоти $F = f - f_0$, по якій визначається кутова швидкість ПАХ-приймача Ω .

В електронний блок 21 також поступає сигнал від ЗШП 5 для вимірювання зсуву фази, який дозволяє визначати зміну фазової швидкості ПАХ у хвилеводі ΔV при дії зовнішніх дестабілізуючих факторів (температури, вологості тощо) і виробляти сигнал для коригування результатів вимірювання кутової швидкості об'єкта.

Розподілена конструкція кільцевого ПАХ-приймача дозволяє приймати сигнал з компенсацією похибок, що виникають в результаті торцевого та радіального биття приймача. У перетворювачі швидкості, як і переміщення, в якості п'єзоелектричного звукопроводу доцільно використовувати плівковий хвилевід на основі п'єзоелектричних плівок оксид цинку ZnO, нітрид алюмінію AlN, топографічний хвилевід на основі п'єзоелектричної кераміки, щілинний хвилевід на основі тих же матеріалів [24].

Математична модель АЕП кутової швидкості в статичному режимі відповідає моделі перетворювача кутових переміщень при умові збудження ПАХ на одній частоті f_0 [21]. При цьому у кільцевому

п'єзоелектричному хвилеводі, який є кільцевим резонатором біжучих хвиль, відбувається синфазне сумування хвиль при виконанні умови:

$$2\pi R = N\lambda_0, \quad (1)$$

де R – середній радіус хвилеводу; $\lambda_0 = V_0/f_0$; λ_0 – резонансна довжина ПАХ на частоті f_0 , режим резонансу досягається зміною частоти генератора; V_0 – фазова швидкість ПАХ при температурі $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) АЕП кутової швидкості можна представити у вигляді [21]:

$$K_{\text{АЧХ}} = \gamma_1 \gamma_2 N M K_1 K_2 \exp[-2\pi(1-\delta) X \lambda_0], \quad (2)$$

де γ_1 та γ_2 – коефіцієнти електромеханічного перетворення вхідним ЗШП 4 та рухомим кільцевим ПАХ-приймачем 7; N та M – кількість електродів вхідного ЗШП та ЗШП кільцевого ПАХ-приймача; K_1 та K_2 – нормовані амплітудно-частотні характеристики вхідного ЗШП 4 та ЗШП ПАХ-приймача 7, що визначаються відповідно співвідношеннями:

$$K_1 = \sin(0,5N\pi\delta)/(0,5N\pi\delta);$$

$$K_2 = \sin(0,5M\pi\delta)/(0,5M\pi\delta);$$

X – величина зазору між поверхнею кільцевого хвилеводу та ЗШП ПАХ-приймача; $\delta = (f - f_0)/f_0$ – відносне частотне розстроювання; f_0 – частота генератора 19 (частота ПАХ у хвилеводі).

При обертанні ПАХ-приймача з кутовою швидкістю Ω [рад./сек.] над поверхнею хвилеводу в кільцевому ЗШП ПАХ-приймача індуктується змінний електричний сигнал на частоті f , яка відрізняється від частоти ПАХ (генератора) f_0 в результаті ефекту Доплера на величину:

