

# ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА Й ЕЛЕКТРОННА ТЕХНІКА, СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 531

Г.М. Батенко

## УЛЬТРАЗВУКОВІ ДАТЧИКИ У РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

*Розглянуто особливості використання ультразвукових датчиків у робототехнічних системах. Наведено загальні поняття формування звукових коливань, основні типи ультразвукових перетворювачів, принцип роботи ультразвукового датчика в дифузійному режимі роботи.*

**Ключові слова:** ультразвуковий датчик, сигнал, відстань, координати об'єкта, зона виявлення.

### Вступ

Ультразвуковий датчик призначений для керування роботом в процесі його переміщення в просторі. Датчик робота дозволяє бачити та визначати зовнішні об'єкти, а також оминати перешкоди, відчувати, вимірювати відстань та визначати траєкторію руху. Ультразвуковий датчик здатний визначати тверді, рідинні, зерноподібні та порошкоподібні об'єкти. Краще всього відбивають хвилі великі об'єкти з твердою поверхнею у порівнянні з об'єктами, які вироблені з м'якого матеріалу, мають вигнуту форму чи дуже тонкі. Об'єкти, величина шорсткості поверхні яких перевищує 0,15 мм, мають перевагу в тому, що їх поверхня не повинна бути направлена точно на сам датчик, проте для них робочий діапазон зменшується.

Датчики інформують про стан зовнішнього середовища при взаємодії з ним і перетворюють реакцію на цю взаємодію у вимірювальні сигнали. Існує багато явищ та ефектів, видів перетворення сигналів і параметрів, які можна використовувати для побудови датчиків.

Основним принципом побудови акустичних систем є визначення параметрів звукових (ультракоротких тощо) коливань. Ультразвукові коливання (УЗК) формуються у повітрі, що являється пружним середовищем, в якому рухаються хвилі тиску із діапазоном частот вище 20 кГц. У загальному випадку швидкість розповсюдження звуку залежить від змін густини пружного середовища ( $\rho$ ) у просторі та часі, тиску ( $P$ ) та температури середовища, а також від локальних змін швидкості окремих частинок пружного середовища. Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль у газовому середовищі ( $C$ ) визначається за наступним

виразом  $C = (k \cdot P / \rho)^{1/2} = \lambda \cdot f$ , де  $P$  – тиск газового середовища,  $\rho$  – густина пружного середовища,  $\lambda$  і  $f$  – відповідно довжина та частота ультразвукових коливань,  $k$  – адіабатичний коефіцієнт для газів. Для повітря адіабатичний коефіцієнт приймає значення 1,4, а густина – 1,29 кг/м<sup>3</sup> при значенні тиску 1013 гПа.

При впливу температури вираз знаходження швидкості розповсюдження звуку у повітрі має вигляд  $C_B = c_0 \cdot (1 + T/273)^{1/2}$ , де  $c_0 = 331,6$  м/с.

Перетворювач надсилає пакет звукових імпульсів і перетворює імпульс луни в напругу. Інтегрований контролер обчислює відстань за часом луни і швидкості звуку. Тривалість випромінюваного імпульсу  $\Delta t$  і час загасання

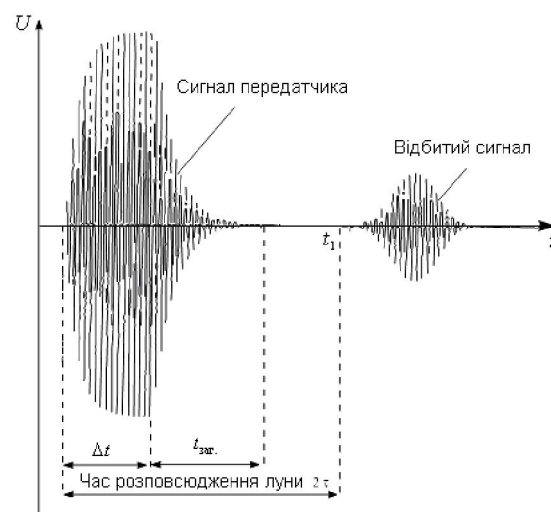


Рис. 1. Сигнал на чутливому елементі УЗ-датчика

$t_{\text{заг.}}$  звукового перетворювача є причиною для формування «сліпої» зони, в якій ультразвуковий датчик не може виявити предмет. Ультразвукова частота знаходиться між 65 кГц і 400 кГц, залежно від типу датчика; частота проходження імпульсів між 14 Гц і 140 Гц.

