

УДК 531.768

М.Ф. Жовнір, канд. техн. наук, **О.В. Шостак**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна.

Оцінка потенційних роздільної здатності і точності вимірювальних перетворювачів лінійних та кутових переміщень на базі використання фазових набігань поверхневих акустичних хвиль

Приведено результати оцінки метрологічних параметрів 3-х частотного вимірювального перетворювача лінійних та кутових переміщень з рухомим приймачем на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Бібл. 5, рис. 2, табл. 1.

Ключові слова: поверхневі акустичні хвилі (ПАХ); фазовий багаточастотний метод; чутливість; роздільна здатність; точність.

Вступ

В теперішній час на базі досягнень акустоелектроніки сформувався новий напрямок у вимірюванні фізичних величин – перетворювачі інформації на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Використання ПАХ обумовлено можливістю створення хвильових процесів з малою довжиною хвилі, що забезпечує, при застосуванні частотного або фазового методів вимірювання, велику чутливість і точність перетворення інформації в широкому динамічному діапазоні [1-5].

Вимірювальні перетворювачі (ВП) на ПАХ створюються на основі:

- зміни фазової швидкості ПАХ та акустичної довжини лінії затримки внаслідок деформації звукопроводу балочного або мембранного типу [1, 3];
- зміни фазової швидкості ПАХ при переміщенні механічного зонду в електричному полі хвилі [1, 4];
- зміни фазової швидкості ПАХ при дії навколишнього середовища на поверхню звукопроводу [3, 5];
- зміни акустичної довжини лінії затримки при переміщенні приймача ПАХ над поверхнею п'єзоелектричного звукопроводу [2, 3].

В основі більшості ВП на ПАХ лежить високостабільний ПАХ-генератор, що складається з регульованої під впливом вимірювальних фізичних або механічних величин лінії затримки на ПАХ, яка ввімкнена в ланцюг зворотного зв'язку підсилювача. Застосування частотного метода вимірювання дозволяє отримувати високу роздільну здатність і точність [1-5].

Однак, у випадку необхідності вимірювання лінійних або кутових переміщень в динамічному діапазоні до 100 мм (360 кут. град.) необхідно застосовувати фазовий метод вимірювання. Для усунення багатозначності фазових вимірювань доцільно застосування метода вимірювання на основі використання фазового набігання кількох поверхневих акустичних хвиль, що збуджуються в звукопроводі на різних частотах, на яких вимірюються інформаційні параметри, що визначають положення рухомого приймача ПАХ [2].

Постановка завдання

Завданням статті є оцінка роздільної здатності та точності 3-х частотного ВП лінійних та кутових переміщень на ПАХ, що поширюються по поверхні п'єзоелектричного звукопроводу, з рухомим приймачем ПАХ.

Оцінка потенційних роздільної здатності і точності ВП на ПАХ

На рис.1 представлена функціональна схема ВП на ПАХ при збудженні хвилі у вигляді суперпозиції 3-х поверхневих акустичних хвиль з частотами $f_2 < f_1 < f_3$. Первинний перетворювач складається із п'єзоелектричного звукопроводу (хвилеводу) 1 з поглиначами ПАХ 2 та 3, необхідних для створення режиму біжучих хвиль, вхідного та контрольного зустрічноштирових перетворювачів (ЗШП) 4 і 5, сформованих на п'єзоелектричному звукопроводі, над яким на відстані X , не більшій довжини поверхневих акустичних хвиль, переміщується приймач ПАХ 6, виконаний у вигляді ЗШП, сформованого на діелектричній пластині.

Електричний сигнал з генераторного блоку 7, що складається із трьох високостабільних генераторів та суматора, подається на вхідний ЗШП і збуджує поверхневу акустичну хвилю, яка приймається рухомим приймачем 6 і контрольним ЗШП 5, вихідні сигнали з яких поступають на блоки підсилення і фільтрації 8 і 9, що скла-

даються із високочастотних підсилювачів та 3-х фільтрів відповідно на частоти $f_{1,2,3}$.