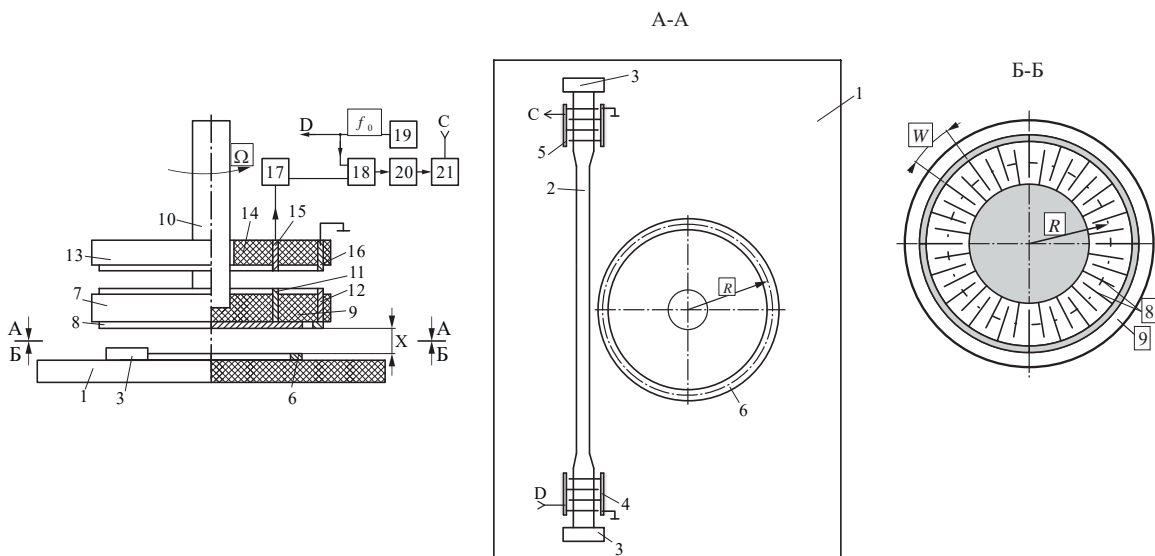


Рис. 1 Схема функціональна акустоелектронного перетворювача кутової швидкості

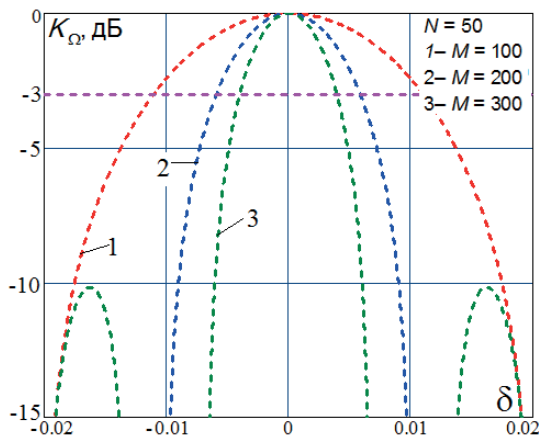


Рис. 2 АЧХ АЕП кутової швидкості

$$F = f_0 \left[\frac{(V_0 \mp 2\pi R n)}{(V_0 \pm 2\pi R n)} - 1 \right], \quad (3)$$

де $n = \Omega/2\pi$ – кутова швидкість в обертах за секунду.

На рис. 2 представлено нормовані АЧХ АЕП кутової швидкості при $N = 50$ і $M = 100; 200; 300$.

На рис. 3 представлено приріст частоти сигналу ПАХ-приймача при його обертанні в електричному полі ПАХ, що поширюється в кільцевому п'єзоелектричному хвилеводі.

Із (3) отримаємо формулу для визначення роздільної здатності перетворювача кутової швидкості:

$$n = \frac{V_0}{2\pi R} \frac{f_0^2 - (f_0 - \Delta F)^2}{f_0^2 + (f_0 - \Delta F)^2}. \quad (4)$$

Так, наприклад, при швидкості ПАХ у хвилеводі $V_0 = 3000$ м/с, частоті генератора $f_0 = 30$ МГц, радіусу хвилевода $R = 10$ мм та роздільній здатності вимірювача частоти $\Delta F = \Delta F_p = 1$ Гц згідно формули (4) отримаємо роздільну здатність перетворювача кутової швидкості:

$$n_{min} \approx 3,2 \times 10^{-3} \text{ об./с}$$

При смузі пропускання ПАХ-приймача $\Delta F = \Delta F_m \approx \pm 0,3$ МГц (при $N = 50$ та $M = 100$) отримаємо згідно формули (4) верхню границю вимірювання кутової швидкості: $n_{max} \approx 470$ об./с

При зміні температури зовнішнього середовища в інтервалі $T = (-50 \dots + 50)^\circ C$ слід очікувати відносну зміну фазової швидкості ПАХ $\eta = \Delta V / V_0 = \pm (10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-3})$ [4]. Тоді, похибка