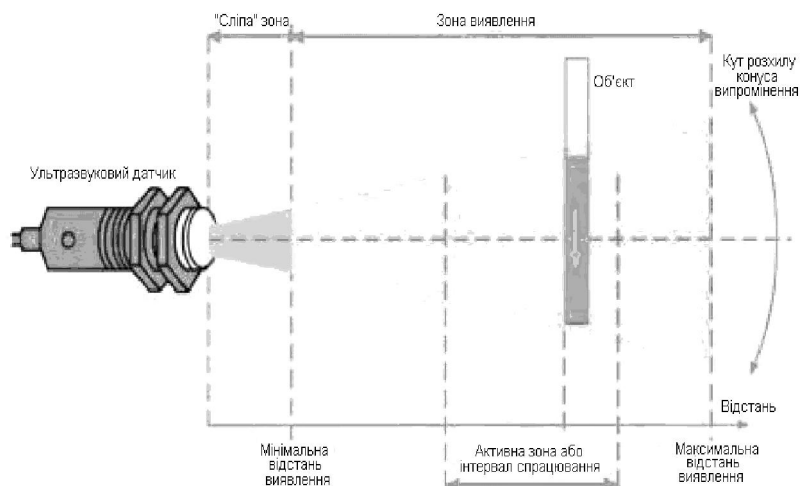


Рис. 2. Зона виявлення ультразвукового датчика

залежать від параметрів перетворювача. Максимальна відстань виявлення вказується в коді маркування датчика.

П'єзокерамічні перетворювачі отримують шляхом спікання п'єзoeлектричних мікрокристалів (титанат свинцю ( $\text{PbTiO}_3$ ) і цирконат свинцю ( $\text{PbZrO}_3$ )) з присадками (зв'язуючими речовинами). Оскільки після спікання диполі мікрокристалів розміщуються довільно, то отримана кераміка поляризується за допомогою прикладення високої напруги при високій температурі. Завдяки цьому уздовж осі поляризації створюється максимальне розтягування матеріалу. Для згаданих матеріалів при дії напруги в декілька сотень вольт воно складає  $dl/l = 10^{-4}$ .

У випадку підключення до пластини зовнішньої постійної напруги електростатична сила впливає на фольгу, фольга і пластина притягуються один до одного.

Змінна напруга певної частоти, яка накладається на постійну напругу, викликає вібрацію фольги з тією ж частотою. Підтримання постійною напругою необхідне через те, що сила, що діє на фольгу, пропорційна квадрату прикладеної напруги і при використанні тільки змінної напруги буде потрібно удвічі більшу по амплітуді напругу. Пластина утримується під постійним тиском за допомогою плоскої пружини. Можливе налаштування частоти УЗК до 500 кГц.

П'єзокерамічний диск прикріплений до металевого диска (рис. 4). При підключенні зовнішньої напруги діаметр п'єзoeлектричного диска змінюється, що створює підсилення зрушення і викликає вигин з певною амплітудою всієї системи з двох дисків.

У мембранному перетворювачі пружна мембрана, виконана з металу, збуджується з власним циклом коливань п'єзокерамічним елементом (рис.5). Основні характеристики: широка діаграма спрямованості випромінювання; відносно низька частота; низький рівень звукових сигналів; вузька смуга пропускання (резонансна система); великий час загасання; відкрита конструкція (висока напруга).

Ультразвуковий датчик визначає час, протягом якого хвиля звуку рухається від датчика до об'єкту і назад на датчик (дифузійний режим роботи).

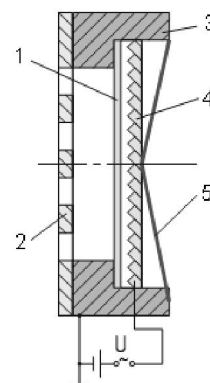


Рис. 3. Схематичне представлення електростатичного ультразвукового перетворювача

1 – металізована пластикова плівка (фольга), 2 – перфорована металічна пластина, 3 – металічна основа, 4 – борозна металічна пластина, 5 – плоска пружина.