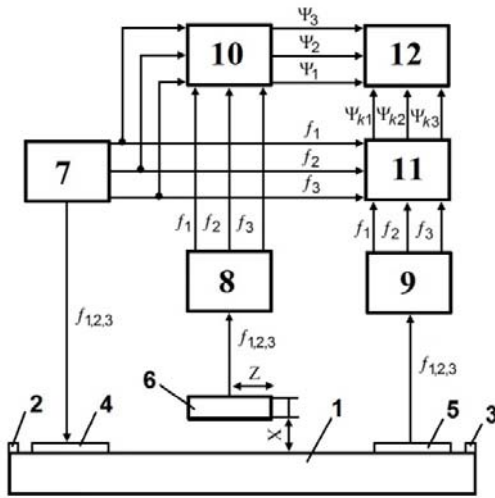


Рис. 1. Функціональна схема ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень

Після підсилення та фільтрації вихідні сигнали з блоків 8 і 9 поступають на фазометричні блоки 10 та 11, на які поступають також сигнали з генераторного блоку. Результати вимірювання фаз Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 сигналів з рухомого приймача поступають в блок обробки та формування трьох вимірювальних шкал перетворювача 12.

Одночасно в блок 12 поступають результати вимірювання фаз сигналів $\Psi_{k1}, \Psi_{k2}, \Psi_{k3}$ з блоку 11 для коригування фаз Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 при дії дестабілізуючих факторів на звукопровід.

Наприклад, для формування точної шкали використовуються результати вимірювання Ψ_1 на частоті f_1 . Визначаючи $\Psi_{12} = \Psi_1 - \Psi_2$ або $\Psi_{13} = \Psi_1 - \Psi_3$ можна сформувати проміжну шкалу, а визначення $\Psi_{123} = \Psi_{13} - \Psi_{12}$ дозволить сформувати грубу шкалу вимірювального перетворювача.

Повні фазові набіги хвиль з частотами $f_{1,2,3}$ на ділянці звукопровода від вхідного ЗШП до приймача ПАХ можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \Phi_{1,2,3} &= \Delta\Phi_{1,2,3} + \beta_{1,2,3}Z = \\ &= \Delta\Phi_{1,2,3} + 2\pi N_{1,2,3} + \Psi_{1,2,3} \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Delta\Phi_{1,2,3}$ - початкові фази ПАХ, для спрощення подальшого опису метода приймаємо

$$\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_3 = 0; \quad \beta_{1,2,3} = \frac{2\pi}{\lambda_{1,2,3}} = \frac{2\pi f_{1,2,3}}{V} \quad \text{і}$$

$$\lambda_{1,2,3} = \frac{\lambda_1}{(1 - \delta_{1,2,3})} - \text{відповідно хвильові числа і}$$

довжини ПАХ на частотах $f_{1,2,3}$; V - фазова швидкість ПАХ; $\delta_{1,2,3} = \frac{(f_1 - f_{1,2,3})}{f_1}$ - частотне

розстроювання; $\lambda_1 = \frac{V}{f_1}$ - довжина ПАХ на

частоті f_1 ; $N_{1,2,3}$ число довжин хвиль (число циклів фази) на відповідних частотах на довжині звукопровода Z ; $\Psi_{1,2,3}$ - дробні частки фазового набігання на частотах $f_{1,2,3}$ фіксуються фазометрами, що дозволяють однозначно визначити положення рухомого приймача ПАХ в границях відповідних довжин хвиль $\lambda_{1,2,3}$, які в високочастотних перетворювачах переміщень можуть приймати значення $\lambda = 10 \dots 100$ мкм.

При вимірюванні кутових переміщень звукопровід (хвилевід) виконується кільцевим, а переміщення приймача здійснюється по дузі $Z = R \cdot \varphi$, де R - радіус звукопровода і приймача; φ - кут обертання в радіанах.