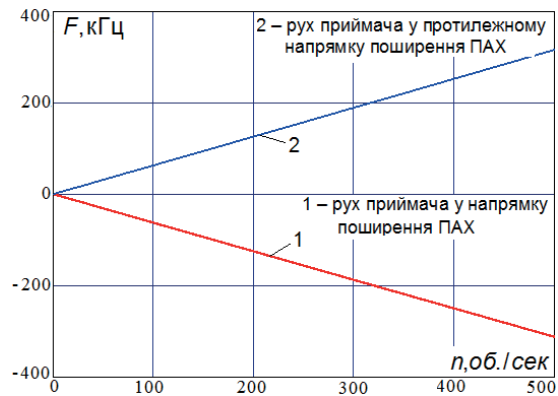


Рис. 3 Приріст частоти сигналу ПАХ-приймача

визначення роздільності здатності буде визначатися згідно формули:

$$\eta = (n_{min} - n_{min}^T) / n_{min}. \quad (5)$$

На рис. 4 зображені залежності відносної зміни проміжної частоти в залежності від параметра η , розрахованих згідно формули:

$$\delta F = (F - F_{\pm}) / F, \quad (6)$$

де

$$F_{\pm} = f_0 \left[\frac{(V_0 \pm \eta V_0) \mp 2\pi R n}{(V_0 \pm \eta V_0) \pm 2\pi R n} - 1 \right]. \quad (7)$$

Похибку вимірювання кутової швидкості можливо зменшити, якщо вимірювати приріст фази сигналу з контрольного ЗШП 5 і визначати швидкість ПАХ у хвилеводі за формулою $V = (\eta_{\omega_{\text{фаз}}} + 1)V_0$, де $\eta_{\omega_{\text{фаз}}} = V_0 \Psi / 360 f_0 L$; Ψ – приріст фази сигналу, що знімається з контрольного ЗШП 5 при зміні температурного режиму; L – акустична відстань між вхідним 4 та контрольним 5 ЗШП.

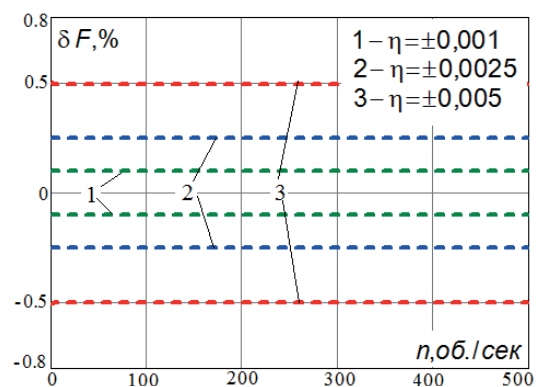


Рис. 4 Відносна зміна проміжної частоти від кутової швидкості та зміни фазової швидкості ПАХ

ВИСНОВКИ

Використання ефекту Доплера при переміщенні ПАХ-приймача в електричному полі поверхневої акустичної хвилі, що поширюється в п'єзоелектричному хвилеводі, дозволяє створення малогабаритного високочутливого перетворювача кутової швидкості в широкому динамічному діапазоні для різноманітного призначення.