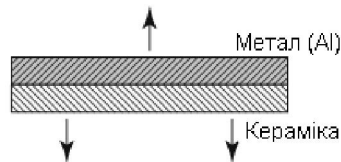


Рис. 4 Схематичне представлення перетворювача із згинаючими пластинами

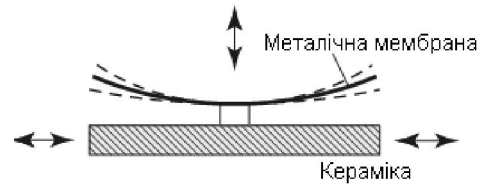


Рис. 5. Схематичне представлення мембранного перетворювача

Серед ультразвукових датчиків вимірювання відстані частіше зустрічаються однокоординатні, але вони недостатньо забезпечують безпеку руху робота. Тому пропонуємо для розгляду спосіб трьохкоординатного виявлення об'єкту ультразвуковим полем. У даному датчику приймально-випромінюючий вузол реалізується двома парами приймачів та розташованого в центрі випромінювача.

Координати лоційованого об'єкта визначаються у сферичній системі координат. Так як система симетрична, то координати визначаються тільки в площині однієї пари приймачів. Для іншої пари приймачів всі міркування будуть аналогічними. Робочою зоною датчика є просторовий кут із створюючою відхиленою на кут  $\alpha$  від центральної осі. Таким чином, в площині пари приймачів робоча зона складає кут  $2\alpha$ .

Датчик працює таким чином. Випромінювач формує ультразвуковий імпульс. Відбитий від лоційованого об'єкта сигнал надходить на всі чотири приймачі. Відстань до об'єкту визначається по усередненому часу запізнювання сигналу:  $L = \frac{\tau \cdot C}{2}$ , де  $L$  – відстань до об'єкту;  $\tau$  – час запізнювання сигналу;  $C$  – швидкість звуку в лоційованому середовищі.

Напрямок на об'єкт для кожної пари приймачів визначається по різниці амплітуд прийнятих сигналів. Функція спрямованості круглого поршневого приймача визначається як:

$$\Phi(\theta) = \frac{4}{\pi a^2} \int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi\rho}{\lambda} \sin\theta \cos\varphi\right) d\varphi \rho d\rho, \quad (1)$$

де  $\theta$  – кут між нормаллю приймача і направленням з центру приймача на джерело звуку;  $\rho$  – змінна інтегрування по радіусу на площині приймача;  $\varphi$  – змінна інтегрування по куту на площині приймача;  $a$  – діаметр робочої поверхні приймача.

Використовуючи цей вираз і враховуючи відхилення нормалей приймачів від осі локатора на кут  $\alpha$ , розподіл амплітуд електричних сигналів  $U_{\text{пр1}}$  і  $U_{\text{пр2}}$ , що знімаються з виходів приймачів, можна зобразити у вигляді графіків залежності від кута  $\beta$  (кут між центральною віссю локатора і напрямом на об'єкт), як показано на рис. 6.

Аналітично ці залежності з урахуванням (1) виражаються співвідношеннями:

$$\frac{U_{\text{пр1}}}{U_{\text{max}}} = \Phi_1(\beta) = \frac{4}{\pi a^2} \int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi\rho}{\lambda} \sin(\beta - \alpha) \cos\varphi\right) d\varphi \rho d\rho,$$

$$\frac{U_{\text{пр2}}}{U_{\text{max}}} = \Phi_2(\beta) = \frac{4}{\pi a^2} \int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi\rho}{\lambda} \sin(\beta + \alpha) \cos\varphi\right) d\varphi \rho d\rho.$$

Оскільки в межах робочої зони функція  $\Phi_1(\beta)$  монотонно зростає, а функція  $\Phi_2(\beta)$  монотонно спадає, тому відношення  $\frac{\Phi_1(\beta)}{\Phi_2(\beta)} = \frac{U_{\text{пр1}}}{U_{\text{пр2}}}$  визначає величину кута  $\beta$ , яка є першою кутовою координатою об'єкта. Отримана залежність приведена на рис. 7 у логарифмічному масштабі.