Із співвідношення (1) випливає, що вимірювання ψ_1, ψ_2 і ψ_3 на кожній частоті дозволяє однозначно визначити величину переміщення в межах відповідних довжин хвиль $\lambda_{1,2,3}$. Тому гранично допустиме значення переміщення, що може однозначно визначитися, обмежується, наприклад на довжині хвилі $\lambda_1 = 46$ мкм, значенням $Z_{1m} = \lambda_1 = 46$ мкм (при вимірюванні кутових переміщень $\varphi_{1m} = \frac{\lambda_1}{R} = \frac{2\pi}{N_1} \approx 632,81$ кут.сек. при числі довжин хвиль в кільцевому хвилеводі $N_1 = \frac{2\pi R}{\lambda_1} = 2048$).

Результати вимірювання Ψ_1 доцільно використати для формування точної вимірювальної шкали перетворювача, чутливість на якій визначається співвідношеннями:

- лінійних переміщень:

$$S_1 = \frac{d\Psi_1}{dZ} = \frac{2\pi}{\lambda_1} = \frac{360}{\lambda_1} \left[\frac{\text{ел.град.}}{\text{мкм}} \right];$$

- кутових переміщень:

$$S_1 = \frac{d\Psi_1}{d\varphi} = \frac{2\pi R}{\lambda_1} = \frac{N_1}{3600} \left[\frac{\text{ел.град.}}{\text{кут.сек.}} \right]. \quad (2)$$

Розширення діапазону можливо при використанні різниці повних фазових набігань ПАХ, які представляються системою рівнянь:

$$\Phi_{12} = \Phi_1 - \Phi_2 = \beta_{12}Z = 2\pi N_{12} + \Psi_{12};$$

$$\Phi_{13} = \Phi_1 - \Phi_3 = \beta_{13}Z = 2\pi N_{13} + \Psi_{13}, \quad (3)$$

де $\beta_{12} = \beta_1 - \beta_2 = 2\pi / \Lambda_{12} = 2\pi F_{12} / V$;

$$\beta_{13} = \beta_1 - \beta_3 = 2\pi / \Lambda_{13} = 2\pi F_{13} / V;$$

$$\Lambda_{12} = \lambda_1 / \delta_1 = P_2 \lambda_1, \quad \Lambda_{13} = \lambda_1 / \delta_3 = P_3 \lambda_1;$$

$$F_{12} = \delta_2 f_2; \quad F_{13} = \delta_3 f_1; \quad P_2 = 1 / \delta_2; \quad P_3 = 1 / \delta_3;$$

Λ_{12} та Λ_{13} - ефективні довжини хвиль на частотах биття F_{12} та F_{13} ; $N_{12} = N_1 - N_2$ та $N_{13} = N_1 - N_3$ - кількість довжин хвиль Λ_{12} та Λ_{13} на ділянці звукопровода Z ; P_2 та P_3 - коефіцієнти редукації фаз проміжних шкал (число циклів точної шкали, що розміщуються в одному циклі проміжних шкал), для формування яких використовуються результати вимірювання різниць дробних часток фазових набігань $\Psi_{12} = \psi_1 - \psi_2$ та $\Psi_{13} = \psi_1 - \psi_3$, алгоритм визначення яких можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned} \Psi_{12} &= \Psi_1 - \Psi_2 && \text{при } \Psi_1 - \Psi_2 \geq 0; \\ \Psi_{12} &= \Psi_1 - \Psi_2 + 2\pi && \text{при } \Psi_1 - \Psi_2 < 0; \\ \Psi_{13} &= \Psi_1 - \Psi_3 && \text{при } \Psi_1 - \Psi_3 \geq 0; \\ \Psi_{13} &= \Psi_1 - \Psi_3 + 2\pi && \text{при } \Psi_1 - \Psi_3 < 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Звідки випливає, що Ψ_{12} та Ψ_{13} в межах одного циклу визначаються різницями фазових вимірювань на частотах $f_{1,2,3}$ і діапазон вимірювання переміщень, що однозначно визначається, дорівнює ефективним довжинам хвиль Λ_{12} та Λ_{13} , які в $P_{2,3}$ разів більші λ_1 . У ВП на ПАХ значення коефіцієнтів редукації $P_{2,3}$ визначаються смугою пропускання ЗШП, а також вимогами до частотної фільтрації вихідного сигналу приймача і може бути в інтервалі $P_{2,3} = 10 \dots 100$.