Розглянутий перетворювач може бути застосований в інформаційно-вимірювальних і навігаційних комплексах для вимірювання кутового переміщення, швидкості та прискорення.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] V. V. Krivenkov, *Avtomaticheskiy kontrol i poverka preobrazovateley uglovyyh i lineynykh velichin* [Automatic control and verification of transducers of angular and linear quantities], Leningrad: Mashynostroenye, 1986, p. 247.
- [2] V. G. Domrachev; V. R. Matveevskiy; Yu. S. Smirnov, *Shemotehnika tsifrovyyh preobrazovateley peremescheniy: Spravochnoe posobie* [Circuitry of digital displacement transducers: A Guidebook], Moscow: Energoatomizdat, 1987, p. 392.
- [3] M. Y. Yukish; V. V. Kuharchuk; Y. Y. Billnskiy, *Optiko-elektronni zasobi kontrolyu parametriv obertalnogo ruhu na osnovi metodu prostоровoyi modulyatsiyi* [Optoelectronic devices for controlling the parameters of rotational motion based on the method of spatial modulation], Vinnitsa: VNTU, 2009, p. 138.
- [4] P. F. Polyakov; V. A. Horunzhiy; V. P. Polyakov, *Akustoelektronika. Fiziko-tehnologicheskie osnovy i primenenie: Sprav. posobie: V 2 t.* [Acoustoelectronics. Physical and technological basis and application: Ref. Allowance: 2 t.], vol. 1, Kharkiv: "SMIT company" ltd, 2007, p. 552.
- [5] M. F. Zhovnir; M. G. Chernyak; D. V. Chernenko; L. M. Sheremet, «Vimlryuvalnl peretvoryuvachl flzichnih velichin na poverhnevih akustichnih hvilyah [Measuring transducers of physical quantities on surface acoustic waves],» *Electronics and Communications*, vol. 16, no. 1 (60), pp. 153-157, 2011.
- [6] Y. I. Lepih, «Datchik davleniya s tenzochuvstvitelnyim preobrazovatelem na poverhnostnyih akusticheskikh volnah [Pressure sensor with strain-sensitive transducer on surface acoustic waves],» *Tekhnolohyya y konstruyrovanye v elektronnoy aparature*, no. 3, pp. 53-54, 2004.
- [7] A. Zbrutsky; N. Chernyak; G. Skripkovsky, "Creation of low cost linear accelerometers for navigation and control systems," in *Symposium Gyro Technology*, 2005.
- [8] O. M. Bondarenko; O. V. Kaznadiy, «Girokopichni efekti v pasivnih mikroelektronnih datchikah kutovoyi shvidkosti [Gyroscopic effects in passive microelectronic angular velocity sensors],» *Datchyky y systemy*, no. 6, pp. 59-65, 2001.
- [9] 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)
- [10] M. F. Hribsek; D. V. Tomic; M. R. Radosavljevic, "Surface Acoustic Wave Sensors in Mechanical Engineering," *FME Transactions*, no. 38, pp. 11-18, 2010.
- [11] E. Mackensen; L. Reindl, "Wireless Passive SAW Identification Marks and Sensors," *Smart Sensors and MEMS*, no. 181, pp. 155-202, 2004. DOI: [10.1007/978-1-4020-2929-5_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2929-5_5)
- [12] 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)
- [13] 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)
- [14] O. Bogdan; A. Orlov; O. Petrischev; V. Ulianova, "ZnO Nanostructures as Sensing Element of Acoustic Wave Sensor," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 6/12 (60), pp. 16-22, 2012. URL: <http://journals.uran.ua/ejeet/article/view/6021/5417>
- [15] 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)
- [16] 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.
- [17] M. F. Zhovnir; O. O. Oliynyk; L. D. Pisarenko, «Matematichni modeli sensoriv peremischen ta tisku na osnovi zburennya elektrichnogo polya poverhnevih akustichnih hvil [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)
- [18] M. F. Zhovnir; M. V. Bitov; L. D. Pisarenko, «Vimlryuvalnl peretvoryuvachl mlkroperemlschen ta tisku na poverhnevih akustichnih hvilyah [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)
- [19] D. Chernenko; M. Zhovnir; O. Oliynyk; B. Tsyganok, «Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures,» in *35th International Spring Seminar on Electronics Technology*, 2012. DOI: [10.1109/isse.2012.6273174](https://doi.org/10.1109/isse.2012.6273174)
- [20] M. F. Zhovnir, «Matematichna model pervinnogo peretvoryuvacha liniynyh peremischen z ruhomim priymachem poverhnevih akustichnih hvil [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 kompleksy»*, no. 7 (1179), pp. 48-57, 2016.
- [21] M. F. Zhovnir, «Matematichna model pervinnogo peretvoryuvacha kutovih peremischen z kiltsevym p'ezoelektrichnim hvilevodom poverhnevih akustichnih hvil [Mathematical model of the primary transducer of angular displacements with piezoelectric waveguide surface acoustic waves],» *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: «Mekhaniko-tehnolohichni systemy ta kompleksy»*, no. 49 (1221), pp. 42-51, 2016.
- [22] M. F. Zhovnir, «Peretvoryuvach peremischen z vikoristannam fazovih nabigan elektrichnogo polya poverhnevih akustichnih hvil [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)
- [23] M. F. Zhovnir, L. D. Pisarenko, A. V. Ivaschuk, O. O. Oliynyk, M. V. Bitov, T. E. Pleshka ra E. S. Zakonov, «Datchik dlya vimiryuvannya kutovoyi shvidkosti ob'ektiv. Patent na korisnu model. [Sensor for measuring angular velocity of objects. Patent for utility model.].» Ukraine Patent 115968, 10 May 2017.
- [24] M. F. Zhovnir, «P'ezoelektrichnl pllvkoviil hvilevodi poverhnevih akustichnih hvil [Piezoelectric film waveguides of surface acoustic waves],» *Journal of Nano-and Electronic Physics*, vol. 8, no. 4 (1), pp. 04007-1-04007-7, 2016. DOI: [10.21272/jnep.8\(4\(1\)\).04007](https://doi.org/10.21272/jnep.8(4(1)).04007)

Надійшла до редакції 12 червня 2017 р.



