

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

УДК 621.37

Датчик кутової швидкості об'єкта на поверхневих акустичних хвилях

Герасименко Д.О., проф., д.т.н., с.н.с. Жовнір М.Ф.

Вступ

Технічні параметри вимірювальних систем фізичних величин (ФВ) на основі традиційних первинних перетворювачів (ПП) (резистивних, ємнісних, магнітоелектричних, електромагнітних, гальваноманетних, 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 [1].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомий датчик для вимірювання кутової швидкості об'єктів, який містить: диск з

кодовою маскою у вигляді прозорих та непрозорих ділянок у відповідності з двійковим кодом, жорстко з'єднаного з валом об'єкта; джерела світла і фотоприймачів, вихідні сигнали яких створюють комбінацію електричних сигналів у вигляді цифрового коду і визначають кутове положення диску; електронний блок диференціювання цифрового коду, в результаті чого отримують кутову швидкість об'єкта [1].

Недоліками такого датчика є:

- великі габарити (наприклад, для 22-розрядного коду діаметр диску складає (200...300 мм);
- складність конструкції, яка передбачає велику кількість фотоприймачів (на один кодовий розряд необхідно мати один пристрій зчитування), що у свою чергу призводить також до труднощів налаштування датчика в робочий режим;

- операція диференціювання знижує швидкодію, а роздільна здатність змінюється зі зміною кутової швидкості;
- датчик має обмеження по верхній межі вимірювання кутової швидкості, приблизно, на рівні 3000 об/хв.

Мета і завдання дослідження

Метою є удосконалення конструкції датчика, що підвищить точність вимірювання кутової швидкості об'єкта.

Поставлена задача вирішується тим, що діелектричний хвилевід ПАХ з двома концентраторами ПАХ, на протилежних кінцях якого розміщені плівкові зустрічно-штирові перетворювачі ПАХ та поглиначі ПАХ, а кільцевий п'єзоелектричний хвилевід ПАХ відокремлений від діелектричного хвилеводу ПАХ, при цьому наявний в конструкції електронний блок з'єднаний із виходом фільтра різницевої частоти та виходом фазометра, входи якого з'єднані із виходом генератора електричних коливань та вихідним зустрічно-штировим перетворювачем ПАХ.

Основна частина

Датчик містить (рис1.) діелектричну пластину 1 з діелектричним ПАХ-хвилеводом 2 з рупорними концентраторами ПАХ, на кожному концентраторі сформовані поглиначі ПАХ 3, вхідний 4 та вихідний 5

п'єзоелектричні плівкові зустрічно-штирові перетворювачі ПАХ, а на відстані $d \ll \lambda_0$, де λ_0 – довжина ПАХ в кільцевому хвилеводі, від діелектричного хвилеводу розміщений кільцевий п'єзоелектричний хвилевід 6.

Над кільцевим хвилеводом на відстані $X \leq \lambda_0$ розміщена кільцева антена 7 у вигляді кільцевої металеві зустрічно-штирової решітки 8, яка розміщена на діелектричному диску 9, яка жорстко пов'язана із валом 10 об'єкта. Шини зустрічно-штирової решітки 8 з'єднані із кільцевими електродами 11 і 12. Період розміщення електродів W решітки 8 може змінюватись по колу решітки в залежності від заданого динамічного діапазону вимірювання кутової швидкості.

Над рухомою антеною 7 розміщено ємнісний знімач вихідного сигналу 13, що містить нерухомий діелектричний диск 14 з кільцевими електродами 15 і 16, які відповідно з електродами 11 і 12 і створюють ємнісний знімач вихідного сигналу антени ПАХ. Електрод 16 заземлено, а електрод 15 з'єднаний із входом високочастотного підсилювача 17, вихід якого з'єднано із першим входом змішувача сигналів 18, другий вхід якого з'єднано із виходом електричним генератором гармонічних коливань 19, який також з'єднаний з вхідним ЗШП 4, а вихід змішувача 18 з'єднано з входом фільтра різницевої частоти сигналів генератора та антени 20,

вихід якого з'єднано з першим входом електронного блоку обробки інформації 21, другий вхід якого

з'єднано з виходом фазометра 22, входи якого з'єднані з вихідним ЗШП 5 та генератором 19