Діапазон переміщень, що можливо виміряти однозначно, наприклад, при $\lambda_1 = 46$ мкм і при $P_2 = 64$ може бути не більше $Z_{2m} = \Lambda_{12} = P_2 \cdot Z_{1m} = P_2 \cdot \lambda_1 = 2944$ мкм = 2,944 мм (при кутових переміщеннях $\varphi_{2m} = P_2 \cdot \varphi_{1m} = \Lambda_{12} / R = 2\pi P_2 / N_1 \approx 0,198$ кут.рад. $\approx 11,25$ кут.град.). Результати вимірювання Ψ_{12} та Ψ_{13} можна використати для формування проміжних вимірювальних шкал перетворювача, чутливість на яких визначається співвідношеннями:

$$\begin{aligned} S_{12} &= \frac{d\Psi_{12}}{dZ} = \frac{2\pi}{\Lambda_{12}} = \frac{S_1}{P_2}; \\ S_{13} &= \frac{d\Psi_{13}}{dZ} = \frac{2\pi}{\Lambda_{13}} = \frac{S_1}{P_3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Подальше розширення діапазону можливо при формуванні третьої (грубої) шкали перетворювача, для цього скористаємося різницею різниць повних фазових набігань, що можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \Phi_{123} &= \Phi_{12} - \Phi_{13} = \beta_{123}Z = 2\pi N_{123} + \Psi_{123}; \\ \beta_{123} &= \beta_{12} - \beta_{13} = 2\pi / \Lambda_{123} = 2\pi F_{123} / V; \\ \Lambda_{123} &= P_{123} \lambda_1 = P_{12} \Lambda_{12} = P_{13} \Lambda_{13}; \\ F_{123} &= (\delta_2 - \delta_3) f_1 = f_1 / P_{123}; \\ P_{12} &= \delta_2 / (\delta_2 - \delta_3); \quad P_{13} = \delta_3 / (\delta_2 - \delta_3); \\ P_{123} &= 1 / (\delta_2 - \delta_3) = P_2 P_{12} = P_3 P_{13} = P_2 P_3 / (P_3 - P_2), \end{aligned} \quad (6)$$

де β_{123} і Λ_{123} - ефективне хвильове число та довжина ПАХ на частоті биття F_{123} ; P_{12} і P_{13} число циклів проміжних шкал, що розміщуються в одному циклі грубої шкали; N_{123} - число довжин хвиль Λ_{123} на ділянці звукопровода Z ; P_{123} - коефіцієнт редукації фази третьої (грубої) вимірювальної шкали (число циклів точної шкали, що розміщується в одному циклі грубої шкали), для формування якої використовуються результати вимірювання різниць дробних часток фазових набігань $\Psi_{123} = \Psi_{13} - \Psi_{12}$, алгоритм визначення яких має вигляд:

$$\begin{aligned} \Psi_{123} &= \Psi_{13} - \Psi_{12} && \text{при } \Psi_{13} - \Psi_{12} \geq 0; \\ \Psi_{123} &= \Psi_{13} - \Psi_{12} + 2\pi && \text{при } \Psi_{13} - \Psi_{12} < 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Із співвідношення (6) випливає, що діапазон однозначно вимірюваних переміщень, дорівнює ефективній довжині хвилі $\Lambda_{123} = P_{123} \cdot \lambda_1$.