УДК 531.77

Акустоэлектронный преобразователь угловой скорости

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

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского" kpi.ua

Реферат—Предложен и теоретически обоснован метод измерения угловой скорости объекта с использованием эффекта Доплера при распространении в кольцевом пьезоэлектрическом волноводе поверхностных акустических волн (ПАВ), что принимаются подвижным в электрическом поле ПАВ – приемником.

Приведены функциональная схема и оценка потенциальных метрологических параметров акустоэлектронного преобразователя угловой скорости, что показывает его преимущества по сравнению с традиционными преобразователями (тахогенераторами, магнитоэлектрическими, электромагнитными та фотоэлектрическими преобразователями, волоконно-оптическими преобразователями на основе эффекта Саньяка, преобразователями на основе эффекта Холла).

При частоте задающего генератора 30 МГц и радиусе кольцевого пьезоэлектрического волновода 10 мм потенциальная разрешающая способность акустоэлектронного преобразователя угловой скорости меньше 1 об/мин. в динамическом диапазоне до 30000 об/мин. и больше.

Теоретические соотношения и результаты численных расчетов позволяют обосновывать конструктивные и электрические параметры в зависимости от заданных метрологических характеристик преобразователя угловой скорости.

Бібл. 24, рис.4.

Ключевые слова — поверхностная акустическая волна (ПАВ); преобразователь угловой скорости, пьезоэлектрический волновод; эффект Доплера; встречно-штыревой преобразователь.

UDC 531.77

Acoustoelectronic transducer of angular velocity

M. F. Zhovnir, PhD, Senior Researcher, ORCID [0000-0002-9443-527X](https://orcid.org/0000-0002-9443-527X)
e-mail zhovnir101@gmail.com

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

Abstract—The comparative characteristics of angular velocity transducer of object is carried out. It includes the comparison of direct and alternating current tachogenerators, photoelectric transducers, fiber optic transducers based on the Sagnac effect, magnetic and electromagnetic transducers using the Hall effect.

The method for measuring the angular velocity of the object using the Doppler effect propagating in a circular piezoelectric waveguide of surface acoustic waves (SAW) received by a SAW receiver moving in electric field is proposed and theoretically grounded.

The functional diagram of the acousto-electronic angular velocity transducer that can contain a circular waveguide based on the piezoelectric film zinc oxide (aluminum nitride), a topographic waveguide based on piezoelectric ceramics or a slit waveguide based on the same materials is carried out. A circular SAW receiver moves above circular piezoelectric waveguide in the electric field. The SAW receiver's distributed construction allows receiving signal with compensation of errors arising as a result of frontal and radial beats of transducer relative to the circular waveguide.



The mathematical model of the acousto-electronic angular velocity transducer allows to determine the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics depending on the SAW-module construction parameters and set oscillator electrical parameters.

An estimation of transducer potential metrological parameters using Doppler effect propagating SAW in a circular waveguide demonstrates the advantages over traditional transducers.

It is shown that at a set oscillator frequency of 30 MHz and circular piezoelectric waveguide radius of 10 mm, the potential resolution of acousto-electronic velocity transducer is less than 1 rpm in the dynamic range up to 30,000 rpm and more.

Signal phase gain measurement of the control interdigital transducer of the surface acoustic waves allows taking into account the temperature influence on the measurement error.

The theoretical interrelation and the results of numerical calculation allow substantiating the structural and electrical parameters depending on the set metrological characteristics of angular velocity transducer.

The proposed acousto-electronic angular velocity converter can be applied in high-precision information measuring complexes for angular displacement, speed and acceleration measurement.

Ref. 24, fig. 4.

Key words — surface acoustic wave (SAW); the transducer of the angular velocity; the piezoelectric waveguide; the Doppler effect; interdigital transducer.