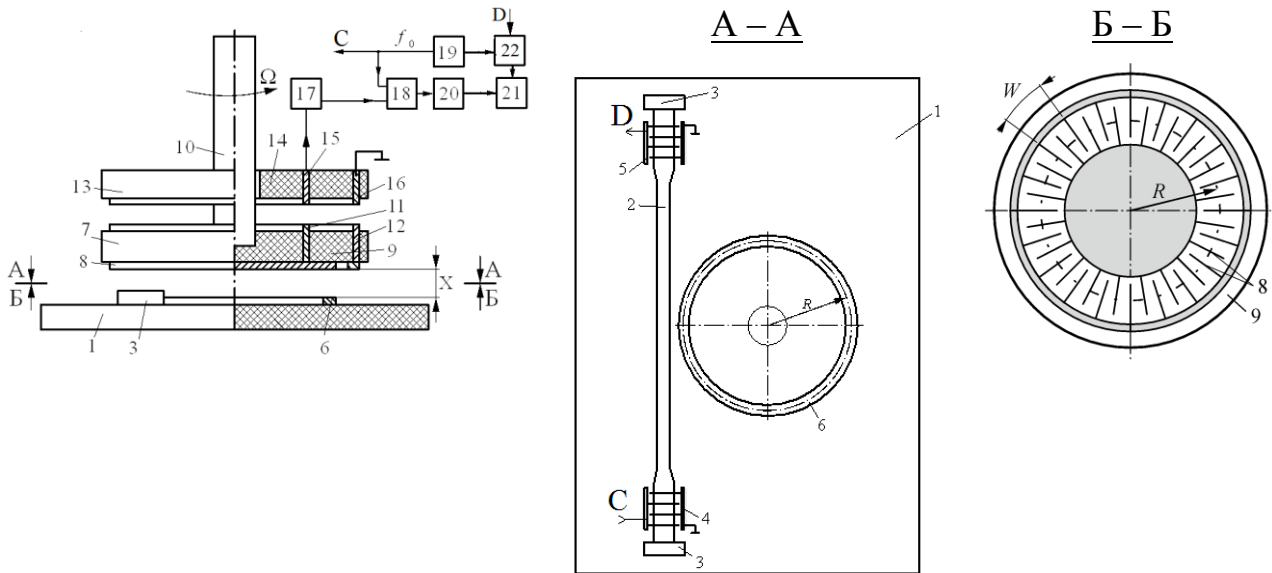


Рис1. Схема функціональна акустoeлектронного датчика на ПАХ

Амплітудно-частотну характеристику датчика кутової

швидкості можна представити у вигляді [4]:

$$K_{\Omega} = \gamma_{вх}\gamma_{вих}\gamma_k\gamma_p NM \frac{\sin(0.5N\pi\delta)}{0.5N\pi\delta} \cdot \frac{\sin(0.5M\pi\delta)}{0.5M\pi\delta} \exp\left[-\frac{2\pi}{\lambda_0}(1-\delta)\right]$$

де $\gamma_{вх}$ та $\gamma_{вих}$ – відповідно коефіцієнти електромеханічного перетворення вхідним ЗШП та зустрічно-штировою решіткою антени; γ_k – коефіцієнт компресії акустичного потоку концентратором ПАХ; γ_p – коефіцієнт відгалуження акустичного потоку в кільцевий хвилевід; N – кількість електродів вхідного ЗШП; M – кількість електродів зустрічно-штирової решітки антени; X величина зазору між поверхнею кільцевого хвилеводу та антеною; $\delta = (f -$

$f_0)/f_0$ відносне частотне розстроювання.

На рис. 2. представлено теоретичні нормовані амплітудно-частотні характеристики датчика кутової швидкості при $N = 50$ та

$$M = 100; 200; 300$$

Електричне поле біжучої в кільцевому хвилеводі поверхневої акустичної хвилі, електричний потенціал якого змінюється від відстані X до поверхні п'єзоелектричного хвилеводу за

формулою $\varphi = \varphi_0 \exp(-2\pi X/\lambda_0)$, де φ_0 – потенціал електричного поля на поверхні хвилеводу, індуктує у кільцевій зустрічно-штировій решітці 8 антени, яка обертається з кутовою швидкістю Ω [рад./сек], змінний електричний сигнал на частоті f_2 :

$$u_2 = U_{m_2} \exp \left[-\frac{2\pi X}{\lambda_0} + j(2\pi f_2 + \psi_{02}) \right]$$

де

$$f_2 = f_0 \sqrt{\frac{1 \mp \Omega R/V_0}{1 \pm \Omega R/V_0}} = f_0 \sqrt{\frac{V_0 \mp 2\pi R n}{V_0 \pm 2\pi R n}}$$

$n = \Omega/2\pi$ – кутова швидкість в обертах за секунду; f_0 – частота генератора 19 (частота ПАХ у хвилеводі).