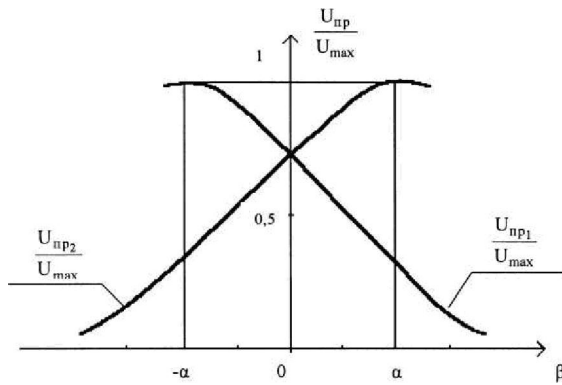


Рис. 6. Графік залежності розподілів амплітуд електричних сигналів  $U_{пр1}$  і  $U_{пр2}$  від кута  $\beta$

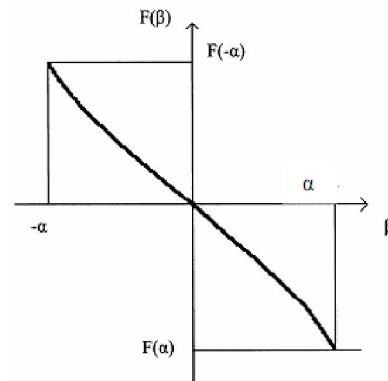


Рис. 7. Графік залежності функцій  $\Phi_1(\beta)$  від  $\Phi_2(\beta)$

Блок-схема пристрою, що реалізує визначення всіх трьох координат представлена на рис. 8.

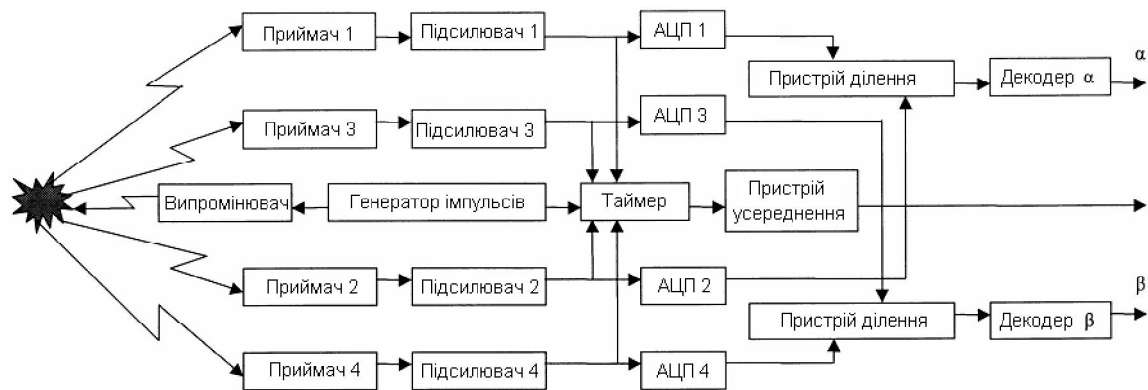


Рис. 8. Блок-схема датчика

### Корекція результатів вимірювань

Результати визначення часу проходження сигналу від об'єкта можуть мати деяке розсіювання, обумовлене змінами стану середовища розповсюдження. Вплив завад може бути ослаблений шляхом статистичної обробки результатів вимірювань – обчислення середньої величини і дисперсії та відкидання результатів із значним відхиленням від середнього. Для додаткового придушення завад при відомій відстані до об'єкта проводиться синхронізація по часу фаз передачі і приймання.

### Висновок

Робота ультразвукового датчика в роботехнічних системах полягає в неперервному сканування навколишнього середовища з високою ефективністю, а це сприяє значним витратам потужності. Застосування трьохкоординатного ультразвукового локатора у роботі дозволяє вирішити задачу виявлення перешкод в ближній зоні (до 3 метрів). Проте ефективність виявлення перешкоди багато в чому визначається алгоритмом і засобами обробки інформації, що надходить від датчика. Розробка таких апаратно-програмних засобів реального часу представляє самостійну складну науково-технічну проблему, вирішення якої дозволить створити малогабаритних автоматичних роботів.

### Список літературних джерел

1. Жданкин В. Ультразвуковые датчики для систем управления / В. Жданкин // Современные технологии автоматизации. – 2003. – №1. – С. 68 – 79.
2. Handbook for the Training Pack SENSORIK SP1. – Mannheim: Pepperl+Fuchs Kolleg GmbH, 1995.
3. Ипатов О.С., Ершов С.О. Ультразвуковой локатор для интеллектуального робота / О.С. Ипатов, С.О. Ершов // Искусственный интеллект. – 2001. – №3. – С. 548 – 553.