При малих значеннях різниці $(\delta_2 - \delta_3)$ можливо отримати значний коефіцієнт редукації P_{123} . Наприклад, при $P_2 = 64$ і $P_3 = 2048 / 31$ коефіцієнт редукації $P_{123} = 2048$ і діапазон переміщення, що однозначно визначається, розширюється при $\lambda_1 = 46$ мкм до $Z_{3m} = \Lambda_{123} = P_{123} \lambda_1 = 94208$ мкм = 94,208 мм (при вимірюванні кутових переміщень $\varphi_{3m} = P_{123} \cdot \varphi_{1m} = \frac{\Lambda_{123}}{R} = \frac{2\pi P_{123}}{N_1} = 2\pi$ кут.рад. = 360 кут.град.).

Результати вимірювання Ψ_{123} дозволяють сформувати грубу вимірювальну шкалу перетворювача, чутливість на якій визначається співвідношеннями:

$$S_{123} = \frac{d\psi_{123}}{dZ} = \frac{2\pi}{\Lambda_{123}} = \frac{S_1}{P_{123}}. \quad (8)$$

Таким чином, 3-х частотний перетворювач на ПАХ дозволяє однозначно вимірювати переміщення в межах ефективної довжини хвилі самої низької частоти биття. Найбільшу чутливість має шкала на основній частоті f_1 . По мірі пониження частот биття F_{12} , F_{13} , F_{123} чутливість зменшується.

Необхідно відмітити, що при реалізації описаного позиційного перетворювача необхідно забезпечити жорстке спряження трьох вимірювальних шкал, що можливо при виконанні умови:

$$P_{123} = P_2 P_{12} = P_3 P_{13} = \frac{P_2 P_3}{(P_3 - P_2)}.$$

На рис. 2. представлено теоретичні залежності фазового набігання 3-х частотного ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень.

В таблиці 1 представлено результати розрахунків метрологічних параметрів 3-х частотного позиційного ВП лінійних та кутових переміщень на основі фазових набігань ПАХ на основній частоті $f_1 = 70,62$ МГц при $\lambda_1 = 46$ мкм та додаткових частотах $f_2 = f_1(1 - \delta_2)$ і $f_3 = f_1(1 + \delta_3)$, де $\delta_2 = 1/64$; $\delta_3 = 31/2048$.

В табл. 1 представлено результати розрахунків метрологічних параметрів 3-х частотного

позиційного ВП лінійних та кутових переміщень на основі фазових набігань ПАХ на основній частоті $f_1 = 70,62$ МГц при $\lambda_1 = 46$ мкм, додаткових частотах $f_2 = f_1(1 - \delta_2)$ і $f_3 = f_1(1 + \delta_3)$, де $\delta_2 = 1/64$, $\delta_3 = 31/2048$, та $N_1 = 2\pi R/\lambda_1 = 2048$

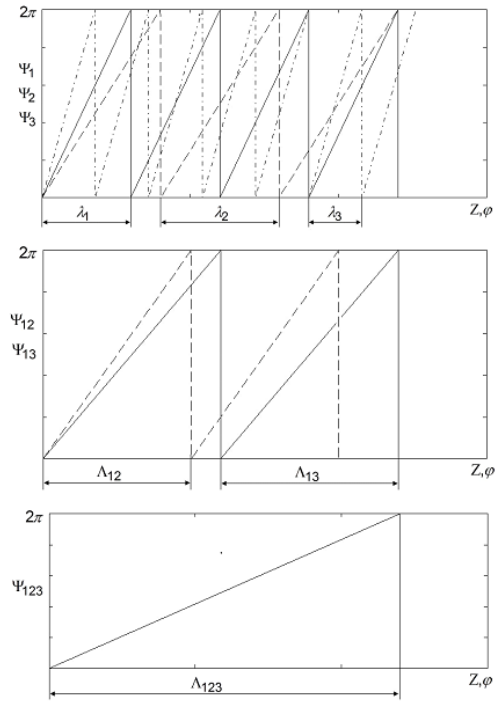


Рис. 2. Зображення теоретичних фазових характеристик 3-х частотного ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень