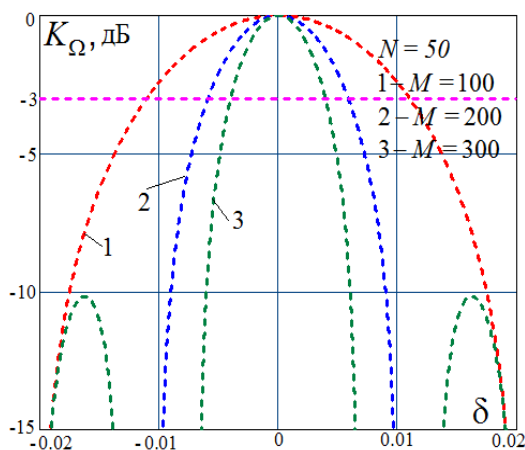


Рис.2 Амплітудно-частотні характеристики

Частота вихідного сигналу антени змінюється в залежності від кутової швидкості в результаті ефекту Доплера на величину:

$$F_D = f_2 - f_0 = f_0 \left[\sqrt{\frac{V_0 \mp 2\pi R n}{V_0 \pm 2\pi R n}} - 1 \right]$$

При обертанні антени у напрямку поширення ПАХ частота вихідного сигналу зменшується ($f_2 < f_0$), а при зворотному русі антени – збільшується ($f_2 > f_0$), що дозволяє визначати напрямок обертання об'єкту, що сполучений з антеною.

На рис. 3. зображені залежності приросту частоти F_D сигналу антени при її обертанні з кутовою швидкістю n над кільцевим п'єзоелектричним хвилеводом у напрямку поширення та у протилежному напрямку поширення ПАХ.

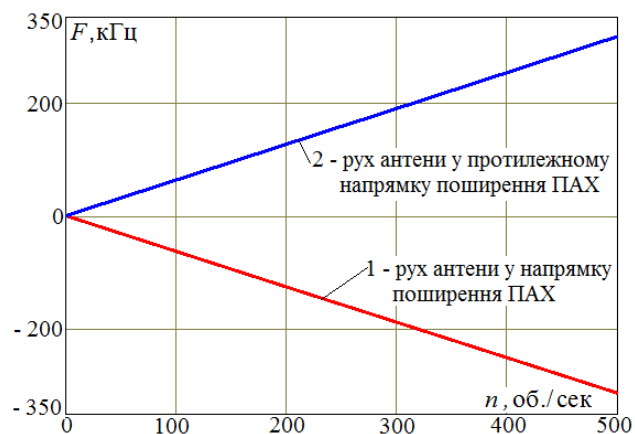


Рис.3. Приріст частоти сигналу

Вихідний сигнал антени з частотою $f_2 = f_0 \pm F_D$ після підсилення у високочастотному підсилювачі 17 та опорний сигнал генератора 19 з частотою f_0 поступають на змішувач 18, в результаті на виході змішувача виникає сигнал з частотою F_D , який після фільтра різницевої частоти 20

сигналів генератора та антени поступає в електронний блок 21, в якому здійснюється вимірювання частоти F_D і розраховується кутова швидкість антени за формулою:

$$n = \frac{\pm V_0}{2\pi R} \cdot \frac{f_0^2 - (f_0 + F_D)^2}{f_0^2 + (f_0 + F_D)^2}$$

На рис. 4. представлена залежність кутової швидкості від вимірної електронним блоком різницевої частоти F_D .



Рис.4 Залежність кутової швидкості від приросту частоти сигналу антени

Зміна конструктивних параметрів хвилеводу та частоти опорного генератора f_0 дозволяє керувати роздільною здатністю та діапазоном вимірювання кутової швидкості.

Для корегування результатів вимірювання кутової швидкості при зміні температури можна використати результати вимірювання фазометром 22 фазових зсувів ψ_0 при $T_0 = 20^\circ C$ та $\psi(T)$ при температурі T в лінії затримки, акустична довжина якої

дорівнює відстані між вхідним 4 та вихідним 5 зустрічно-штировими перетворювачами. При першому наближенні фазовий зсув можна представити у вигляді [5]:

$$\begin{aligned} \psi(T) &= \psi_0 \left[1 + \frac{1}{L_0} \frac{\partial L}{\partial T} dT - \frac{1}{V_0} \frac{\partial V}{\partial T} \right] = \\ &= \psi_0 [1 + \alpha \cdot dT - \beta \cdot dT] \end{aligned}$$

де $\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\partial L}{\partial T}$ - температурний коефіцієнт лінійного розширення діелектричної пластини з хвилевідною структурою; $\beta = \frac{1}{V_0} \frac{\partial V}{\partial T}$ - температурний коефіцієнт швидкості ПАХ; V_0 та L_0 - відповідно фазова швидкість ПАХ та акустична довжина лінії затримки між вхідним 4 та вихідним 5 зустрічно-штировими перетворювачами при $T = 20^\circ C$; $\psi_0 = \frac{2\pi f_0 L_0}{V_0}$ - фазове набігання ПАХ на акустичній довжині лінії затримки при $T_0 = 20^\circ C$.

Знаючи температурний коефіцієнт лінійного розширення підкладки (дані приводяться у довідниковій літературі) та фазову швидкість V_0 при $T_0 = 20^\circ C$ у хвилеводі, яка визначається попередньо експериментально при виготовленні датчика (наприклад, за допомогою лазерного зондування), в електронному блоці 21 здійснюється визначення відносної залежності фазової швидкості від температури:

$$\eta(T) = \frac{\Delta V(T)}{V_0} = 1 - \frac{\psi(T)}{\psi_0} + \frac{\Delta L(T)}{L_0}$$

Тоді співвідношення (6) та (7), із врахуванням температури, будуть мати вигляд:

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

$$n_{\eta} = \frac{\pm V_0(1+\eta) f_0^2 - (f_0 + F_{\text{д}})^2}{2\pi R f_0^2 + (f_0 + F_{\text{д}})^2}$$

При зміні температури зовнішнього середовища в інтервалі $T = (-50 \dots +50)^{\circ}\text{C}$ слід очікувати відносну максимальну зміну фазової швидкості ПАХ

$$\eta = \frac{\Delta V}{V_0} = \pm(10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-3})$$

Відносне відхилення кутової швидкості від температурного параметра η представляється у вигляді:

$$\chi = \frac{(n_{\eta} - n)}{n} 100\%$$

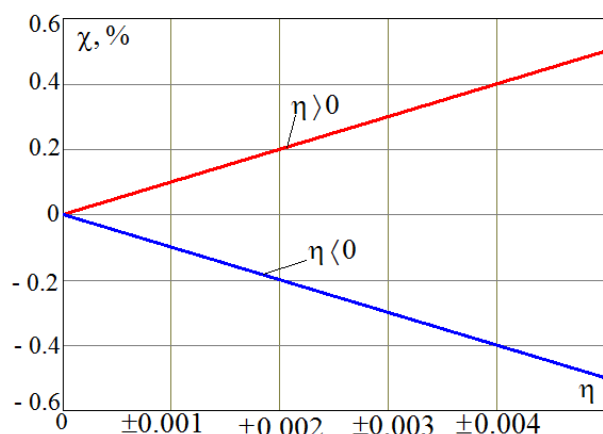


Рис.5. Відносне відхилення кутової швидкості від температурного параметра

На Рис. 5. представлено відносне χ відхилення кутової швидкості від температурного параметра η .

Висновок

Таким чином, у запропонованого датчика, на відміну від прототипу, в антені індуктується сигнал електричним полем ПАХ, що поширюється лише в кільцевому п'єзоелектричному хвилеводі, а вимірювання фази сигналу, що знімається з вихідного зустрічно-штирового перетворювача ПАХ, за допомогою фазометра та обробка результатів вимірювання в електронному блоці обробки інформації дозволяє враховувати вплив дестабілізуючих факторів на результати вимірювання кутової швидкості об'єкта.

Література

1. Юкиш М. Й., Кухарчук В. В., Білинський Й. Й. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі методу просторової модуляції. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 138 с.
2. Патент на корисну модель 115968 UA, МПК (2017.01), Н 03 Н 9/13 (2006.01), G 01 P 3/00. Датчик для вимірювання кутової швидкості об'єктів / Жовнір М. Ф., Писаренко Л. Д., Іващук А. В., Олійник О. О., Бітов М. В., Плешка Т. Є., Законов Є. С. Заявл. №

- u201606028, заявл. 03.06.2016;
опубл. 10.05.2017, бюл. № 9.
3. Жовнір М.Ф. П'єзоелектричні плівкові хвилеводи поверхневих акустичних хвиль / Журнал нано- та електронної фізики. Суми: Сумський державний ун-тет, 2016, том. 8, № 4(1) . - С. 04007-1- 04007-7.
4. Жовнір М.Ф. Математична модель первинного перетворювача кутових переміщень з кільцевим п'єзоелектричним хвилеводом поверхневих акустичних хвиль / Вісник НТУ "ХП". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків: НТУ "ХП", 2016, № 49(1221). – С. 42–51.
5. Морозов А.И., Проклов В.В., Станковский Б.А. Пьезоэлектрические преобразователи для радиоэлектронных устройств. – М.: Радио и связь, 1981. – 184 с.