Таблиця 1. Розрахункові параметри вимірювального перетворювача лінійних та кутових переміщень на ПАХ

Найменування параметра	Точна шкала	Проміжна шкала	Груба шкала
Діапазон однозначного вимірювання переміщень	$Z_{1m} = \lambda_1 = 46$ мкм $\varphi_{1m} = \frac{\lambda_1}{R} = \frac{1296000}{N_1} \approx 632,81$ кут.сек.	$Z_{2m} = P_2 \cdot Z_{1m} = 2,944$ мм $\varphi_{2m} = P_2 \cdot \varphi_{1m} = 1125$ кут.град	$Z_{3m} = P_{123} \cdot Z_{1m} = 94,208$ мм $\varphi_{3m} = P_{123} \cdot \varphi_{1m} = 360$ кут.град.
Чутливість ВП	$S_1 = \frac{d\psi_1}{dZ} = \frac{360}{\lambda_1} \approx 7,83$ ел.град./мкм $S_1 = \frac{d\psi_1}{d\varphi} = \frac{N_1}{3600} \approx 0,57$ ел.град./кут.сек.	$S_{12} = \frac{d\psi_{12}}{dZ} = \frac{S_1}{P_2} \approx 122,3$ ел.град./мм $S_{12} = \frac{d\psi_{12}}{d\varphi} = \frac{S_1}{P_2} \approx 32$ ел.град./кут.град	$S_{123} = \frac{d\psi_{123}}{d\varphi} = \frac{S_1}{P_{123}} \approx 3,82$ ел.град./мм $S_{123} = \frac{d\psi_{123}}{d\varphi} = \frac{S_1}{P_{123}} \approx 10$ ел.град./кут.град

Продовження табл. 1.

Потенційна роздільна здатність ВП при роздільній здатності фазометра $\psi_{\min} = 0,1$ ел.град.	$Z_{1\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_1} \approx$ $\approx 0,013 \text{ мкм}$ $\varphi_{1\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_1} \approx$ $\approx 0,175 \text{ кут.сек.}$	$Z_{2\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_{12}} \approx$ $\approx 0,817 \text{ мкм}$ $\varphi_{2\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_{12}} \approx$ $\approx 11,25 \text{ кут.сек.}$	$Z_{3\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_{123}} \approx$ $\approx 0,026 \text{ мм}$ $\varphi_{3\min} = \frac{\Psi_{\min}}{S_{123}} =$ $= 0,1 \text{ кут.град.}$
Похибка ВП при похибці фазометра $\Delta\psi = \pm 0,5$ ел.град.	$\Delta Z_{1\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_1} \approx$ $\approx \pm 0,065 \text{ мкм}$ $\Delta\varphi_{1\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_1} \approx$ $\approx \pm 0,85 \text{ кут.сек.}$	$\Delta Z_{2\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_{12}} \approx$ $\approx \pm 4,08 \text{ мкм}$ $\Delta\varphi_{2\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_{12}} \approx$ $\approx \pm 56,25 \text{ кут.сек.}$	$\Delta Z_{3\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_{123}} \approx$ $\approx \pm 0,13 \text{ мм}$ $\Delta\varphi_{3\min} = \frac{\Delta\Psi}{S_{123}} =$ $= \pm 0,5 \text{ кут.град.}$

Висновки

Результати розрахунків показують, що при роздільній здатності $\psi_{\min} = 0,1$ ел.град. та похибці $\Delta\psi = \pm 0,5$ ел.град. вимірювання фази фазометрів 3-х частотний метод має наступні потенційні параметри ВП на ПАХ лінійних та кутових переміщень:

- діапазон переміщень - 0...100 мм (0...360°);
- роздільна здатність на точній шкалі - 0,013 мкм (0,175 кут.сек.);
- похибка на точній шкалі $\pm 0,065$ мкм ($\pm 0,85$ кут.сек.).

Список використаних джерел

1. Жовнір М.Ф., Черняк М.Г., Дідківський А.А. та інш. Фізико-технічні основи побудови вимірювального перетворювача мікропереміщень на поверхневих акустичних хвилях // *Електроника и связь*. – 2004, № 23. – С.5-8.
2. Жовнір М.Ф., Черняк М.Г., Черненко Д.В. та інш. Вимірювальні перетворювачі фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях // *Електроника и связь*. – 2011, № 1(60). – С.153-157.
3. Поляков П.Ф., Хорунжий В.А., Поляков В.П. Акустоэлектроника. Физико-технологические основы и применение: Справ. пособие: Том1.- Харьков: ООО «Компания СМИТ», 2007. – 552 с.
4. Черненко Д.В., Кузьменко О.М., Жовнір М.Ф. Вимірювальні перетворювачі тиску на основі збурення електричного поля поверхневих акустичних хвиль // *Вісник Кременчукського національного університету імені Михайла Остроградського*. – Кременчук: КрНУ. – 2013. – Вип. 1(78). – С. 62-66.
5. Chemenko D., Zhovnir M., Oliinyk O., Tsyganok V. Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures //35th International Spring Seminar on Electronics Technology „Power Electronics” (ISSE 2012). – Bad Aussee (Austria). – 2012. – P. 424 – 428.

Поступила в редакцию 11 апреля 2015 г.

УДК 531.768

Н.Ф. Жовнір, канд. техн. наук, О.В. Шостак

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина.

Оценка потенциальных разрешающей способности и точности измерительных преобразователей линейных и угловых перемещений на базе использования фазовых набегов поверхностных акустических волн

Приведены результаты оценки метрологических параметров 3-х частотного измерительного преобразователя линейных и угловых перемещений с подвижным приемником на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Библ. 5, рис. 2, табл. 1.

Ключевые слова: *поверхностные акустические волны (ПАВ); фазовый многочастотный метод; чувствительность; разрешающая способность; точность.*

UDC 531.768

M. Zhovnir, Ph.D., O. Shostak

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Peremogy, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine.

Evaluation of potential resolution and accuracy transducers of linear and angular movements on the basis of the use of phase shifts of surface acoustic waves

In this article present results of estimation of metrological parameters of the three frequency transducer measurement of linear and angular displacements of the moving receiver on surface acoustic waves (SAW). References 5, figures 2, tables 1.

Keywords: *surface acoustic wave (SAW); multifrequency phase method; sensitivity; resolution; accuracy.*

References

1. Zhovnir, M. F., Chernyak, M. G., Didkivskyy, A. A. and others. (2004). Physical and technical bases of the measuring transducer of mikromovements on surface acoustic waves. Electronics and Communications. № 23. Pp..5-8. (Ukr)
2. Zhovnir, M. F., Chernyak, M. G., Chernenko, D. V. and others. (2011). Measuring converters of physical quantities on the surface acoustic wave. Electronics and Communications. № 1 (60). Pp.153-157. (Ukr)
3. Polyakov, P. F., Horungyy, V. A., Polyakov, V. P. (2007). Acoustics. Physical and Technological Fundamentals and Application: Ref.: Part 1. Kharkiv: OOO "Company SMIT", Pp.552. (Rus)
4. Chernenko, D. V., Kuzmenko, O. M., Zhovnir, M. F. (2013). Measuring pressure transducers based on perturbation of the electric field of surface acoustic waves. Journal of Kremenchug National University Mykhaylo Ostrogradskiy. - Kremenchug: KrNU. Vol. 1 (78). Pp. 62-66. (Ukr)
5. Chernenko, D. V., Zhovnir, M., Oliinyk, O., Tsyganok, B. (2012). Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures //35th International Spring Seminar on Electronics Technology „Power Electronics” (ISSE 2012). Bad Aussee (Austria). Pp. 424 – 428.